4th International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies

Full Papers

Hikmet Yeter Çoğun
İbrahim Halil Dilber
Muhammed Coşkun Irmak
Onur Saran



BİDGE Yayınları

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies

Full Papers

24-25 May 2024

Ankara/Turkey

BIDGE Publications

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies Full Papers

ISBN: 978-625-372-170-1

Editors

Hikmet Yeter Çoğun, İbrahim Halil Dilber, Muhammed Coşkun Irmak, Onur Saran

Page Layout: Gözde YÜCEL

1st Edition: BIDGE Publications, 2024

All rights of this work are reserved. It cannot be reproduced in any way without the written permission of the publisher and editor, except for short excerpts to be made for promotion by citing the source.

Certificate No: 71374

Copyright © BIDGE Publications

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.
Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara

SCIENTIFIC COMMITTEE

DR. AHMET BENLİ – BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
DR. AHMET TOPAL – ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
DR. ALAEDDİN BOBAT – KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
DR. ALEVCAN KAPLAN – BATMAN ÜNİVERSİTESİ
DR. ALİ ALLAHVERDİ – KUWAİT UNİVERSİTY
DR. ALİ DİNC – AMERICAN UNIVERSITY OF THE MIDDLE EAST
DR. AŞKIN KİRAZ – YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
DR. ATİLA KUMBASAROGLU – ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
DR. AYDIN ŞIK – GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DR. AYHAN ESİ – MALATYA TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ
DR. BEHRUZ BEKBABAYİ – ALLAMEH TABATABA'İ ÜNİVERSİTESİ
DR. BEKİR ŞAN – ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
DR. BELGİN COŞGE ŞENKAL – YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
DR. BESTE CUBUKCUOGLU – YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
DR. BÜLENT TOPRAK – İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
DR. CİGDEM SAYIL – İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
DR. CİHAN BAYINDIRLI – NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
DR. COŞKUN FIRAT – İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DR. ÇAĞLAR AKÇAY – DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
DR. ÇETİN MEKİK – HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
DR. ÇİĞDEM MORAL – AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
DR. DİDAR UCUNCUOĞLU – THE UNIVERSITY OF MANITOBA
DR. DİLEK ARSOY – NEAR EAST UNIVERSITY
DR. EBRU EMİNE ŞÜKÜROĞLU – GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
DR. EBRU ŞEBNEM YILMAZ – HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
DR. EBRU YILMAZ – AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
DR. ELAHE REYHANİ – ZANJAN MEDİCAL SCİENCE UNİVERSİTY
DR. ELİF ÇELENK KAYA – ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
DR. ELİF ŞENKUYTU – ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
DR. EMRAH ÖZTÜRK – ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
DR. ENGİN NAS – DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
DR. ENGİN YARALI – AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
DR. ERDEM ÇİFTÇİ – GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DR. ERDEM ŞAKAR – ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
DR. FATİH APAYDIN – BİLECİK ŞEYH EDEBALİ ÜNİVERSİTESİ
DR. FATMA OĞUZ ERDOĞAN – KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
DR. FERDA ESER – AMASYA ÜNİVERSİTESİ
DR. FİLİZ BORAN – HİTİT ÜNİVERSİTESİ
DR. FİLİZ MEDİHA NAMDAR PEKİNER – MARMARA ÜNİVERSİTESİ
DR. FUAT KARA – DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
DR. FULYA TAKTAK – UŞAK ÜNİVERSİTESİ
DR. FUNDA DÖKMEN – KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
DR. GULSUM YALDİZ – BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DR. GÜLŞAD USLU ŞENEL – FIRAT ÜNİVERSİTESİ
DR. HAKAN DİLİPAK – GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DR. HALİL ZEKİ GÖK – BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
DR. HASAN GÖKSEL OZDİLEK – ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
DR. HASAN ÖZ – ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
DR. HATİCE PEKMEZ – GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
DR. HATUN BARUT – DOĞU AKDENİZ TARIMSAL ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ

DR. HİDAYET MAZI – GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
DR. HÜLYA ÇELİK – AĞRI İBRAHİM ÇEÇEN ÜNİVERSİTESİ
DR. HÜLYA DEMİR – YEDİTEPE ÜNİVERSİTESİ
DR. HÜLYA ÖZTÜRK DOĞAN – ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
DR. İBRAHİM GÜNEŞ – GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
DR. İLYAS UYGUR – DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
DR. KAMİL KAYGUSUZ – KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DR. KAZİM YETİŞ – İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
DR. KEMAL YAMAN – OSTİM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DR. KEZİBAN ATACAN – SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
DR. KORAY KARABULUT – SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
DR. KÜBRA CİHANGİR-ÇAMUR – GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DR. LUQMAN ALATRUSHİ – NORTHERN TECHNİCAL UNİVERSİTY-IRAQ
DR. MEHMET AKKAŞ – KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
DR. MEHMET ALP FURAN – VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
DR. MEHMET ALP ILGAZ – LJUBLJANA UNIVERSİTESİ
DR. MEHMET CENGİZ KARAİSMAİLOĞLU – BARTIN ÜNİVERSİTESİ
DR. MEHMET GÜVENÇ NEGİZ – ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
DR. MEHMET MERDAN – GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
DR. MERT BAYRAKTAR – TÜRK HAVACILIK VE UZAY SANAYİ
DR. MİRAÇ ALAF – BİLECİK ŞEYH EDEBALİ ÜNİVERSİTESİ
DR. MUHARREM İNCE – MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
DR. MUHSİN AYDIN – ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

DR. MURAT TOLGA ÖZKAN – GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DR. MUSTAFA AYTEKİN – UNIVERSITY OF BAHRAIN
DR. MUTLU BUKET AKIN – HARRAN ÜNİVERSİTESİ
DR. NEBİ GEDİK – SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
DR. NECİBE FÜSUN OYMAN SERTELLER – MARMARA ÜNİVERSİTESİ
DR. NERMİN SÖKMEN – NATİONAL UNİVERSİTY OF SCİENCE AND TECHNOLOGY MİSİS
DR. NEŞE ERTUGAY – ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
DR. NEŞE ÜZEN – DİCLE ÜNİVERSİTESİ
DR. NURAY GÜY – SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
DR. NURHAN KOÇAN – BARTIN ÜNİVERSİTESİ
DR. NURİ ÖZTÜRK – GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
DR. NURSEL BAYDEMİR – KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
DR. OEXAN BAĞIROV – AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASININ NAXÇIVAN BÖLÜMÜ
DR. ÖZGÜR EKEN – İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
DR. ÖZGÜR ÖZGÜN – BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
DR. ÖZLEM GÜNGÖR – GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN FAKÜLTESİ
DR. PELİN ÖZKARTEPE – GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
DR. PRAKASHA KN – VİDYAVARDHAKA COLLEGE OF ENGİNEERİNG
DR. RANA ÖZBAKIR – SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
DR. RECEP TAŞ – BARTIN ÜNİVERSİTESİ
DR. REDVAN GHASEMLOUNIA – İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
DR. RIDVAN KARACAN – KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
DR. RUKİYE UZUN ARSLAN – ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
DR. SAFİYE EMİRDAĞ – EGE ÜNİVERSİTESİ
DR. SEVAL ÖZGEL FELEK – ORDU ÜNİVERSİTESİ
DR. ŞAHABETTİN ÖZTÜRK – VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
DR. ŞAHANE FUNDA ARSLANOĞLU – ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

REVIEWER COMMITTEE

DR. ABDÜLVAHAP ÇAKMAK – SAMSUN ÜNİVERSİTESİ
DR. AHMET ÇAKANEL – KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
DR. ALPER DURMAZ – ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
DR. AYÇA UÇKUN – ZEYTİNCİLİK ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ
DR. AYŞEGÜL YÜCEL – İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DR. BAHDİŞEN GEZER – UŞAK ÜNİVERSİTESİ
DR. BARIŞ YILDIZ – KAFKAS ÜNİVERSİTESİ
DR. BEHRUZ BEKBABAYİ – ALLAMEH TABATABA'İ ÜNİVERSİTESİ
DR. BEKİR TOSUN – BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
DR. BEKİR YİTİK – BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
DR. CANER YERLİ – VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
DR. CEM GÖL – BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DR. CİHAN BAYINDIRLI – NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
DR. ÇAĞLA ERCANLI – İZMİR KAVRAM MESLEK YÜKSEKOKULU
DR. ÇAĞRI BEKİRCAN – KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DR. ÇETİN MEKİK – HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
DR. ELİF ÇİL – ORDU ÜNİVERSİTESİ
DR. ENGİN YARALI – AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
DR. ERTUĞRUL ÇAM – BİLECİK ŞEYH EDEBALİ ÜNİVERSİTESİ
DR. ESRA TUĞRUL TUNÇ – FIRAT ÜNİVERSİTESİ
DR. EYLEM AYDEMİR ÇİL – SİNOP ÜNİVERSİTESİ
DR. FAİK CEYLAN – DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
DR. FATİH APAYDIN – BİLECİK ŞEYH EDEBALİ ÜNİVERSİTESİ
DR. FATMA GÖNÜL SEZGİN – ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
DR. GÜLSÜM EBRU ÖZER UYAR – KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
DR. HALİL ZEKİ GÖK – BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
DR. HAMİT ÖZYURT – KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
DR. HAMZA NEGİS – SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
DR. HASAN GÖKSEL ÖZDİLEK – ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
DR. HİCRİ YAVUZ – AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
DR. HİLAL KILINÇ – DOKUZ EYLUL ÜNİVERSİTESİ

DR. HÜSEYİN ÇAĞDAŞ ASLAN – YALOVA ÜNİVERSİTESİ
DR. İBRAHİM ÇAVUŞOĞLU – GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
DR. İBRAHİM YAVUZ – AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
DR. KAPLAN KAPLAN – KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
DR. KORAY KARABULUT – SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
DR. KUTLUĞ SAVAŞIR – DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
DR. KÜBRA GÜL – KAFKAS ÜNİVERSİTESİ
DR. MEHMET AKİF ÖZCAN – BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DR. MEHMET ALP FURAN – VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
DR. MERVE BAYHAN – DİCLE ÜNİVERSİTESİ
DR. MERVE GÜNEŞ – AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

DR. MERYEM BURCU KÜLAHCI – GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DR. MUHAMMED AZIM IRGEŞ – KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DR. MUSTAFA DEĞİRMENCİ – SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
DR. MUSTAFA YEĞİN – ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
DR. NAFEL DOĞDU – AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
DR. NAZLI TOKATLI – İSTANBUL SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
DR. NEŞE ÜZEN – DİCLE ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ
DR. NİHAYET KOÇYİĞİT – BATMAN ÜNİVERSİTESİ
DR. NİLDENİZ TOP KARAKUS – MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
DR. NURDOĞAN TOPAL – UŞAK ÜNİVERSİTESİ
DR. ONUR ALKAÇ – FIRAT ÜNİVERSİTESİ
DR. ORHAN DOĞAN – KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
DR. ORHAN ULUÇAY – KAFKAS ÜNİVERSİTESİ
DR. OYA KESKİN – ANTALYA BİLİM ÜNİVERSİTESİ
DR. ÖMER FIRAT TURŞUCULAR – BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
DR. PELİN YİĞİT – NİŞANTAŞI ÜNİVERSİTESİ
DR. RAHİLE ÖZTÜRK – SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
DR. SADETTİN ÇELİK – BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
DR. SELDA SEZER – MALATYA TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ
DR. Ş SELÇUK SEÇİLMİŞ – GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
DR. ŞAHİKA ÖZDEMİR – İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ
DR. ZEYNEB KILIÇ – ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

ORGANIZERS COMMITTEE

Bilimi Destekleme ve Geliştirme Derneği
Dr. Öğr. Üyesi İshak PARLAR-Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÜZMUŞ-Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Tahir YÜCEL-Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Şehriban Oğuz-Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Neslihan Çelebi-Atatürk Üniversitesi

Contents

Otomotiv Koltuklarında OCS Kullanımı 17

Ahmet SARI 17

Mert MALKOÇ 17

Mehmet ATCETER 17

Otomotiv Koltuklarında Emboss İşlemi 21

Mehmet ÖZKAN 21

Mehmet ATCETER 21

Koltuk Döşemelerinin Isı ve Nem Koşulları Altında Renk Ölçümleriyle Aşınma Değerlendirilmesi 28

Seray AKSOY 28

Behçet BECERİR 28

The Effect of Seat Position on the Driver's View 37

Muhammed Ali VURAL 37

Energy Consumption and Cost Comparison of Air-Cooled and Single-Phase Immersion Liquid-Cooled Data Center White Spaces 44

Meltem AGAOGLU 44

Derya Burcu OZKAN 44

Vırtual And Experımental Investıgatıon Of Hvac Ihx Component Performance Under Wltp Condıtıons 94

Mustafa DEVECİ 94

Osman SÜMER 94

Göktuğ GENÇELLİ 94

Investigation of Stress Corrosion Behavior of AISI 304 Stainless Steel Welded by TIG Welding 106

Gürkan SOY 106

Büşranur KESER 106

Selda AKGÜN KAYRAL 106

Ali Osman EMET 106

Using Natural Fiber in Automobile Parts 120

Barış ŞENOL 120

Berkant UYSAL 120

Improvment Quality of Plastic Granuls 127

Berkant UYSAL 127

Taner ŞENGÜL 127

Investigation of Thermal Performance of an Automotive Refrigerant System Internal Heat Exchanger (IHX) with Different Cross Sections Using R290 and R1234yf Refrigerants by 1-Dimensional Analysis Method 135
Kağan Bayraktar 135
Zeliha Kamış Kocabıçak 135
Integration Blade Element Momentum Theory Into the Computational Fluid Dynamics Solver 143
Safa DUMANLI 143
Nureddin DİNLER 143
Kaan YUTÜK 143
Kinematic Analysis on Lifting Tailgates in Automobiles and Light Commercial Vehicles 151
Mehmet GÜVEN 151
A Case Study on the Performances of the Pressure Gauges used in the Industry 159
Can EKİCİ 159
Investigation of Soil-Pile Structure Interaction In Lıquefiable Soils 170
Burak DEDEOĞLU 170
Murat Ergenokon SELÇUK 170
Investigation of The Behavior of Fixed Offshore Structure Under Earthquake Loads 188
Melis AKFIRAT 188
Asuman Işıl ÇARHOĞLU 188
Farklı İçeriklere Sahip Çimento Esaslı Kompozitlerin Yüksek Sıcaklığa Karşı Direnci ve Yüksek Sıcaklık Sonrası Davranışı 195
Duygu KIRKYAŞAROĞLU 195
Umur Korkut SEVİM 195
İmren DOĞRU 195
Experimental And Numerical Study for Local Scour Around Cylindrical Bridge Pier in Non-Cohesive Sediment Bed 204
Abubaker Sami DHEYAB 204
Mustafa GÜNAL 204
Hareketlilik Merkezlerinin Faydaları ve Avrupa Şehirlerinden Örnekler 219
Fatih Kerem BOZ 219
Determination of Scattering Parameters in Horn Antenna Design Using Machine Learning Algorithm 227
Ahmet ULUSLU 227
Gülsüm ARI 227
Design of A Circularly Polarized Cross Dipole Antenna for S-Band Telemetry 234

Aysu Başak ALTUĞ 234
Mehmet ÇİYDEM 234
Exploring an electrochemical MIP Sensor for the Detection of the Tamoxifen Metabolite: 4-Hydroxytamoxifen. 239
Aysu YARMAN 239
Hayvan Deneylerinde OpenCV Tabanlı Hareket Süreç Analizi 246
Baranalp ÖZTÜRK 246
Emre GÜNGÖR 246
Serel ÖZMEN AKYOL 246
Fındık Kabuğundan Karbon Kuantum Noktalarının Formik Asit ve Asetik Asit ile Mikrodalga Yöntemiyle Üretimi ve Polifenol Oksidaz (PPO) Enzim Aktivitesinin İncelemesi 253
Berfin TEKİN 253
Durukan KOÇ 253
Erdem ELİBOL 253
Tuna DEMİRCİ 253
Mine Nazan KERİMAK ÖNER 253
Mustafa Oğuzhan KAYA 253
Simulation and Optimization of the Active Suspension System of a 6x6 Vehicle 266
Berk AYDOĞAN 266
Ahmet YILDIZ 266
Optimal Roll Motion Control with Active Fins Based on Force Superposition Method 277
Berkehan DEMİREL 277
Ferdi ÇAKICI 277
Akustik Emisyonun Ib-Değer Analizi ile Betondaki Hasar Ölçeğinin Belirlenmesi 290
Burak GÜLŞEN 290
Özgen ACET 290
Omair INDERYAS 290
Sena TAYFUR 290
Ninel ALVER 290
Işık Kirliliğinin Kente Olumsuz Etkileri ve Çözüm Önerileri 299
Çiğdem SAKICI 299
Büşra KAHRAMAN ERTÜRK 299
Güftenur YEŞİL 299

Otomobil Hava Filtrelerinin Üretiminde Kullanılan Kağıtların Uzamasına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi 307
Büşra TURHAN 307
Ersin BAHÇECİ 307
Otomotiv Tekstillerinde Kullanılan Doğal ve Geri Dönüştürülmüş Elyafların Akustik Performansa Etkisinin İncelenmesi 320
Nuray KIZIL 320
Can BİLİR 320
Obtaining Raw Material For Use in Biodiesel Production From Waste Animal Fats: First Step To Biodiesel 327
Cemre YILMAZ 327
Küresel Okyanus Sularının Asitlenmesinin Kabuklu Deniz Canlılarına Etkisi 333
Dilay TUNOĞLU 333
Şirin DEMİRCAN YILDIZ 333
Derin Pekiştirmeli Öğrenme ile Görüntü Hash Kodlarının Oluşturulması ve Karşılaştırmalı Analizi 349
Elif AKKAYA 349
Burhan BARAKLI 349
Synthesis of pH-Responsive Poly(2-diethylaminoethyl methacrylate) Thin film by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition 357
Emine SEVGİLİ MERCAN 357
Mehmet GÜRSOY 357
Mustafa KARAMAN 357
Calculatıon And Desıgn Evaluatıon Of Steel Constructıons By Fınıte Element Method 364
ENES DEMİRHAN 364
İBRAHİM ÇAYIROĞLU 364
Büyükçekmece 1159 Parselde Bulunan Ahşap Konağın Yeniden İşlevlendirilerek Yaşatılması 380
Ercan AKSOY 380
Comparison of Electric Powertrain Layouts to Investigate Optimization Solutions 391
Eren BABAYIGIT 391
Ecem SAYAN 391
Kültürel Mirasın 3 Boyutlu Belgelenmesinde Dijital İkiz Teknolojisinin Kullanımı 398
Ertuğrul AYDIN 398
Serdar BİLGİ 398
İrem YAKAR 398

Sualtı Optik Haberleşme Sistemlerinde Zayıflamanın Mevsimsel Klorofil Yoğunluğu ile Değişimi 409
Faruk İKİNCİ 409
Oğuzhan COŞKUN 409
Güneş YILMAZ 409
Sürdürülebilir Mahalle Parametrelerinin Yeşil Sertifikalar Aracılığıyla Tartışılması 418
Fatma İrem YILDIRIM 418
Gözde EKŞİOĞLU ÇETİNTAHRA 418
The Importance of Psychobiotics in Athlete Performance 432
Fatma Nur DEMİRBAŞ 432
Numerical Investigation of the Effects of Turbulence Model and Impeller Design on Velocity and Pressure Distribution in Centrifugal Pumps 443
Fuat TAN 443
Merve Sinem AMUCA 443
Assessing the Benefits and Challenges of Using Digital Twins in The Building Construction Industry 457
Furkan TURUNÇ 457
Sevilay DEMİRKESEN 457
Supporting Occupational Health and Safety with Lean 5s System 466
Gökmen TAK 466
Fatih ÖZTÜRK 466
A Literature Review on the Analysis of the Factors Affecting the Readiness of Cities for Autonomous Vehicles 471
İlknur Senem ÇAYIROĞLU 471
Zeytin Çekirdeği ve Külünün Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Dayanımına Etkisi 479
İmren DOĞRU 479
Umur Korkut SEVİM 479
Duygu KIRKYAŞAROĞLU 479
Sığ Tünellerin Tahkimatında Tek Sıra ve Çift Sıra Şemsiye Süren Kullanımının Yüzey Oturmalarına Etkisi: Dudullu-Bostancı Metro Hattı Yolcu Tüneli Örneği 495
İnci Nur ÇAKAR 495
Murat Ergenokon SELÇUK 495
Mobil Robotlarda Görsel SLAM Uygulamaları 519
Mehmet Fatih KOÇ 519
Barış GÖKÇE 519
Atıksuların remediasyonunda alglerin kullanımı ile kirleticilerin giderimi 532

Mehmet Mustafa DENİZ 532
Murat TOPAL 532
Veritabanı Yönetim Sistemlerinin Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Otomasyonu 540
Meral ERGÜN.....540
Melih BALTA 540
Bengisu ÇALIŞKAN 540
Önder DEMİR 540
Buket DOĞAN 540
Allelopathic Potential of Lupin (*Lupinus* spp.).....557
Merve BARUT 557
Murat KARACA 557
Fenomen Pazarlamada Fenomen Seçim Kriterlerinin AHP ile Değerlendirilmesi: Bir Uygulama.....566
Mısra ŞAHİN 566
Hilal DEMİR.....566
Nazan Nur KIRA.....566
Sude CANDAN.....566
Mehmet PINARBAŞI 566
Numerical Investigation and Theoretical Validation of Convective Heat Transfer in Turbulent Pipe Flow 574
Muhsin KARAKAŞ 574
Hakan KARAKUŞ 574
Gökhan CANBOLAT 574
Delta Bağlantı Fırçasız Motor için Alan Odaklı Kontrol kullanan Sistemin FPGA Tasarımı ve Gerçeklemesi.....584
Mustafa Emre Öncüler 584
Coşku Kasnakoğlu.....584
Design and Optimisation of Nanomaterials with Artificial Intelligence 593
Musafa KALAY 593
Yumuşak Kat Etkisi İçeren Betonarme Yapılarda Taban İzolasyon Sistemlerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması.....607
Oğuzhan ÇELEBİ 607
Gamze ÜÇDEMİR 607
Mahmut KILIÇ.....607
Abdulkadir Cüneyt AYDIN 607

Polisaj Prosesinde Farklı Zımpara Kombinasyonlarının ve Hat Hızının AISI 304 Kalite Paslanmaz Çelik Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi 622
Onur AY 622
Hüseyin Emre ÖZYILMAZ 622
Hamdi EKİCİ 622
Bedirhan GÜRAYDIN 622
Yeni Gemi İnşaatında Proje ve Zaman Yönetimi 632
Onur KONTAŞ 632
Nurten VARDAR 632
Effectiveness of different filtering approaches for enhancing AE behavior of concrete 641
Özgen ACET 641
Burak GÜLŞEN 641
Omair INDERYAS 641
Sena TAYFUR 641
Ninel ALVER 641
Comparison of Earthquake Design Spectrums in Earthquake Regulations of Türkiye and USA 650
Rana ÇORUH 650
The Effect of Variable Environmental and Traffic Conditions on LIDAR Sensor Performance: A Case Study with the CUPAC Dataset 667
Recep EKEN 667
Oğuzhan COŞKUN 667
Güneş YILMAZ 667
A PESTEL Analysis on Autonomous Vehicle Technologies in Türkiye 676
Recep ÖZKÖK 676
Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkının İki Boyutlu (2d) Modellerle İncelenmesi: Değirmendere Barajı Örneği 685
Said ÖLMEZ 685
Turgay PARTAL 685
The Effect of Feature Selection Methods on the Performance of Classification Algorithms 702
Seda KAYA 702
Tolga AYDIN 702
Mete YAĞANOĞLU 702
Çevresel Göstergeler Altında Türkiye'deki İllerin Kümeleme Analizyle Gruplandırılması . 711
Sefa ŞİMŞEK 711

Hasan BULUT 711
Endüstriyel Kuruluşlarda Gürültü Kirliliği, İç Ortam Hava Kalitesi ve Aydınlatma Etkinliği Parametrelerinin Değerlendirilmesi 720
Semih Çağrı YAĞCIOĞLU 720
Murat SOLAK 720
Comparison of Electric Powertrain Layouts to Investigate Optimization Solutions 734
Eren BABAYIGIT 734
Ecem SAYAN 734
Antibacterial Properties of Essential Oil-loaded Polymers 741
Yasemin KORKMAZ 741
İkrime ORKAN UÇAR 741
Orman yangınlarının erken tespitinde kullanılan gözetleme kulelerinin yer seçimi problemi: AHP yöntemi ile bir uygulama 749
Zehra YAVUZ 749
Dilara ÇAMALAN 749
Gizem GENÇ 749
Mehmet PINARBAŞI 749
Investigation of the Lower Limb Asymmetry in Elite Female Football Players with Jump Test and Wearable Movement Analysis System 760
Zeynep KATIRCIOĞLU 760
Begüm YALÇIN 760
Hande ARGUNŞAH 760
Düşük Maliyetli Katı Yakıtlı Roket Motoru Tasarımı 773
Zeynep Rümeysa Akgül 773
Hakan Terzioğlu 773
A Solution Approach To the Problem of Customer Segmentation and Customer Lifetime Value Estimation in The E-commerce Industry 799
Aslınur BÜYÜKPİŞİRİCİ DURMUŞ 799
Numerical Analysis of the Effect of Collector Height and Radius on System Performance in Solar Chimney Power Plants 812
Fuat TAN 812
Alp Eren DEDE 812
Effects Of Serum Oxıde (Ceo_2-Np) Applıcatıon On Salt Stress On Mıneral Materıal Change In Grafted And Ungrafted Vıne Saplıngs 822
Hasan BALTACI 822
Seda SUCU 822

Sezer ŞAHİN....822
Harput Kalesi (Elazığ) ve Çevresi Peyzaj Tasarım Projesi....835
Özcan SAĞLAM....835
Nurhan KOÇAN....835
Abdulsamet BAŞTEMUR....835
Investigation of Damages to Transportation Systems During 6 February´s Earthquake....850
Nuriye KABAKUŞ....850
Nathan Wankunda Mwasembe....850
Atık Seçimi İçin Gerekli Kriterlerin AHP Yöntemi Ile Değerlendirilmesi....860
Oğuzhan TURAN....860
Hasan Bilgehan KAPLAN....860
Mehmet Kaan TEMİZ....860
Mehmet PINARBAŞI....860
Materıal Tests Carrıed Out Durıng Interıor Product Development At Tofas Interıor Desıgn Admınıstratıon....869
Hami Güler....869
Teleferik Personeli İstekleriyle Vardiya Dengelemesi İçin Personel Çizelgelemesi....873
Muhammed Abdullah GENÇER....873
Hacı Mehmet ALAKAŞ....873
Mehmet PINARBAŞI....873
Tamer EREN....873
İlkay Sibel KERVANCI....883
Ankara İli Çubuk İlçesi Tarım İşletmelerinde Risk Yönetimi....889
Handan VURUŞ AKÇAÖZ....889
Remziye SUNA....889
Muhammet Murat ŞAN....889
Start-ups Collaboration Process Management for Companies....908
Mehmet Oğuz GAZİ....908
Her İki Ucu Konsol Mesnetlenen Düzgün ve Trapez Yüklü Derin Kirişlerin "Yer Değiştirme Potansiyeli" Yaklaşımını Kullanarak Gerilme Analizi....914
Muhammet DOĞAN....914
İrfan COŞKUN....914
Kentsel Demiryolu İstasyonlarında Temizlik Personeli Vardiya Çizelgeleme Problemi....924
Muhammed Abdullah GENÇER....924
Hacı Mehmet ALAKAŞ....924

Mehmet PINARBAŞI 924
Tamer EREN 924
Raylı Sistem Elektrik Tesislerinde Diferansiyel Röle Uygulamaları, ... 936
Güvenlik ve Sistem Performansının Artırılması 936
Uğur Ali KARATAŞ 936
Recep YUMURTACI 936
Furkan KARAKUŞ 936
Conceptual Design of an Innovative Railway Track Inspection Trolley System 969
Sezer ÖZGÜN 969
Hüseyin Rıza BÖRKLÜ 969
Numerical Investigation of a Slider Canopy Locking Mechanism 986
Furkan İPEKOĞLU 986
Sadettin ORHAN 986
L6-L7 Vehicles Low Voltage Harness Design 995
Hicran Altunpul 995
Alp Tekin Ergenç 995
Son Kilometre Teslimatında Karbon Ayak İzinin Azaltılması İçin Hibrit Scooter Modellemesi 1005
Mustafa Mert ŞENOL 1005
Alp Tekin ERGENÇ 1005

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Otomotiv Koltuklarında OCS Kullanımı

Ahmet SARI[1]
Mert MALKOÇ[2]
Mehmet ATCETER[3]

Abstract

In today's world, safety systems have become a crucial focus area in the development of automobiles. The utilization of airbags is essential for ensuring passenger safety, preventing many injuries and fatalities. However, improper airbag deployment can lead to injuries and deaths among vehicle occupants. Fatal accidents involving inappropriate airbag usage are more commonly observed in particularly infants and children passenger classes. Therefore, a new law was introduced in the United States in 2004. The law stipulates that if a child under the age of 6 is seated in the passenger seat, the airbag system in the vehicle must be deactivated and prevented from deploying. Automotive manufacturers developed the technology called Occupant Classification System (OCS) to enchance the passenger safety in the event of a crash. The main objective of the OCS is to improve the effectiveness of safety features within vehicles, particularly airbags. By accurately identifying the seating positions and characteristics of passengers, it ensures appropriate deployment or deactivation of airbags during a crash, thereby enhancing overall safety. This OCS technology distinguishes between childs and infants seated in the passenger seat and prevents injuries and fatalities that may occur due to the deployment of the airbag system in the event of a collision. This paper focuses on the OCS technology developed to enhance driver and passenger safety in the automotive sector. It will discuss what OCS technology in automotive seats is, how it operates, and will also address the importance of these systems in the automotive industry and their potential for future development.

Keywords: Vehicle crash, Airbag, Passanger safety, Occupant classification system, Occupant detection system

[1] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. Demirtaş Dumlupınar OSB, İstanbul Cd No:574, 16110 Osmangazi/Bursa
[2] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. Demirtaş Dumlupınar OSB, İstanbul Cd No:574, 16110 Osmangazi/Bursa
[3] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. Demirtaş Dumlupınar OSB, İstanbul Cd No:574, 16110 Osmangazi/Bursa

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Hızla büyüyen dünyada otomotiv sayılarının artması ile de beraber günümüzde trafik kazaları, ciddi yaralanmalar ve kazalar meydana gelmekte hatta ölümlere neden olabilen önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür kazalarda sık görülen yaralanmalardan biri de airbag'in (hava yastığının) açılması sonucu ortaya çıkar. Otomobil endüstrisi, sürücü ve yolcu güvenliğini arttırmak için yeni ve etkili çözümler aramaktadır. Bu çözümlerden biri de otomotiv koltuklarında kullanılan OCM (occupant classification module) sistemleridir.

Bu bildiri, otomotiv sektöründe sürücü ve yolcu güvenliğini arttırmak amacıyla geliştirilen OCM sistemlerine odaklanmaktadır. Otomotiv koltuklarındaki OCM sistemlerinin ne olduğunu, nasıl çalıştığını ve bu sistemlerin otomobil endüstrisindeki önemi ve gelecekteki gelişim potansiyeli de ele alınacaktır.

Bu bildiride çarpışma ve diğer kazalardan dolayı airbag açılmasının sonucundaki yaralanmalar ve can kayıpları hakkında farkındalık oluşturma ile airbag açılması sonucu başta çocuklar ve bebekler için olmak üzere yaralanma ve ölümleri önlemek veya azaltmak için otomobil üreticilerin geliştirdikleri OCM (occupant classification method) sistemlerinin uygulamalarını, ölümleri ve yaralanmaları nasıl azalttığı hakkında bilgiler verilmesi amaçlanmış, bildirinin okuyuculara yolcu koltuklarındaki OCM sistemleri hakkında bir bakış sağlayarak ışık tutması hedeflenmiştir.

Bu çalışma, otomotiv koltuklarının içinde bulunan OCM sisteminin ne olduğunu ve OCM sistemlerinin yolcuyu nasıl koruduğunu ve airbag sistemi ile bağlantısını içermektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma hazırlanırken ilk olarak literatür araştırması yapılmıştır. Bu literatür araştırmasında airbag sisteminin kontrolsüz açılması sonucu gerçekleşen yaralanmalar ve ölümler, bu yaralanmalar ve ölümleri oluşturan çoğunluk yolcu grubu, sonuçların nedenleri ve bu sonuçların önüne geçmek için geliştirilen OCM sistemleri incelenmiştir. Yapılan literatür araştırması ve proje incelemelerinden elde edilen bilgiler sentezlenerek bu yazı hazırlanmıştır.

Airbag sistemlerinin kullanılmaya başlanması yolcuların güvenliğini önemli miktarda arttırmıştır. Fakat, airbag sistemi aynı zamanda ölümcül kazalara yol açabilmektedir. Ulusal Karayolu Güvenliği İdaresi'ne (NHTSA) göre, 10 yıl içinde, 3.3 milyon airbag açılmıştır (NHTSA, 2002) [1] . Airbag sistemi 6000 kişinin hayatını kurtarmıştır ve olabilecek ölümcül yaralanmaların önüne geçmiştir. Ancak diğer istatistiklere göre, 1990 yılından itibaren 200 ölüm airbag sisteminin açılması sonucu gerçekleşmiştir. Bu ölümlerin çoğunu çocuklar ve bebekler oluşturmaktadır. Bu ölümlerin ve ölümcül yaralanmaların önüne geçmek için yeni teknolojiler geliştirilmelidir. Bu amaçla, U.S. NHTSA 208 numaralı Federal Motorlu Araç Güvenlik Standart'ını (FMVSS) çıkarttı. Bu standart, yolcu koltuğunda 6 yaşında bir çocuktan daha küçük bir yolcu oturduğunda hava yastığının otomatik olarak bastırılmasını zorunlu kılar. Ayrıca FMVSS No. 208, böyle bir sistemin, yolcu koltuğa oturduğu andan itibaren 10 saniye içinde hava yastığının etkinleştirilip etkinleştirilmeyeceğine karar vermesini zorunlu kılmaktadır.

(S.-J.LEE vd., 2011) [2]'ın araştırmasına göre, yolcu koltuğunda oturan çocuğun veya bebeğin güvenliği için, otomotiv üreticisi: a) dinamik otomatik bastırma [dynamic automatic suppression (DAS)] veya düşük riskli açılma [low-risk deployement (LRD)] özelliklerinden birini kullanmalıdır. LRD özelliği hava yastığının açılmasını engellemez fakat hava yastığının vereceği hasarı minimize ederek açılmasını sağlar. Ancak günümüzdeki hava yastığı

teknolojisi düşük riskli hava yastığının özelliklerini tam olarak sağlayamaz. Bu yüzden otomotiv üreticileri günümüzde dinamik otomatik bastırma özelliğine adapte olmaya çalışırlar. Bunun anlamı sistemin bir yolcu sınıflandırma sistemine sahip olması gerektiğidir. Böylece, hava yastığı bastırma sistemi tablo 1'deki gibi yolcuları 4 kategoriye sınıflandırmaktadır.

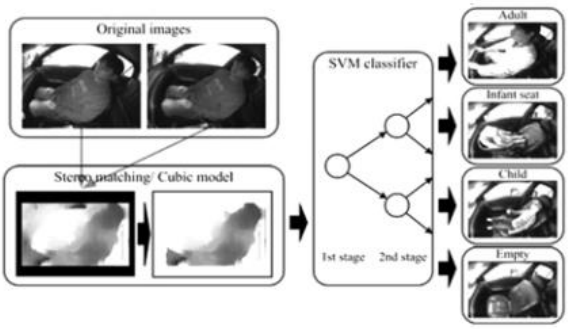
***Tablo 1**: Yolcuların Sınıflandırılması*

Class	Name	Description
0	RFIS	Rear facing infant seat
1	Child	<25.6 kg in weight & < 124.5 cm tall
2	Adult	>46.7 kg in weight & > 139.7 cm tall
3	Empty	Empty seat

OCM sistemleri, farklı sensör tiplerini içinde bulundurabilir, ancak temel olarak aynı işlevi yerine getirmektedirler. Yaygın olarak kullanılan OCM sistemleri, koltuğun oturma bölümünün altına yerleştirilen ve oturma bölümünde oluşan iki boyutlu basınç profilini ölçen sensörlerle, kütleyi ve pozisyonu saptamaya yarayan elektrik alanı ölçme sistemi ile, yolcunun ağırlığını ölçen gerinim ölçer (strain gauge) ile veya görüntü sensörleri ile sağlanabilir.

Görüntü sensörleri (kameralar) ve bilgisayar-stereo görüşü yardımıyla yolcuları sınıflandırmayı amaçlayan bir çalışmada, önce, farklı bir görsel hızlı bir mutlak farkın toplamı [SAD (Summation of absolute difference)] algoritması ile oluşturulur. Fakat,görsellerde gösterge paneli, pencereler ve kapı gibi önemsiz unsurlar da gözükür. Bu bilgiyi eleyebilmek için kübik bir model kullanılır. Sonrasında SVM (support vector machines) sınıflandırıcı farklılaşmış görselleri girdi olarak kullanır ve yolcuyu yetişkin, bebek koltuğu, çocuk veya boş koltuk olarak sınıflandırır. Görsel 2 bu sistemin yolcu sınıflandırmasının operasyon aşamalarını gösterir.

***Görsel 2:** Yolcu Sınıflandırmasının Operasyon Aşamalarını*



BULGULAR VE SONUÇLAR

OCM sistemleri, otomotiv endüstrisindeki önemli bir gelişmedir ve yolcu güvenliği konusunda büyük bir etkiye sahiptir. Bu sistemler, yolcu koltuğuna yerleştirilen çeşitli sensörler sayesinde oturan yolcuyu sınıflandırır ve bu sınıflandırmaya göre çarpışma anında hava yastığının açılıp açılmamasına karar verir ve yolcunun hava yastığının açılması durumunda yararlanmasını engeller. Gelecekte otomobillerde bu tür sistemlerin daha da geliştirilmesi ve daha efektif olması beklenmektedir.

Bu bildiri, otomotiv koltuklarında yer alan OCM [occupant classification module (yolcu sınıflandırma modülü)] sistemlerinin önemini ve işleyişini ele almıştır. OCM sistemleri, otomobil kazalarında yolcu güvenliğinde yolcu güvenliğini arttırmak için kullanılan etkili bir teknolojidir.

Otomobil üreticilerinin sürekli olarak yolcu güvenliği konusunda yaptığı iyileştirmelerin bir parçasıdır ve gelecekte daha da geliştirilecektir.

KAYNAKÇA

[1] (NHTSA, 2002)

[2] (S.-J.LEE, M.-S.JANG, Y.-G.KIM, & G.-T.PARK, STEREOVISION-BASED REAL-TIME OCCUPANT CLASSIFICATION SYSTEM FOR ADVANCED AIRBAG SYSTEMS, 2011, s. 425−432)

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Otomotiv Koltuklarında Emboss İşlemi

Mehmet ÖZKAN[1]
Mehmet ATCETER[2]

Abstract

An aesthetic appearance is one of the most important customer expectations in today's vehicles. The seats, which cover a large area in the vehicle and are in direct contact with the user, are among the components of critical importance in meeting this aesthetic expectation. Vehicle manufacturers aim to create a more aesthetic appearance by adding effects such as shapes, patterns and embossing to the seat covers of vehicles. The relief effect on seat covers of different types and colors can be achieved with applications called emboss. In these applications, the lamination sponge, which is a layer of the seat cover, is thinned using different methods. Thus, a relief effect is achieved in areas where the lamination sponge is not thinned. The most commonly used emboss applications by vehicle manufacturers are; The embossing process with hot layer is basically divided into three: embossing process with high frequency (electro-welded) and calender processing. Since the mentioned methods create the relief on the seat cover using different technologies, all three applications have their own usage areas, advantages and disadvantages. For this reason, vehicle manufacturers make a choice between hot layer, high frequency and calender processes, taking into account different parameters such as the shape, pattern and design of the relief they want to apply on the seat cover. In this study, different emboss methods were examined and compared with each other, taking into account parameters such as performance, applicability and cost. For this purpose, literature research was conducted and the information obtained from the studies carried out so far was compiled.

Keywords: Vehicle seat, Vehicle seat upholstery, Fabric, Emboss, Seat trim cover

[1] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. Demirtaş Dumlupınar OSB, İstanbul Cd No:574, 16110 Osmangazi/Bursa
[2] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. Demirtaş Dumlupınar OSB, İstanbul Cd No:574, 16110 Osmangazi/Bursa

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde, otomobil kabin tasarımının estetik ve fonksiyonel unsurları arasında önemli bir rol oynayan otomotiv koltukları, sadece ergonomi ve konfor açısından değil, aynı zamanda görsel çekicilik açısından da kritik bir bileşeni temsil eder. Koltukların dış yüzeyine özgün desenler, dokular veya marka logosu gibi öğelerin kazınması veya kabartılması aracı özelleştirir ve müşterinin beğenisini kazanmak için yapılırlar. Koltuk tasarımında bu özelliklerin kazandırılmasında kullanılan çeşitli süreçler arasında, embos işlemleri öne çıkmaktadır. Otomotiv koltuklarında embos işlemleri, estetik açıdan zenginleştirilmiş tasarımların yanı sıra, malzeme dayanıklılığı ve kalitesini artırma potansiyeli sunarak, otomobil iç mekanlarının genel niteliklerine katkı sağlamaktadır. Embos işlemleri üç temel yönteme ayrışabilir. Bu yöntemler sıcak tabaka, kalender ve yüksek frekans embos yöntemleridir. Bu giriş, otomotiv koltuk tasarımındaki embos işlemlerinin önemini vurgulayarak, bu alandaki araştırmaların ve uygulamaların çeşitliliğine dikkat çekmeyi amaçlamaktadır.

Bu bildirinin temel amacı, otomotiv koltuklarında kullanılan embos işlemlerinin tasarım ve üretim açısından sağladığı avantajları ve etkileri sistemli bir şekilde incelemektir. Embos işlemlerinin otomotiv koltuk tasarımındaki rolü, estetik katkıları, malzeme dayanıklılığına olan etkileri ve endüstriyel uygulamalardaki önemli kullanım senaryoları üzerine odaklanılacaktır. Ayrıca, bu işlemlerin otomobil iç mekanlarındaki genel tasarım trendlerine uyum sağlama yeteneği ve tüketiciler üzerindeki algısı gibi faktörler de değerlendirilecektir. Bu inceleme, otomotiv endüstrisinin yenilikçi koltuk tasarımında kullanılan embos teknolojileri konusunda daha geniş bir anlayış geliştirmeyi ve bu alandaki gelecekteki potansiyel gelişmeleri öngörmeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışma, otomotiv koltuklarında kullanılan farklı embos işlemlerinin temel prensipleri, uygulama alanları ve etkilerini içermektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma hazırlanırken ilk olarak literatür araştırması yapılmıştır. Bu literatür araştırmasında embos işleminin uygulanma amaçları, embos işlemlerinin nasıl gerçekleştirildikleri, gerçekleştirilen farklı işlemlerin kullanılma alanları, avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Yapılan literatür araştırması ve proje incelemelerinden elde edilen bilgiler sentezlenerek bu yazı hazırlanmıştır.

Araç koltukları, otomobil endüstrisinde güvenlik, konfor ve estetik açılardan önemli bir rol oynar. Güvenlik, kritik bir faktör olup, koltukların sağlam bir yapıya sahip olması ve çarpışma durumlarında yolcuları koruyacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Aynı zamanda, konfor da sürücü ve yolcuların uzun süreli kullanımlarda rahat bir deneyim yaşamalarını sağlamak adına dikkate alınmalıdır. Ergonomik destek, uygun dolgunluk ve kumaş seçimi gibi faktörler konforun temel unsurları arasında yer alırken, estetik ise aracın iç mekan tasarımında önemli bir görsel unsurdur.

Koltuk kılıfları, konfor ve estetik açıdan araç içi deneyimi büyük ölçüde etkiler. Doğru kılıf seçimi, kullanıcıya yumuşak bir dokunuş ve ergonomik destek sunarken, aynı zamanda aracın iç mekanını kişiselleştirerek estetik bir değer katmaktadır. Ayrıca, koltuk kılıfları, orijinal koltuk kumaşlarını koruyarak temizlik ve bakım açısından da önemli bir rol oynar.

Koltuk kılıflarının yapısı ve üretimi, dikkatle tasarlanmalıdır. Kaliteli malzemelerin kullanılması ve dikişlerin sağlam bir şekilde yapılması, kılıfların dayanıklılığını artırır ve uzun ömürlü olmalarını sağlar. Üretim sürecinde, ölçümler hassas bir şekilde alınmalı ve kesim

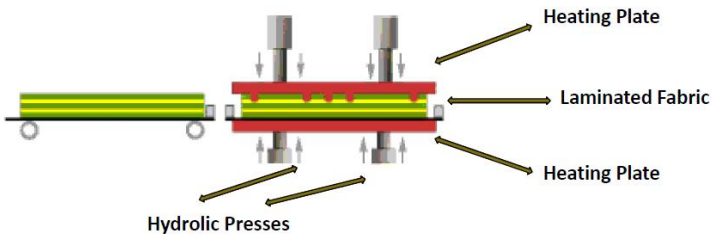
işlemleri titizlikle gerçekleştirilmelidir. Son olarak, koltuk kılıflarının koltuğa giydirilme süreci de önemlidir. Doğru montaj, kılıfların düzgün ve sıkı bir şekilde oturmasını sağlar, böylece kullanım esnasında kayma veya kırışma gibi sorunlar önlenir.

Sonuç olarak, araç koltukları ve koltuk kılıfları, güvenlik, konfor ve estetik açılarından titizlikle tasarlanmalı ve üretilmelidir. Bu unsurların bir araya gelmesi, sürücüler ve yolcular için keyifli ve güvenli bir sürüş deneyimi sağlar.

Bir kaynakta (fibre2fashion, 2009) [1] verilen açıklamalara göre; kabartma "Embossing", ısı ve basınç uygulanarak ürün yüzeyine görüntüler ve desenler oluşturulan bir tekniktir. Doğal ve zarif bir süreç olan kabartma, üzerinde uygulandığı malzemenin doğasını değiştirir. Aynı zamanda "Blind Printing" ve "Relief Printing" olarak bilinen bu yöntem, herhangi bir yüzeye tasarım, dekorasyon veya desenin yaratıcı bir izlenimini sağlar. Kabartma sürecinde, kabartılan malzemenin yüzeyi yükselerek nesneye yeni bir boyut ekler. Kabartma, kağıt, metal, tekstil gibi çeşitli malzemeler üzerinde uygulanabilir.

Başka bir kaynaktaki (glossariz, 2023) [2] açıklamaya göre; Kabartma, sıcaklık, basınç ve oyulmuş makaralar kullanılarak kumaşın yüzeyine yükseltilmiş bir tasarım veya desen oluşturma sürecini içeren bir tekstil bitirme yöntemidir. Kabartmanın sonucu, kumaşa dokular ve derinlik ekleyen üç boyutlu bir yüzey etkisidir. Bu yöntem genellikle sentetik liflerden yapılmış kumaşlarda kullanılır, ancak pamuk, yün ve ipek gibi doğal liflerde de uygulanabilir. Kabartma, sentetik ve doğal lifler üzerinde gerçekleştirilebilir, ancak genellikle sentetik liflerle kullanılır. Sıcak tabaka ile kabartma işlemi (Hot emboss) süreci basit ancak detaylıdır ve oyulmuş desenlere sahip makaraların kullanımını içerir. Kumaş bu makaralardan geçirilir, ardından makaralar belirli bir sıcaklığa ısıtılır ve tasarımın kumaşa transfer edilmesi için yüksek basınç altında yerleştirilir. Basınç, tasarımın kumaşa doğru şekilde transfer edilmesini sağlamak için belirli bir süre boyunca korunur.

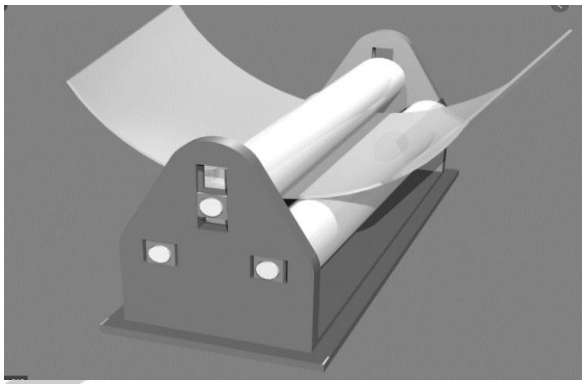
Görsel 1: *Sıcak Tabaka Emboss İşlemi*



Bu teknoloji sayesinde kumaşlar ve sentetik deriler kabartılır ve gerçek derinin taklidi için en maliyet-etkin çözüm olarak kabul edilir.

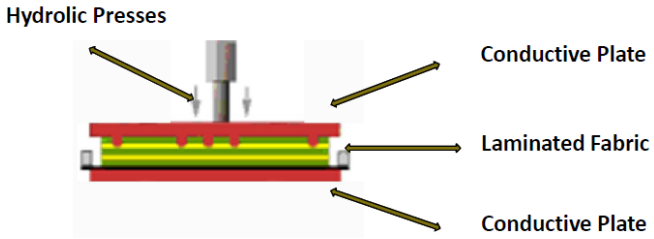
Bir başka kaynaktaki (Sayed, 2014) [3] açıklamaya göre; önemli bir başka embos işlemi ise kumaş üzerine basit bir desenin kazınabildiği özel takvimleme işlemidir. Makine, ısıtılmış çelikten yapılmış ve kağıt veya pamukla kaplanmış başka bir tambura basılan kabartılmış bir makaradan oluşur. Makaranın çevresi, metal makaranın tam bir katıdır. Dişli bir sistem, makaraların koordineli hareketini sağlar, kaymalarını önler ve desenli tasarımın keskin bir şekilde kazınmasını sağlar. Desen kazındıktan sonra, yüksek sıcaklıkta uygun bir işlem veya uygun kimyasal maddelerin uygulanmasıyla desen sabitlenebilir. Bu işlem, yün dışındaki tüm lif türlerinden yapılmış kumaşlara uygulanabilir. Isıl plastik liflerden yapılmış kumaşlara uygulandığında, bu işlem ön işlem olarak kabul edilir. Doğal liflerden veya ısıl plastik olmayan yapay liflerden yapılmış işlenmemiş kumaşlara uygulandığında kalıcı değildir; ancak bu kumaşlar belirli kimyasal reçinelerle işlenirse, kabartma ön işlem olarak kabul edilir.

Görsel 2: *Kalender Embos İşlemi*



Son olarak (Sackmann vd.,2014) [4]'nin açıklamalarına göre, ultrasonik sıcak kabartma "yüksek frekans embos", mikro sıcak kabartma ile benzerlik gösteren, ancak polimerin ısınmasının ultrason tarafından oluşturulduğu bir süreçtir. Bu teknik, bir plağı veya her biri 50-400 µm kalınlık aralığında olan bir dizi polimer folyoyu, dışa çıkık mikro yapılarla bir araca yerleştirmeyi içerir. Bir ticari ultrasonik kaynak makinesinin sonotrodu, örneği araca bastırır ve dışa çıkık yapıların örnekle temas ettiği yerde sürtünme ısısı üreten ultrasonik titreşimler yaymaktadır. Bir dizi polimer folyo kullanıldığında, folyolar arasında sürtünme de üretilir ve bu da yığının içinden ısınmasına neden olur. Bu şekilde, ısı dağılımı üzerinde kontrol elde edilir. Daha fazla ısı gerektiren yerlerde, daha fazla ve daha ince folyolar yığına yerleştirilmelidir. Geliştirilmiş ısı üretimi nedeniyle, bir folyo yığını, daha az ultrasonik güç, daha az bastırma kuvveti ve daha kısa sürede kabartılır.

Görsel 3: *Yüksek Frekans Embos İşlemi*



Embos yöntemi, kumaş veya deri gibi malzemelerin üzerine desenler veya şekillerin yükseltilmiş bir şekilde işlenmesiyle yapılan bir süsleme tekniğidir. Bu yöntem, koltuk kılıfları gibi çeşitli tekstil ürünlerinin estetik görünümünü artırmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Embos işlemi, malzemenin yüzeyine uygulanan ısı ve basınç yardımıyla desenin belirginleşmesini sağlar.

Koltuk kılıflarına yapılan embos işlemlerinin en yaygınları sıcak tabaka kabartma, kalender ve yüksek frekans embos işlemleridir. Bu işlemlerin her birinin avantajları ve dezavantajları vardır. Yöntemlerin seçimi maaliyetlerine, işlem zamanlarına veya beklenen kabartma kalitesilerine göre değişebilir. Maaliyet ve zaman açısından bakıldığında en verimli embos yönteminin sıcak tabaka embos işlemi olduğu yorumu yapılabilir. Bu yüzden koltuk kılıfı imalatında en çok kullanılan yöntemdir denebilir.

(Deshmukh vd.,2020) [5]'ne göre, günümüzde mikro bileşen talebi sürekli artmaktadır, bu nedenle maliyet ve zaman açısından daha az maliyetli ve zaman alıcı bir süreç geliştirmek giderek daha önemli hale gelmektedir. Maaliyet ve zaman açısından, Hot Embossing, mikro bileşenlerin kitlesel üretimi için en iyi replikasyon tekniklerinden biridir. Hot Embossing'de genellikle PMMA, PC vb. gibi polimerler, iş malzemesi olarak kullanılır. Bu replike edilmiş yapılar, MEMS uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Tek aşamalı sıcak embosajda göz önünde bulundurulan parametreler: uygulanan basınç, ısıtma sıcaklığı, embosaj

süresi ve kalıptan çıkarma sıcaklığıdır. Rulo Sıcak Embosaj durumunda incelenen başlıca önemli işlem parametreleri; rulo hızı, rulo sıcaklığı ve uygulanan basınçtır.

(Schift vd., 2006) [6]' nin çalışmasına göre; kalender embos "roll embossing" işlemi de sanayide kullanılan önemli başka bir işlemdir. Sentetik lif teknolojisinin ilerlemeleri genellikle lif yüzeyinin genişletilmesine dayanmaktadır. Ancak, mevcut teknolojinin iki temel dezavantajı bulunmaktadır: Profilleme sadece spinleme yönünde gerçekleşir (uzunlamasına profilleme) ve profilleme doğruluğu spinneret nozullarının üretim doğruluğu, fiber şekillendirme malzemesinin viskozitesi ve ekstrüzyon sürecindeki gevşeme tarafından sınırlanır. Bu dezavantajları aşmak için, lif yüzeyinin istenilen topografik yapıya kavuşturulması için roll embossing (web embossing) yöntemi önerilmektedir. Bu yöntem, termoplastik bir malzemenin bir silikon kalıp üzerine yerleştirilerek lif yüzeyine şekil verilmesini içerir. Roll embossing, büyük yüzey alanlarının kalıplanması için endüstriyel ölçekte oldukça uygun bir süreçtir. Sentetik liflerin yapısının geliştirilmesi için, liflerin yüzeyine istenen desenin aktarılmasını sağlayan bir teknoloji olarak rol oynamaktadır. Bu, tekstillerin su emme kapasitesini artırması, lifler arasındaki sürtünmeyi artırarak dayanıklılığı artırması veya biyomedikal uygulamalarda kontrol edilebilir hücre büyümesi olan stentler veya yapay dokuların üretimi gibi birçok uygulamada kullanılabilir.

Embos yöntemi, koltuk kılıfları endüstrisinin yanı sıra giyim ve deri sektörlerinde de yaygın olarak kullanılan bir süsleme tekniğidir. Giyim endüstrisinde, embos yöntemi genellikle deri ceketler, çantalar, ayakkabılar ve kemerler gibi deri ürünlerinin tasarımında kullanılır. Bu teknik, deri veya suni deri malzemelerin üzerine desenlerin işlenerek ürünlere benzersiz bir dokunuş katılmasını sağlar. Ayrıca, giyimde farklı kumaşlar üzerinde de embos yöntemiyle desenler oluşturulabilir, böylece tekstil ürünlerinin görsel çekiciliği artırılabilir. Deri sektöründe ise, embos yöntemi genellikle deri ürünlerin üzerine marka logoları, desenler veya özel tasarımların işlenmesinde kullanılır. Bu şekilde, ürünlere özgünlük ve değer katılırken, aynı zamanda estetik ve prestij sağlanır. Embos yönteminin bu sektörlerdeki kullanımı, ürünlerin daha çekici ve dikkat çekici olmasını sağlamanın yanı sıra, tasarım ve kalite açısından da farklılık yaratır.

BULGULAR VE SONUÇLAR

Sonuç olarak, otomotiv endüstrisinde koltuk kılıflarının tasarımında kullanılan embos işlemleri, estetik açıdan zenginleştirilmiş tasarımların yanı sıra malzeme dayanıklılığını ve kalitesini artırma potansiyeli sunmaktadır. Bu çalışma, embos işlemlerinin temel prensiplerini, uygulama alanlarını ve etkilerini sistemli bir şekilde incelemiştir.

Otomobil iç mekanlarının genel niteliklerine katkı sağlayan bu işlemler, sıcak tabaka, kalender ve yüksek frekans embos yöntemlerini içermektedir. Her bir yöntemin avantajları ve dezavantajları bulunmakla birlikte, maaliyet ve zaman açısından en verimli yöntemin sıcak tabaka embos işlemi olduğu görülmüştür. Sıcak tabaka embos işlemi, maliyet etkinliği ve kolay uygulanabilirliği açısından öne çıkmakta, bu da onu otomotiv koltuk tasarımında tercih edilen bir seçenek haline getirmektedir. Sıcak tabaka embos ve yüksek frekans embos işlemlerinin, kullanım alanlarının benzerlikleri sebebiyle yüksek frekans embos yöntemi de sıcak tabaka embos yerine tercih edilebilen başka bir uygulamadır ve kullanımı giderek artmaktadır. Diğerlerinden yöntem olarak daha ayrışan kalender embosun kullanım alanı diğer yöntemlere göre farklılaşabilir.

Araştırma, embos yönteminin otomotiv endüstrisindeki önemini vurgulamış ve bu yöntemin estetik katkıları, malzeme dayanıklılığına olan etkileri ve endüstriyel uygulamalardaki önemli kullanım senaryoları üzerinde durmuştur. Embos teknolojilerinin, otomobil iç mekanlarının tasarımında ve üretiminde kilit bir rol oynadığı ve gelecekteki potansiyel gelişmelerde önemli bir faktör olacağı belirtilmiştir.

Ayrıca, embos işlemlerinin otomotiv endüstrisindeki kullanımının yanı sıra, giyim ve deri sektörlerinde de yaygın olarak kullanıldığına dikkat çekilmiştir. Bu sektörlerde embos

yönteminin, ürünlere benzersiz bir dokunuş katarken aynı zamanda estetik ve prestij sağladığı belirtilmiştir.

Sonuç olarak, embos işlemlerinin otomotiv endüstrisindeki ve diğer sektörlerdeki önemi ve kullanım alanları detaylı bir şekilde incelenmiş ve embos teknolojilerinin gelecekteki potansiyel gelişmeler açısından önemli bir rol oynayabileceği vurgulanmıştır. Bu çalışma, embos işlemlerinin geniş bir anlayışını sağlayarak, endüstrideki yenilikçi koltuk tasarımı ve üretimi için bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

[1] (The Elegant Art of Textile Embossing, 2009)
[2] (What is embossing, 2023)
[3] (Sayed, 2014)
[4] (Sackmann, ve diğerleri, 2014, s. 189-199)
[5] (Deshmukh & Goswami, 2020, s. 1-9)
[6] (Schift, ve diğerleri, 2006, s. 855-858)

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Koltuk Döşemelerinin Isı ve Nem Koşulları Altında Renk Ölçümleriyle Aşınma Değerlendirilmesi

Seray AKSOY[1]
Behçet BECERİR[2]

Abstract

In the automotive industry, textiles are used in many places and components within the vehicle. The car seat is one of the most important components where textile is used. Seat has different parts such as backrest, cushion, headrest and armrest. These textiles, namely upholsteries, are technical textiles and are produced in many varieties such as woven, knitted, leather and non-woven surfaces. Since the vehicles are outdoor products, the seats may be exposed to abrasion, heat and moisture for long times. At the same time, since it is a component that the user comes into direct contact with, it has many expectations in terms of both aesthetics and functionality. Therefore, there are many performance expectations from seat upholsteries, and many tests and evaluations are applied to seat upholsteries in order to simulate the use of the end user. The most important of these is exposure to abrasion, heat and humidity. The most important aspect is to protect of the upholsteries' current status. This study was focused on the comparison of upholstery exposed to heat and moisture before abrasion. In the experimental research, images of each sample were taken and the differences in colour coordinates were compared. The results were reported as colour differences to investigate the effects of external factors on seat upholstery.

Keywords: Automobile seat upholstery, Conditioning of seat upholsteries, Abrasion, Colour measurement, Colour difference, Stereoscope measurement

[1] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. Demirtaş Dumlupınar OSB, İstanbul Cd No:574, 16110 Osmangazi/Bursa
[2] Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Görükle, Bursa

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Otomotiv sektöründe tekstiller araç içerisindeki birçok komponentte kullanılmaktadır. Bunlar teknik tekstil başlığı altında toplanmaktadır. Koltuk komponentinde kullanılan döşemelik kumaşlar da bu başlık altında yer almaktadır. Koltuk döşemelik kumaşı kullanıcı ile direkt olan temas eden bölgeler ve direkt olarak temas etmeyen bölgeler olarak ayrılmaktadır. Direkt olarak temasta olan bölgelerdeki döşemelik kumaşlar üst kumaş-laminasyon süngeri-astar olacak şekilde üçlü bir katmandan meydana gelen teknik tekstillerdir (Fung, W. ve Hardcastle M. (2001). Textiles in Automotive Engineering (1. Baskı). İngiltere: Woodhead Publishing Limited). Bu döşemelik kumaşlardan performans olarak birçok özellik beklenmektedir. Geç tutuşurluk, aşınma dayanımı, renk dayanımı, ısı ve neme karşı dayanım bunların başında gelmektedir. Araçlar uzun süreler dış ortamda bulunarak ısı ve neme maruz kalırlar ve bunlara karşı olan dirençleri müşteri ile buluşmadan önce kullanım durumunu simüle ederek birçok teste maruz kalırlar ve müşteri ile kullanıma hazır hale getirilirler (A. R. Horrocks and S. C. Anand, Handbook of technical textiles. Elsevier, 2000).

Araçlardaki koltuk döşemeliklerinde kullanılan kumaşların yaklaşık olarak %28'ini düz dokumalar, %34'ünü çözgü örmeler, %16'sını kadife dokumalar, %11'ini yuvarlak örmelere ve geri kalanını deri oluşturmaktadır (Oğulata T., Mezarcıöz S., Technical Textiles- Their Usage As Bus Seat Upholstery Fabric And Test Procedures Applied, The Journal of Textiles and Engineers, 2011). Dokuma kumaşlar, genellikle iki ana iplik türü olan atkı ve çözgü iplikten oluşur. Atkı iplikleri, kumaşın genişliği boyunca yatay olarak geçirilirken, çözgü iplikleri, kumaşın uzunluğu boyunca dikey olarak geçirilir. İpliklerin bu çapraz geçişi, kumaşın dayanıklılığını artırır ve çeşitli desenler ve dokular oluşturmak için kullanılabilir. Örme kumaşlar, birbirine dolanmış ipliklerin birbirleriyle bağlanmasıyla oluşturulan bir kumaş türüdür. Bu iplikler, birbirleriyle yan yana veya çapraz olarak geçirilerek bir örgü oluştururlar. Örme işlemi, bir ipliğin diğerinin etrafına dolaştırılmasıyla gerçekleşir, bu da kumaşın esnekliğini ve streç özelliğini artırır. Dokuma kumaşlara göre daha esnek yapıya sahiptir (Grebe, R.T.; Automotive textiles requirements and performance profiles. Melliand International, 2000, 6, 226-228).

Koltuk döşemeliklerinde en üst katmanda yer alan kumaşlarda araştırmalara göre %95 oranında poliester lifleri kullanılmaktadır. Poliester kumaşlar, kırışıklıklara dayanıklı, uzun ömürlü ve bakımları kolay olan bir lif tipidir ve bu sebeple otomotiv koltuklarında sıkça kullanılır. Poliesterin yüksek UV direnci, yüksek aşınma dayanımı ve nispeten pahalı olmayan fiyatı diğer kullanımda olan liflere nazaran belirgin olan yerini korumaktadır. Araba koltuk döşemelikleri için poliesteri ideal yapan diğer özellikleri ise yüksek yırtılma dayanımı, küfe dayanımı, daha kolay temizlenmesini sağlayan düşük nem absorpsiyonu, mükemmel esnekliği ve kırışma dayanımıdır (R. Shishoo, "Textile Advances in the Automotive Industry" (2008)), (https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=13895).

Poliester lifleri, sentetik liflerdir ve termoplastik özellik gösterirler bununla birlikte diğer sentetik liflere göre ısıya daha dayanıklıdır. Bununla birlikte, poliesterin ısıya dayanımı, kullanılan özel poliester türüne, liflerin kalınlığına ve işleme yöntemine bağlı olarak değişebilir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılacak ürünlerde, poliesterin ısıya dayanıklılığı dikkate alınmalı ve üretici tarafından sağlanan talimatlara uyulmalıdır. Aynı zamanda poliester lifleri genel olarak neme dayanıklıdır, ancak bu dayanıklılık lifin yapısına, işlenme yöntemine ve son ürünün kullanım koşullarına bağlı olarak değişebilir. Poliester lifleri, suya karşı doğal bir direnç gösterir ve genellikle neme karşı oldukça iyi bir performans

sergilerler (ISO 105-B02 Tests for colour fastness-Part B02: colour fastness to artificial light: xenon arc fading lamp test).

Bu çalışmada ısı, nem ve aşınmaya maruz kalan otomotiv koltuk döşemelerinde kullanılan poliester dokuma ve örme kumaşların performanslarının renk değişimlerine göre karşılaştırılması amaçlanmıştır. Müşteri ile direkt olarak temasta bulunan bu kumaşların, müşteriye gönderilmeden önce bu değerlendirmelere maruz bırakılması ürün kalitesi ve beklentileri karşılar seviyeye getirilmesi konusunda büyük önem taşımaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada otomotiv koltuk döşemeliklerinde kullanılan bir dokuma kumaş tipi bir de örme kumaş tipi ele alınmıştır. Kumaşların özellikleri alt tabloda gösterildiği şekildedir.

***Tablo 1** – Kumaş Özellikleri*

Özellikler/Kumaşlar	**Kumaş 1**	**Kumaş 2**
Kumaş Tipi	Dokuma	Örme
Dokuma Tipi	Armür	-
Örgü Tipi	-	Yuvarlak
Gramaj	≥225g/m^2	≥190 g/m^2
Malzeme	%100 PES	%100 PES
İplik Numarası	75 denye	110 dtex
Lif Sayısı	36	36
Lif Denyesi	2	3
Renk	Siyah	Siyah
Laminasyon Çeşidi	Alevli laminasyon	Alevli laminasyon
Laminasyon Sünger Kalınlığı	2 mm	2 mm

Kumaşların ısı ve nem performanslarını anlamak adına ısı ve nem kabin cihazları kullanılmış olup fabrika şartları alt tablodaki gibidir.

***Tablo 2** – Isı ve Nem Şartları*

Isı şartları	80^{o}C 24 saat
Nem şartları	40^{o}C 200 saat %90 nem

Kumaşlar aşınma dayanımlarını test etmek için Taber cihazına maruz bırakılmıştır. Taber Aşınma Testi tekstil, plastik, kaplama ve diğer yüzeyler dahil olmak üzere malzemelerin aşınma direncini değerlendirmek için kullanılan standart bir yöntemdir. Adını bu amaçla kullanılan test makinesi olan Taber Abraser'dan almıştır. Test, aşınma direncini ve dayanıklılığını değerlendirmek için malzemenin kontrollü koşullar altında aşınmaya tabi

tutulmasını içerir. Taber cihazında örme kumaşlarda 300, dokuma kumaşlarda 600 çevrim uygulanmaktadır.

Isı, nem ve Taber'e maruz kalan kumaşlar arasındaki durumları gözlemlemek için renk farkına ve görsel değerlendirmeye bakılmıştır. Renk ölçüm cihazı olarak Datacolor 600 TM renk ölçüm cihazı, görsel değerlendirme içinde ZEISS 50x Stemi 508 stereoskop görüntü büyütme cihazı kullanılmıştır.

BULGULAR VE SONUÇLAR

Otomotiv koltuk kumaşı olarak kullanılan 1 adet dokuma ve 1 adet örme kumaş mevcut durumda ve ısı-neme maruz bırakıldıktan sonra Taber'e tabii tutulmuş ve sonuçlar renk ölçüm cihazına göre karşılaştırılmıştır. Alt tablolarda kumaş tiplerinin Taber, Isı ve Neme verdikleri tepkilerin sonuçları verilmiştir.

Tablo 3 *– Renk Ölçüm Sonuçları*

	L*	a*	b*	C*	h°	Delta E*
Kumaş 1	17,83	0,12	-0,57	0,59	281,32	4,98
Kumaş 1-Taber sonrası	22,75	0,13	0,21	0,25	58,68	

	L*	a*	b*	C*	h°	Delta E*
Kumaş 1-Isıya maruz bırakılmış	18,08	0,15	-0,70	0,72	282,35	6,82
Kumaş 1-Taber sonrası	24,86	0,18	0,08	0,19	22,99	

	L*	a*	b*	C*	h°	Delta E*
Kumaş 1-Neme maruz bırakılmış	17,97	0,09	-0,60	0,61	278,21	6,83
Kumaş 1-Taber sonrası	24,76	0,18	0,09	0,20	25,29	

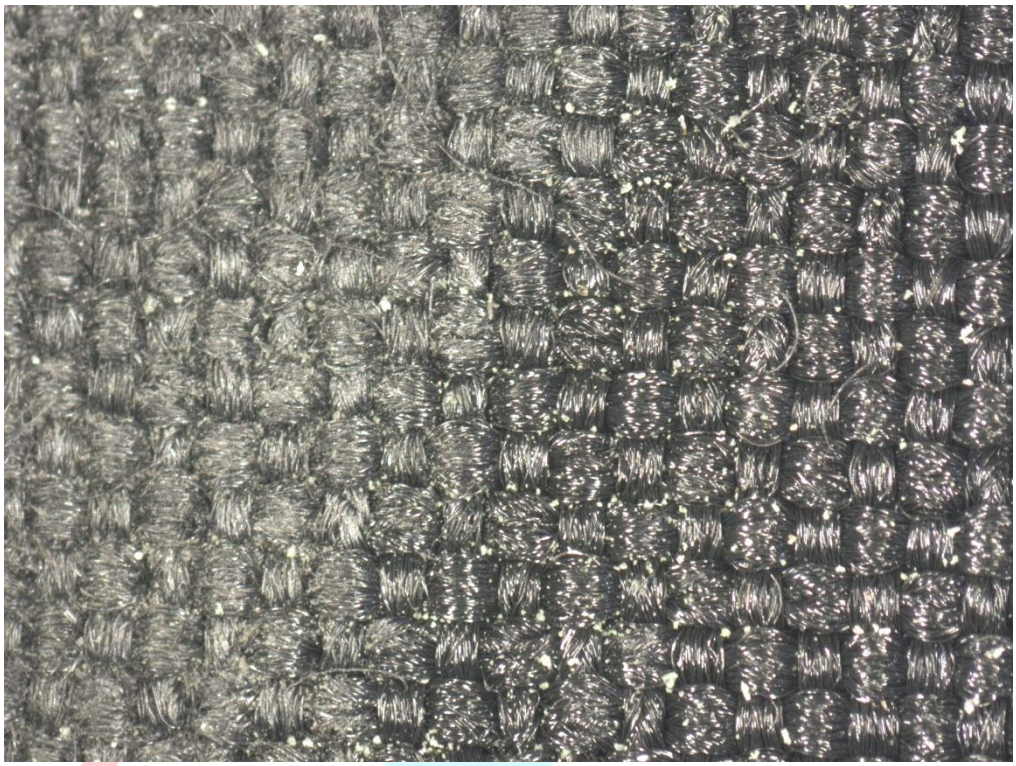
	L*	a*	b*	C*	h°	Delta E*
Kumaş 2	18,28	0,17	-0,22	0,28	306,85	2,42
Kumaş 2-Taber sonrası	20,64	0,08	0,32	0,33	75,83	

	L*	a*	b*	C*	h°	Delta E*
Kumaş 2-Isıya maruz bırakılmış	18,31	0,22	-0,40	0,46	299,38	3,87
Kumaş 2-Taber sonrası	22,11	0,25	0,28	0,37	48,02	

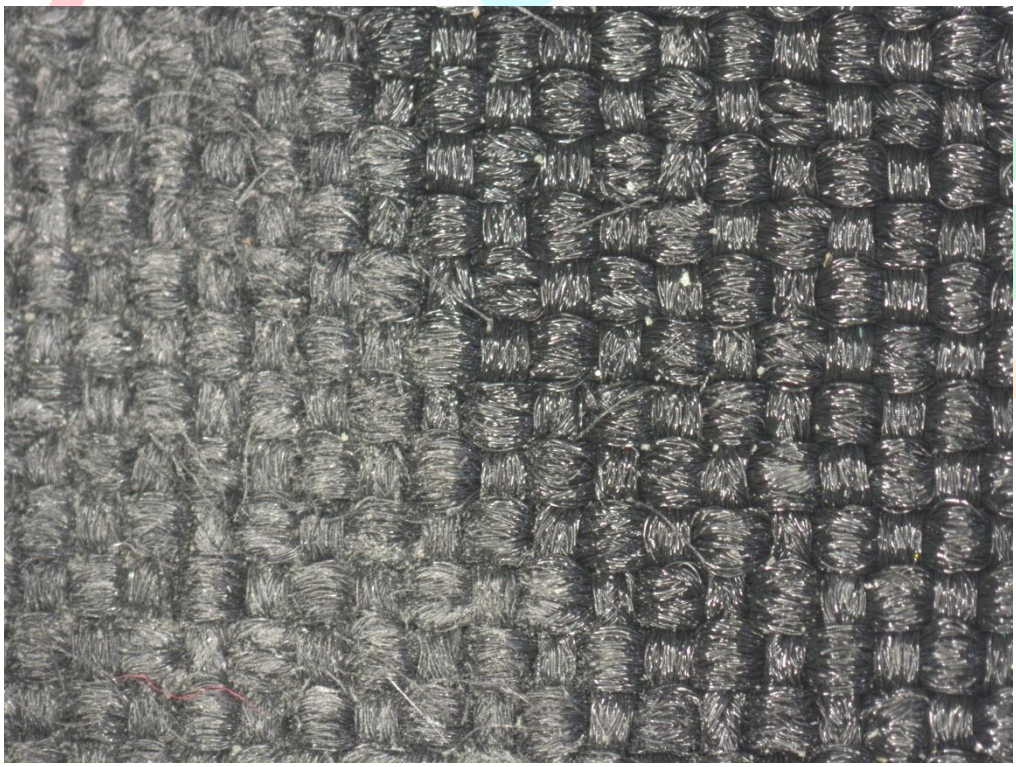
	L*	a*	b*	C*	h°	Delta E*
Kumaş 2-Neme maruz bırakılmış	18,08	0,18	-0,29	0,34	300,76	4,35
Kumaş 2-Taber sonrası	22,38	0,22	0,34	0,41	57,70	

Tablolardan da görüleceği Delta E dediğimiz renk kaybını gösteren değer; Kumaş 1 (Dokuma) için kendi içinde ısı ve neme maruz bırakıldıktan sonra mevcut haline göre Taber'den daha yüksek oranda etkilenmiştir. Kumaş 2 (Örme) de de yine ısı ve neme maruz bırakıldıktan sonra mevcut durumuna göre Taber'den etkilenme oranı daha yüksektir. Kumaş 1 ve Kumaş 2 karşılaştırıldığında ise görülüyor Taber sonrası her kumaşta renk açı değişimi olmuştur fakat 2 nolu kumaşta renk açı değişimi daha yüksekken renk kaybı 1 nolu kumaşta daha yüksektir. Bu sonuçları karşılaştırmalar alınan görseller ile de desteklenmiştir.

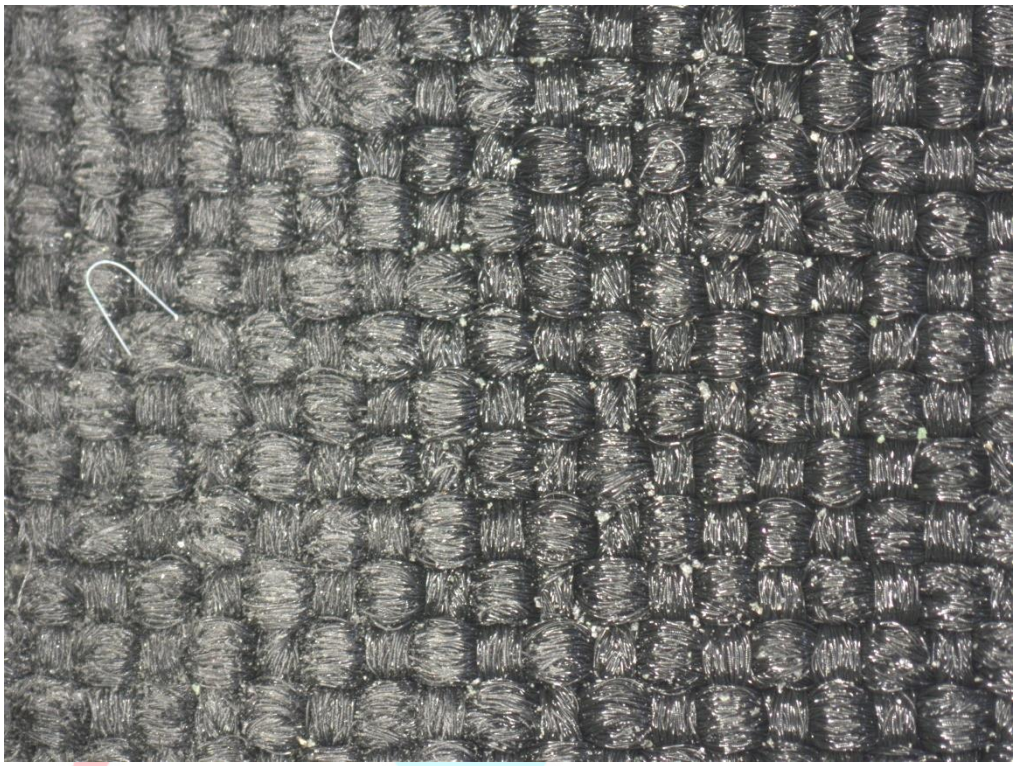
Görsel 1 *– Kumaş 1 Mevcut Durum (sağ) Taber Sonrası (sol)*



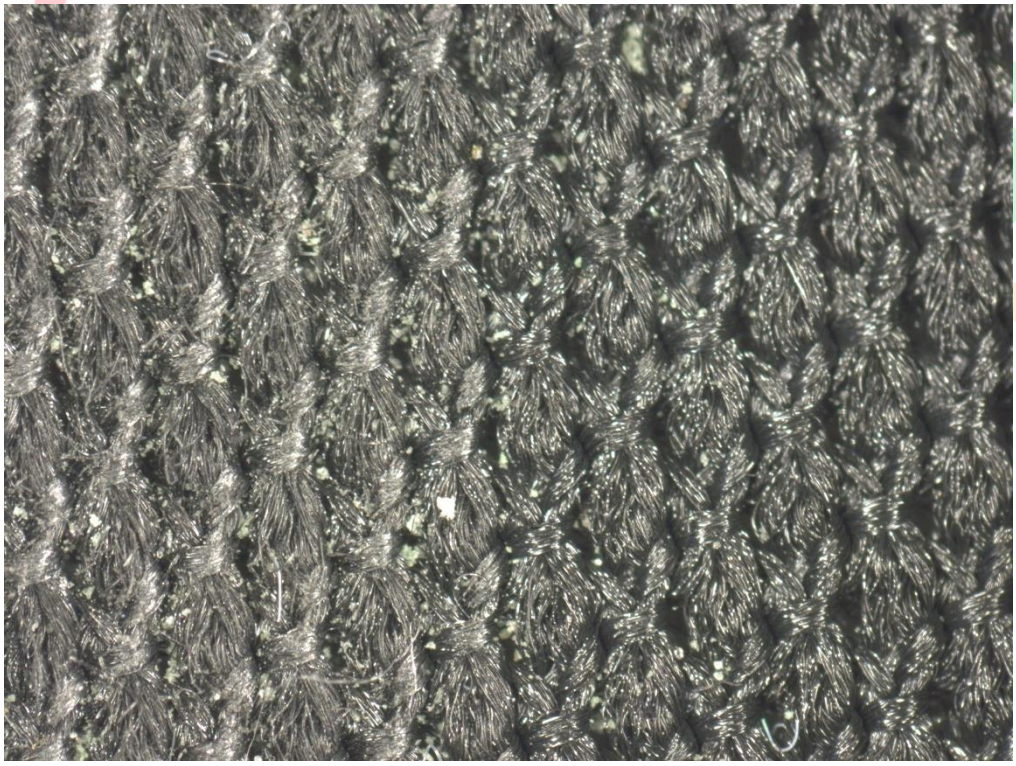
Görsel 2– *Kumaş 1 Isıya Maruz Kalmış (sağ) Taber Sonrası (sol)*



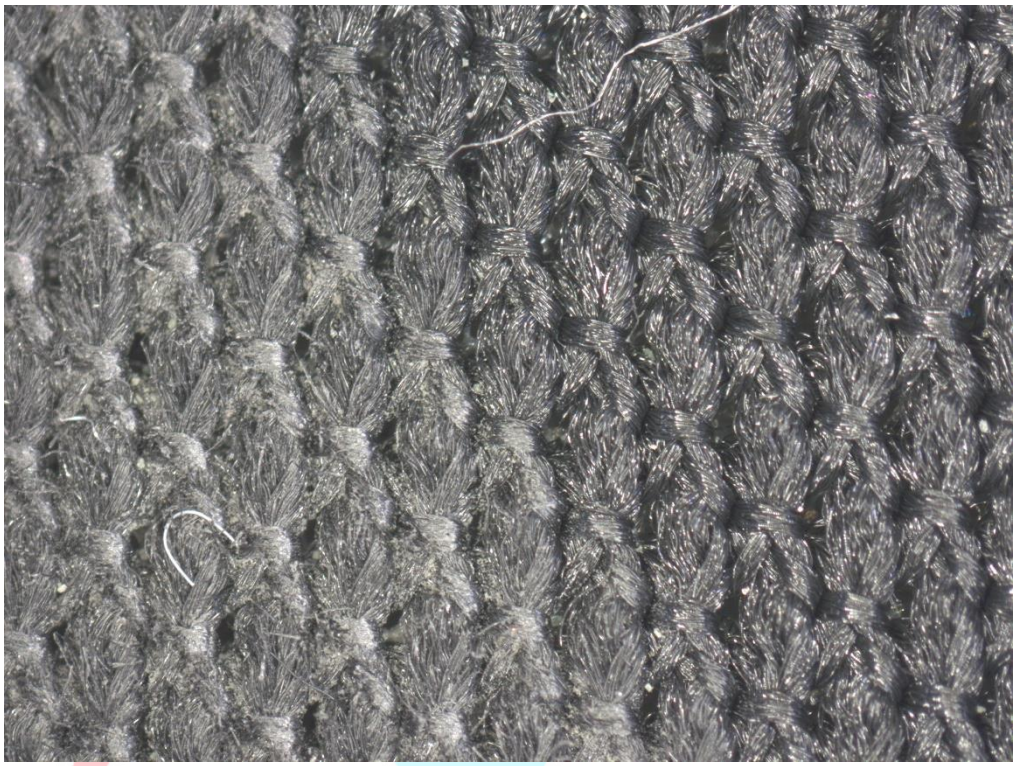
***Görsel 3** – Kumaş 1 Neme Maruz Kalmış (sağ) Taber Sonrası (sol)*



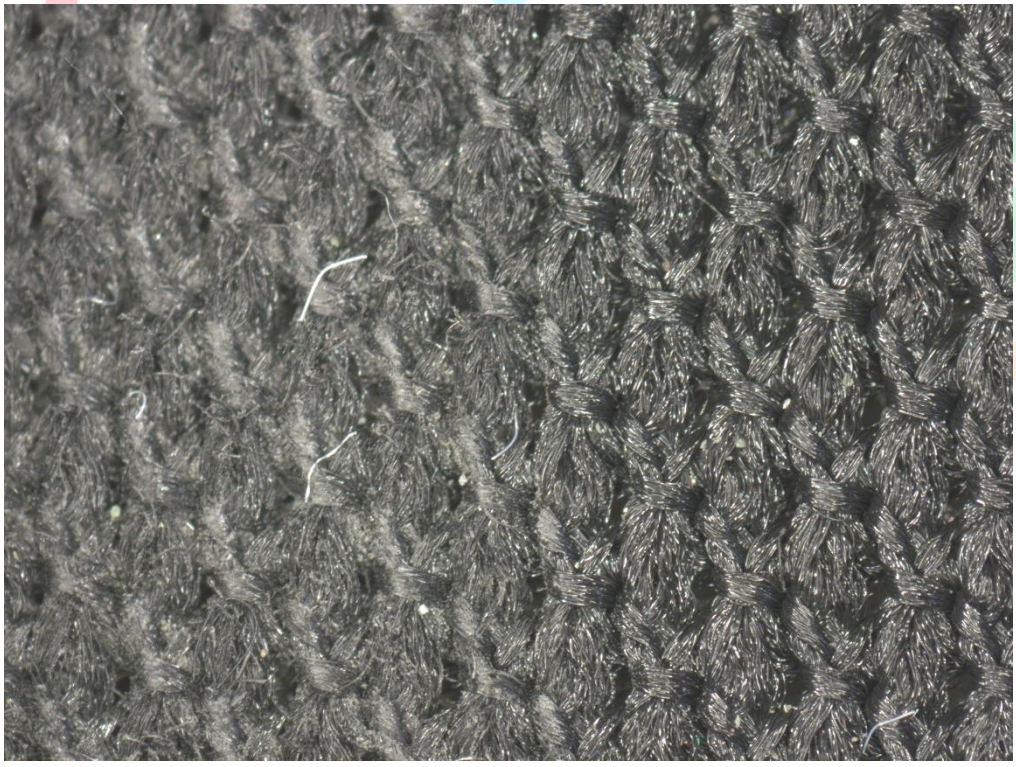
***Görsel 4** – Kumaş 2 Mevcut Durum (sağ) Taber Sonrası (sol)*



***Görsel 5** – Kumaş 2 Isıya Maruz Bırakılmış (sağ) Taber Sonrası (sol)*



***Görsel 6** – Kumaş 2 Neme Maruz Bırakılmış (sağ) Taber Sonrası (sol)*



TARTIŞMA

Elde edilen verilere göre otomotiv koltuk kumaşlarında kullanılan kumaşların lif özellikleri ve kumaş tipleri oldukça önem taşımaktadır. Isı ve nem şartlarına dayanım gösteren poliester liflerinin kullanımının yanı sıra kumaşın dokuma ve örme olması da dayanım üzerinde etkilidir. Isı ve nem sonrası her kumaş Taber'den yüksek oranda etkilenirken; örme kumaşlarda renk kaybının dokuma kumaşlara göre daha iyi olduğu fakat renk açı değişiminde dokumaya göre az da olsa daha yüksek olduğu görülmüştür. Müşteri beklentilerini karşılamak, aşınma ve renk kaybının önüne geçmek için kumaş tiplerine göre seçimler yapılması önem taşımaktadır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

[1] Fung, W. ve Hardcastle M. (2001). Textiles in Automotive Engineering (1. Baskı). İngiltere: Woodhead Publishing Limited.

[2] A. R. Horrocks and S. C. Anand, Handbook of technical textiles. Elsevier, 2000.

[3] Oğulata T., Mezarcıöz S., Technical Textiles - Their Usage As Bus Seat Upholstery Fabric And Test Procedures Applied, The Journal of Textiles and Engineers, 2011

[4] Grebe, R.T.; Automotive textiles requirements and performance profiles. Melliand International, 2000, 6, 226-228.

[5] R. Shishoo, "Textile Advances in the Automotive Industry" (2008).

[6] https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=13895

[7] ISO 105-B02 Tests for colour fastness-Part B02: colour fastness to artificial light: xenon arc fading lamp test.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

The Effect of Seat Position on the Driver's View

Muhammed Ali VURAL[1]

Abstract

The main objective of ergonomics research in the automotive industry is to identify possible ergonomics problems in early phases. Companies avoid financial losses by correcting issues before they reach production stage. The use of human modeling in ergonomic analysis started in the 1950s. Digital human models have been created as a result of technological advancements in human modeling. Nowadays, RAMSIS and JACK are the most popular digital human modeling software programs.

Many studies have been carried out on vehicle ergonomics. These include topics such the ideal driving position prediction software, the ideal driver seat design, and driver's view. Nevertheless, there isn't one study that focuses at the relation between driver's view and vehicle seat position.

In this study, the effect of vehicle seat position on driver's view was examined. Analyzes were carried out using the Jack 9.0 for the driver's view performance. Two different digital human models (DHMs) which called 50% male and 5% female utilized for the evaluations, as these models are still frequently used in ergonomics researches today. For these digital human models, three distinct seat positions—designated 1, 2, and 3—were established. The driver's view was examined by placing digital human models in the selected seat positions. As a result of the analysis, the effect of seat position on the driver's view was determined and detailed in the study.

Keywords: Ergonomics, View, Digital Human Model, Virtual Analysis, JACK

[1] Vehicle Ergonomics Engineer, TOFAS, R&D

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Introduction

Today, ergonomics processes begin early in the vehicle manufacturing process. The reason for this, ergonomics analyzes aim to detect problems in early stages of vehicle design. While major changes in vehicle design are possible in the early stages, it is possible to make small changes in vehicle design when it comes to the pre-study and industrialization phase of the design process. Furthermore, the cost of design modifications rises directly proportion to the vehicle's production processes advancement. A schematic representation of the vehicle design process and modification costs is shown in Figure 1 (Falck et al., 2009).

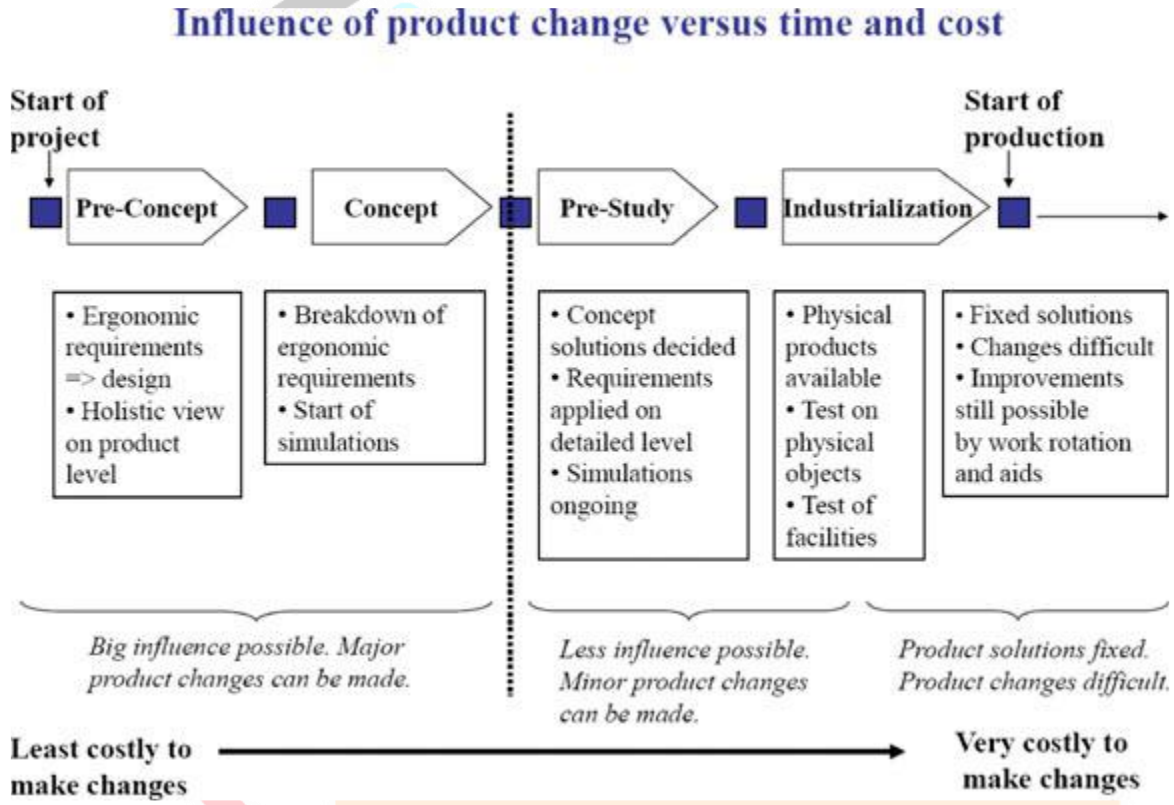


Figure 1: Vehicle Design Process and Design Modifications Costs

Performing ergonomics analyzes with human modeling is based on ergonomics evaluations made with the 2-D template created by Dempster in 1950 (Dempster, 1955). Human modeling has improved with developing technology. Nowadays, virtual analyzes are carried out with human modeling programs. The two that are most commonly utilized are RAMSIS and JACK.

Numerous research projects have examined driver position and seat comfort in vehicles. Matthew P. Reed et al. developed a program called Cascade Prediction Model (CPM) using the data they obtained from a laboratory study in which 68 drivers participated. It is possible to acquire different people's eye, hip, and seat positions with this model. However, the Cascaded Prediction Model was created using automatic transmission cars and drivers within a specific age range as reference, it is unable to produce conclusive findings (Reed et al., 2002).

Jashwinder et al. concluded that vehicle seats should be designed according to human body contours. Furthermore, they stated that vehicle seats should be designed to provide head

and neck support. These supports assist in reducing the risk of head and neck injuries (Jhinkwan et al., 2014).

S.Gowtham et al. conducted a research on the seat comfort of bus drivers in India. As a result of the RULA (Rapid Upper Limb Assesment) analysis they conducted for five different drivers, they concluded that bus seats do not provide universal comfort and people within a certain body size range (28% of SAE anthropometry) feel more comfortable (Gowtham et al., 2020).

Tülin Gündüz Cengiz et. al. conducted a study on vehicle driver seat comfort. 55 participants drove for at least 150 minutes, during which time they were questioned on the comfort of the driver's seat. The results of the research showed that as drivers' driving time increased, their level of seat comfort decreased. Additionally, it was shown that individuals who were overweight provided greater ratings for seat comfort than those who were a normal weight (Gunduz Cengiz et al., 2016).

Donald D. Harrison et al. carried out a research on the optimal vehicle driver's seat. As a result of their study, they describe the optimal vehicle driver's seat; seat back has a 100° angle with the horizontal, the seat height is adjustable, the inclination of the seat bottom cushion is adjustable, it has hard foam in the seat bottom cushion, it has vibrating and vertically adjustable lumbar support, two-sided arm rests are adjustable, the headrest is adjustable, it has absorbers that dampen a certain frequency range and it has linear movement (Harrison et al., 2000).

In the C. Ruspa et al. study, twenty participants drove six distinct cars with four different driving scenarios within a virtual reality simulator. They transferred data which obtained from VR to the Jack, they examined the driver's view at critical moments in different driving scenarios. As a result of the study, while no difference was observed in the route where the same driver used different vehicles, differences were observed in the route where two different drivers using the same vehicle. Additionally, driver's view variations have been observed in different vehicles and drivers at critical moments in the task (Ruspa et al., 2007).

In this study, driver's view will be examined for three different seat positions, using 5% female and 50% male human models. The aim of the study is to examine the effect of vehicle seat positions on driver's view and evaluate the results.

2.Method

The Jack 9.0 software was employed to carry out virtual analysis. In the analyses, 5% female and 50% male DHMs were used. Table 1 shows the height and weight data for the DHMs utilized in the research. Digital human models of various sizes are used in order to conduct analysis that includes the majority of drivers of vehicles.

Table 1- Digital Human Models Height and Weight Data

	Height (mm)	Weight (kg)
5% Female	153	51
50% Male	175	79

The digital human models were placed in the position which called driving position in the Jack program. The DHMs and driving postures used in the analysis are shown in Figure 2.

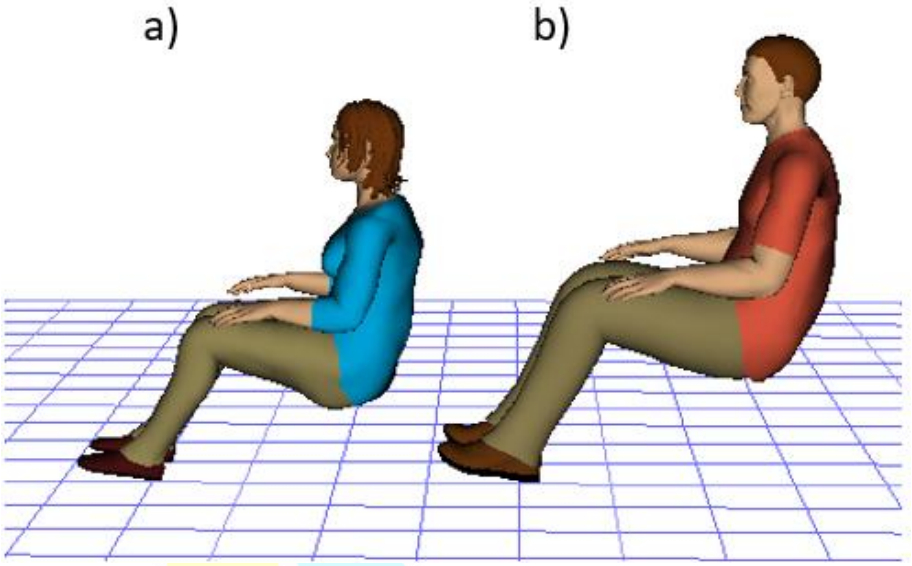


Figure 2: Digital Human Models a)5% Female b)50% Male

The DHMs used in the analysis were seated in different three positions. These positions are defined respectively as follows.

1: Frontward
2: Nominal
3: Rearward



Figure 3: Seat Positions

During the driver's view analysis, the virtual environment established in the Jack program was used.

3.Result and Discussion

JACK 9.0 was used to carry out virtual analyses with 5% female and 50% male, respectively, by adjusting the seat positions to 1, 2, and 3. The driver's views obtained from the analysis are given in Figures 5 and 6, respectively, for 5% female and 50% male. While driver's views was evaluated, the visibility of pedestrians, strollers, cars and traffic lights were examined.

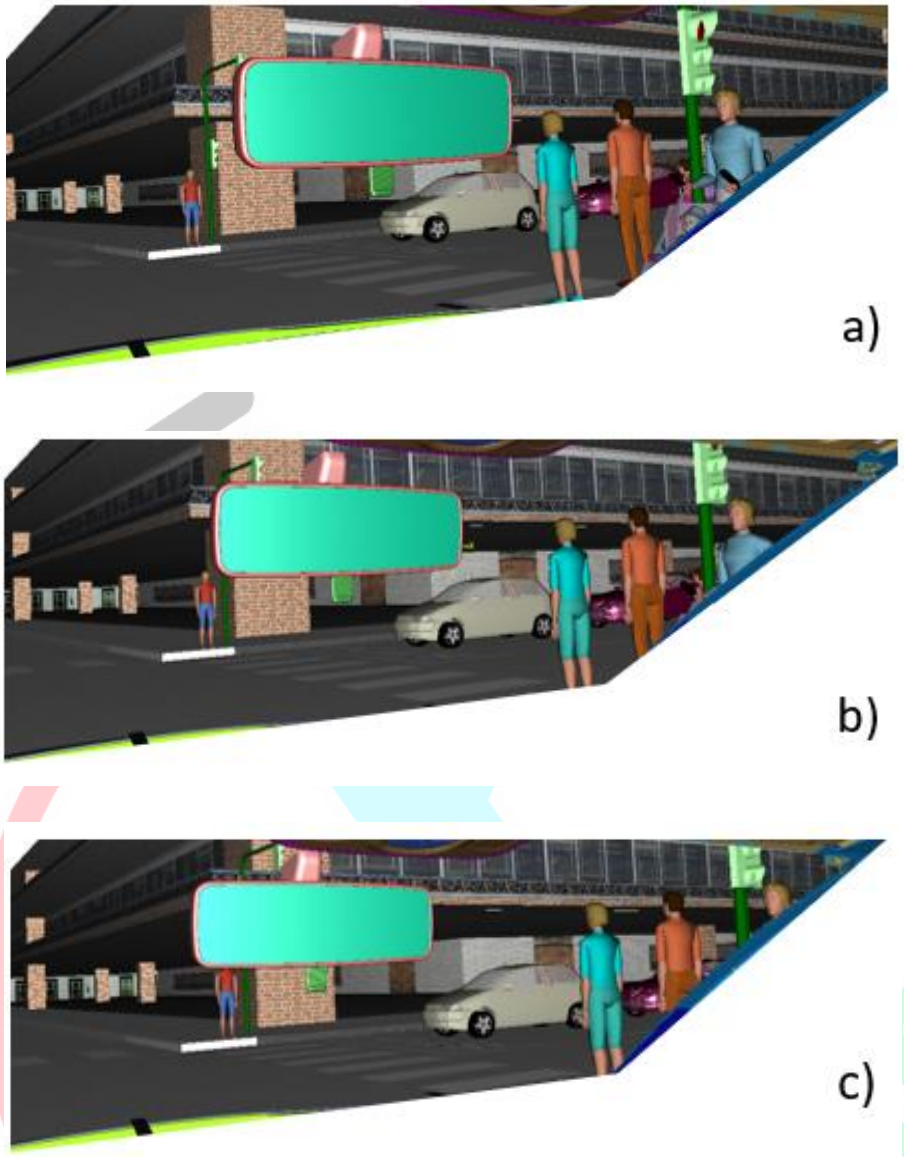


Figure 5: Driver's Views for 5% Female a)Seat Position 1 b)Seat Position 2 c)Seat Position 3

When 5% female driver's view is evaluated in seat position 1, DHM can see the stroller and the traffic light placed the right side of the vehicle. Additionally, the DHM can see other vehicles and pedestrians waiting at the light on the road to its right. When driver's view is evaluated in seat position 2, the traffic light's visibility which is placed the right side of the vehicle is reduced compared to Position 1, but the stroller is not visible. In addition, the DHM can see other vehicles and pedestrians waiting at the light on the road to its right. When driver's view is evaluated in seat position 3, the stroller and traffic light placed the right side of the vehicle are not visible. While the DHM can see other vehicles waiting at the light on the road to its right, the pedestrian's visibility is reduced compared to Position 2.

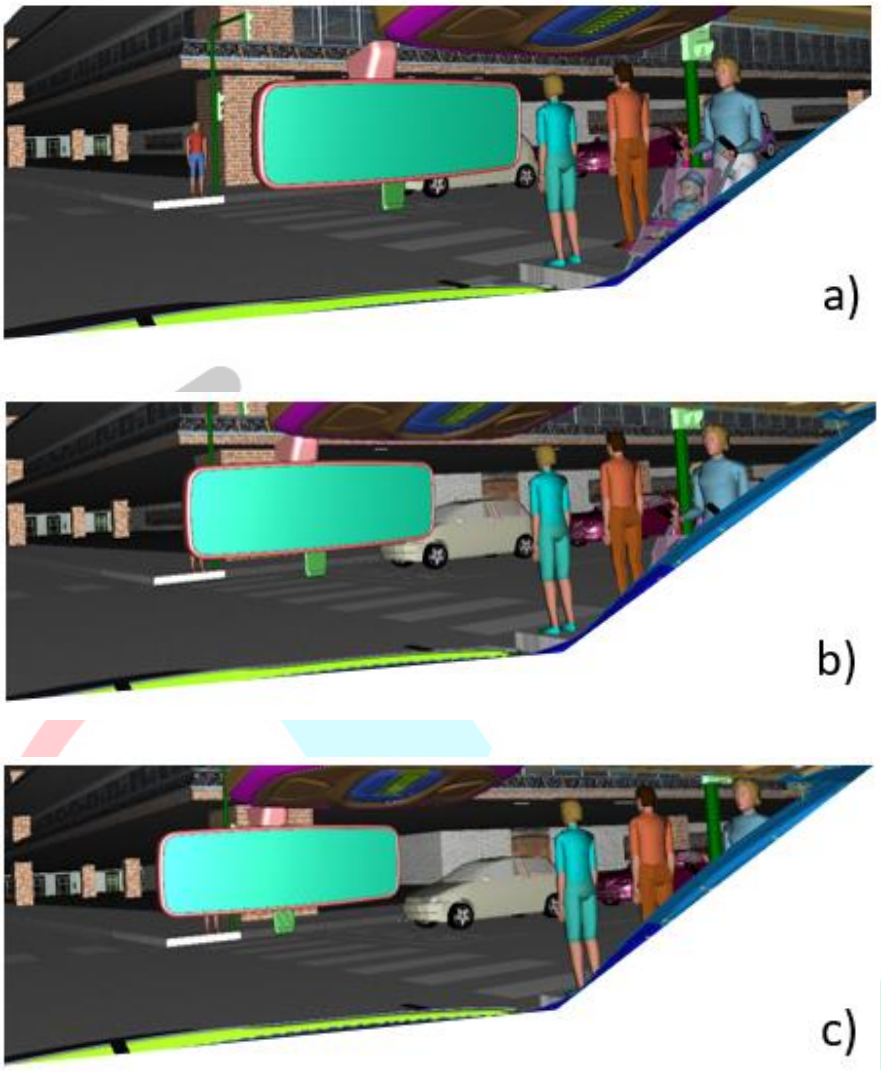


Figure 6: Driver's Views for 50% Male a)Seat Position 1 b)Seat Position 2 c)Seat Position 3

When 5% female driver's view is evaluated in seat position 1, DHM can see the stroller which is placed the right side of the vehicle, but the traffic light is not visible. While the DHM can see pedestrian waiting at the light on the road to its right, the other vehicle's visibility is reduced compared to Position 2. When driver's view is evaluated in seat position 2, the stroller's visibility which is placed the right side of the vehicle is reduced compared to Position 1, but the traffic light is not visible. In addition, the pedestrian which waiting at light on the road to its right is not visible, but the other vehicle's visibility increases compared to Position 1. When driver's view is evaluated in seat position 3, the stroller and traffic light placed the right side of the vehicle are not visible. While the pedestrian which waiting at light on the road to its right is not visible, the other vehicle is visible.

4. Conclusion

This research confirms that there is a relation between seat position and driver's view. When the driver's view of 5% female and 50% male DHMs is evaluated, the driver's view varies depending on the difference in seat position. This shows that, in addition to the physical comfort of the driver, driver's view should be taken into account when defining the ideal driving position.

ISBN: 978-625-372-170-1

REFERENCES

Falck, A., Örtengren, R., & Högberg, D. (2010). The impact of poor assembly ergonomics on product quality: A cost–benefit analysis in car manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 20*.

Dempster, W.T. (1955). SPACE REQUIREMENTS OF THE SEATED OPERATOR, GEOMETRICAL, KINEMATIC, AND MECHANICAL ASPECTS OF THE BODY WITH SPECIAL REFERENCE TO THE LIMBS.

Reed, M. P., Manary, M. A., Flannagan, C. a. C., & Schneider, L. W. (2002). A statistical method for predicting automobile driving posture. *Human Factors, 44(4), 557–568.*

Jhinkwan, A., & Singh, J. (2014). Design Specifications and Ergonomic Evaluation of Car Seat (A Review). *International journal of engineering research and technology, 3*.

Gowtham, S., Ramnaath, M., Sudharsan, S., Lalith Kumar, B.V., Praneeth, V., Dinesh, S., & Subramaniyam, M. (2020). Seating comfort analysis: a virtual ergonomics study of bus drivers in private transportation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 912*.

Gunduz Cengiz, T., Sarı, S., & GÜNAY, İ. (2016). Car Seat Comfort by Measuring Interface Pressure and Using Subjective Evaluation System in Road Trials / Yol Denemelerinde Arayüz Basınç Ölçümü ve Öznel Değerlendirme Sistemi Kullanarak Oto Koltuğu Konforu. International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 4(4), 172-184.

Harrison, D.D., Harrison, S.O., Croft, A.C., Harrison, D.E., & Troyanovich, S.J. (2000). Sitting biomechanics, part II: optimal car driver's seat and optimal driver's spinal model. *Journal of manipulative and physiological therapeutics, 23 1*, 37-47.

Ruspa, C., Quattrocolo, S., & Bertolino, D. (2007). Virtual Tool for the Evaluation of the Visibility during Critical Driving Tasks.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Energy Consumption and Cost Comparison of Air-Cooled and Single-Phase Immersion Liquid-Cooled Data Center White Spaces

Meltem AGAOGLU[1]
Derya Burcu OZKAN[2]

Abstract

The aim of this study is to compare energy consumption and cost of an air-cooled data center white space and a single-phase immersion liquid-cooled data center white space. There are few studies on single-phase immersion liquid cooling and comparison of both cooling types for data centers. In this study, two different data center white spaces are designed in Istanbul with the same 4 MW ICT load. In the first system, ICT equipment is located inside racks and data center environment is kept at 24°C in order to cool the ICT equipment. CRAH units supply cold air with water coil inside. In the second system, ICT equipment is immersed in tanks, filled with dielectric fluid. CDU units, which are embedded in tanks, cool the dielectric fluid with a water coil inside. Water loop interacting with air is adjusted to 18°C-24°C whereas water loop interacting with dielectric fluid is adjusted to 26°C-32°C. Considering ASHRAE data for Istanbul, both systems will require free cooling chillers but liquid-cooled system will use free cooling at greater range of ambient temperatures than air-cooled system, decreasing the total consumed power of free cooling chillers. In the end of this study; utilizing liquid cooling, decreases energy consumption for cooling and operating cost of cooling elements by %24 but increases investment cost of cooling elements by %56 compared to air cooling. It creates a more energy efficient data center environment, but with a higher cost that can redeem in 17 years.

Keywords: Data center, air cooling, single-phase immersion liquid cooling, energy consumption, cost

[1] MSc., Yildiz Technical University, Mechanical Engineering, meltem.agaoglu@std.yildiz.edu.tr
[2] Prof. Dr., Yildiz Technical University, Mechanical Engineering, tumer@yildiz.edu.tr, Orcid: https://orcid.org/0000-0002-9959-0287

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Günümüzde, internetten bir bilgi arandığında bilgiye hemen erişilebilir, çevrimiçi bankacılık ile bankaya gitmeye gerek kalmadan uzaktan hizmet alınabilir, mağazalara gitmeden çevrimiçi alışveriş sitelerinden hızlıca alışveriş yapılabilir. Basit görünen bu işlemleri, milyonlarca insan aynı anda gerçekleştirir ve tüm bu işlemler saniyeler içinde sürer. Tüm bu hızlı çevrimiçi işlemler, verilerin "veri merkezi" dediğimiz yerlerde depolanması, işlenmesi ve bizlere ulaşmasıyla sağlanır. (Patankar, 2010: 1)

Veri merkezleri, ICT (Information and Communication Technology) ekipmanları olarak adlandırılan bilgi ve iletişim teknolojilerine dair bilgisayar, depolama ve ağ ekipmanlarını içeren tesislerdir. Bu tesislerde veriler düzenlenir, işlenir, depolanır ve dağıtılır. Dolayısıyla veri merkezleri, insanların değil; bilgi ve iletişim teknolojileri ekipmanlarının yaşam alanları olarak ifade edilebilir.

Veri merkezlerinin kesintisiz çalışabilmesi en önemli hususdur, çünkü bir kesinti tüm verilerin kaybolmasına sebep olabilir. Bu sebeple veri merkezlerinde mimari, elektrik, mekanik, yangın, telekomünikasyon, güvenlik gibi disiplinler birbirlerini desteklemelidir.

Verileri işlemek ve depolamakla görevli sunucular, yüksek miktarda ısı üretir. Bu noktada mekanik disiplin devreye girer. Yüksek miktarda üretilen ısıyı uzaklaştırmak, sunucuların ve diğer elektrikli cihazların sağlıklı çalışmasını sağlamak, uygun hava akışıyla bu soğutma sistemini pekiştirmek son derece önemlidir. Soğutma sistemleri, bir veri merkezinin toplam elektrik tüketiminin %40'lık dilimini kapsar. (Hnayno vd., 2022a: 1)

Soğutma sistemleri temelde ikiye ayrılır: Hava soğutmalı sistemler ve sıvı soğutmalı sistemler. Geleneksel soğutma şekli, havayla soğutmadır. Bu tip soğutma sistemlerinde sunucular, kabinetler içinde yer alır ve ortam, şartlandırılmış havayla istenen sıcaklığa getirilir. Sıvıyla soğutmada ise ortama şartlandırılmış hava sağlanmaz. Sunucular, elektrik iletmemesi için geliştirilen bir dielektrik sıvı aracılığıyla ısısını atar.

Zamanla veri merkezlerine olan ihtiyaç artmaktadır. Böylece daha çok veri merkezi kurmak yerine, aynı alan içinde daha yüksek güç kurulumuna sahip ve gelecek büyümelere uyum sağlayabilen veri merkezleri kurmak yaygınlaşmıştır. Bu amaçla mikroişlemcilerin ve dolayısıyla sunucuların gücü artmaktadır. (*The Definitive Guide to Immersion Cooling*, 2023: 2) Havaya göre ısı transfer kabiliyeti daha yüksek olan dielektrik sıvıyı içeren sıvı soğutmalı sistemlere yönelim de böyle başlamıştır.

Hava soğutmalı sistemlerde, sunucuları soğuturken düşük sıcaklıkta ve yüksek hızda hava üflemek gerekir. Öte yandan bu çalışmada dikkate alınan sıvı soğutmalı sistemlerden biri olan daldırmayla sıvı soğutmada, daha yüksek sıcaklıkta ve düşük hızda dielektrik sıvı döngüsü sağlanarak doğal veya zorlanmış taşınımla ısı transferi gerçekleştirebilir. (Chi vd., 2014: 3) Daha yüksek sıcaklıktaki dielektrik sıvıyı soğutmak için gönderilen su devresi aynı oranda daha yüksek sıcaklıkta olabildiğinden, doğal soğutmadan daha çok yararlanılabilir. Bu durumun, enerji tüketiminde büyük tasarruf sağladığı ancak daldırmayla sıvı soğutmada kullanılan özel ekipmanlar nedeniyle ilk yatırım maliyeti yüksek bir uygulama olduğu başka çalışmalarda belirtilmiştir.

Bu çalışmada hava soğutmalı ve tek fazlı daldırmayla sıvı soğutmalı iki ayrı veri merkezi beyaz alanı tasarımı yapılmıştır. Diğer çalışmalar genelde tek soğutma tipine yönelmiş veya veri merkezi tasarımı yapmadan küçük alanlarda ısı transferi konularına odaklanmıştır. Bunun eksiliği üzerine bu çalışmada, gerçek uygulamalara yakın bir veri merkezi beyaz alanı tasarımı yapılmış, gelecekte yaygınlaşacağı öngörülen daldırmayla sıvı soğutma sisteminin

esasları ortaya koyulmuş, geleneksel soğutma tipi olan havayla soğutmayla karşılaştırılarak ilerideki çalışmalara yön vermesi ve endüstriye katkıda bulunması amaçlanmıştır.

1. YÖNTEM

Havayla soğutmalı ve daldırmayla sıvı soğutmalı iki farklı veri merkezinde de, sunucuların elektrik gücü 2 kW olacak ve veri merkezlerinin toplam ICT elektrik gücü 4000 kW olacak şekilde sabit tutulmuştur. Sunucular tükettikleri elektrik gücü kadar duyulur ısı yayarlar. (Rasmussen, 2017: 3) Dolayısıyla uzaklaştırılması gereken ısı miktarı da sabittir.

İki ayrı veri merkezi de İstanbul-Atatürk Havalimanı yakınında bulunmaktadır. ASHRAE iklimsel tasarım şartları verilerine göre İstanbul için n=50 senelik maksimum ve minimum sıcaklık verileri temel alınmıştır. (ASHRAE Climatic Design Conditions, 2021) Bu veriler aşağıdaki gibidir:

Tablo 1. ASHRAE İklimsel Tasarım Şartları

ASHRAE İKLİMSEL TASARIM ŞARTLARI		
Konum Bilgileri		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Konum		İstanbul-Atatürk Havalimanı
Enlem	N	40,967
Boylam	E	28,817
Rakım	m	33
Ekstrem Yıllık Tasarım Şartları		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Sene	n	50
Max. KT	°C	39
Min. KT	°C	-10,1
Max. YT	°C	28,3
Min. YT	°C	-10,6

İki ayrı veri merkezinin soğutma ekipmanlarının tasarımını tamamlayabilmek için yedeklilik seviyesi standardı belirlenmelidir. Bir veri merkezi tasarımı yapılırken, veri merkezindeki olası bir kesintinin oluşturacağı sorunlara gösterilen hassasiyete göre bir yedeklilik seviyesi belirlenir. ANSI/TIA-942 standardı, veri merkezlerini 4 seviyeye göre sınıflandırır. Tier-I basit sistem, Tier-II yedekli ekipmanlı sistem, Tier-III eş zamanlı bakım yapılabilir sistem ve Tier-IV bir hataya dayanıklı sistemi oluşturur. Bu seviyeler göz önüne alındığında hem iyi bir yedeklilik seviyesi sağlamak hem de aşırı maliyet oluşturmamak için Tier-III seviyesi seçilmiştir. Tier-III seviyesinin uygulandığı veri merkezlerinde, bir ekipman veya tesisat bölümü herhangi bir kesintiye uğramadan bakıma alınabilir. Bunun için yedekli ekipmanlar da söz konusudur. Bir hat aktif, bir hat yedek olacak şekilde en az iki dağıtım hattı bulunmalıdır. (Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers, 2005: 86)

1.1. Hava Soğutmalı Sistem

1.1.1. Veri Merkezi Tasarımı

Hava soğutmalı sistemde, Gigabyte markasının havayla soğutmaya uygun, 2kW gücünde ve 2U boyutundaki[1] XH23-VG0 modeli seçilmiştir.

[1] 1U=1,75 inç=44,45 mm

Tablo 2. Hava Soğutmalı Sistemdeki Sunucunun Özellikleri

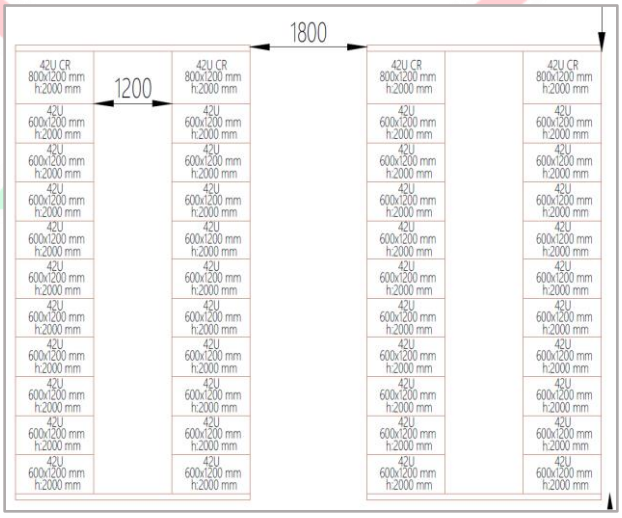
GIGABYTE XH23-VG0 SUNUCU		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Uygun soğutma türü		Hava soğutmalı
Güç tüketimi	W	2000
Boyut	U	2
Boyut (GxDxY)	mm	438x900x88
Fiyat[2]	€	17.000

Sunucular, bir kabinete yerleştirilecektir. 4000 kW ICT gücünü sağlamak için toplam 2000 adet sunucu gerekmektedir. Günümüzde, kabinet başına toplam gücün 20-25 kW aralığında olması, havayla soğutmanın başarılı olabileceği kritik bir durum olarak kabul edilir. (Malik, 2016: 1) Bu yüzden bir kabinete 10 adet sunucu koyarak kabinet başı gücün 20 kW olması kararlaştırılmıştır. 2U boyutundaki 10 adet sunucu, 20U yer kaplar. 20U yer kaplayan sunucuların arasından hava geçişini sağlamak ve diğer ICT ögelerine de yer ayırmak için 42U boyutunda, yaygın kullanılan boyuttaki bir kabinetin yerleştirilmesi uygun olacaktır. Bu doğrultuda, Vertiv markasının VR Rack 3300 modelindeki 42U kabineti seçilmiştir.

Tablo 3. Kabinet Özellikleri

VERTIV VR RACK 3300 KABİNET		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Boyut	U	42
Boyut (GxDxY)	mm	600x1200x2000
Fiyat	€	2.500

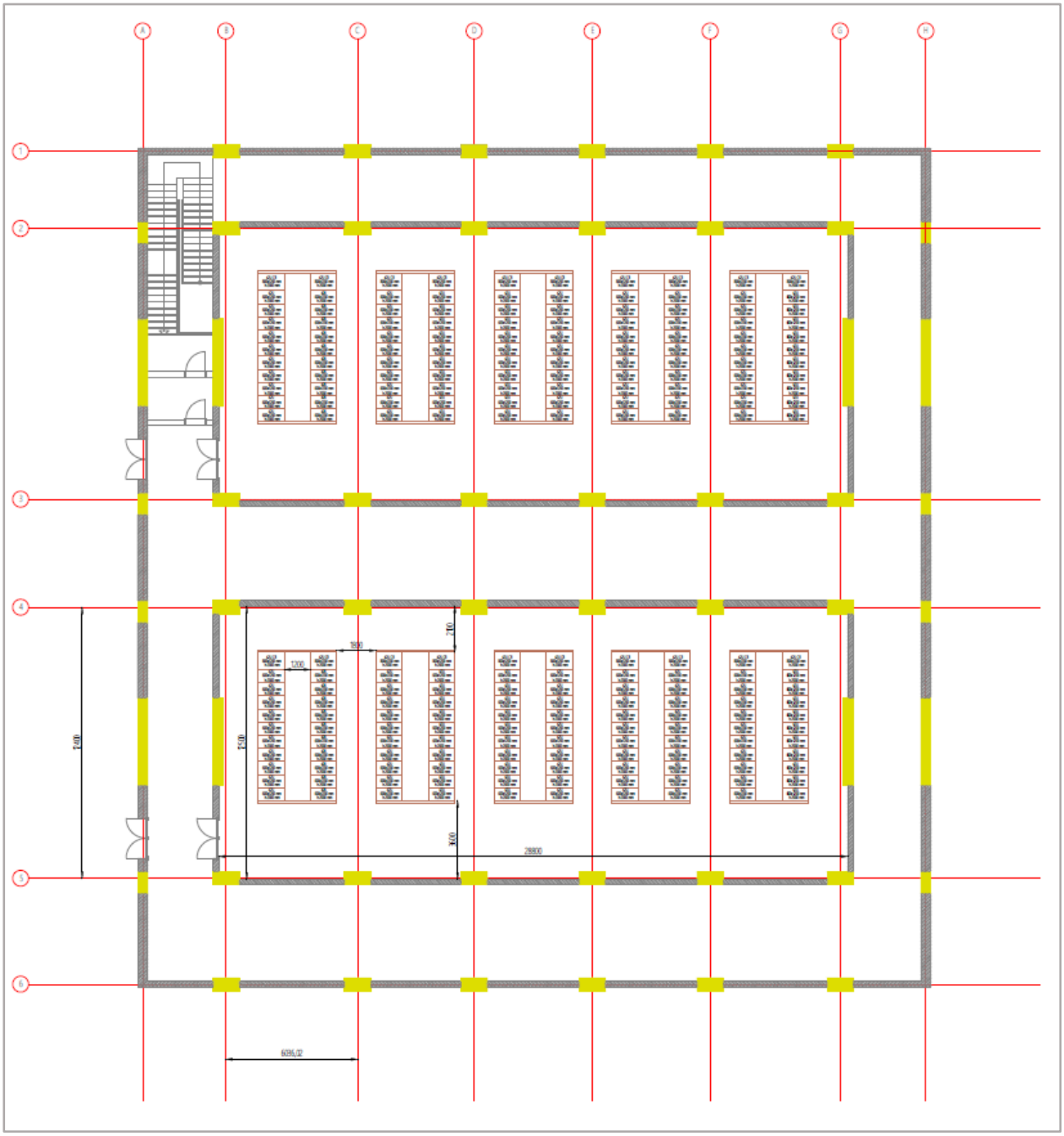
Belli sayıdaki kabinetler bitişik dizilir ve sıra oluşturur. Bir koridor oluşturup koridorun diğer yanında sıra tekrarlandığında, bir tür koridorlu kabinet sistemi olan pod oluşturulur. Bir sırada bulunabilecek kabinet sayısı, kabinet başı ICT gücüne göre değişiklik gösterir. Çünkü sıranın uzunluğu arttıkça üflenen havanın gerekli soğutmayı sağlaması zorlaşır. Bu çalışmada, kabinet başı güç, sıradan projelere göre yüksek olduğundan; bir sırada 10 kabinet olması planlanmıştır. Ayrıca her sıraya, sunucuların bağlantı kablolarının yer aldığı bağlantı kabinetleri de eklenmiştir.[3] Diğer sırayla beraber bir pod, 20 adet kabinetten oluşacak ve 400 kW güce sahip olacaktır.



Şekil 1. İki Adet Pod ve Aralarındaki Mesafelerin Gösterimi

[2] Sunucu fiyatları, müşterinin isteklerine göre farklılaşabileceğinden araştırmanın sonunda ihmal edilmiştir.
[3] Bağlantı kabinetleri, görselde "CR" (Connection Rack) olarak gösterilmiştir.

4000 kW güç tüketimi olan bir veri merkezi için 10 adet pod yerleştirilmesi gerekecektir. O halde toplam 200 adet kabinet yerleştirilecektir. Podların boyutu ve aralarındaki mesafeler göz önüne alındığında, 4000 kW gücü sağlayacak tüm podları tek bir veri salonuna yerleştirmek mimari açıdan zor olacaktır. Dolayısıyla veri merkezi, her birinin güç tüketimi 2000 kW olacak şekilde iki veri salonu halinde tasarlanmıştır ve aralarına teknik koridor ilave edilmiştir.



Şekil 2. Hava Soğutmalı Veri Merkezi Tasarımı

1.1.2. Soğutma Sistemi ve Ekipmanlarının Tasarımı

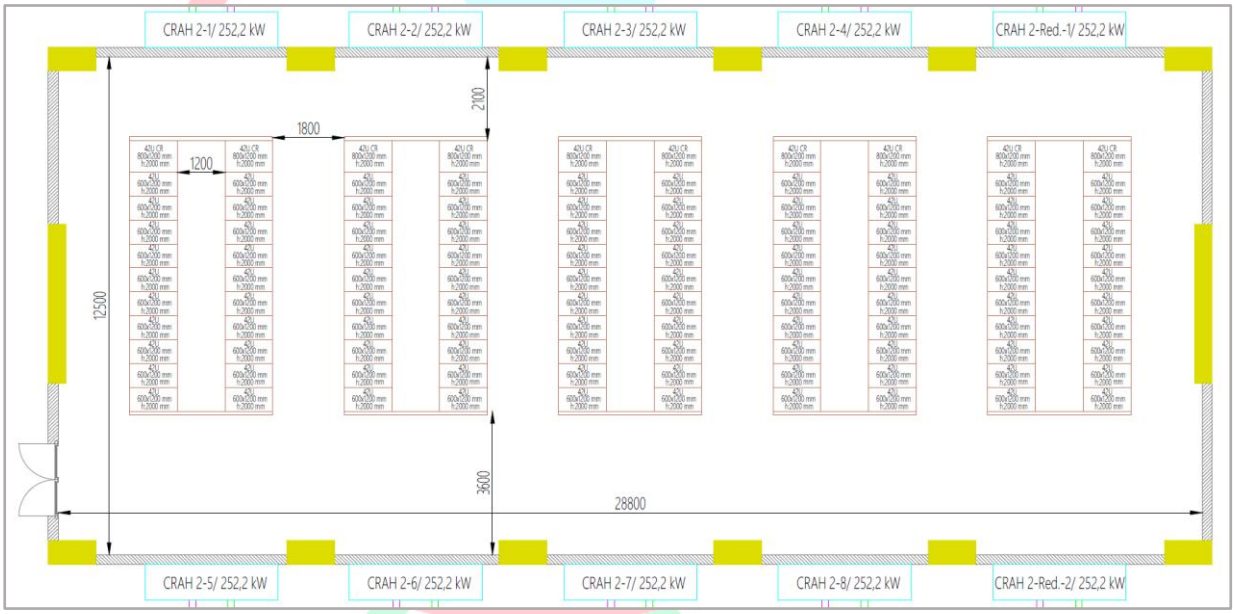
1.1.2.1. CRAH Seçimi

Sunucuların ürettiği ısıyı uzaklaştırmak ve sunucunun yüzeyini çalışabileceği uygun sıcaklıkta tutmak için soğuk hava üflenmelidir. Kabinetlere üflenen soğuk hava ile kabinetlerden egzoz edilen sıcak hava karışmamalıdır. Üflenen ve egzoz edilen havaların karışması, veri merkezinin enerji verimliliğini azaltır. Bu karışmayı önlemek için sıcak koridor

veya soğuk koridor kapama uygulamaları gerçekleştirilir. Soğuk koridor kapama uygulamasında sunucuların ön tarafı, podun koridoruna dönüktür. Podların koridoru soğuk hava ile doldurulurken, beyaz alan sıcak havayla doludur. Sıcak koridor kapama uygulamasında ise sunucuların arka tarafı, podun koridoruna dönüktür. Podların koridoru sıcak hava ile dolup egzoz edilirken, beyaz alan soğuk havayla doludur. (Wibron vd., 2019: 2) İki uygulamanın da çeşitli avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bu araştırmada sıcak koridor kapama uygulaması kabul edilmiştir. Ayrıca hem boru geçişini sağlamak hem de sıcak ve soğuk havanın karışmasını en aza indirmek için yükseltilmiş döşemeli sıcak koridor kapaması uygulanacaktır. Böylece, hassas klimalar sunucuların bulunduğu yükseltilmiş döşemeden noktasal atışla soğuk hava üfleyecek ve sıcak hava podun üstünden asma tavan yardımıyla hassas klimaya geri dönecektir.

Bu çalışmada CRAH hassas kliması[4] kullanılmıştır. CRAH, serpantinlerinden geçen soğuk su devresi sayesinde emişi yapılan sıcak havayı soğutur, sıcaklık ve nem ayarını duyarlılıkla yapar, sürekli çalışır ve havayı filtre eder.

Beyaz alanın iki uzun kenarında bulunan teknik koridorlara CRAH yerleşimi yapılmıştır. Tier-III gerekliliklerine göre, bir sırada 4 asıl ve 1 yedek olacak şekilde toplam 8 asıl ve 2 yedek CRAH ile bir veri salonunun soğutması sağlanabilir. 8 adet CRAH ünitesinin 2000 kW soğutma sağlayabilmesi için bir CRAH ünitesinin en az 250 kW soğutma kapasitesinde olması gerekmektedir.



Şekil 3. Bir Veri Salonu ve CRAH Ünitelerinin Yerleşimi[5]

CRAH seçimini yapabilmek için, beyaz alanın sıcaklığını ve bağıl nemini de belirlemek gerekir. Bu bilgiler ASHRAE standartlarıyla sınırlandırılır. ASHRAE'nin veri işleme ortamları için ısıl kılavuzunda, bir veri merkezinin sahip olması gereken sıcaklığa ve bağıl neme yönelik aralıklar yer alır. Sıcaklığın çok yüksek olması sonucu sunucular çalışmayı durdurabilir ve sunucuların ömürleri kısalır. Bağıl nemin az olması elektrostatik boşalmaya sebep olur. Bağıl nemin çok olması ise korozyon riskini arttırır ve ortamdaki tozların ICT cihazlarına yapışmasına sebep olarak sağlıklı çalışmalarına engel olur. (Demetriou, 2015: 3) Bunun için bağıl nemin en az %40 olması gerektiği belirtilmiştir. 2015 yılındaki ASHRAE kılavuzuna göre veri merkezleri için önerilen şartlar aşağıdaki gibidir:

- Kuru termometre sıcaklığı: 18-27°C

[4] CRAH, "Computer Room Air Handling" ifadesinin kısaltmasıdır. Soğutucu akışkanla soğutma çevrimi yapan CRAC ünitesinin (Computer Room Air Conditioner) aksine serpantinlerinden soğuk su devresi geçer.
[5] Bu çalışmada yedek ekipmanlara "Redundant" ifadesinin kısaltması olan "Red" eki ilave edilmiştir.

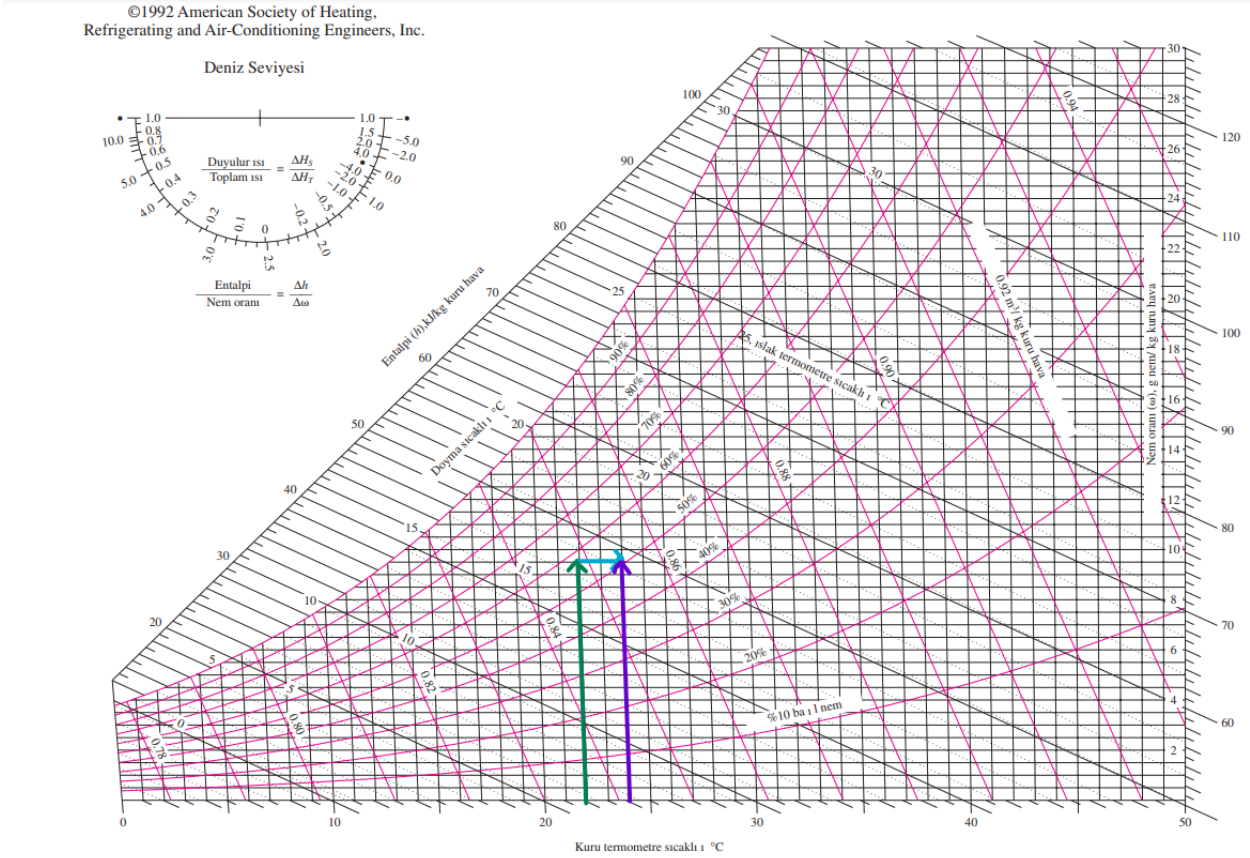
- Çiy nokta sıcaklığı: (-9)°C-15°C
- Bağıl nem: %40-60

2021 yılında güncellenen ASHRAE kılavuzuna göre veri merkezleri için önerilen uygun şartlar, içerdikleri kirletici gaz seviyesine göre ikiye ayrılmıştır. Az kirletici gaz bulunan veri merkezleri için bağıl nem aralığı %40-70 şeklinde genişletilmiş olup çok kirletici gaz bulunan veri merkezleri için %40-50 şeklinde daraltılmıştır. (Quirk vd., 2022: 25)

Ayrıca yüksek yoğunluklu veri merkezleri için H1 sınıfı da kılavuza ilave edilmiştir. H1 sınıfı için konfor şartları aralığı daha da daraltılmıştır. Az kirletici gaz bulunduran yüksek yoğunluklu veri merkezleri için izin verilen şartlar ise aşağıdaki gibidir:

- Kuru termometre sıcaklığı: 15-25°C
- Bağıl nem: %40-80

Bu sınırlar göz önüne alındığında, hava soğutmalı veri merkezinin beyaz alanı kuru termometre sıcaklığı 24°C ve bağıl nemi %50 kabul edilmiştir. Ortamın 24°C sıcaklıkta ve %50 bağıl nemde korunabilmesi için üfleme sıcaklığından 2°C kayıp oluşacağı göz önüne alınmalıdır. (Cho vd., 2019: 11). Buna göre, CRAH ünitesinin üfleme sıcaklığı 22°C olmalıdır. Psikometrik diyagramda, ortamın tasarım şartından, basit soğutma prensibiyle 22°C üfleme sıcaklığına düşüş sağlandığında, CRAH ünitesinin üflediği havanın bağıl neminin %58 olması gerektiği görülür.



Şekil 4. Veri Merkezi Beyaz Alanı Şartı ile Üflenen Havanın Şartı Arasındaki Bağıntı[6]

Firmaların tecrübesine dayanarak, bir CRAH ünitesinin üflediği havanın sıcaklığı ile CRAH ünitesine giren sıvının sıcaklığı arasında ΔT=4°C fark olmalıdır. (Fatih Demircan, kişisel görüşme, Mart 2024) O halde CRAH cihazına giren sıvının sıcaklığı 18°C olmalıdır. Çıkan sıvının sıcaklığı ise en az 250 kW gücündeki CRAH cihazı için Q=mcΔT prensibine

[6] Mor ok, beyaz alanın şartını; yeşil ok ise üflenen havanın şartını ifade etmektedir.

göre 24°C olmalıdır. Ayrıca CRAH ünitesi havayı aşağı yönlü üfleyeceğinden, bu anlama gelen "down flow" özellikli ünite olmalıdır. Bu doğrultuda, Vertiv markasının PW201ELE3 model CRAH ünitesi seçilmiştir.

Tablo 4. CRAH Ünitesi Özellikleri

VERTIV PW201ELE3 CRAH		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Net soğutma kapasitesi	kW	252,2
Sıvı		%32 Glikollü su
Giren sıvı sıcaklığı	°C	18
Çıkan sıvı sıcaklığı	°C	24
Sıvı debisi	L/s	11,34
Üflenen hava sıcaklığı	°C	21,6
Üflenen hava bağıl nemi	%	58,3
Dönen hava sıcaklığı	°C	37
Dönen hava bağıl nemi	%	24
Güç tüketimi	kW	9,35
Sıvı basınç kaybı (Bağlantılar)	kPa	80
Sıvı basınç kaybı (Vanalar)	kPa	27
Boyut (GxDxY)	mm	3350x890x1970
Ağırlık	kg	1125
Fiyat	€	70.000

1.1.2.2. Doğal Soğutmalı Chiller Seçimi

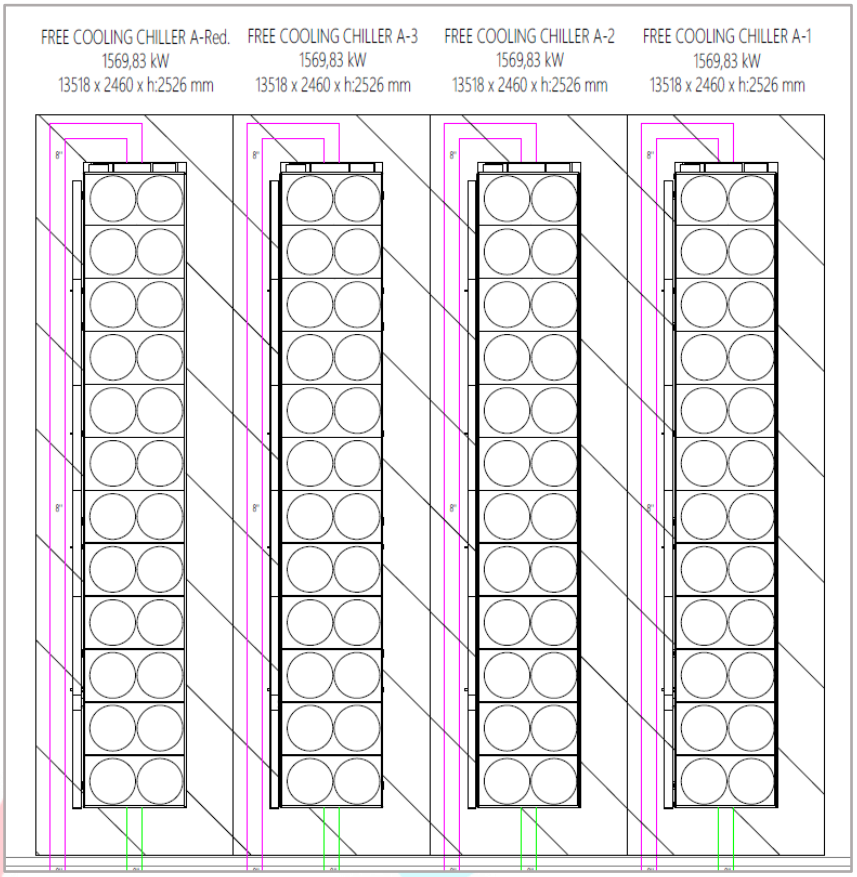
Sonraki adımda, CRAH ünitesine soğuk su sağlayan chiller ünitesinin seçimi yapılmalıdır. Chiller üniteleri soğutma çevrimiyle ısınan sudan çektiği ısıyı başka bir akışkana atar. Isıyı attıkları akışkanın türüne göre chiller üniteleri temelde ikiye ayrılır: Hava soğutmalı ve su soğutmalı chiller üniteleri. Hava soğutmalı chiller üniteleri, kuru soğutucuyla birleştirilerek bu ünitelere doğal soğutma özelliği katılabilir. Yapılan çalışmalara göre, doğal soğutmalı chiller ünitelerinin enerji tasarrufu sağladığı ve amortisman süresinin daha kısa sürdüğü gözlenmiştir. (Free Cooling, 2016: 10) Bu doğrultuda, Trane markasının GVAF-420 XSE model doğal soğutmalı chiller ünitesi seçilmiştir. Chiller ünitesinden geçen sıvının, dış havanın minimum sıcaklık değerinde soğutma sağlayabilecek şekilde donmaması için sıvı, %32 glikollü olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Havayla Soğutmalı Sistemdeki Doğal Soğutmalı Chiller Özellikleri

TRANE GVAF 420 DS CHILLER[7]		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Chiller tipi		Yüksek hızlı santrifüj kompresörlü doğal soğutmalı
Net soğutma kapasitesi	kW	1569,83
Sıvı		%32 Glikollü su
Çıkan sıvı sıcaklığı	°C	18
Dönen sıvı sıcaklığı	°C	24
Sıvı debisi	L/s	68,48
Net verim	EER	3,51
Basınç kaybı	kPa	154,4
DS kapasitesi	kW	1143,96
Güç tüketimi	kW	442,72
Boyut (GxDxY)	mm	13518x2460x2526
Ağırlık	kg	10372
Fiyat	€	413.000

Doğal soğutmalı chiller ünitesinin havayla temas halinde olabilmesi adına çatıya yerleştirilmiştir. Yerleşim sırasında chiller ünitesi etrafında 1 metrelik açıklıkların bulunmasına hassasiyet gösterilmiştir. Bu mesafeler aşağıdaki görselde taralı şekilde ifade edilmiştir. Ayrıca hava soğutmalı ve daldırmayla sıvı soğutmalı iki sistemde ortak olan ekipmanlar için ilk sistemdekiler için "A"; ikinci sistemdekiler için "B" kodu ilave edilmiştir. 3 adet chiller ünitesi, sistemin soğutma ihtiyacını karşılamaktadır. Bir adet chiller da yedek olarak eklenmiştir.

[7] Doğal soğutma ifadesinin kısaltması olarak "DS" kullanılmıştır.



Şekil 5. Hava Soğutmalı Sistemde Doğal Soğutmalı Chiller Yerleşimi

Doğal soğutmalı chiller hava sıcaklığına bağlı olarak üç modda çalışır: Doğal soğutma modu, hibrit soğutma modu ve mekanik soğutma modu. Buna göre doğal soğutma modunda yalnızca fanın çalışmasına bağlı bir enerji tüketimi gerçekleşecektir ve sıcaklık artışıyla fanlar kademeli olarak çalışmasını arttıracak, enerji tüketimi de buna bağlı olarak artacaktır. Hibrit soğutma modunda, kompresör de devreye girecek ancak tam kapasiteyle çalışmadan doğal soğutmanın karşılayamadığı yükü karşılayacaktır. Mekanik soğutmada ise doğal soğutmadan yararlanılamayacak ve tamamen mekanik güç harcanacaktır. (Acül, 2009: 18) Bu sistem için seçilen doğal soğutmalı chiller ünitesinin dış hava sıcaklığına göre çalışma modları aşağıdaki gibidir:

- $(-10)°C \leq T \leq (-5)°C$: Doğal soğutma (D)
- $(-5)°C \leq T \leq 24°C$: Hibrit soğutma (H)
- $24°C \leq T \leq 39°C$: Mekanik soğutma (M)

Bu durum göz önüne alındığında, chiller ünitesinin elektrik tüketimi, veri merkezinin duyulur ısı yükü kadar olmayacak ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Cihazın seçim çıktısında dış hava sıcaklığına göre elektrik tüketimleri görülebilir. Bu tüketim değeri; her sıcaklık değerinin, bir sene içinde İstanbul'da tekrar ettiği saat ile çarpıldığında, (Pusat ve Ekmekçi, 2017: 90) chiller ünitesinin yıllık toplam elektrik tüketimine ulaşılabilir. (Ali Taylan, kişisel görüşme, Mart 2024)

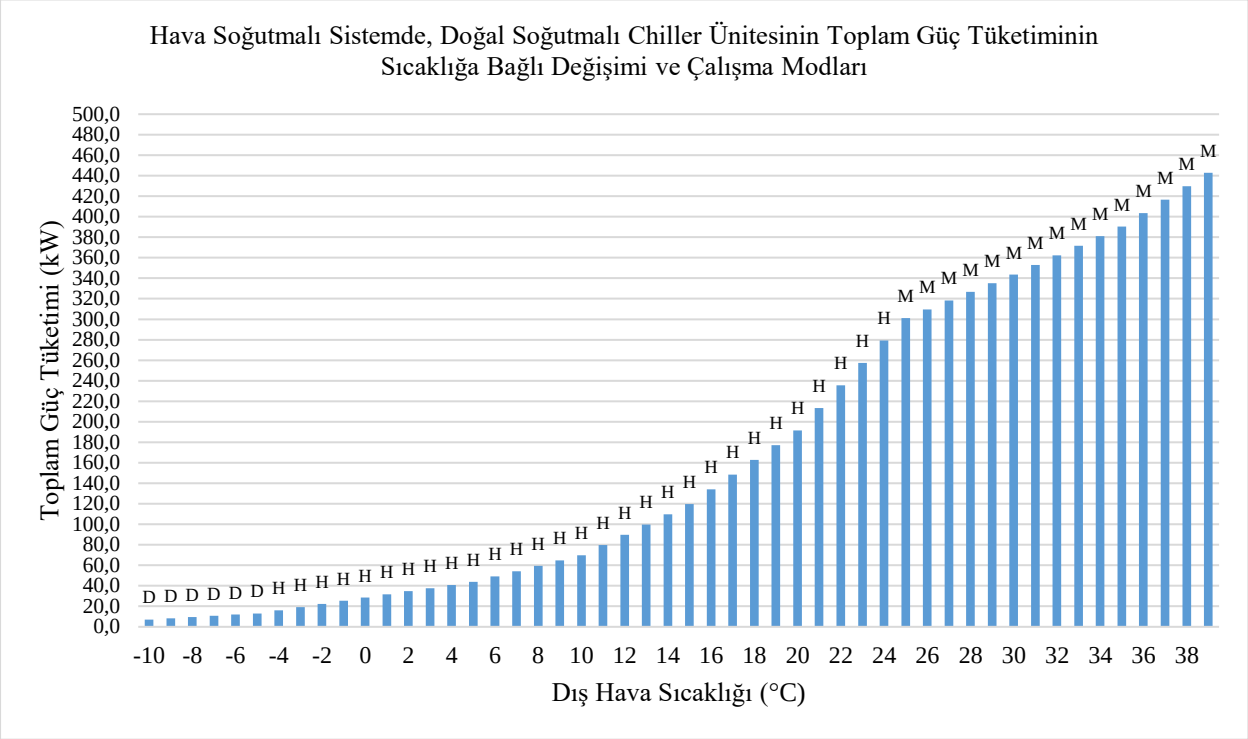
Tablo 6. Hava Soğutmalı Sistemdeki Doğal Soğutmalı Chiller Ünitesinin Güç ve Enerji Tüketimi

Model	TRANE GVAF 420 DS Chiller
Su Rejimi	18-24°C
Glikol Oranı	32%
Net Soğutma Kapasitesi	1569,83 kW

Dış Hava Sıcaklığı (°C)	Sıcaklığın Tekrar Ettiği Bir Yıldaki Saat Miktarı (sa)	Mekanik Yük (kW)	Doğal Soğutma Yük (kW)	Toplam Güç (kW)	Harcanan Toplam Enerji (kWh)
-10	0,04	0,0	1.570,6	7,1	0,3
-9	0,04	0,0	1.570,6	8,3	0,3
-8	0,04	0,0	1.570,6	9,5	0,4
-7	0,04	0,0	1.570,6	10,7	0,4
-6	0,7	0,0	1.570,6	11,9	8,1
-5	2,0	0,0	1.570,5	13,1	25,7
-4	5,1	52,0	1.518,5	16,2	82,2
-3	11,6	104,0	1.466,4	19,3	223,6
-2	18,9	156,0	1.414,4	22,3	422,2
-1	33,0	208,1	1.362,3	25,4	839,4
0	61,0	260,1	1.310,3	28,5	1.737,3
1	89,1	312,1	1.258,2	31,6	2.812,4
2	124,9	364,1	1.206,2	34,7	4.329,6
3	177,5	346,0	985,2	37,7	6.700,1
4	224,3	416,1	1.154,1	40,8	9.157,2
5	282,1	520,2	1.050,0	43,9	12.388,9
6	313,9	535,3	1.034,8	49,1	15.415,3
7	338,3	550,5	1.019,7	54,3	18.372,9
8	367,2	565,6	1.004,5	59,5	21.845,0
9	376,0	580,8	989,4	64,7	24.327,6
10	372,0	596,0	974,2	69,9	26.000,1
11	356,4	657,1	913,2	79,9	28.467,1

Tablo 6. Hava Soğutmalı Sistemdeki Doğal Soğutmalı Chiller Ünitesinin Güç ve Enerji Tüketimi (devamı)

12	361,1	718,3	852,1	89,9	32.448,6
13	342,1	779,5	791,0	99,9	34.157,1
14	333,1	840,7	729,9	109,8	36.593,8
15	325,3	901,8	668,9	119,8	38.982,5
16	311,7	976,7	593,9	134,2	41.814,2
17	310,7	1.051,7	519,0	148,5	46.144,1
18	315,9	1.126,6	444,0	162,8	51.449,6
19	322,8	1.201,5	369,0	177,2	57.198,9
20	337,2	1.276,4	294,1	191,5	64.585,2
21	338,6	1.335,2	235,3	213,5	72.277,2
22	357,8	1.394,1	176,5	235,4	84.222,6
23	362,6	1.452,9	117,6	257,4	93.311,6
24	348,6	1.511,8	58,8	279,3	97.366,1
25	306,4	1.570,6	0,0	301,3	92.301,2
26	253,8	1.570,6	0,0	309,7	78.609,9
27	210,8	1.570,6	0,0	318,1	67.060,3
28	165,7	1.570,6	0,0	326,6	54.104,9
29	126,7	1.570,6	0,0	335,0	42.439,5
30	80,7	1.570,6	0,0	343,4	27.722,6
31	47,3	1.570,6	0,0	352,8	16.697,9
32	26,7	1.570,6	0,0	362,2	9.687,5
33	13,0	1.570,6	0,0	371,5	4.835,3
34	4,2	1.570,6	0,0	380,9	1.601,9
35	2,0	1.570,6	0,0	390,3	781,4
36	0,6	1.570,6	0,0	403,4	226,1
37	0,3	1.570,6	0,0	416,5	116,7
38	0,1	1.570,6	0,0	429,6	34,4
39	0,1	1.570,6	0,0	442,7	35,4
TOPLAM					1.319.962,8



Şekil 6. Hava Soğutmalı Sistemde, Doğal Soğutmalı Chiller Ünitesinin Toplam Güç Tüketiminin Sıcaklığa Bağlı Değişimi ve Çalışma Modları

Veri merkezlerindeki toplam elektrik tüketiminin, ICT ekipmanlarının elektrik tüketimine oranı PUE (Power Usage Effectiveness) ile ifade edilir. Bu oranın küçük olması, bir veri merkezinin enerji verimliliğini ortaya koyar. Bu oran, yalnız tesisin toplam enerji tüketimi olarak değil; chiller, CRAH, pompa, jeneratör, UPS gibi ünitelerin kısmi PUE değerleri olarak da ele alınabilir. Kısmi PUE değeri, pPue olarak adlandırılır. Doğal soğutmalı chiller ünitelerinin toplam enerji tüketimi ile ICT ekipmanlarının enerji tüketimleri toplamının, ICT ekipmanlarının toplam enerji tüketimine oranı, chiller için pPUE oranını verir. (Hnayno vd., 2023b: 2)

- 3 adet chiller ünitesi yıllık enerji tüketimi: 1.319.962,8 kWh x 3= 3.959.455,8 kWh (a)
- Toplam ICT ekipmanları yıllık enerji tüketimi: 4000 kW x 8760 h= 35.040.000,0 kWh (b)
- pPUE: (a+b)/b= 1,113

PUE değerinin tersi ise yüzde verimliliği verir. Bu chiller sisteminin verimliliği,

- 1/1,113=0,90 değerindedir.

1.1.2.3. Buffer Tank Seçimi

Tier-III seviyesine göre bir chiller ünitesinde veya hattında bakım yapmak üzere belirli bir nokta izole edildiğinde yedekli ünite devreye girebilir veya iki dağıtım hattından pasif olan aktifleşebilir. Ancak bu durumda da bir sorunla karşılaşılması sonucu sisteme soğuk su sağlamak yönünde bir yedeklilik oluşturmak gerekir. Bu noktada ısıl enerji depoları olarak da bahsedilen buffer tanklar, devreye girer. Normal durumda, pompalar sistemi beslerken buffer tankı da besler ve sistemden dönen hatlar gibi buffer tanktan da dönüş olur. Chiller üniteleri sistemi besleyemediği takdirde, buffer tanktaki vanalar açılarak sistem beslenir. Buffer tankın sistemi besleyebildiği süre müşteri isteklerine göre değişir. Ancak bu sürenin, UPS cihazının elektrik kesintisine karşı sistemi besleyebildiği süre kadar olması en mantıklısıdır. Bu yüzden standart bir veri merkezi için, elektrik kesintisi durumunda sistemi 5 dakika boyunca besleyen

bir UPS seçildiği göz önünde bulundurulduğunda, buffer tankın da sisteme 5 dakika boyunca soğuk su sağlaması mantıklı olacaktır.

Buffer tank, bu sisteme göre %32 glikollü suyu depolayacaktır. Bu yüzden buffer tank hacminin belirlenmesi sırasında glikollü su karışımının verileri dikkate alınmalıdır. ASHRAE'nin 2001'de yayınlanan "HVAC Fundamentals Handbook" kitabındaki 21. Bölümde salamura su verileri incelenmiştir. Bu sistemdeki sıvı devresi 18-24°C sıcaklığı aralığındadır. Buna göre sıvının sıcaklık ortalaması 21°C olacaktır. 21°C'deki %32 glikollü suyun bilgilerine interpolasyonla erişilmiştir.

Tablo 7. 21°C ve %32 Glikollü Suyun Yoğunluğu

Sistem	Hava soğutmalı		
Sıvı Sıcaklığı (°C)	21		
ETİLEN GLİKOLLÜ SU YOĞUNLUĞU (kg/m³)			
Sıvı Sıcaklığı (°C)	**Hacim Yüzdesi Şeklinde Etilen Glikol Konsantrasyonu**		
	30%	**40%**	**32%**
20	1054,25	1059,68	
25	1043,32	1057,6	
21	1052,064	1059,264	1053,504

Tablo 8. 21°C ve %32 Glikollü Suyun Özgül Isısı

Sistem	Hava soğutmalı		
Sıvı Sıcaklığı (°C)	21		
ETİLEN GLİKOLLÜ SU ÖZGÜL ISISI (kJ/kgK)			
Sıvı Sıcaklığı (°C)	**Hacim Yüzdesi Şeklinde Etilen Glikol Konsantrasyonu**		
	30%	**40%**	**32%**
20	3,645	3,468	
25	3,66	3,485	
21	3,648	3,4714	3,61268

Bu verilere göre buffer tankın hacminin hesabı, $Q=mc\Delta T$ prensibine göre bulunur. (Avnican Zorer, kişisel görüşme, Nisan 2024) Bu formülü birim zaman biçimine çevirip, kütleyi de yoğunluk ve hacmin çarpımı olarak ifade edersek:

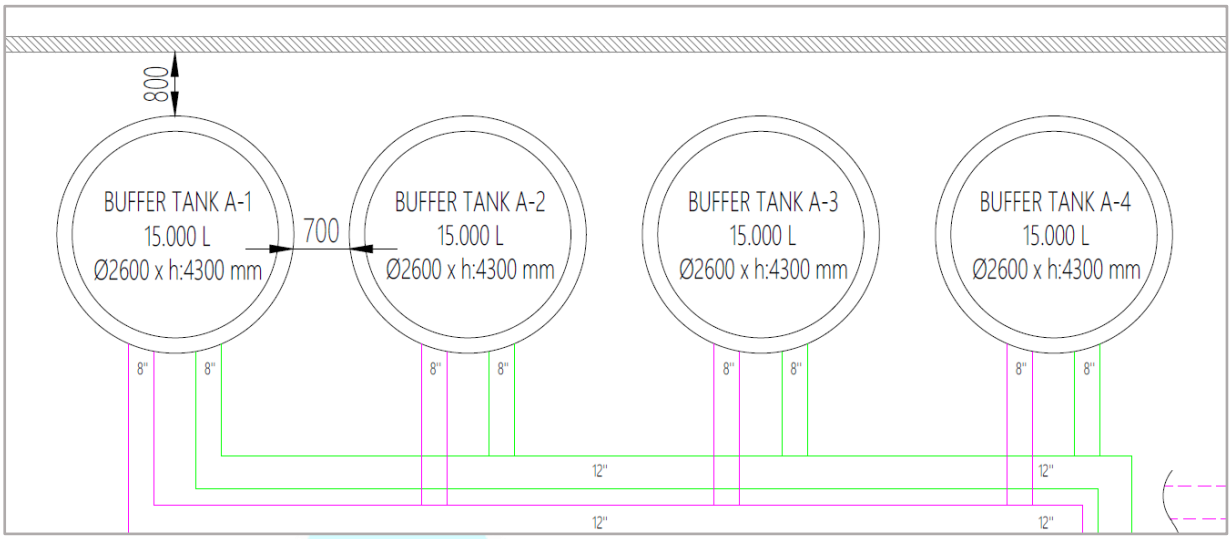
$$Q' \text{ (kW)} = m' \text{ (kg/s)} \times c \text{ (kJ/kg)} \times \Delta T \text{ (°C)}$$

$$= \rho \text{ (kg/m}^3\text{)} \times V' \text{ (m}^3\text{/s)} \times c \text{ (kJ/kg)} \times \Delta T \text{ (°C)}$$

Veri merkezinin elektrik güç tüketimi, veri merkezinin ısıl yükünü de oluşturacaktır. Veri merkezinin ısıl yükü, %32 glikollü 21°C suyun verilerine bölündüğünde hacimsel debi elde edilecektir. Hacimsel debi, 5 dakika depolama süresiyle çarpıldığında tankın hacmi bulunacaktır.

- 4000 (kW)= 1053,504 (kg/m³) x V' (m³/s) x 3,613 (kJ/kg) x 6 (°C)
- V'= 0,175163 m³/s
- V= 0,175163 m³/s x 300 s= 52,55 m³

Buna göre, 4 tane 15 m³ tankın yerleştirilmesi uygun olacaktır. Buffer tanklar çatıya fakat bir mekanik odanın içine yerleştirilecektir. Sisteme soğuk su sağlanamaması durumu için bu yöntem uygulandığından tanklarda yedeklilik oluşturulmamıştır.

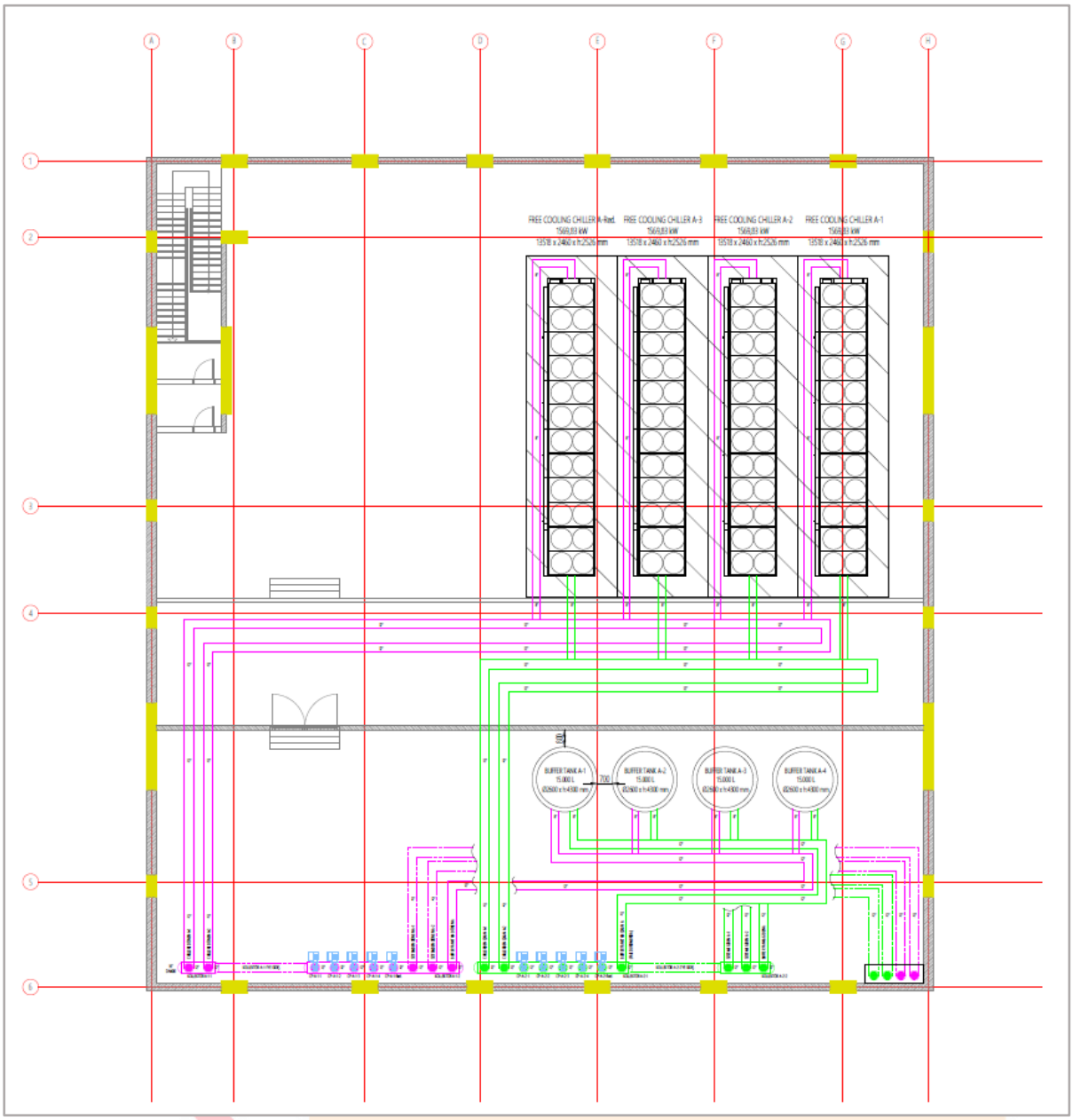


Şekil 7. Hava Soğutmalı Sistemde Buffer Tank Yerleşimi

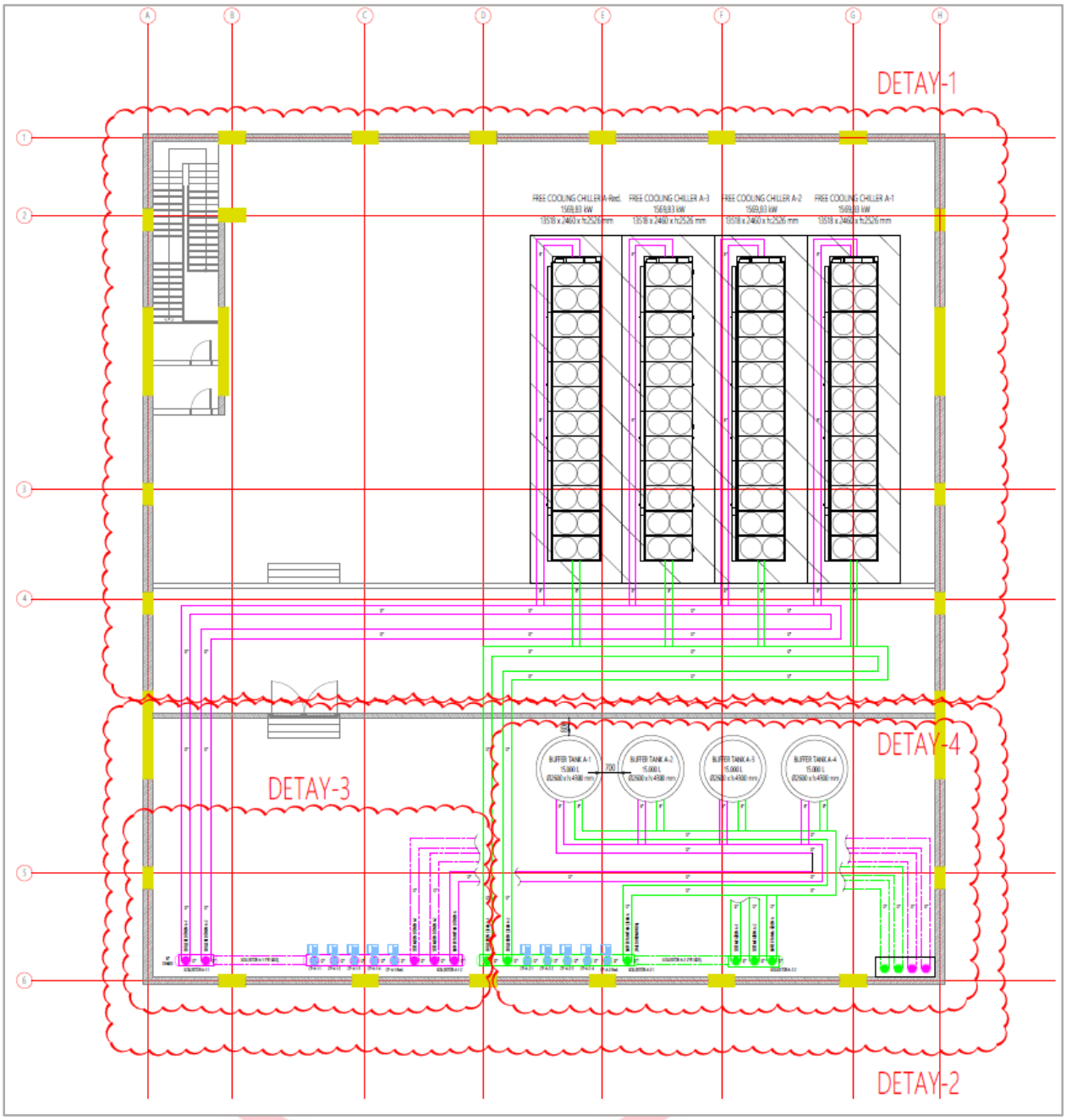
1.1.2.4. Pompa Seçimi

Chiller ünitesindeki suyu CRAH ünitelerine basabilmek için pompa kullanılmalıdır. Bunun için chiller ünitesinden çıkan ve chiller ünitesine dönen su borularında su akışını sağlayan ayrı bir pompa sistemi; CRAH ünitelerine su akışını sağlayan ayrı bir pompa sistemi tasarlanmıştır. Chiller ünitesi düşük kapasitelerde çalışmayı durdurduğu için ilk pompalama sisteminde sabit devirli kuru rotorlu sirkülasyon pompası; ikinci pompalama sisteminde ise, sistemdeki yükleme durumu değişebileceğinden, frekans konvertörlü kuru rotorlu sirkülasyon pompası seçilecektir.

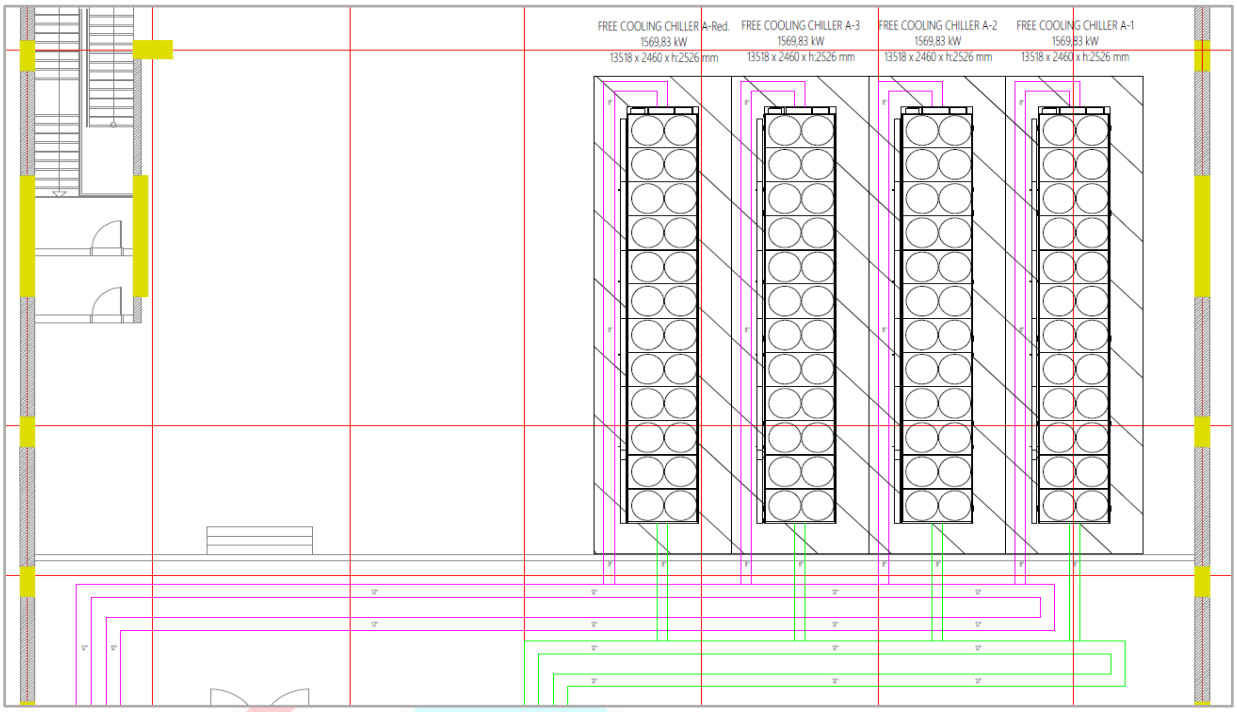
Pompa adetlerini belirlemek için basınç kaybı ve debi bilgilerine ihtiyaç duyulur. Dolayısıyla, ilk aşama, Tier-III gerekliliklerine göre borulama tasarımı olmuştur. CRAH ünitelerine yeşil ile gösterilen borularla soğuk su ulaşmaktadır ve pembe ile gösterilen borularla ısınan su dönmektedir. Borulama sisteminin tasarımında ring sistemi benimsenmiştir. Böylece bir boru hattı bakıma alındığı takdirde su akışı diğer hattan da devam edebilecektir. Borular yükseltilmiş döşemeden ilerleyecek ve gidiş ile dönüş boruları, kat planında, farklı kotlarda bulunacaktır. Borulama, dirsek ve vana boyutları dikkate alınacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca tavandan giden hatlar çizgili şekilde gösterilmiştir. Kollektörlerin ise, vana ve pompa sistemleriyle düşeyde uzun bir hat oluşturacağından sayısı arttırılmıştır. Pompalar ve kollektörler, buffer tank ile beraber çatıdaki mekanik odanın içine yerleştirilecektir.



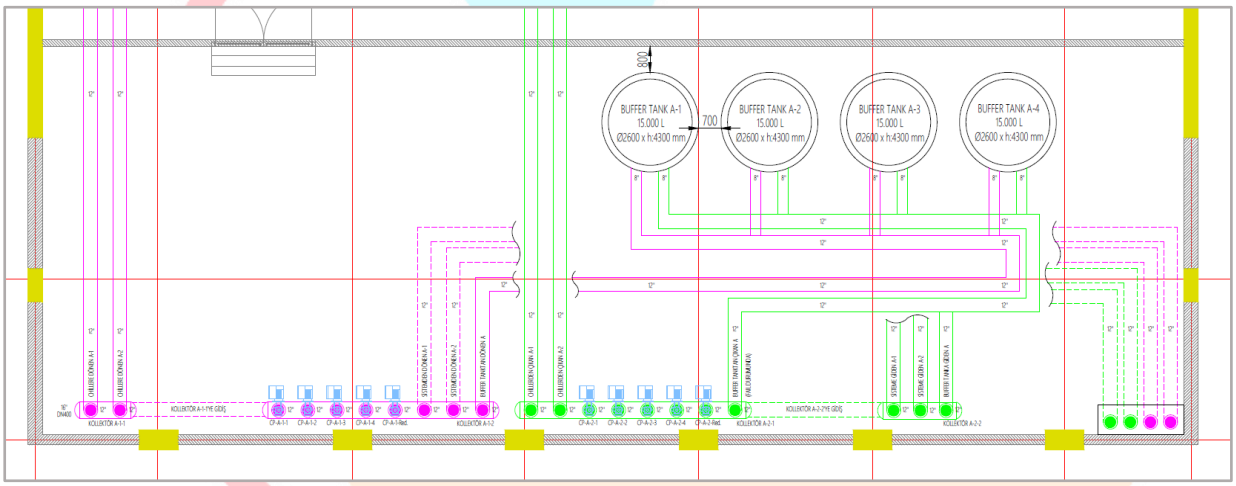
Şekil 8. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımı



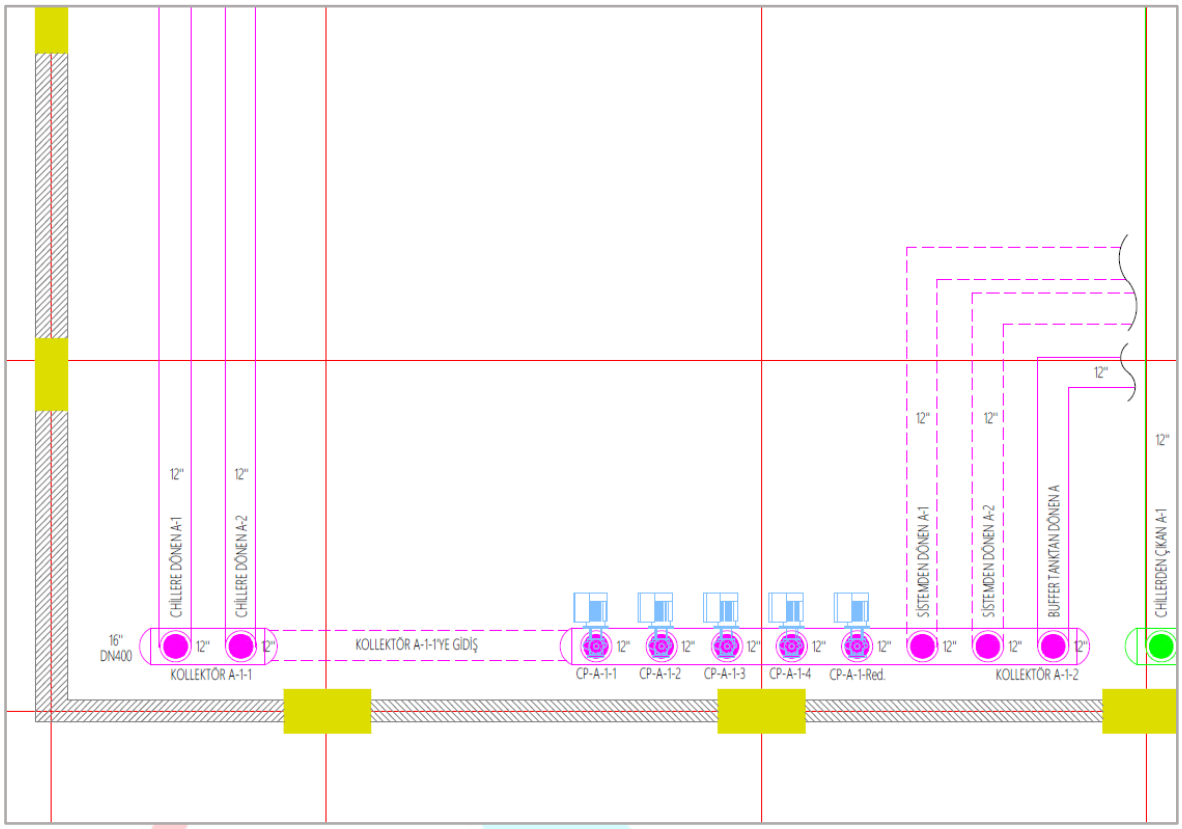
Şekil 9. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımında Detaylara Yönelik Numaralandırma



Şekil 10. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımı Detay-1



Şekil 11. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımı Detay-2



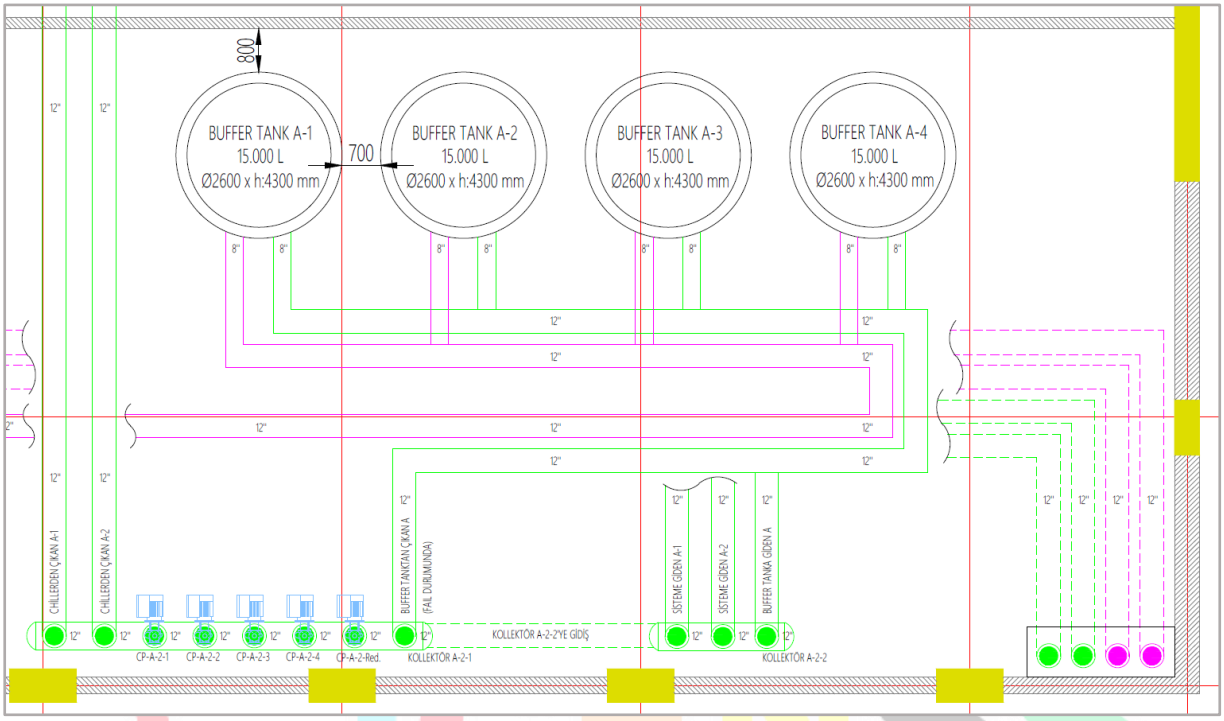
Şekil 12. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımı Detay-3

Boruların çaplandırması ve boru basınç kaybı hesapları MCA Yapı A.Ş. firmasının hesap dosyalarına ve tecrübelerine göre yapılmıştır.

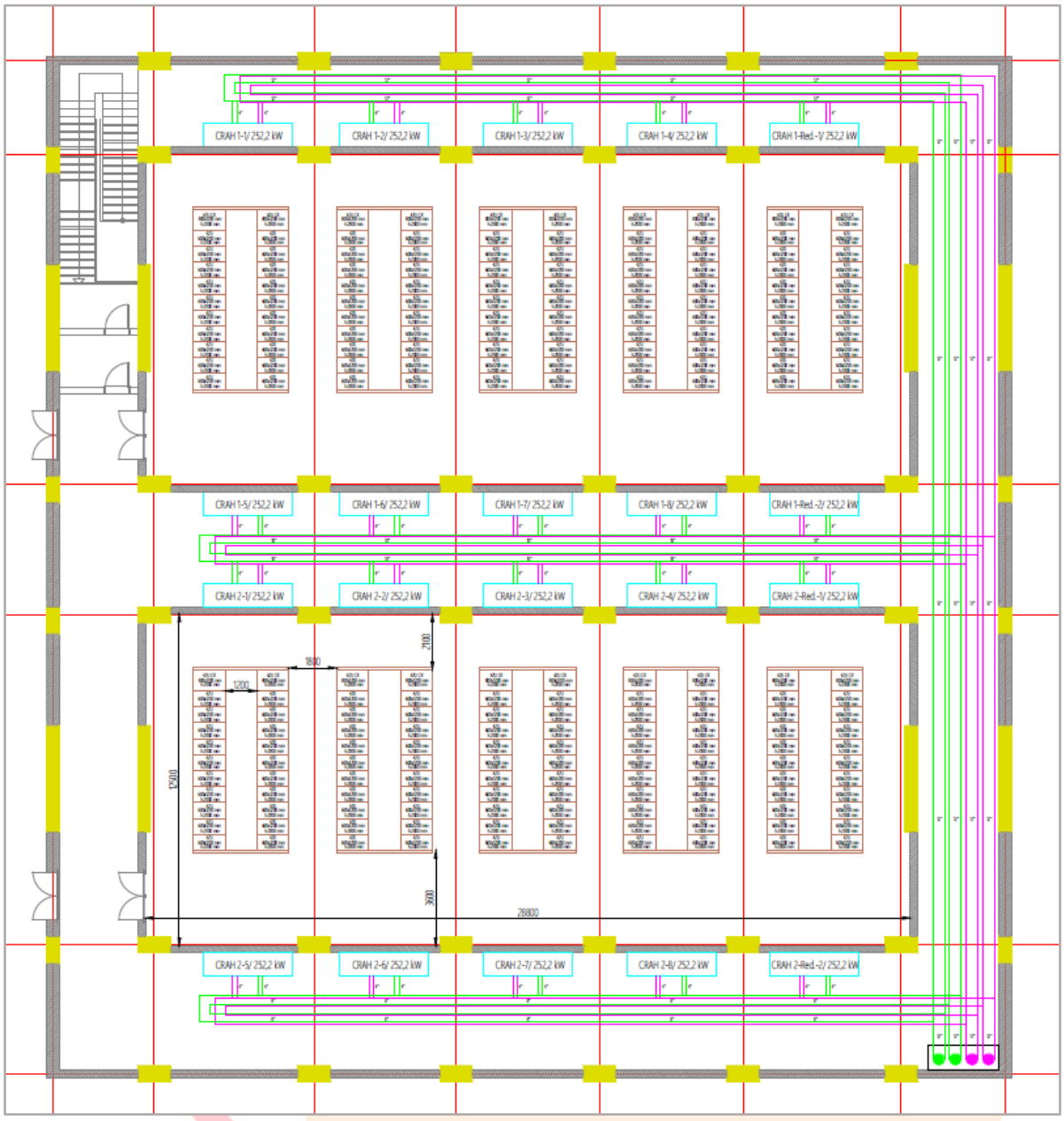
Tablo 9. CP-A-1-(1-2-3-4) Kuru Rotorlu Sirkülasyon Pompası Özellikleri

CP-A-1-(1-2-3-4) KURU ROTORLU SİRKÜLASYON POMPASI		
Sıvı Bilgileri		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Sıvı tipi		%32 Glikollü su
Giren sıvı sıcaklığı	°C	18
Dönen sıvı sıcaklığı	°C	24
ΔT	°C	6
Basınç Kayıpları		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Chiller basınç kaybı	kPa	154,4
Vanalar	kPa	85
Boru (12"-4000 kW)	m.	140
Boru (8"-1569,8 kW)	m.	95
Dirsek (12"-4000 kW)	ad.	22
Dirsek (8"-1569,8 kW)	ad.	8
Basınç Kaybı Sonuçları		
Toplam debi	m^3/h	575,4
Toplam basınç kaybı	mSS	33
Pompa Özellikleri		
Özellik	**Birim**	**Değer**

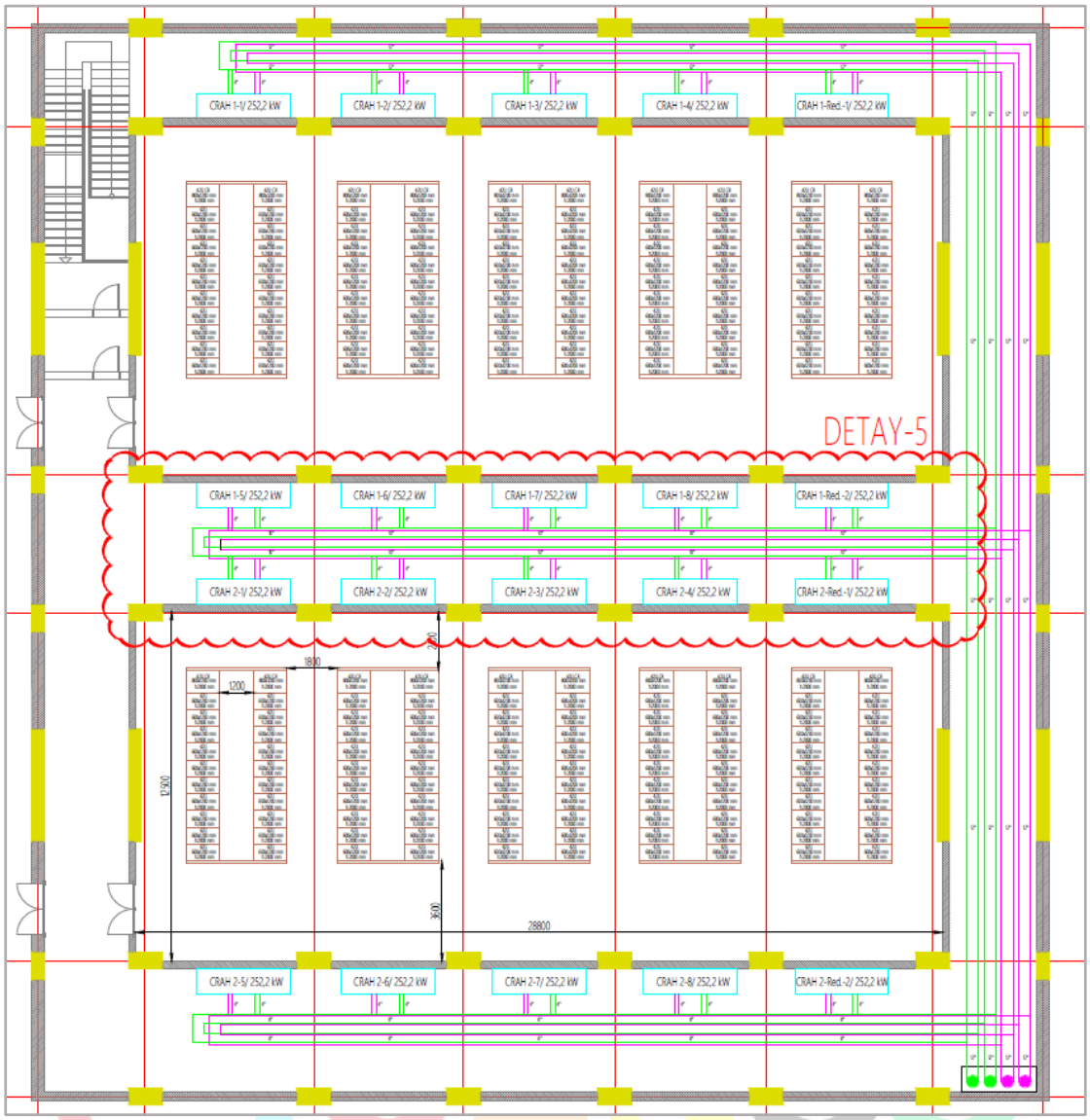
Pompa türü		Kuru rotorlu sirkülasyon pompası
Pompa özelliği		Sabit devirli
Pompa adedi	ad	4 asıl, 1 yedek
Pompa debisi	m³/h	150
Pompa basınç kaybı	mSS	33
Elektrik tüketimi	kW	22
Fiyat	€	3.392



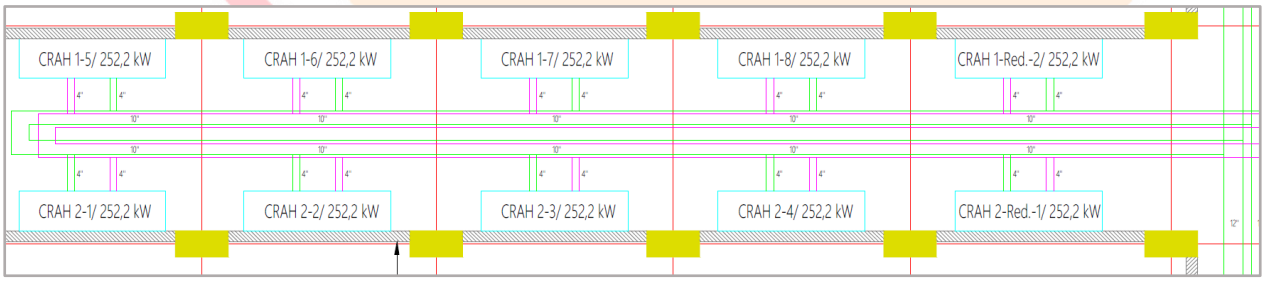
Şekil 13. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımı Detay-4



Şekil 14. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Kat Planı Tasarımı



Şekil 15. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Kat Planı Tasarımında Detaylara Yönelik Numaralandırma



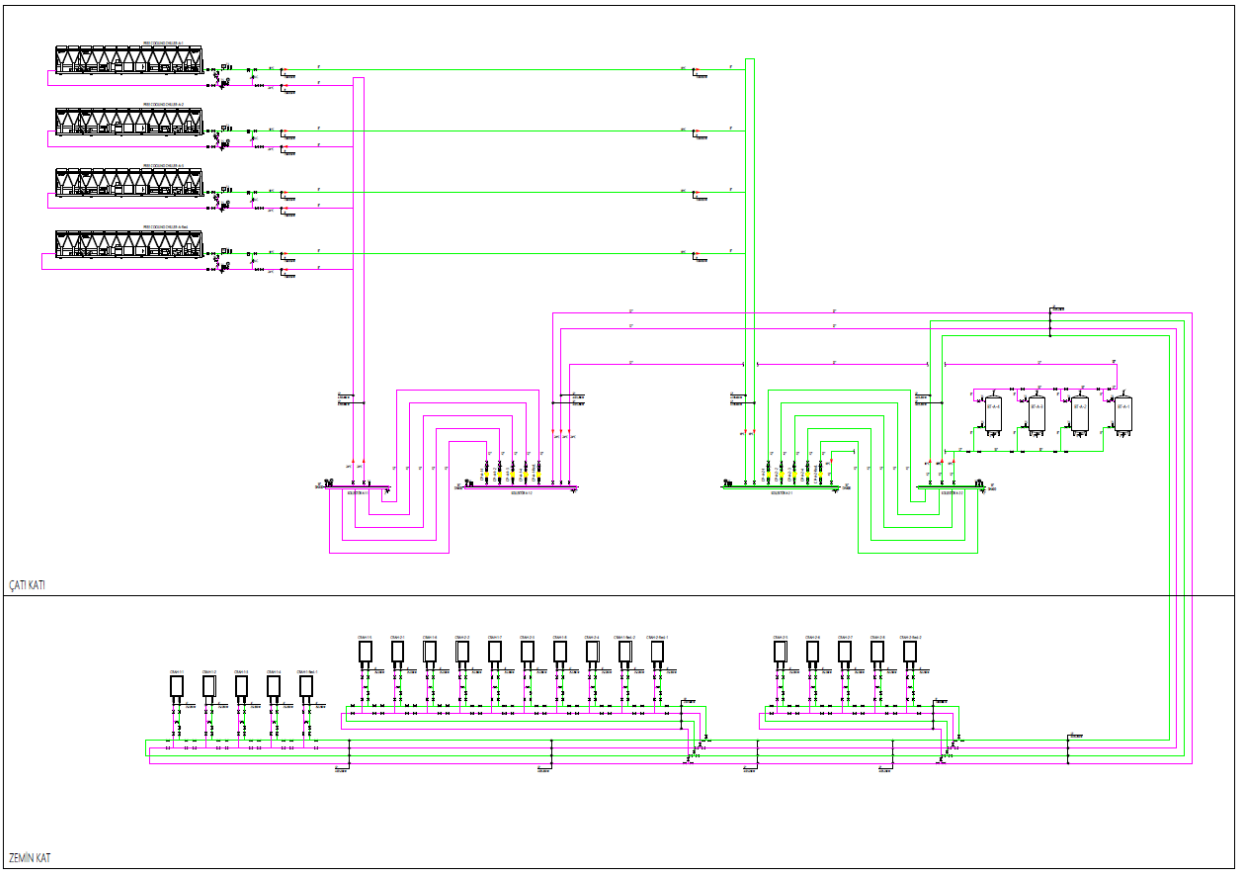
Şekil 16. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Kat Planı Detay-5

Tablo 10. CP-A-2-(1-2-3-4) Kuru Rotorlu Sirkülasyon Pompası Özellikleri

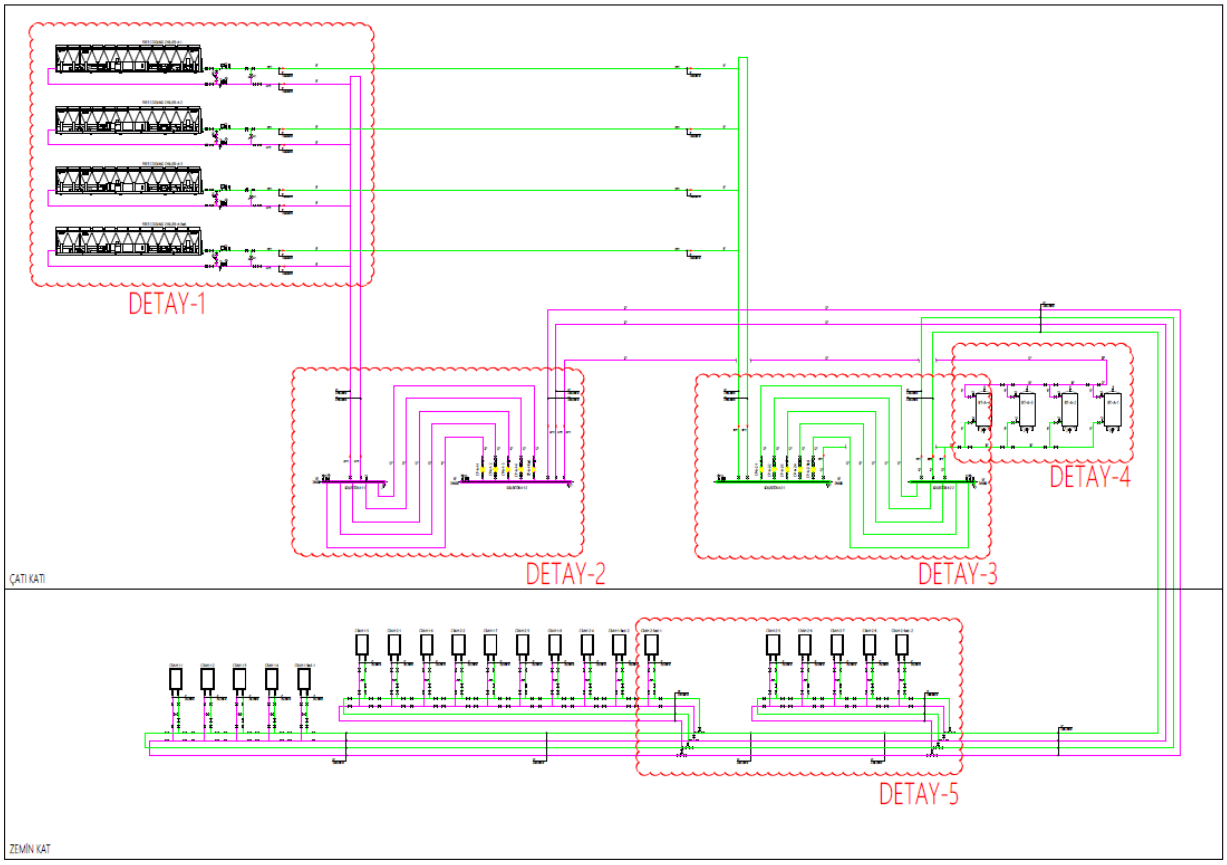
CP-A-2-(1-2-3-4) KURU ROTORLU SİRKÜLASYON POMPASI		
Sıvı Bilgileri		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Sıvı tipi		%32 Glikollü su
Giren sıvı sıcaklığı	°C	18
Dönen sıvı sıcaklığı	°C	24
ΔT	°C	6
Basınç Kayıpları		
Özellik	**Birim**	**Değer**
CRAH basınç kaybı	kPa	107
Vanalar	kPa	100
Boru (12"-4000 kW)	m.	263
Boru (10"-2000 kW)	m.	55
Boru (8"-1000 kW)	m.	55
Boru (4"-252,2 kW)	m.	320
Tee Geçiş (10"-2000 kW)	ad.	1
Tee Geçiş (8"-1000 kW)	ad.	1
Dirsek (12"-4000 kW)	ad.	32
Basınç Kaybı Sonuçları		
Toplam debi	m³/h	575,4
Toplam basınç kaybı	mSS	35
Pompa Özellikleri		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Pompa türü		Kuru rotorlu sirkülasyon pompası
Pompa özelliği		Frekans konvertörlü
Pompa adedi	ad	4 asıl, 1 yedek
Pompa debisi	m³/h	150
Pompa basınç kaybı	mSS	35
Elektrik tüketimi	kW	22
Fiyat	€	5.906

1.1.2.4.1. Sistem Şeması

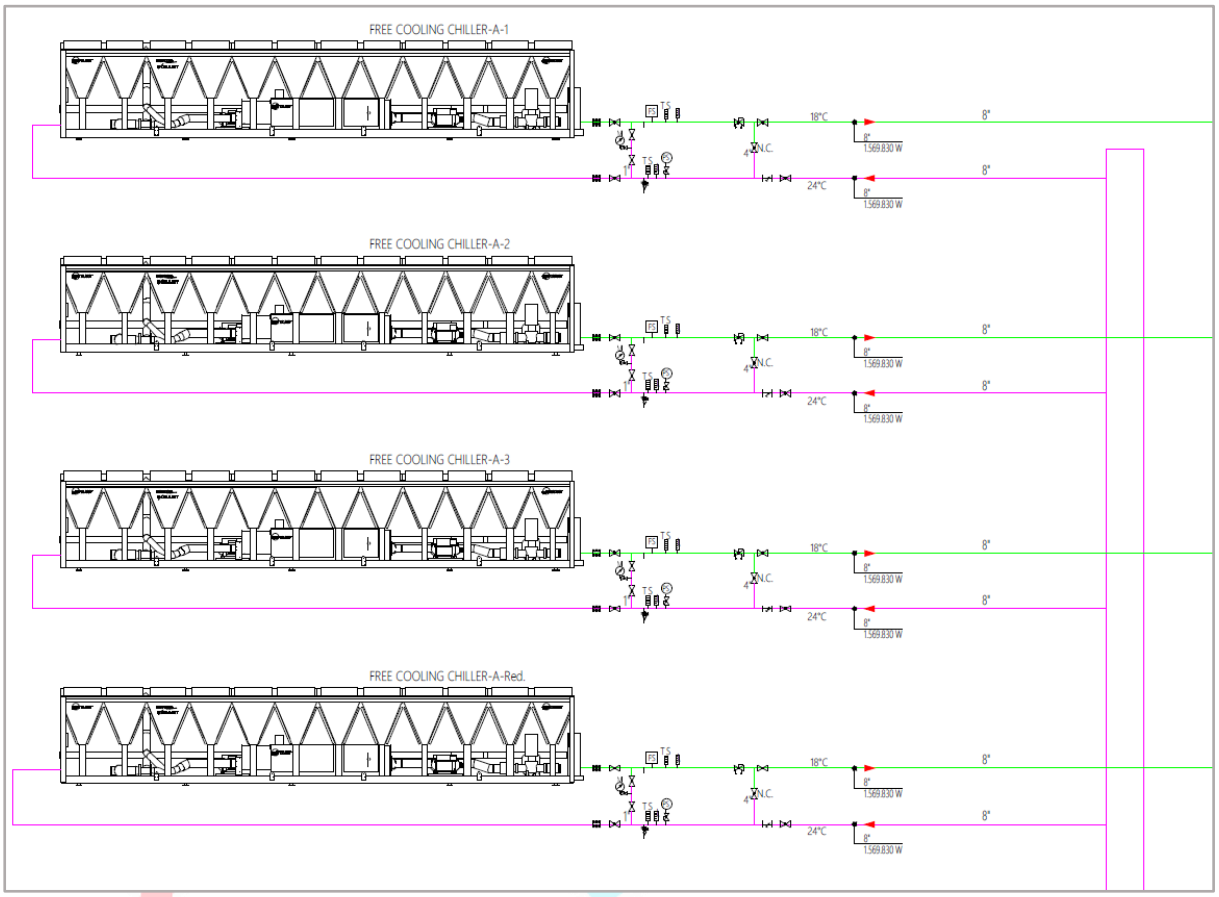
Pompa seçimi için boru tasarımıyla beraber sistem şeması da yapılmıştır ve özellikle kollektörler arasındaki boru bağlantılarının metrajı, sistem şeması göz önüne alınarak tamamlanmıştır. Ancak sistem şeması, pompa seçimi başlığı dahilinde ayrı bir başlıkta gösterilecektir. Vanaların yerleşiminde, örnek bir projeden esinlenilmiştir. (cemal Armağan Topa; kişisel görüşme, Nisan 2024)



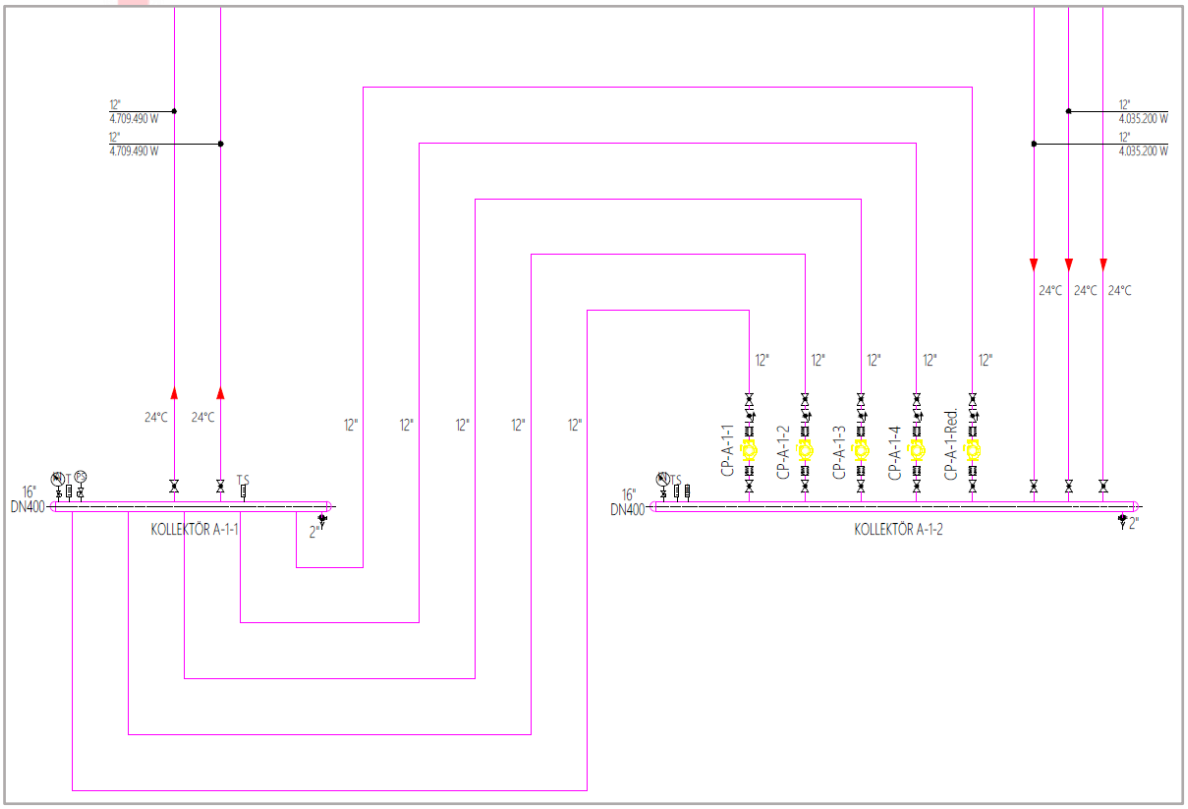
Şekil 17. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması



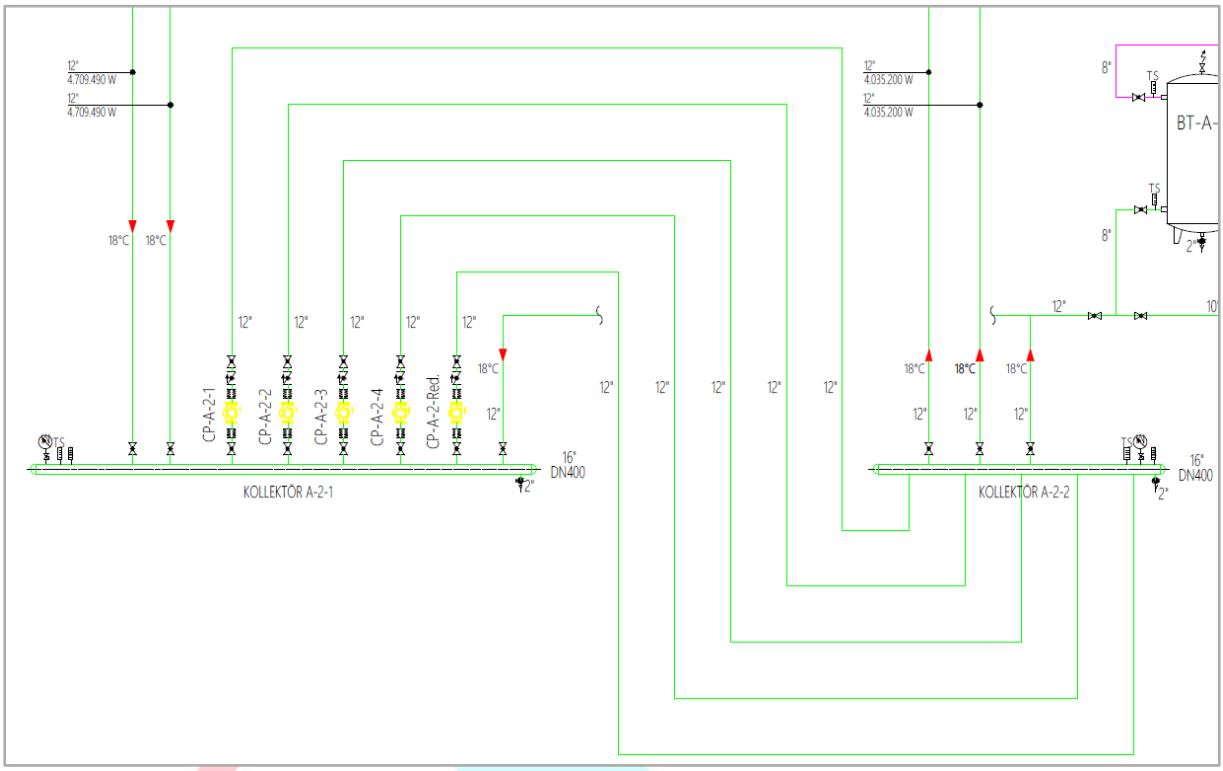
Şekil 18. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şemasında Detaylara Yönelik Numaralandırma



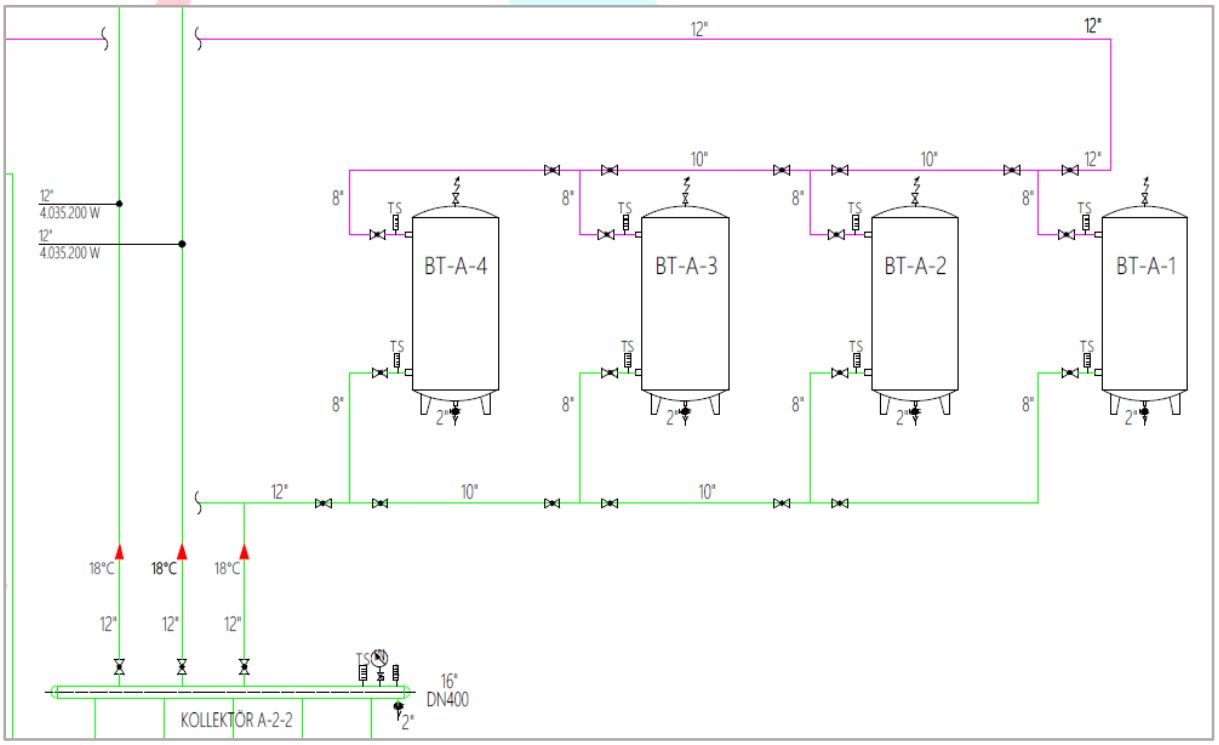
Şekil 19 Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması Detay-1



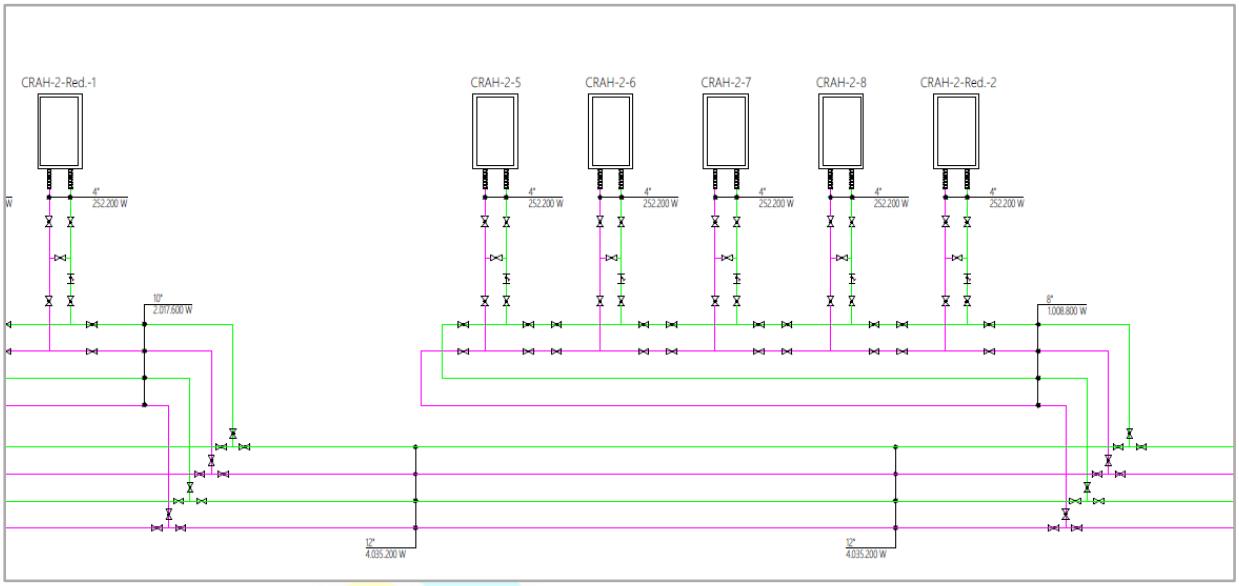
Şekil 20. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması Detay-2



Şekil 21. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması Detay-3



Şekil 22. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması Detay-4



Şekil 23. Hava Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması Detay-5

1.1.3. İnşaat Alanı ve Maliyet

Tüm tasarım yapıldıktan sonra bir veri salonu için 360 m² alan, iki veri salonu için 720 m² ortaaya çıkmaktadır. Teknik koridorlarla beraber sağlanan toplam veri merkezi alanı 1395 m² olmaktadır. Bir m² için inşaat maliyeti tecrübeye dayanarak 2.000 € olarak belirlenmiştir ve sonuç tablosunda bu şekilde yer alacaktır. (Ertuğrul Ağaoğlu, kişisel görüşme, Mart 2024)

1.2. Tek Fazlı Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Sistem

Sıvı soğutmalı sistemler doğrudan çipe soğutma ve daldırmayla soğutma şeklinde ikiye ayrılır. Doğrudan çipe sıvı soğutmalı sistemlerde, hava soğutmalı sistemlerdeki gibi bir kabinet yerleşimi mevcuttur. Ancak ortama şartlandırılmış hava üflenmez. Sunucuların çiplerinin üzerinden, elektrik iletmemesi için geliştirilen bir dielektrik sıvının dolaştığı borular gönderilir. Daldırmayla sıvı soğutmada ise sunucular, dielektrik sıvıyla dolu tanklara daldırılırlar. Direkt çipe soğutmada sıvı ile elektronik cihazlar arasında temas yoktur fakat daldırmalı soğutmada sıvı ile elektronik cihazlar arasında temas vardır. (Chhetri vd., 2022: 1532) Çalışmalarda, işlemcinin üstündeki "heat sink" olarak adlandırılan levhada yapılan CFD çalışmalarında, daldırmayla sıvı soğutma sistemlerinde sıcak noktaların belirgin seviyede azaldığı gözlenmiştir. (Nakajima vd., 2023: 9)

Daldırma soğutma da kendi içinde ikiye ayrılır: Tek fazlı ve iki fazlı daldırmayla soğutma. Tek fazlı daldırmayla soğutmada dielektrik sıvı faz değişimi geçirmez. Ancak iki fazlı daldırmayla soğutmada, sunucuların sıcak yüzeyi ile karşılaşan sıvı kaynar ve gaz haline geçer. Bu yüzden ısıyı uzaklaştırma kapasitesi başarılıdır. Buhar, boruların soğuk yüzeyiyle karşılaşıp yoğuşur ve sisteme geri döner. Sıcaklığı artan su ise soğutucu üniteye geri döner. (Hnayno vd., 2023: 3) İki fazlı daldırma soğutmanın soğutma kapasitesi daha yüksek olsa da kaynama noktası uygun olan bir dielektrik sıvı kullanımı maliyetlidir ve bu sıvıların küresel ısınma potansiyeli (GWP) yüksektir. Ayrıca gaz fazını tankta tutmak için daha karmaşık tank tasarımı gerekir. Kaynama durumu, mikro-kavitasyona ve metal parçaların aşınmasına sebep olur. Aşınan metal parçaların sıvıya geçmesiyle, sıvı artık iletken hale geçip sunucuların işlevini yitirmesine sebep olabilir. (Shantheyanda vd., 2015: 12) Bu sebeple bu çalışmada daha basit, güvenilir bir yöntem olan tek fazlı daldırmayla sıvı soğutma seçilmiştir.

Sıvı soğutmalı sistemler, daha önce de bahsedildiği gibi, sıvıların ısı transfer kabiliyeti havadan daha iyi olduğu için tercih edilmeye başlanmıştır. Bu durum ısı sığasıyla açıklanabilir. (Dymyd vd., 2020: 18) Bu çalışmada dielektrik sıvı olarak seçilen ve sentetik bir sıvı türü olan Submer firmasının SmartCoolant sıvısı ile havanın özelliklerinin karşılaştırması aşağıdaki gibidir:

Tablo 11. Hava ve Dielektrik Sıvı Özellikleri Karşılaştırması

HAVA VE DİELEKTRİK SIVI ÖZELLİKLERİ KARŞILAŞTIRMASI					
Özellik	**Sembol**	**Birim**	**Sıcaklık**	**Akışkan**	
				Hava (1 atm)	**Submer SmartCoolant**
Yoğunluk	ρ	kg/m³	20°C	1,204	796
Özgül ısı	Cp	J/kgK	40°C	1007	2260
Isıl iletkenlik	k	W/mK	40°C	0,02662	0,14
Isıl kapasite[8]	Q	J/m³		1212	1798960

Görüldüğü gibi, dielektrik sıvının birim hacim başına sıcaklığı 1°C artarken çektiği ısı miktarı, havanın yaklaşık 1500 katıdır. Dielektrik sıvının ısıl iletkenliği de, havanın yaklaşık 5 katıdır.

1.2.1. Veri Merkezi Tasarımı

Sıvı soğutmalı sistemlerde kullanılan sunucular, hava soğutmalı sistemde kullanılan sunuculardan farklıdır. Hava soğutmalı sistemlerde, sunucularda bulunan fan yardımıyla sunuculardan hava geçişi sağlanır ve mikroişlemciler ısısını havaya atar. Ancak daldırmayla sıvı soğutmalı sistemlerde, işlemciler sıvıyla direkt temas halindedir ve fan ihtiyacı kalmamaktadır. Ayrıca havayla soğutmalı sistemlerden farklı olarak tanklara dikey vaziyette yerleştirilirler. Bu sistemde, Gigabyte markasının daldırmayla sıvı soğutmaya uygun, 2kW gücünde ve 1U boyutundaki G152-Z12 modeli seçilmiştir. 4000 kW ICT gücünü sağlamak için toplam 2000 adet sunucu gerekmektedir.

Tablo 12. Daldırma Sıvıyla Soğutmalı Sistemdeki Sunucunun Özellikleri

GIGABYTE G152-Z12 SUNUCU		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Uygun soğutma türü		Sıvı soğutmalı
Güç tüketimi	W	2000
Boyut	U	1
Boyut (GxDxY)	mm	448x808x43.5
Fiyat[9]	€	17.000

1.2.2. Soğutma Sistemi ve Ekipmanlarının Tasarımı

1.2.2.1. Tank Seçimi

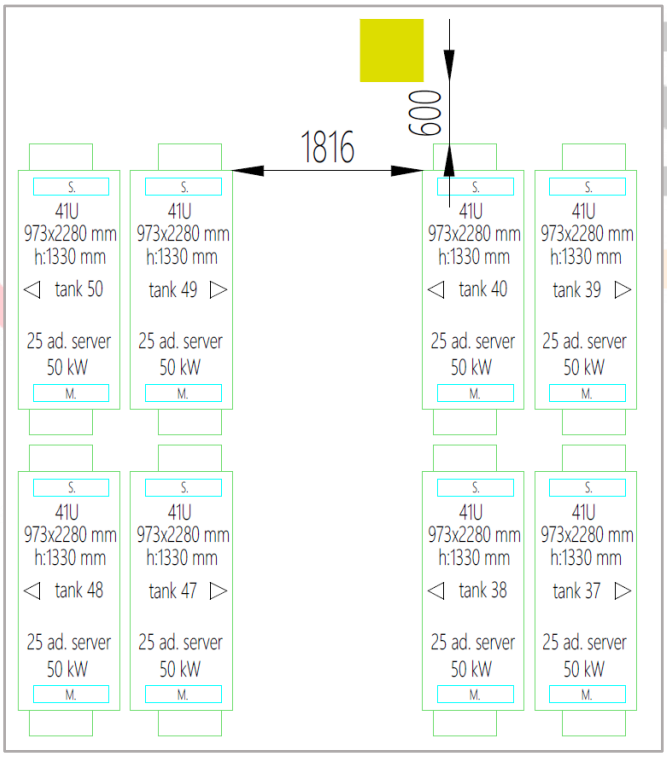
Sunucular, dielektrik sıvıyla dolu tanklara yerleştirilir. Tanklarda bulunan CDU (Cooling Distribution Unit) üniteleri, içindeki serpantinler ve pompa sayesinde bünyesine gelen soğuk su devresiyle içerideki dielektrik sıvıyı soğutur. Isınan su devresi, soğutucu üniteye geri döner. Sisteme gönderilen soğuk su devresinin sıcaklığına bağlı olarak tankların soğutma kapasitesi de değişir. Bu çalışmada, Submer firmasının SmartPod EVO920 tankı seçilmiştir. Tankın IT kapasitesi 41U olarak belirlenmiştir. Ancak tankın biri asıl biri yedek iki CDU üniteli ve tam yedekli biçimi, 26°C ve %25 glikollü suyun girdisiyle 50 kW soğutma sağlayabilmektedir. Dolayısıyla tanka 25 adet sunucu yerleştirilebilir, bunlar da 25U yer kaplar. Böylece bu tanklardan 80 adet yerleştirildiği zaman, iki ayrı veri salonu oluşturmadan 4000 kW güçte bir veri merkezi oluşturulabilir.

[8] Isıl kapasite, yoğunluk ve özgül ısının çarpımı olarak bulunmuştur ancak bu iki özelliğin farklı sıcaklıklarda ölçülmesi durumu, ısıl kapasite hesabında ihmal edilmiştir.
[9] Sunucu fiyatları, müşterinin isteklerine göre farklılaşabileceğinden araştırmanın sonunda ihmal edilmiştir.

Tablo 13. Tank Özellikleri

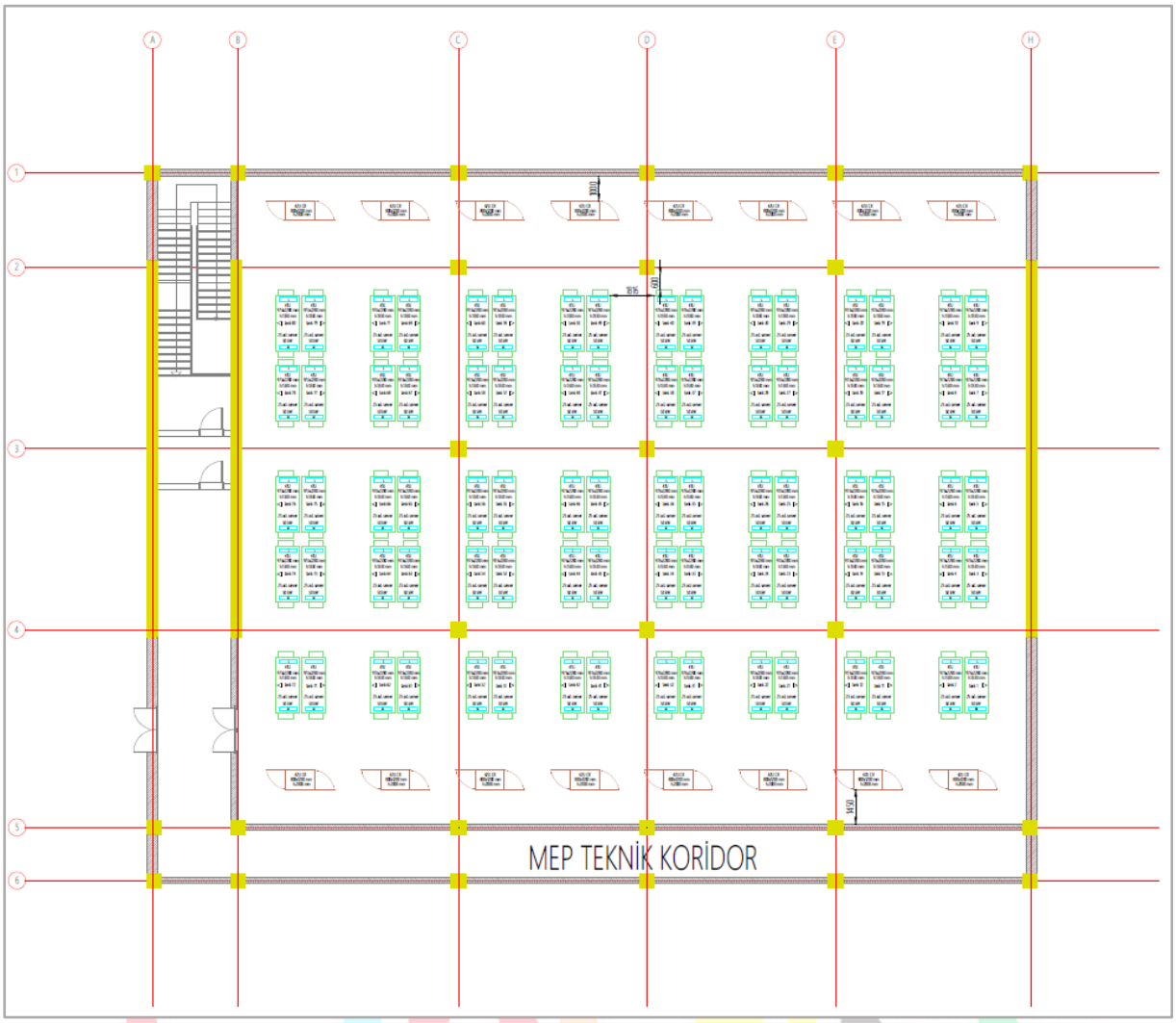
SUBMER SMARTEVO 920 DUAL CDU		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Net soğutma kapasitesi	kW	50
Sıvı		%25 Glikollü su
Giren sıvı sıcaklığı	°C	26
Çıkan sıvı sıcaklığı	°C	32
Sıvı debisi	L/s	1,39-2,78
Yedeklilik	%	100
Güç tüketimi	kW	1,6
Sıvı basınç kaybı (CDU)	kPa	130
Boyut (GxDxY)	mm	2280x973x1330
Tank pano boyutu (GxDxY)	mm	251x600x880
Boş ağırlık	kg	856
Sıvı dolu ağırlık	kg	1938
Fiyat[10]	€	80.000

Tanklar, kabinetlerin aksine, hava akışı olmadığı için birbirlerine daha yakın mesafelerde yerleştirilebilir. Ancak bu çalışmada borulara, insan geçişine ve ekipman yer değiştirmesine uygun olacak kadar mesafe bırakılması öngörülmüştür.



Şekil 24. Tankların Yerleşimi[11]

[10] Bu fiyat, tank ve sıvının beraber fiyatıdır.
[11] Tanklar üzerindeki "M." ana CDU ünitesini, "S." Yedek CDU ünitesini ifade eder.



Şekil 25. Tek Fazlı Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezi Tasarımı

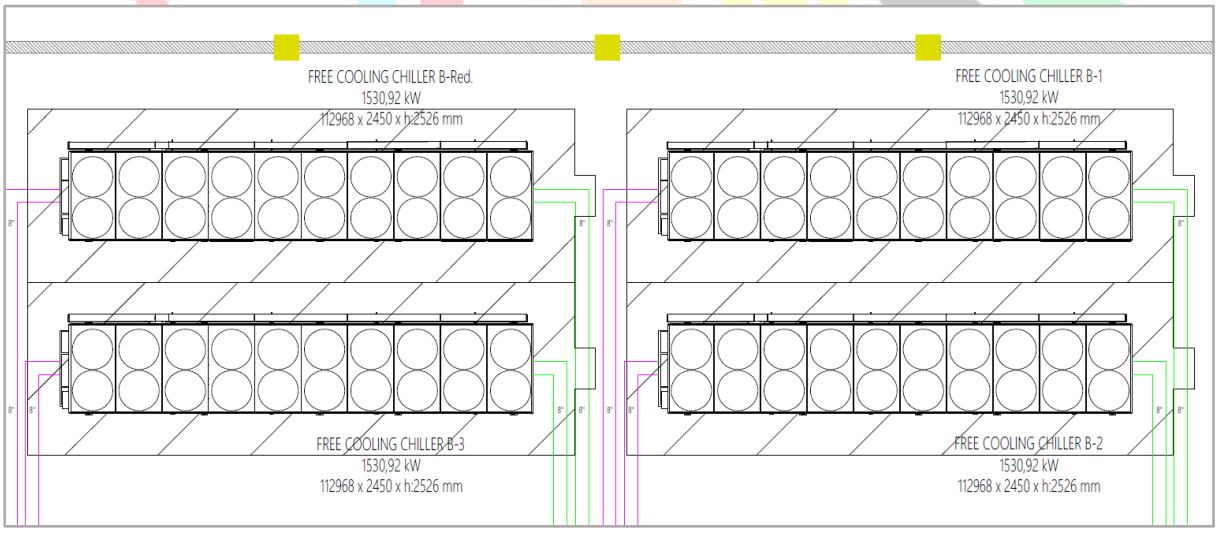
1.2.2.2. Doğal Soğutmalı Chiller Seçimi

Sonraki adımda, tanktaki CDU ünitesine soğuk su sağlayan chiller ünitesinin seçimi yapılmalıdır. Sıvı soğutmalı sistemlerde daha yüksek su sıcaklıklarında çalışılabilir, böylece bazı soğuk bölgelerde yalnız kuru soğutucu kullanımı yeterli olabilmektedir. Ancak bunun için, sisteme gönderilen suyun sıcaklığının, havanın kuru termometre sıcaklığının 5°C üsünde olması gerekir. Dolayısıyla, İstanbul'un maksimum kuru termometre sıcaklığı olan 39°C için sisteme gönderilen suyun sıcaklığının 46°C olması gerekir. Bu durum, bu sistem için uygun değildir. Islak tertibatlı kuru soğutucular ve soğutma kuleleri de havanın yaş termometre sıcaklığının 4-5°C üstünde su sıcaklığı sağlayabilir. İstanbul'un maksimum yaş termometre sıcaklığı olan 28,3°C için sisteme gönderilen suyun sıcaklığının 32,3°C olması gerekir. Bu durum da, bu sistem için uygun değildir. Dolayısıyla yeniden doğal soğutmalı chiller ünitesine başvurulur. Tank üreticisi tarafından 50 kW soğutma kapasitesini sağlamak için belirlenen 26-32°C su rejimi, hava soğutmalı sistemdeki su rejiminden daha yüksek sıcaklık aralığındadır. Bu sayede doğal soğutmadan yararlanılan süre daha uzun olacaktır. İlk sistemle yaklaşık aynı soğutma kapasitesi sağlaması dikkate alınarak Trane markasının GVAF-330 XSE model doğal soğutmalı chiller ünitesi seçilmiştir. Chiller ünitesinden geçen sıvının, dış havanın minimum sıcaklık değerinde soğutma sağlayabilecek şekilde donmaması için sıvı, %25 glikollü olarak belirlenmiştir.

Tablo 14. Sıvı Soğutmalı Sistemdeki Doğal Soğutmalı Chiller Özellikleri

TRANE GVAF 330 DS CHILLER		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Chiller tipi		Yüksek hızlı santrifüj kompresörlü doğal soğutmalı
Net soğutma kapasitesi	kW	1530,04
Sıvı		%25 Glikollü su
Çıkan sıvı sıcaklığı	°C	26
Dönen sıvı sıcaklığı	°C	32
Sıvı debisi	L/s	65,23
Dış ortam sıcaklığı	°C	39
Rakım	m	33
Net verim	EER	3,99
Basınç kaybı	kPa	230,9
DS kapasitesi	kW	1496
Güç tüketimi	kW	377,55
Boyut (GxDxY)	mm	11296x2450x2526
Ağırlık	kg	9040
Fiyat	€	350.000

Sıvı soğutmalı veri merkezindeki doğal soğutmalı chiller ünitesinin havayla temas halinde olabilmesi adına çatıya yerleştirilmiştir. Yerleşim sırasında chiller ünitesi etrafında 1 metrelik açıklıkların bulunmasına hassasiyet gösterilmiştir. Bu mesafeler aşağıdaki görselde taralı şekilde ifade edilmiştir. 3 adet chiller ünitesi, sistemin soğutma ihtiyacını karşılamaktadır. Bir adet chiller da yedek olarak eklenmiştir.



Şekil 26. Sıvı Soğutmalı Sistemde Doğal Soğutmalı Chiller Yerleşimi

Bu sistem için seçilen doğal soğutmalı chiller ünitesinin dış hava sıcaklığına göre çalışma modları aşağıdaki gibidir:

- $(-10)°C \leq T \leq 6°C$: Doğal soğutma (D)
- $7°C \leq T \leq 29°C$: Hibrit soğutma (H)
- $30°C \leq T \leq 39°C$: Mekanik soğutma (M)

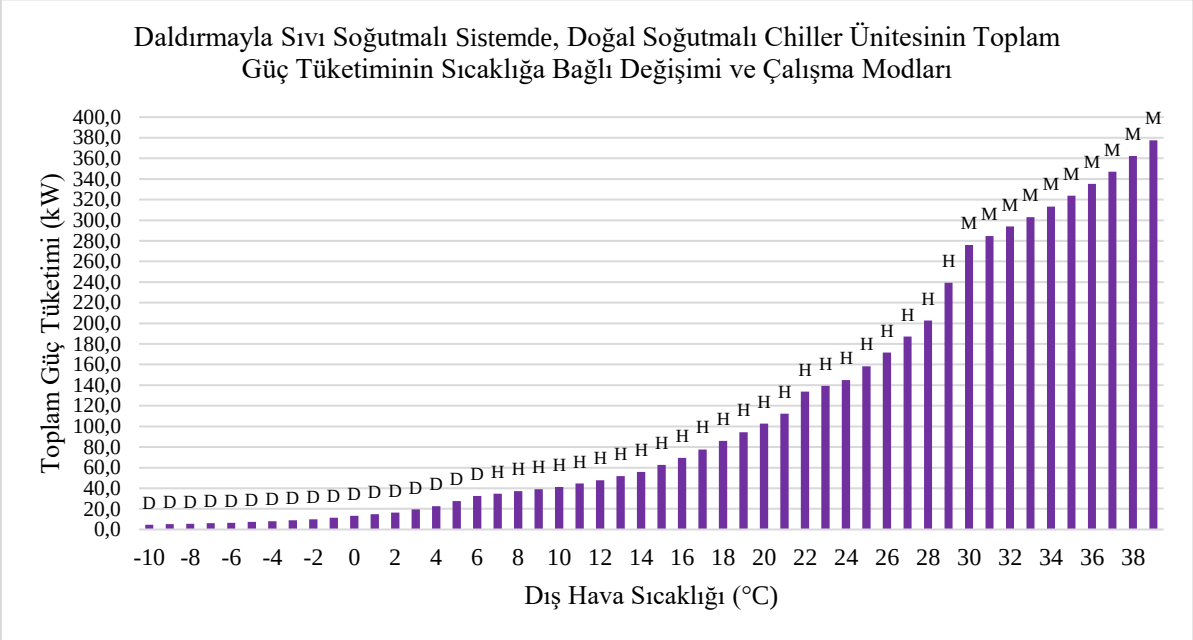
Tablo 15. Sıvı Soğutmalı Sistemdeki Doğal Soğutmalı Chiller Ünitesinin Güç ve Enerji Tüketimi

Model	TRANE GVAF 330 DS Chiller
Su Rejimi	26-32°C
Glikol Oranı	25%
Net Soğutma Kapasitesi	1530,04 kW

Dış Hava Sıcaklığı (°C)	Sıcaklığın Tekrar Ettiği Bir Yıldaki Saat Miktarı (sa)	Mekanik Yük (kW)	Doğal Soğutma Yük (kW)	Toplam Güç (kW)	Harcanan Toplam Enerji (kWh)
-10	0,04	0,0	1.530,8	4,7	0,2
-9	0,04	0,0	1.530,9	5,1	0,2
-8	0,04	0,0	1.530,9	5,5	0,2
-7	0,04	0,0	1.530,9	6,0	0,2
-6	0,7	0,0	1.530,9	6,6	4,5
-5	2,0	0,0	1.530,9	7,3	14,2
-4	5,1	0,0	1.530,8	8,0	40,4
-3	11,6	0,0	1.530,9	8,9	103,4
-2	18,9	0,0	1.530,9	9,9	186,2
-1	33,0	0,0	1.530,9	11,5	379,4
0	61,0	0,0	1.530,9	13,1	800,4
1	89,1	0,0	1.530,8	14,8	1.315,3
2	124,9	0,0	1.530,8	16,4	2.049,6
3	177,5	0,0	1.530,9	19,4	3.449,8
4	224,3	0,0	1.531,0	22,5	5.037,5
5	282,1	0,0	1.531,0	27,5	7.754,7
6	313,9	0,0	1.531,0	32,5	10.205,5
7	338,3	220,1	1.311,2	34,9	11.794,7
8	367,2	440,1	1.091,5	37,2	13.661,8
9	376,0	448,0	1.083,4	39,2	14.738,9
10	372,0	455,9	1.075,3	41,2	15.319,6
11	356,4	484,9	1.046,0	44,5	15.859,0
12	361,1	513,8	1.016,7	47,8	17.266,8
13	342,1	525,6	1.004,9	51,8	17.705,6
14	333,1	537,4	993,1	55,7	18.556,4
15	325,3	554,9	975,7	62,6	20.350,1
16	311,7	572,5	958,4	69,4	21.632,0
17	310,7	601,3	929,7	77,7	24.133,8

Tablo 15. Sıvı Soğutmalı Sistemdeki Doğal Soğutmalı Chiller Ünitesinin Güç ve Enerji Tüketimi (devamı)

18	315,9	630,2	901,1	85,9	27.149,1
19	322,8	696,3	835,0	94,3	30.432,8
20	337,2	762,4	768,8	102,6	34.602,6
21	338,6	827,9	703,2	112,4	38.057,0
22	357,8	893,4	637,6	133,6	47.802,2
23	362,6	1.088,6	442,4	139,3	50.515,5
24	348,6	1.023,5	507,5	145,0	50.559,9
25	306,4	1.087,8	443,0	158,3	48.496,0
26	253,8	1.152,1	378,6	171,5	43.539,9
27	210,8	1.216,0	314,8	187,0	39.427,9
28	165,7	1.279,9	251,0	202,6	33.559,2
29	126,7	1.405,4	125,5	239,3	30.319,4
30	80,7	1.530,9	0,0	276,1	22.287,4
31	47,3	1.530,9	0,0	284,6	13.469,6
32	26,7	1.530,9	0,0	293,8	7.859,2
33	13,0	1.530,9	0,0	303,0	3.944,0
34	4,2	1.530,9	0,0	313,4	1.317,9
35	2,0	1.530,9	0,0	323,7	648,2
36	0,6	1.530,9	0,0	335,4	188,0
37	0,3	1.530,9	0,0	347,0	97,2
38	0,1	1.530,9	0,0	362,3	29,0
39	0,1	1.530,9	0,0	377,5	30,2
TOPLAM					746.692,5



Şekil 27. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Sistemde, Doğal Soğutmalı Chiller Ünitesinin Toplam Güç Tüketiminin Sıcaklığa Bağlı Değişimi ve Çalışma Modları

Daha önce pPue değeri açıklanmıştı. İki sistem arasındaki ortak nokta chiller üniteleri olduğu için, pPue değeri chiller ünitesi için araştırılacak ve karşılaştırması yapılacaktır.

- 3 adet chiller ünitesi yıllık enerji tüketimi: 746.692,5 kWh x 3= 2.240.077,5 kWh (a)
- Toplam ICT ekipmanları yıllık enerji tüketimi: 4000 kW x 8760 h= 35.040.000,0 kWh (b)
- pPUE: (a+b)/b= 1,064

PUE değerinin tersi ise yüzde verimliliği verir. Bu chiller sisteminin verimliliği,

- 1/1,064=0,94 değerindedir.

Hava soğutmalı sistemde kullanılan chiller ünitesinin 1,113 pPue değerine karşılık 1,064 değeri ortaya çıkmaktadır. Bu da soğutucu ünitelerin enerji verimliliğinin 0,90 değerinden 0,94 değerine çıktığını kanıtlamaktadır.

1.2.2.3. Buffer Tank Seçimi

Bir önceki sistemdeki gibi buffer tankın sisteme 5 dakika boyunca soğuk su sağlaması mantıklı olacaktır. Buffer tank, bu sisteme göre %25 glikollü suyu depolayacaktır. ASHRAE'nin 2001'de yayınlanan "HVAC Fundamentals Handbook" kitabındaki 21. Bölümde salamura su verileri dikkate alınmıştır. Bu sistemdeki sıvı devresi 26-32°C sıcaklığı aralığındadır. Buna göre sıvının sıcaklık ortalaması 29°C olacaktır. 29°C'deki %25 glikollü suyun bilgilerine interpolasyonla erişilmiştir.

Tablo 16. 29°C ve %25 Glikollü Suyun Yoğunluğu

Sistem	Daldırmayla sıvı soğutmalı		
Sıvı Sıcaklığı (°C)	29		
ETİLEN GLİKOLLÜ SU YOĞUNLUĞU (kg/m³)			
Sıvı Sıcaklığı (°C)	**Hacim Yüzdesi Şeklinde Etilen Glikol Konsantrasyonu**		
	20%	**30%**	**25%**
25	1027,93	1043,32	
30	1026,02	1041,26	
29	1026,402	1041,672	1034,037

Tablo 17. 29°C ve %25 Glikollü Suyun Özgül Isısı

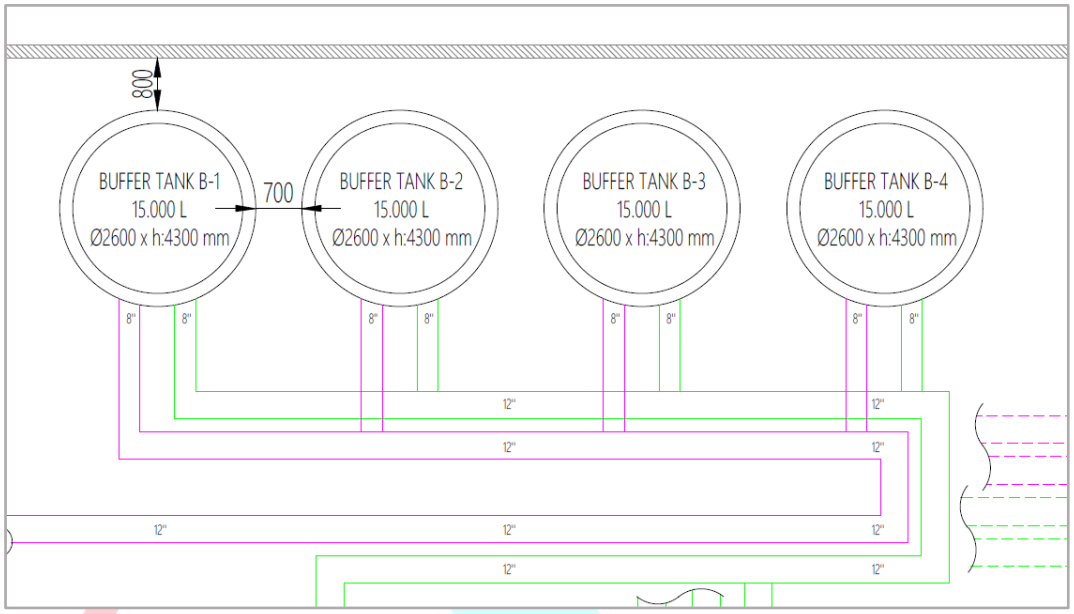
Sistem	Daldırmayla sıvı soğutmalı		
Sıvı Sıcaklığı (°C)	29		
ETİLEN GLİKOLLÜ SU ÖZGÜL ISISI (kJ/kgK)			
Sıvı Sıcaklığı (°C)	**Hacim Yüzdesi Şeklinde Etilen Glikol Konsantrasyonu**		
	20%	**30%**	**25%**
25	3,826	3,66	
30	3,838	3,674	
29	3,8356	3,6712	3,7534

Veri merkezinin ısıl yükü, %25 glikollü 29°C suyun verilerine bölündüğünde hacimsel debi elde edilecektir. Hacimsel debi, 5 dakika depolama süresiyle çarpıldığında tankın hacmi bulunur.

- 4000 (kW)= 1034,037 (kg/m³) x V' (m³/s) x 3,753 (kJ/kg) x 6 (°C)

- V'= 0,176923 m³/s
- V= 0,176923 m³/s x 300 s= 53,08 m³

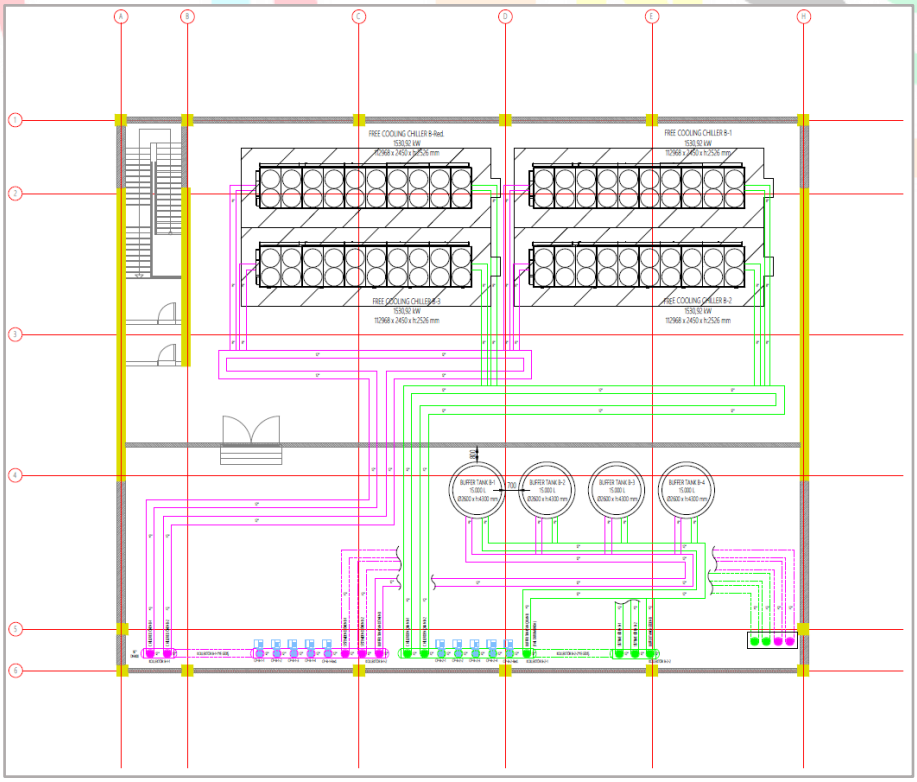
Buna göre, 4 tane 15 m³ tankın yerleştirilmesi uygun olacaktır. Buffer tanklar çatıya fakat bir mekanik odanın içine yerleştirilecektir. Sisteme soğuk su sağlanamaması durumu için bu yöntem uygulandığından tanklarda yedeklilik oluşturulmamıştır.



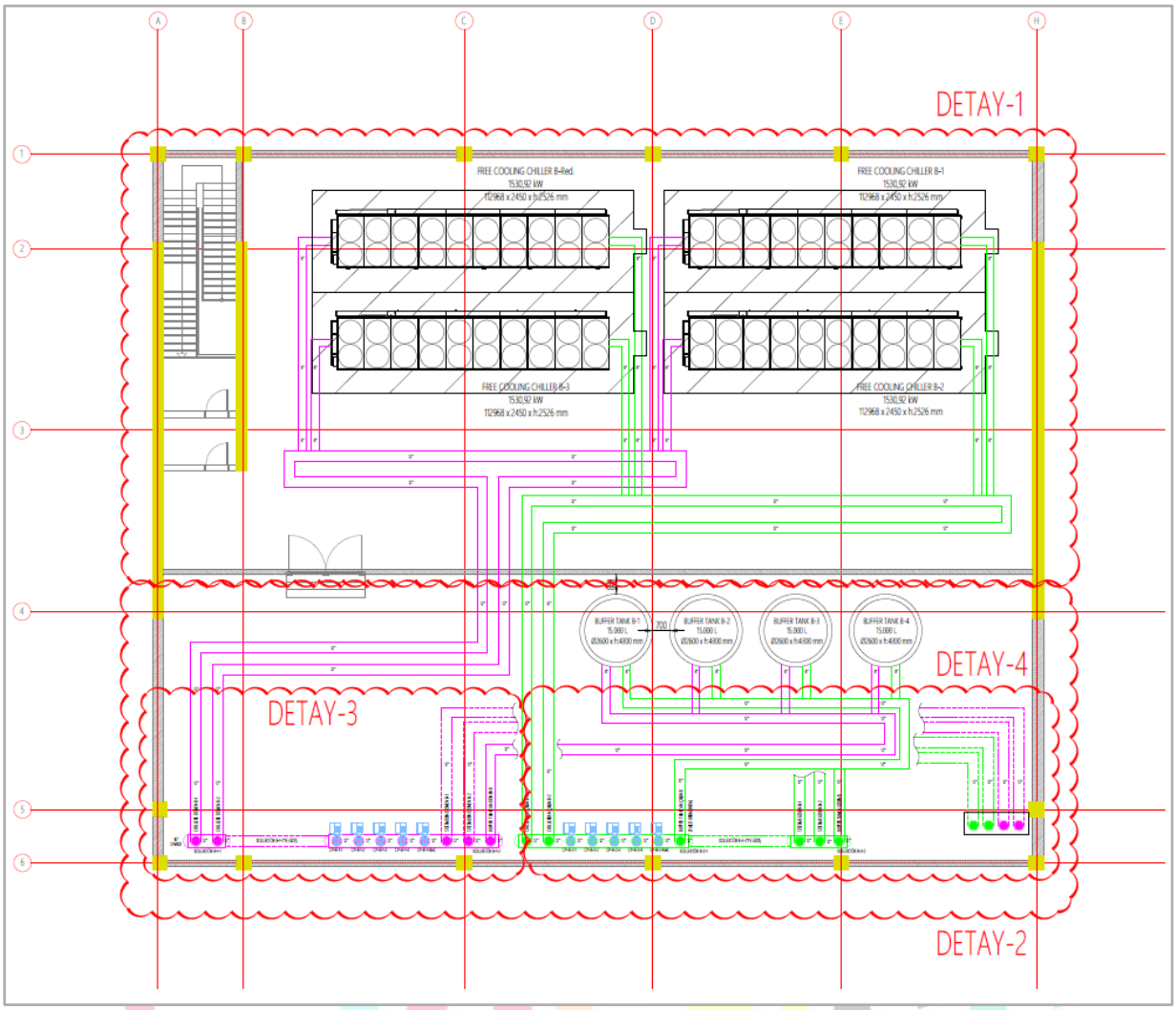
Şekil 28. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Buffer Tank Yerleşimi

1.2.2.4. Pompa Seçimi

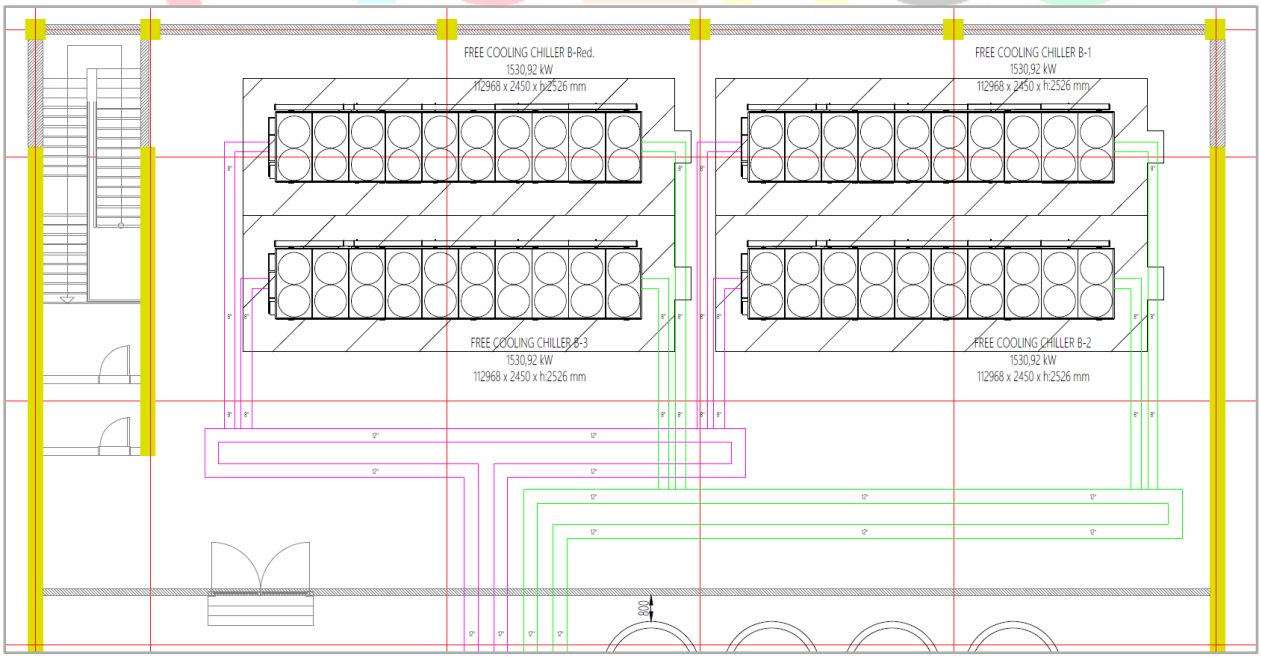
Chiller ünitesindeki suyu tanklara basabilmek için pompa kullanılmalıdır. Pompa seçimi kriterleri diğer sistemle aynıdır.



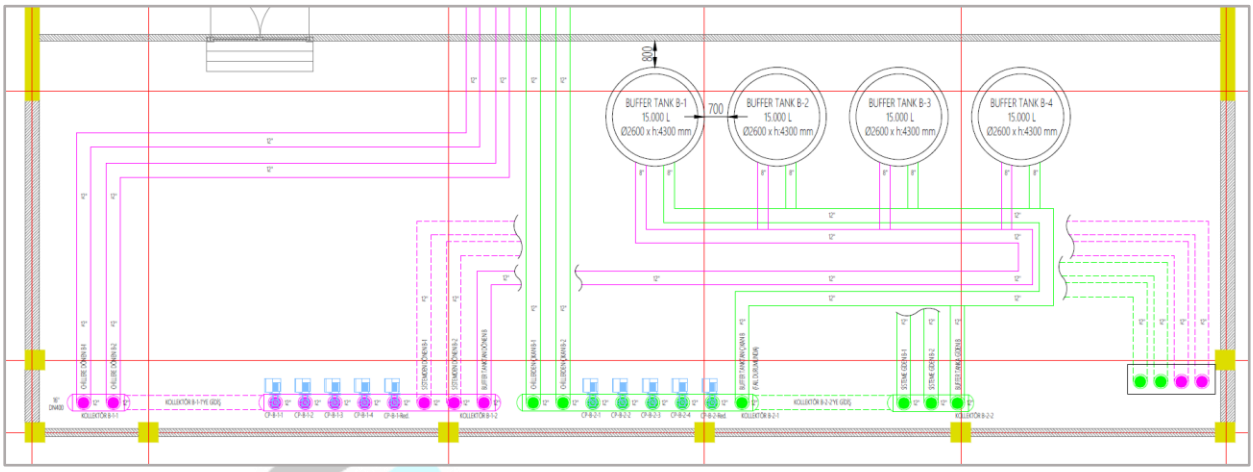
Şekil 29. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımı



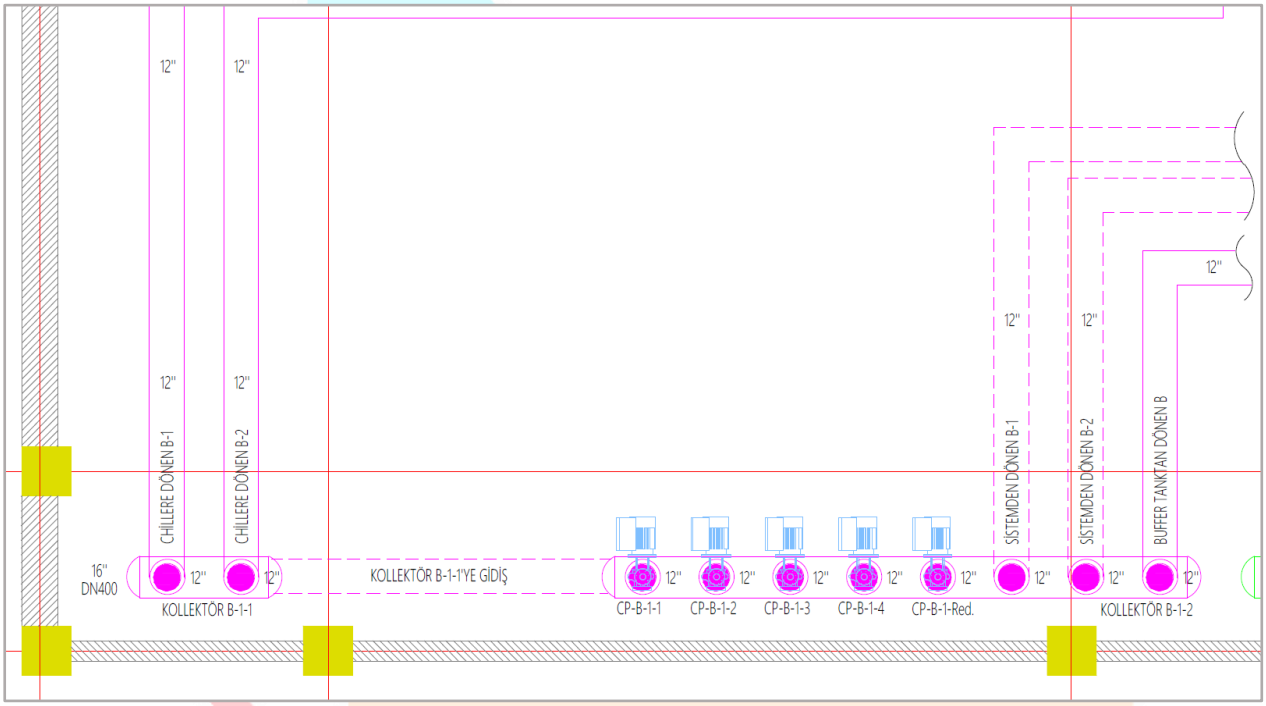
Şekil 30. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımında Detaylara Yönelik Numaralandırma



Şekil 31. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımı Detay-1



Şekil 32. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımı Detay-2

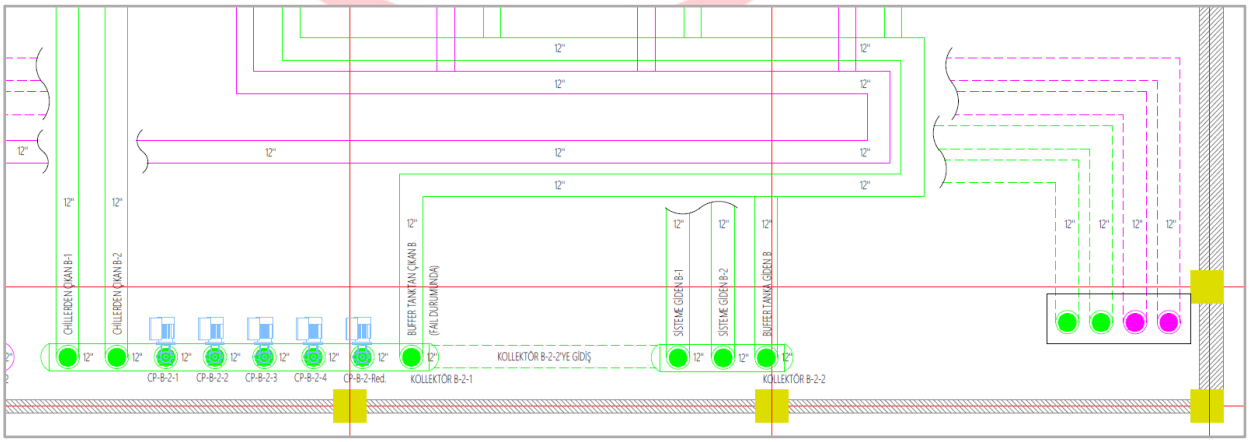


Şekil 33. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımı Detay-3

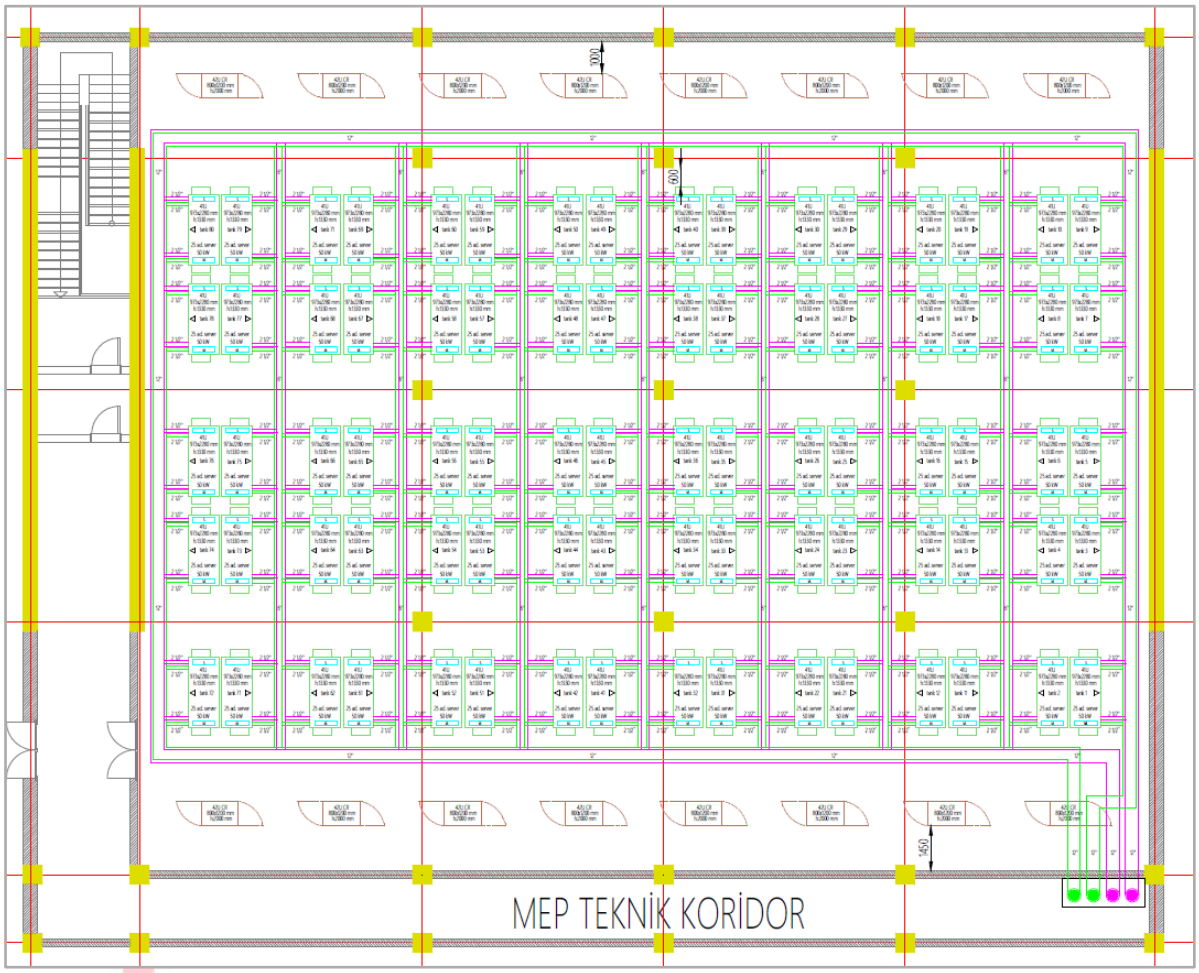
Boruların çaplandırması ve boru basınç kaybı hesapları MCA Yapı A.Ş. firmasının hesap dosyalarına ve tecrübelerine göre yapılmıştır.

Tablo 18. CP-B-1-(1-2-3-4) Kuru Rotorlu Sirkülasyon Pompası Özellikleri

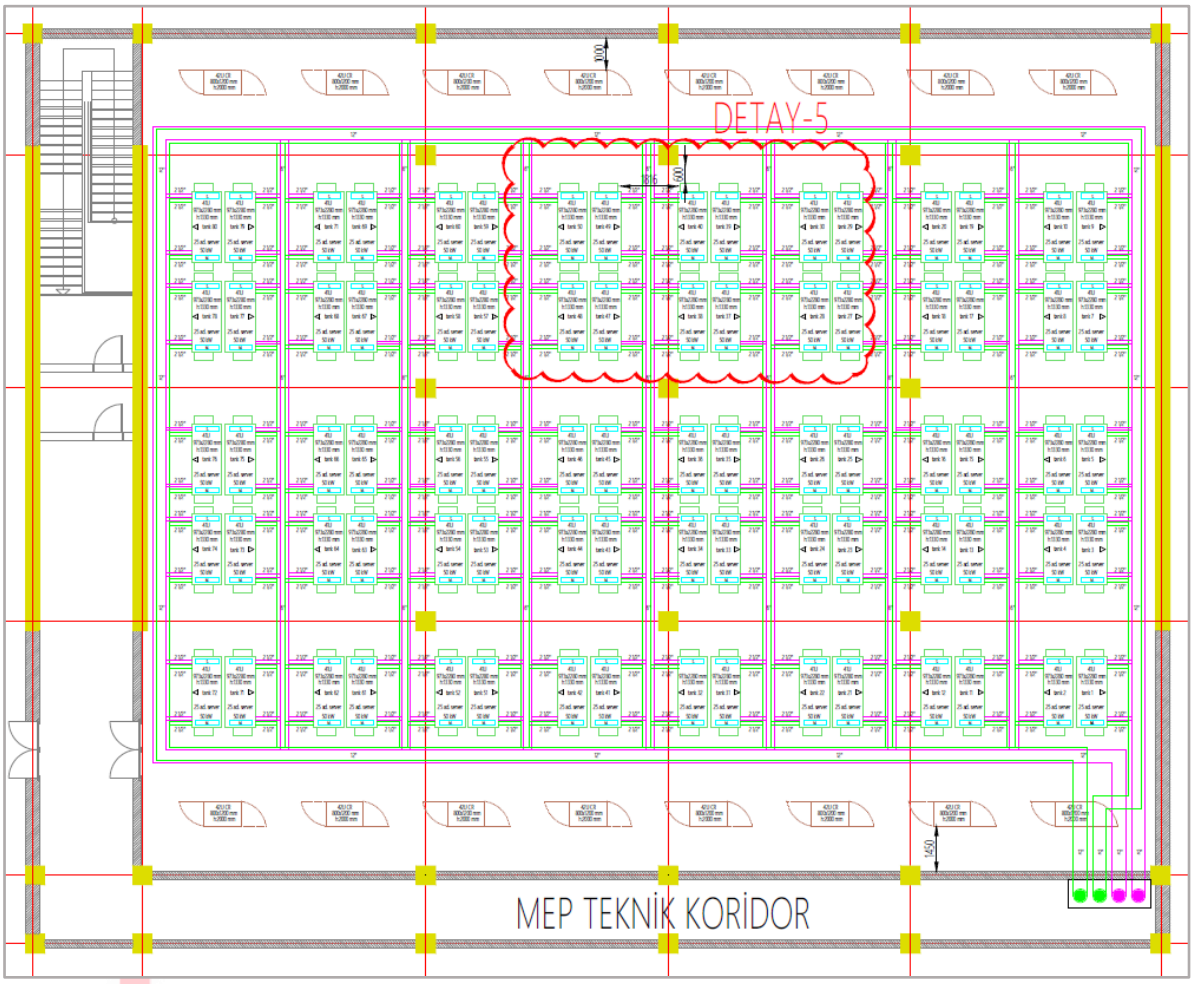
CP-B-1-(1-2-3-4) KURU ROTORLU SİRKÜLASYON POMPASI		
Sıvı Bilgileri		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Sıvı tipi		%25 Glikollü su
Giren sıvı sıcaklığı	°C	26
Dönen sıvı sıcaklığı	°C	32
ΔT	°C	6
Basınç Kayıpları		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Chiller basınç kaybı	kPa	230,9
Vanalar	kPa	85
Boru (12"-4000 kW)	m.	130
Boru (8"-1569,8 kW)	m.	90
Dirsek (12"-4000 kW)	ad.	26
Dirsek (8"-1569,8 kW)	ad.	8
Basınç Kaybı Sonuçları		
Toplam debi	m³/h	575,4
Toplam basınç kaybı	mSS	41
Pompa Özellikleri		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Pompa türü		Kuru rotorlu sirkülasyon pompası
Pompa özelliği		Sabit devirli
Pompa adedi	ad	4 asıl, 1 yedek
Pompa debisi	m³/h	150
Pompa basınç kaybı	mSS	41
Elektrik tüketimi	kW	30
Fiyat	€	4.082



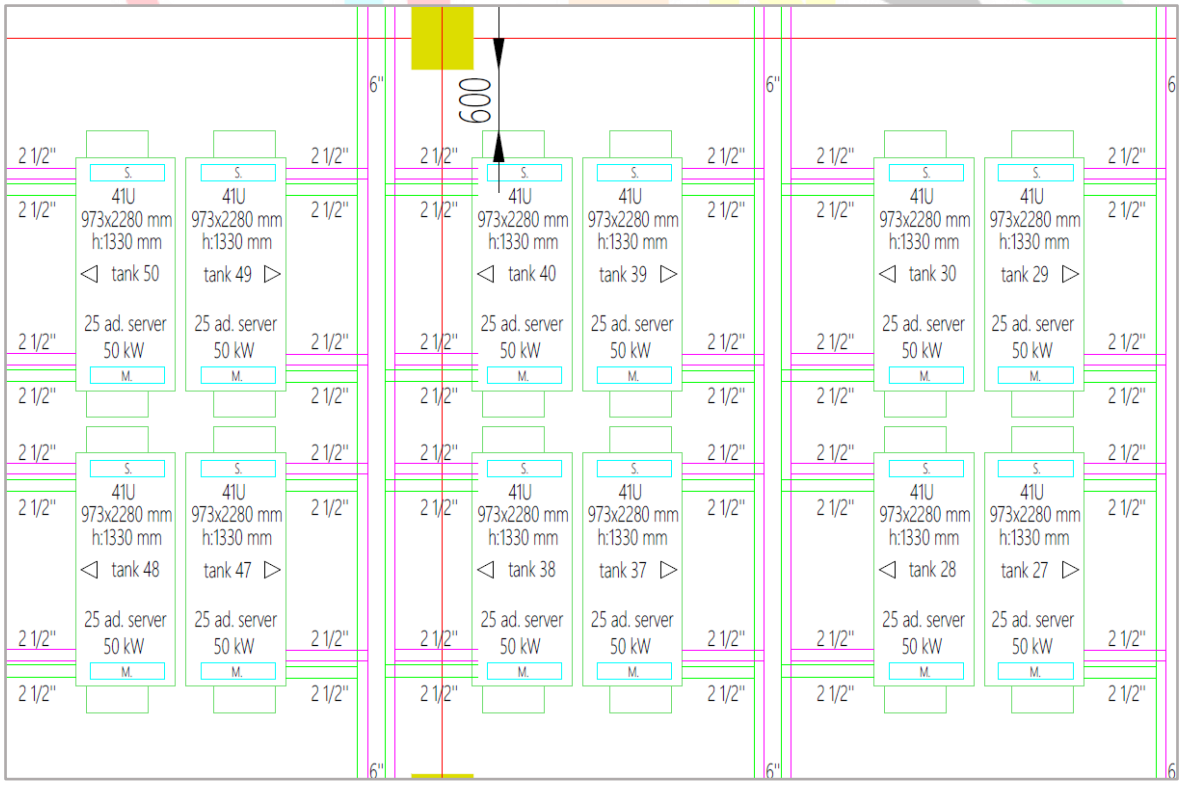
Şekil 34. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Çatı Planı Tasarımı Detay-4



Şekil 35. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Kat Planı Tasarımı



Şekil 36. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Kat Planı Tasarımında Detaylara Yönelik Numaralandırma

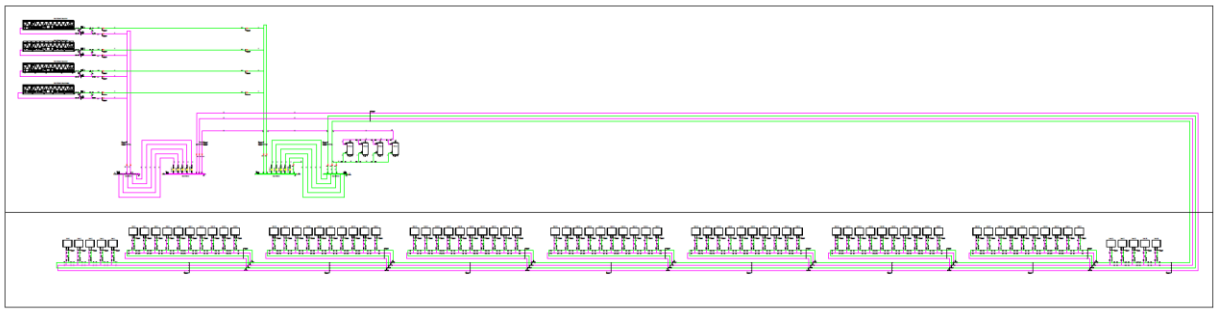


Şekil 37. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Kat Planı Tasarımı Detay-5

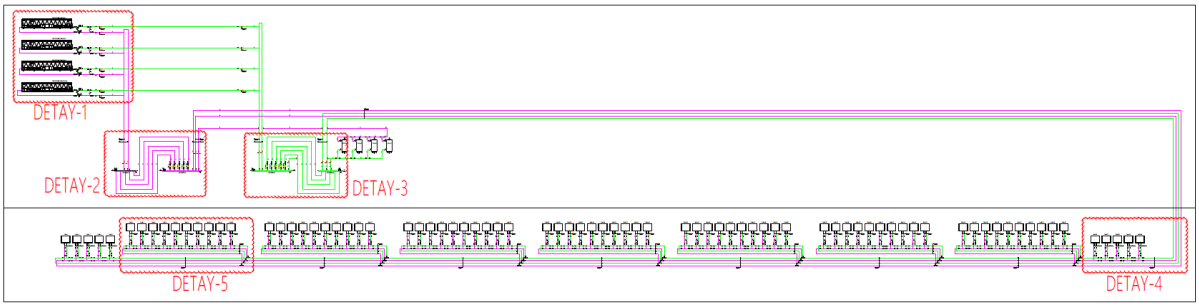
Tablo 19. CP-B-2-(1-2-3-4) Kuru Rotorlu Sirkülasyon Pompası Özellikleri

CP-B-2-(1-2-3-4) KURU ROTORLU SİRKÜLASYON POMPASI		
Sıvı Bilgileri		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Sıvı tipi		%25 Glikollü su
Giren sıvı sıcaklığı	°C	26
Dönen sıvı sıcaklığı	°C	32
ΔT	°C	6
Basınç Kayıpları		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Tank basınç kaybı	kPa	130
Vanalar	kPa	100
Boru (12"-4000 kW)	m.	286
Boru (10"-2000 kW)	m.	280
Boru (6"-500 kW)	m.	55
Tee Geçiş (6"-500 kW)	ad.	7
Dirsek (12"-4000 kW)	ad.	30
Basınç Kaybı Sonuçları		
Toplam debi	m³/h	575,4
Toplam basınç kaybı	mSS	34
Pompa Özellikleri		
Özellik	**Birim**	**Değer**
Pompa türü		Kuru rotorlu sirkülasyon pompası
Pompa özelliği		Frekans konvertörlü
Pompa adedi	ad	4 asıl, 1 yedek
Pompa debisi	m³/h	150
Pompa basınç kaybı	mSS	34
Elektrik tüketimi	kW	22
Fiyat	€	5.906

1.2.2.4.1. Sistem Şeması



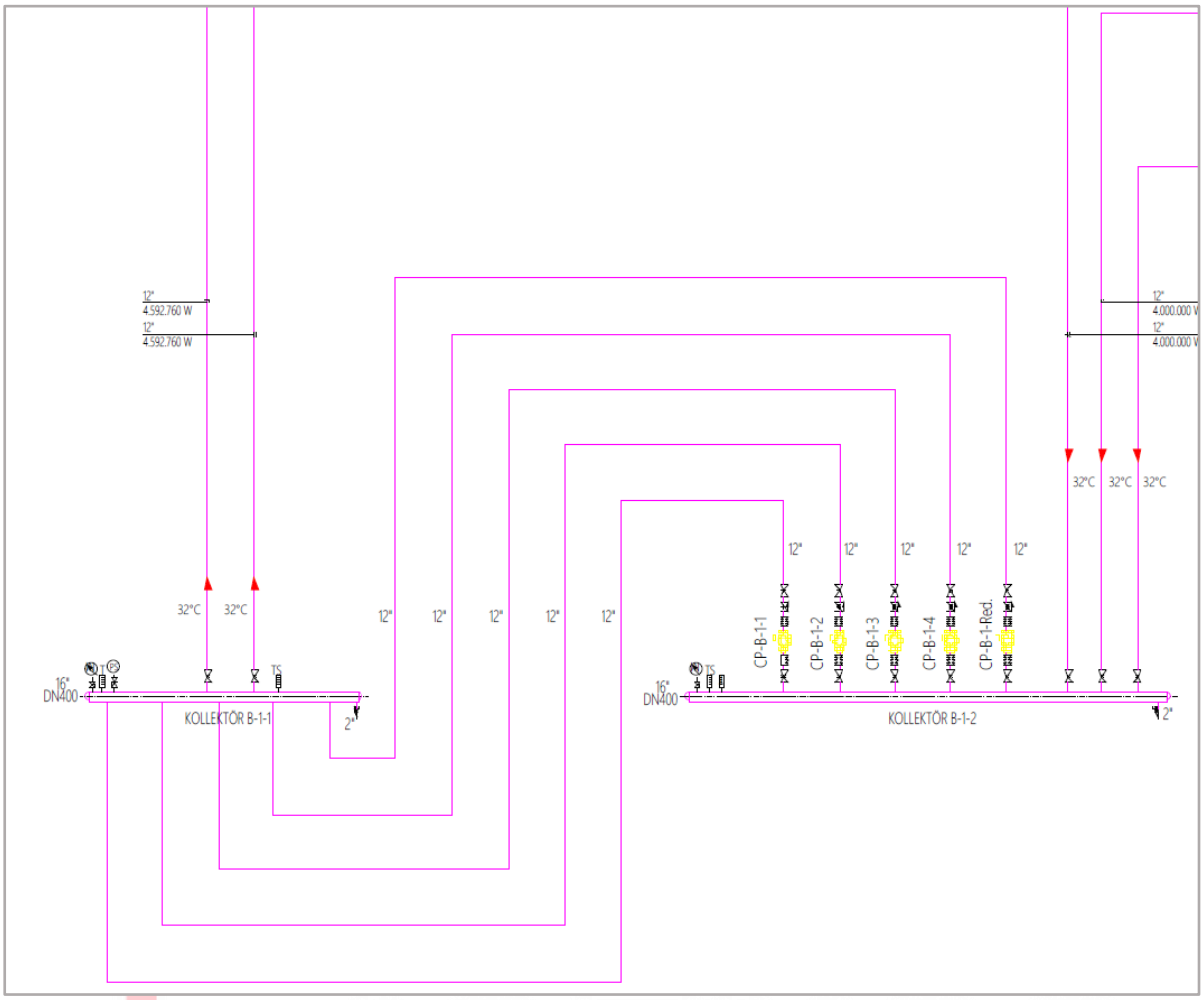
Şekil 38. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması



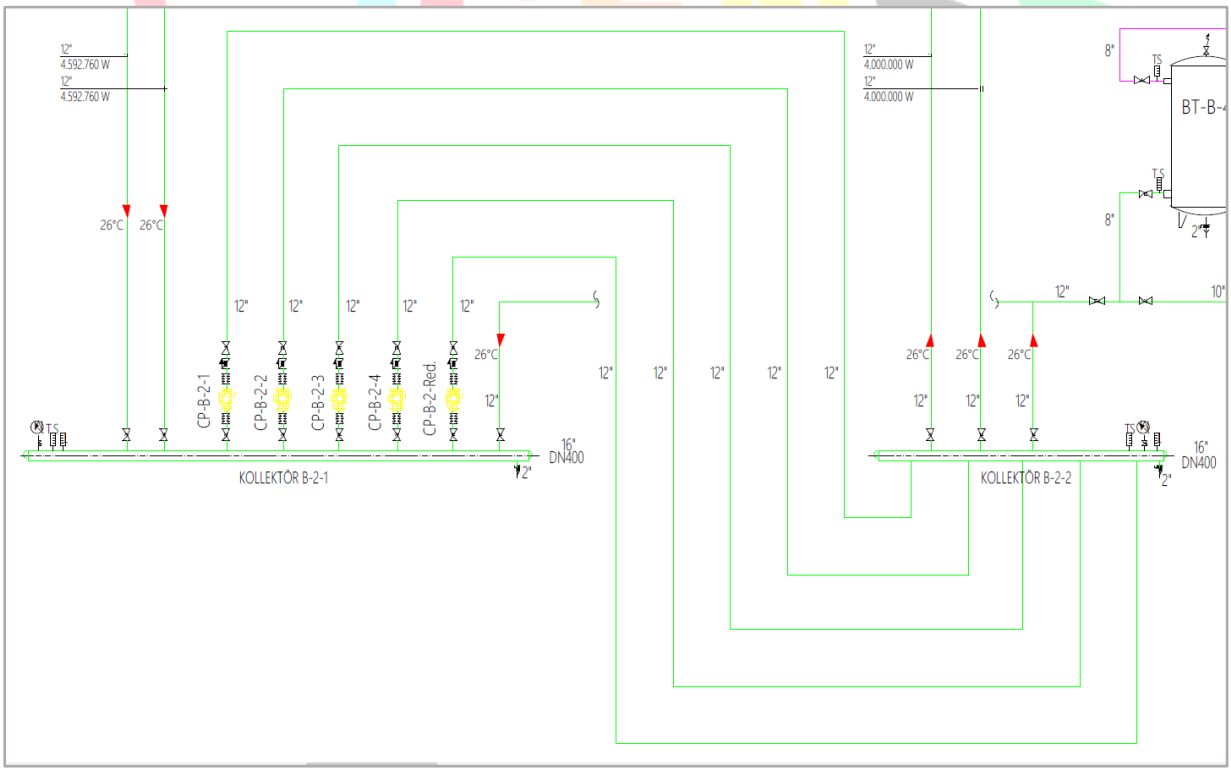
Şekil 39. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şemasında Detaylara Yönelik Numaralandırma



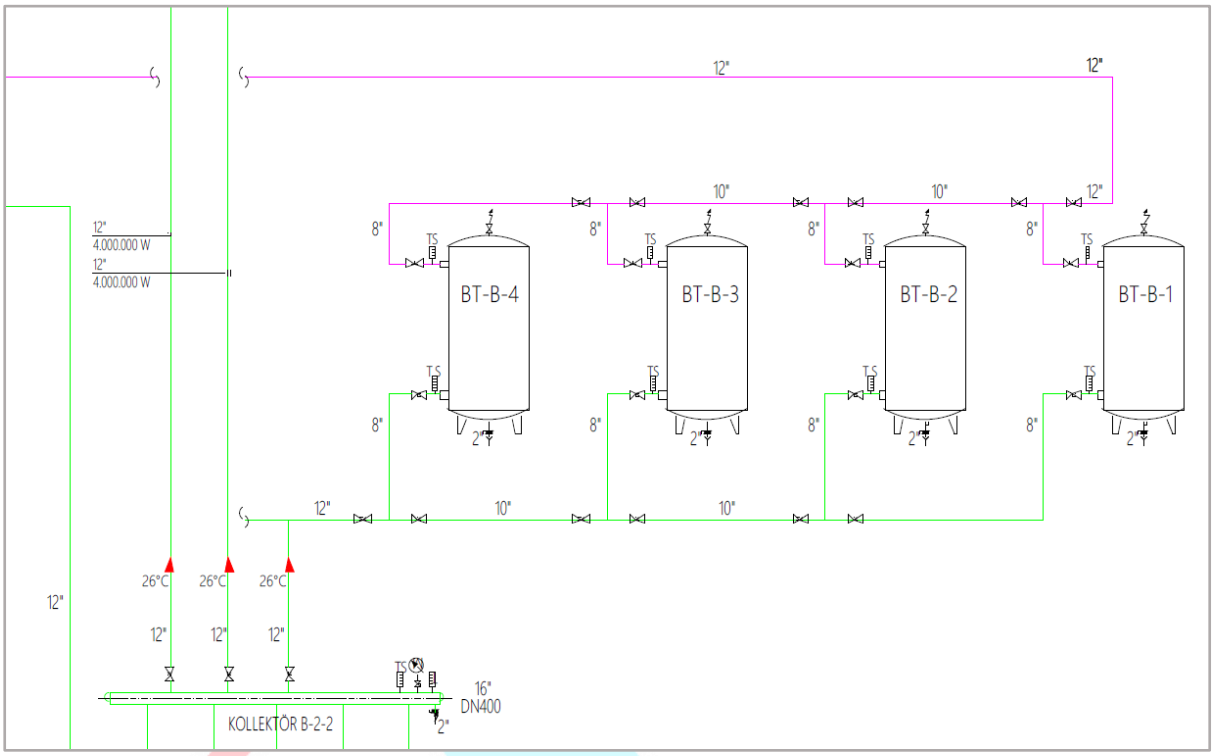
Şekil 40. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması Detay-1



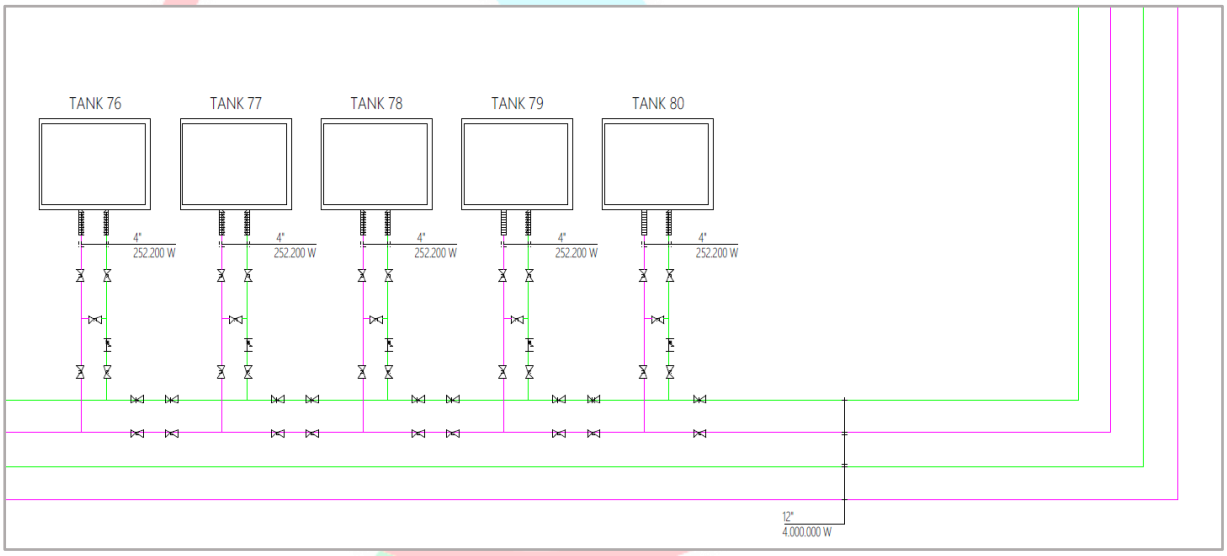
Şekil 41. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması Detay-2



Şekil 42. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması Detay-3



Şekil 43. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması Detay-4



Şekil 44. Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Veri Merkezinin Sistem Şeması Detay-5

1.2.3. İnşaat Alanı ve Maliyet

Tüm tasarım yapıldıktan sonra veri salonu için 871 m² alan, teknik koridorlarla beraber sağlanan toplam veri merkezi alanı 1083 m² olmaktadır. Bir m² için inşaat maliyeti tecrübeye dayanarak 2.000 € olarak belirlenmiştir ve sonuç tablosunda bu şekilde yer alacaktır.

1.3. Ekonomik Analiz

Çalışmanın bu aşamasına kadar sistemlerin tasarımı ve soğutma ekipmanlarının seçimi gerçekleştirilmiş, ekipmanların fiyatları belirtilmiştir. İlk yatırım maliyeti, yıllık enerji tüketimi, işletme maliyeti ve amortisman süresi karşılaştırmaları için ekonomik analiz yapılmalıdır.

1.3.1. İlk Yatırım Maliyeti (CAPEX)

Soğutma ekipmanlarının asıl ve yedek olmak üzere toplam adetleri ile birim adedinin fiyatının çarpımı, soğutma ekipmanının ilk yatırım maliyeti sonucunu verir. Tüm soğutma ekipmanlarının ilk yatırım maliyetlerinin toplamı, bir sistemin ilk yatırım maliyeti CAPEX sonucuna işaret eder.

Birinci sistemin soğutma sistemleri için ilk yatırım maliyetini oluşturan elemanlar:

- 3 asıl ve 1 yedek olmak üzere 4 adet doğal soğutmalı chiller ünitesi maliyeti
- 16 asıl ve 4 yedek olmak üzere 20 adet CRAH ünitesi maliyeti
- 4 adet olmak üzere buffer tank maliyeti
- 4 asıl ve 1 yedek olmak üzere 5 adet chiller tarafı primer pompaların maliyeti
- 4 asıl ve 1 yedek olmak üzere 5 adet CRAH tarafı sekonder pompaların maliyeti
- 200 adet sunucu kabineti ve 20 adet bağlantı kabineti olmak üzere 220 adet kabinetin maliyeti
- Birinci sistemin inşaat maliyeti

İkinci sistemin soğutma sistemleri için ilk yatırım maliyetini oluşturan elemanlar:

- 3 asıl ve 1 yedek olmak üzere 4 adet doğal soğutmalı chiller ünitesi maliyeti
- 80 adet daldırma tankı maliyeti
- 4 adet olmak üzere buffer tank maliyeti
- 4 asıl ve 1 yedek olmak üzere 5 adet chiller tarafı primer pompaların maliyeti
- 4 asıl ve 1 yedek olmak üzere 5 adet tank tarafı sekonder pompaların maliyeti
- 16 adet bağlantı kabinetinin maliyeti
- İkinci sistemin inşaat maliyeti

Araştırmada, geleneksel olan hava soğutmalı sistemin yerine, daldırmayla sıvı soğutmalı sistem kullanıldığında oluşan farkın gözlemlenmesi amaçlanmıştır. İki sistem arasındaki ilk yatırım maliyeti farkı, hava soğutmalı birinci sistemin ilk yatırım maliyeti toplamına oranlanmıştır. Bu hesaplama, faiz oranı için faiz miktarının ana paraya bölünmesindeki prensibe benzetilebilir.

$$\text{İlk yatırım maliyeti (CAPEX) oranı (\%)} = \frac{\text{Sistem 2 CAPEX} - \text{Sistem 1 CAPEX}}{\text{Sistem 1 CAPEX}} \; x\,100$$

1.3.2. Yıllık Enerji Tüketimi (AEC)

Elektrik tüketen soğutma ekipmanlarının harcadığı güç değeri, ekipmanların seçiminde belirtilmişti. Sistemlerin enerji tüketimi karşılaştırması için, elektrikli ekipmanların bir senede harcadığı elektrik enerjisi hesaplanmıştır. Elektrik tüketimi, asıl ekipmanlar tarafından gerçekleştirileceği için işletim maliyeti OPEX'in değerlendirmesinde asıl ekipman adedi dikkate alınmıştır.

Birinci sistemin soğutma sistemleri için enerji tüketimini oluşturan elemanlar:

- 3 asıl doğal soğutmalı chiller ünitesinin enerji tüketimi
- 16 asıl CRAH ünitesinin enerji tüketimi
- 4 asıl chiller tarafı primer pompaların enerji tüketimi
- 4 asıl CRAH tarafı sekonder pompaların enerji tüketimi
- 2000 adet sunucunun enerji tüketimi

İkinci sistemin soğutma sistemleri için enerji tüketimini oluşturan elemanlar:

- 3 asıl doğal soğutmalı chiller ünitesinin enerji tüketimi
- 80 adet daldırma tankının enerji tüketimi
- 4 asıl chiller tarafı primer pompaların enerji tüketimi
- 4 asıl tank tarafı sekonder pompaların enerji tüketimi
- 2000 adet sunucunun enerji tüketimi

Yıllık enerji tüketimi (kWh)= Br. cihazın elektrik gücü (kW) x 8766 sn x Çalışan adet

Yıllık enerji tüketimi (AEC) oranı (%)= $\frac{\text{Sistem 2 AEC}-\text{Sistem 1 AEC}}{\text{Sistem 1 AEC}}\ x\ 100$

Sistemlerin işletim maliyeti karşılaştırması için, az önceki formülle hesaplanmış olan elektrikli ekipmanların enerji tüketimi ile elektrik birim fiyatı çarpılmıştır. Ticarethaneler için vergi ve fonlar dahil belirlenen fiyat 2024 yılında 4,6176 ₺/kWh'tir. Mayıs ve Haziran ayları için gözlenen Türk Lirası ve Euro kuru 0,029 €/₺'dir.
Elektrik birim fiyatı (€/kWh)= 4,6176 ₺ x 0,029= 0,13 €

Birinci sistemin soğutma sistemleri için işletim maliyetini oluşturan elemanlar:

- 3 asıl doğal soğutmalı chiller ünitesinin işletim maliyeti
- 16 asıl CRAH ünitesinin işletim maliyeti
- 4 asıl chiller tarafı primer pompaların işletim maliyeti
- 4 asıl CRAH tarafı sekonder pompaların işletim maliyeti
- 2000 adet sunucunun işletim maliyeti

İkinci sistemin soğutma sistemleri için işletim maliyetini oluşturan elemanlar:

- 3 asıl doğal soğutmalı chiller ünitesinin işletim maliyeti
- 80 asıl daldırma tankının işletim maliyeti
- 4 asıl chiller tarafı primer pompaların işletim maliyeti
- 4 asıl tank tarafı sekonder pompaların işletim maliyeti
- 2000 adet sunucunun işletim maliyeti

İşletim maliyeti (€)= Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh) x Elektrik Birim Fiyatı (€/kWh)

İşletim maliyeti (OPEX) oranı (%)= $\frac{Sistem\ 2\ OPEX-Sistem\ 1\ OPEX}{Sistem\ 1\ OPEX}\ x\ 100$

Daldırmayla sıvı soğutmalı ikinci sistemin OPEX'te oluşturacağı avantajın, CAPEX için oluşturacağı dezavantajı kapatacağı süre de bir işletmenin sistem seçiminde etkilidir. Bunun için sistemlerin CAPEX farkı, OPEX farkına oranlanmıştır.

Amortisman süresi (yıl)= $\left|\frac{Sistem\ 2\ CAPEX-Sistem\ 1\ CAPEX}{Sistem\ 2\ OPEX-Sistem\ 1\ OPEX}\right|$

2. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, hava soğutmalı ve tek fazlı daldırmayla sıvı soğutmalı iki farklı veri merkezi beyaz alanlarının tasarımı yapılmış ve soğutma cihazlarının seçimleri ile hesapları gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, iki farklı veri merkezi beyaz alanlarının; soğutma ekipmanları fiyatları ve soğutma için harcanan enerji kapsamında karşılaştırması yapılacaktır. Karşılaştırmalar; ilk yatırım maliyeti, işletim maliyeti, yıllık enerji tüketimi ve amortisman süresi üzerine olacaktır.

Sistemlerdeki transformatörlerin ısı kaybı ve tükettikleri enerji miktarları iki sistemin elektrik tüketimi farklarından dolayı değişecektir. Fakat bu durum araştırmanın kapsamı dışında olduğu için ihmal edilmiştir. Ayrıca sunucu fiyatları da, müşterinin isteğine göre farklılık göstereceği ve soğutma sistemlerinin karşılaştırmasında yer edinmediği için ihmal edilmiştir.

Elektrik tüketimi, asıl ekipmanlar tarafından gerçekleştirileceği için işletim maliyeti OPEX'te asıl ekipman adedi dikkate alınmıştır. Ayrıca doğal soğutmalı chiller için toplam güç tüketimi ifade edilmesine karşın, OPEX bölümünde, daha önce hesaplanan ve yıllık tüketim için doğal soğutmaya bağlı olarak elde edilen değerler yerleştirilmiştir. Maliyet analizi ise, iki sistemin ilk yatırım maliyetleri farkı CAPEX'in Bu çalışmaların sonucunda, sonuç tablosunda da görüldüğü gibi şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Daldırmayla sıvı soğutmalı sistemin, soğutma sistemleri için ilk yatırım maliyeti (CAPEX) %56 daha pahalıdır.
- Daldırmayla sıvı soğutmalı sistemin, soğutma sistemleri için yıllık işletim maliyeti (OPEX) %24 daha ekonomiktir.
- Daldırmayla sıvı soğutmalı sistemin, soğutma sistemleri için yıllık enerji tüketimi %24 daha ekonomiktir.
- Daldırmayla sıvı soğutmalı sistem, soğutma sistemleri için 17 yılda kendini amorti etmektedir.

Tablo 20. Hava Soğutmalı Sistem ve Daldırmayla Sıvı Soğutmalı Sistem Karşılaştırma Analizi

No	Sistemler	CAPEX-İlk Yatırım Maliyeti									OPEX-İşletme Maliyeti			
		Elektrik Gücü (kW)	Birim	Adet	Yedek	Toplam Adet	Toplam Güç	Br. Fiyat	Toplam Fiyat		Yıllık Br. Tüketim (kWh)	Yıllık Toplam Tüketim (kWh)	Elektrik Br. Fiyatı (€/kWh)	Yıllık Toplam Tüketim (€)
1	HAVA SOĞUTMALI													
1.1	MEP SİSTEMLERİ													
1.1.1	DS Chiller	443 kW	ad	3	1	4	1.328 kW	€ 413.000	€ 1.652.000		1.319.963 kWh	3.959.888 kWh	€ 0,13	€ 514.785,49
1.1.2	CRAH	9 kW	ad	16	4	20	150 kW	€ 70.000	€ 1.400.000		81.962 kWh	1.311.394 kWh	€ 0,13	€ 170.481,17
1.1.3	Buffer tank		ad	4		4	0 kW	€ 16.898	€ 67.590		0 kWh	0 kWh	€ 0,13	€ 0,00
1.1.4	Pompalar (Chiller tarafi)	22 kW	ad	4	1	5	88 kW	€ 3.392	€ 16.960		192.852 kWh	771.408 kWh	€ 0,13	€ 100.283,04
1.1.5	Pompalar (Sekonder taraf)	22 kW	ad	4	1	5	88 kW	€ 5.906	€ 29.530		192.852 kWh	771.408 kWh	€ 0,13	€ 100.283,04
1.1.6	**MEP Sistemleri Toplamı**						**1.654 kW**		**€ 3.166.080**			**6.814.098 kWh**		**€ 885.832,73**
1.2	IT SİSTEMLERİ													
1.2.1	Kabinet		ad	220		220	0 kW	€ 2.500	€ 550.000					
1.2.2	Sunucu	2 kW	ad	2000		2000	4.000 kW		€ 0		17.532 kWh	35.064.000 kWh	€ 0,13	€ 4.558.320,00
1.2.3	**IT Sistemleri Toplamı**								**€ 550.000**					**€ 4.558.320,00**
1.3	**İNŞAAT MALİYETİ**		**m²**	**1395**		**1395**		**€ 2.000**	**€ 2.790.000**					
2	D. SIVI SOĞUTMALI													
2.1	MEP SİSTEMLERİ													
2.1.1	DS Chiller	378 kW	ad	3	1	4	1.133 kW	€ 350.000	€ 1.400.000		746.693 kWh	2.240.078 kWh	€ 0,13	€ 291.210,08
2.1.2	Daldırma tankı	2 kW	ad	80		80	128 kW	€ 80.000	€ 6.400.000		14.026 kWh	1.122.048 kWh	€ 0,13	€ 145.866,24
2.1.3	Buffer tank		ad	4		4	0 kW	€ 16.898	€ 67.590		0 kWh	0 kWh	€ 0,13	€ 0,00
2.1.4	Pompalar (Chiller tarafi)	30 kW	ad	4	1	5	120 kW	€ 4.082	€ 20.410		262.980 kWh	1.051.920 kWh	€ 0,13	€ 136.749,60
2.1.5	Pompalar (Sekonder tarafi)	22 kW	ad	4	1	5	88 kW	€ 5.906	€ 29.530		192.852 kWh	771.408 kWh	€ 0,13	€ 100.283,04
2.1.6	**MEP Sistemleri Toplamı**						**1.469 kW**		**€ 7.917.530**			**5.185.454 kWh**		**€ 674.108,96**
2.2	IT SİSTEMLERİ													
2.2.1	Kabinet		ad	16		16	0 kW	€ 2.500	€ 40.000					
2.2.2	Sunucu	2 kW	ad	2000		2000	4.000 kW		€ 0		17.532 kWh	35.064.000 kWh	€ 0,13	€ 4.558.320,00
2.2.3	**IT Sistemleri Toplamı**								**€ 40.000**					**€ 4.558.320,00**
2.3	**İNŞAAT MALİYETİ**		**m²**	**1083**		**1083**		**€ 2.000**	**€ 2.166.000**					
3	ÖZET						CAPEX				OPEX (Yıllık)			
							SİSTEM 1	SİSTEM 2	FARK	%	SİSTEM 1	SİSTEM 2	FARK	%
3.1	MEP SİSTEMLERİ						€ 3.166.080	€ 7.917.530	€ 4.751.450	150%	€ 885.833	€ 674.109	-€ 211.724	-24%
3.2	IT SİSTEMLERİ						€ 550.000	€ 40.000	-€ 510.000	-93%				
3.3	İNŞAAT MALİYETİ						€ 2.790.000	€ 2.166.000	-€ 624.000	-22%				
3.4	GENEL						€ 6.506.080	€ 10.123.530	€ 3.617.450	56%	€ 885.833	€ 674.109	-€ 211.724	-24%
3.5	AMORTİSMAN								-17 Yıl					

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Acül, H. (2009). Kuru Soğutuculu Doğal Soğutma Uygulamaları ile İklimlendirme Sistemelrinde Enerji Verimliliği. *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi TESKON* (s. 18). İzmir: FRİTERM.

ASHRAE. (2021). *ASHRAE Climatic Design Conditions*. ASHRAE Meteo: https://ashrae-meteo.info/v2.0/ adresinden alındı

Chhetri, A., Kashyap, D., Mali, A., Agarwai, C., Ponraj, C., & Gobinath, N. (2022). Numerical simulation of the single-phase immersion cooling process using a dielectric fluid in a data server. *Materials Toda: Proceedings*, 1532.

Chi, Y. Q., Summers, J., Hopton, P., Deakin, K., Real, A., Kapur, N., & Thompson, H. (2014). Case study of a data centre using enclosed, immersed, direct liquid-cooled servers. *30th Semi-Therm Symposium*, (s. 3).

Cho, J., Park, B., & Jeong, Y. (2019). Thermal Performance Evaluation of a Data Center Cooling System under Fault Conditions. *Energies*, 11.

Demetriou, D. (2015). *Effectively applying the expanded ASHRAE guidelines in your data center.* ABD: IBM Corporation.

Dymyd, L., Ciubotaru, L., Helezen, M., Shah, J. M., Pai, L., Brink, R., . . . Gore, N. (2020). *Design Guidelines for Immersion-Cooled IT Equipment.* Open Compute Project.

encazip.com. (2024, Mayıs 29). *Elektrik Birim Fiyatları 2024*. encazip.com: https://www.encazip.com/elektrik-fiyatlari adresinden alındı

GRC. (2023). *The Definitive Guide to Immersion Cooling.* Green Revolution Cooling, Inc.

Hitema. (tarih yok). *Free Cooling.* Padua: Hitema.

Hnayno, M., Chehade, A., Klaba, H., Baudin, H., Polidori, G., & Maalouf, C. (2022). Performance analysis of new liquid cooling topology and its impact on data centers. *Applied Thermal Engineering*, 1.

Hnayno, M., Chehade, A., Klaba, H., Polidori, G., & Maalouf, C. (2023). Experimental investigation of a data-centre cooling system using a new single-phase immersion/liquid technique. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2-3.

Malik, A. (2016, 04 14). *iNEMI Roadmap Identifies Trends Impacting Electronics Thermal Management*. Electronics Cooling: https://www.electronics-cooling.com/2016/04/inemi-roadmap-identifies-trends-impacting-electronics-thermal-management/ adresinden alındı

Nakajima, N., Chen, C., Wu, J., Lo, D., Zhang, J., Xian, W., . . . Hotta, M. (2023). *Intel Collaborates with KDDI to Drive Sustainable Immersion Cooling Data Center Solutions.* Intel Corporation.

Patankar, S. V. (2010). Airflow and Cooling in a Data Center. *Journal of Heat Transfer*, 1.

Pusat, Ş., & Ekmekçi, İ. (2017). Bin weather data for different climates of Turkey. *Int. J. Global Warming*, 90.

Quirk, D., Davidson, T., & Schmidt, R. (2022). ASHRAE's Data Center Thermal Guidelines. *ASHRAE Journal*, 25.

Rasmussen, N. (2017). *Calculating Total Cooling Requirements for Data Centers.* Schneider Electric.

Shantheyanda, B., Dutta, S., Coscia, K., & Schiemer, D. (2015). Low Electrical Conductivity Liquid Coolants for Electronics Cooling. *Electronics Cooling*, 12.

Telecommunications Industry Association. (2005). *Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers.* ABD: Telecommunications Industry Association.

Wessel, D. J., Reeves, G., Kohloss, F. H., Rock, B. A., Underwood, T. D., & Woodford, M. W. (2001). *ASHRAE Fundementals Handbook.* ASHRAE.

Wibron, E., Ljung, A.-L., & Lundström, T. S. (2019). Comparing Performance Metrics of Partial Aisle Containments in Hard Floor and Raised Floor Data Centers Using CFD. *Energies*, 2.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Vırtual And Experımental Investıgatıon Of Hvac Ihx Component Performance Under Wltp Conditıons

Mustafa DEVECİ[1]
Osman SÜMER[2]
Göktuğ GENÇELLİ[3]

Abstract

In this study, it is aimed to verify the vehicle 1D HVAC model created with the Simcenter Amesim program through vehicle tests. During this verification, the thermal performance evaluation of the air conditioning system using R1234yf refrigerant, with and without IHX, was carried out. While establishing the Amesim 1D model, each component was calibrated separately and then the system was checked. In vehicle tests, while the air conditioning system was operating at maximum performance, the vehicle was brought to different speed levels. In this way, the real usage situation of the vehicle is simulated. The IHX effect was examined by calculating the subcooling, superheating values, PH diagram and COP value with the data received. These values were compared with virtual simulation and vehicle level tests, and the accuracy of the virtual model was examined. As a result of the studies, it was observed that the IHX component increased the COP value of the system by 4.73% and the superheating value by an average of 12.1 (˚C).

Keywords: IHX, 1D Simulation, Subcooling, Superheating, Cooldown

[1] Teknik Uzman, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Güç Sistemleri Müdürlüğü, Orcid: 0009-0007-9074-0959
[2] Teknik Uzman, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Güç Sistemleri Müdürlüğü, Orcid: 0009-0007-9074-0959
[3] Teknik Uzman, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Güç Sistemleri Müdürlüğü, Orcid: 0009-0007-9074-0959

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Giriş ve Kuramsal Çerçeve

Araç kabinindeki termal konfor, taşıt tahrik sistemi fark etmeksizin araç içindekilerin sağlık ve güvenliğinin yanı sıra sürücü ve yolcuların ısıl hissiyatı için de önemli tasarım kriterlerinin başında gelmektedir. Bir aracın ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemi (HVAC), her türlü hava koşuluna uygun hava kalitesini ve sıcaklığını sağlamakla yükümlü olup kullanıcı taleplerine gerekli cevapları vermelidir. Yaz koşullarında Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) standartlarına göre kabin içi hava sıcaklığının genel olarak 23°C ila 28°C aralığında olması gerekmektedir (Sen ve Selokar, 2016: 52-61). Bunların yanı sıra HVAC sisteminin karşılaması gereken ısıtma, buz çözme ve buğu giderme, ıslatma ve soğutma bazı yan görevleri de bulunmaktadır.

Otomobil klima sistemindeki soğutucu akışkan çevrimi, buhar sıkıştırmalı soğutma prensibi ile çalışır. Temel seviyede bir klima sistemini genel ekipmanları; kompresör, kondenser, termostatik genleşme vanası ve evaporatörden oluşmaktadır. Bunlara ilave olarak araç soğutma sistemi plaka soğutuculu eşanjör, IHX, ısı pompası, su soğutmalı kondenser gibi komponentler ile entegreli ileri seviye çevrim varyasyonları da içeren konfigürasyonlara evrilebilmektedir. Bu bileşenler sistemden istenen beklentileri karşılayabilecekleri şekilde boyut ve performans parametrelerinde optimize edilerek tasarlanmaktadır. Bunlardan dahili ısı eşanjörleri (IHX), sistem verimliliğini artırmak için buhar sıkıştırmalı soğutma sistemlerinde kullanılan komponentlerdir. Bir IHX evaporatörden çıkan düşük basınçlı, düşük sıcaklıktaki soğutucuyu kullanarak, kondenserden çıkan sıvı haldeki soğutucu akışkanı soğutma işlevini gerçekleştirir. (Zhang vd., 2024: 236-B) IHX'in kullanılma sebeplerinden biri soğutucu akışkanın spesifik soğutma kapasitesinin arttırılması ve soğutucu akışkanın sıvı halde kompresöre girmesinin önlenmesidir. Ancak kompresörün emme noktasındaki kızgınlık arttıkça tahliye sıcaklığı da artar ve yüksek sıcaklık nedeniyle yağlayıcı performansı düşer bu kompresör verimini düşürebilir. Genel olarak, IHX eklenmesiyle elde edilen performans katsayısında potansiyel iyileşme, spesifik soğutma kapasitesindeki artış ile spesifik kompresör işindeki artış arasındaki dengeye bağlıdır. (Zhang vd., 2022: 1-2)

Araç modeliyle birlikte bileşen ve sistem seviyesinde klima sisteminin simülasyon uygulamaları ilk olarak 1972 gibi erken bir tarihte yapılmıştır (Davis vd., 1972). Soğutucu akışkan döngüsü tasarlama sürecinde yararlanılan en önemli yardımcı ekipmanlardan birisi mühendislik simülasyon programlarıdır. Test maliyetleri ve diğer varyant tasarım çalışmalarında fiziki çalışmalar yerine mühendislik simülasyon uygulamalarından yararlanmak hem zaman hem de maliyet açısından kazanç sağlamaktadır. Bu sayede birçok senaryo ve alternatif tasarımları kısa sürede irdelememize olanak sağlamaktadır. Alternatif tasarımların belirlenmesi sürecinde yararlanılan simülasyon çalışmaları, sistem mühendisinin uygun klima bileşenlerini seçmesine, boyutlandırmasına ve performanslarının kıyaslamasına yardımcı olur. Günümüzde yapılan araştırmalar, optimize edilmiş bir HVAC yönetiminin, emisyon ve yakıt tüketiminin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunabileceğini de göstermiştir. (Frondel vd., 2011: 1043–1051), (European Commission) Bu doğrultuda birçok otomotiv üreticisi firmada HVAC yönetim sisteminin verimliliğinin arttırılması ve minimum simülasyon maliyeti ile daha hızlı sonuç alınabilmesi için yoğun çaba sarf edilmektedir. HVAC sistemin çalışma prensibini analiz etmek için kararlı durum ve geçici simülasyonlar gerçekleştirilmektedir. Geçici bir simülasyon, bir sistemin gerçek çalışma durumunu gösterdiğinden çok iyi sonuçlar verir. Sistemin zamanla değişen yük, hız, hava akışı, soğutucu akışı vb. altında nasıl davrandığını anlamak önemlidir ve buna dayanarak genel soğutma sisteminde iyileştirme yapılabilir. Bu

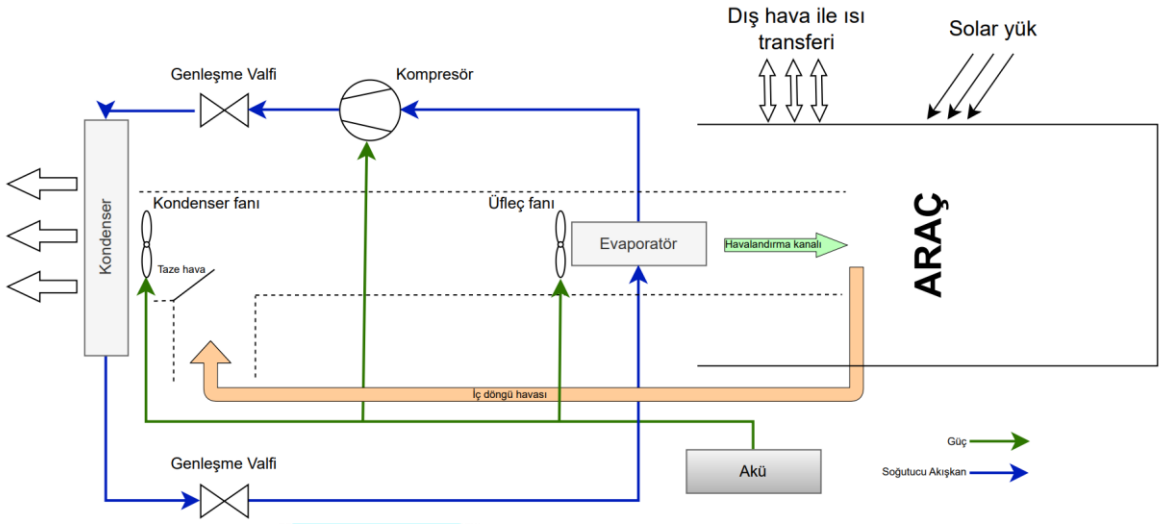
noktada günümüz mühendislik çalışmalarında bilgisayarlı akışkanlar dinamiği analizi ve tek boyutlu simülasyon yöntemleri kullanılmaktadır. (Patidar, 2009) Özellikle ısıtma ve soğuma senaryolarında tek boyutlu modeller kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. tek boyutlu model simülasyonları bize kabin içi ortalama sıcaklığı verebilirken, bilgisayarlı akışkanlar dinamiği simülasyonları bize hem kabin içi ortalama sıcaklık değerlerini hem de kabin içi lokal yüzeyindeki ılıman dağılımları verebilir. Ayrıca bilgisayarlı akışkanlar dinamiği modelleri, insan vücudunun lokal rahatsızlık bölgelerinin tahmin edilmesi ve insan vücudu ile çevresi arasındaki ısı transferi etkileşimlerinin hesaplanması için de kullanılabilir. Öte yandan kabin veya insan modellerinin yerel yüzeyindeki, sıcak veya soğuk noktalardaki vb. ılıman ve hız dağılımları tek boyutlu modeller kullanılarak izlenememektedir. (Sevilgen ve Kilic, 2013: 397–406) Zaman ve maliyet açısından tek boyutlu simülasyon programları oldukça kullanışlı olup gelişmiş altyapıları ile doğru ve hızlı sonuçlar verebilmektedir. (Kumar ve Shendge, 2010) Tek boyutlu simülasyon mühendislik programlarından GT-suite, Amesim, Matlab/Simulink en çok kullanılan ve tercih edilen programlar arasındadır. (Han ve Chen, 2009: 01-1148) Özellikle Amesim HVAC ve soğutma sistemi modelleme çalışmalarında yüksek doğruluk ve kullanıcı arayüzü modelleme eklentileri ile en çok kullanılan programdır. (Chang, 2020: 1-76) Bu çalışmada kabin hava modeli ve gaz sıkıştırmalı soğutma çevrimi AMESIM programında modellenmiş ve performans analizi yapılmıştır. (Ciacci, 2019: 1-105) Çalışmasında ise HVAC sisteminin tek boyutlu modeli oluşturulup sistemin enerji tüketimi hesaplanmış sonrasında enerji optimizasyonu için farklı konfigürasyonlarda denemeler yapılmıştır. (Lu vd., 2016: 42-53) Bu çalışmada da yapılan simülasyon ve test korelasyon sürecinde tek boyutlu simülasyon metodolojisi kullanımında bahsedilen avantajlardan dolayı AMESIM programı kullanılmıştır. Tüm bu örneklerde görüldüğü gibi AMESIM yapacağımız çalışma için elverişli ve güvenilir bir araçtır.

Amesimde oluşturulan tek boyutlu modeli ile yapılacak analizler ve araç üzeri testlerde takip edilecek ani soğuma test prosedürü seçilmiştir. Ani soğuma testinde %T nem ve X°C'de şartlandırılmış araçta Y ve Z km/h hızlarda araç sürülmüş ve en yüksek hava üfleç hızında veriler kaydedilmiştir.

Tek boyutlu modeli, belirli sürüş döngüsü koşulları altında bir araç kabininin ani soğuma test analizleri için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda IHX komponenti kullanımının; kabin iç sıcaklığına etkisinin yanı sıra su soğutmalı kondenser, termostatik genleşme valfi, kompressor komponentleri giriş ve çıkış sıcaklık parametreleri de incelenmiştir. IHX komponentinin HVAC sistem performansına etkisi sayısal ve deneysel olarak kıyaslamalı olarak incelenerek sanal ve fiziksel doğrulamalar ile korelasyon çalışmaları yapılmıştır.

2.Materyal ve Yöntem

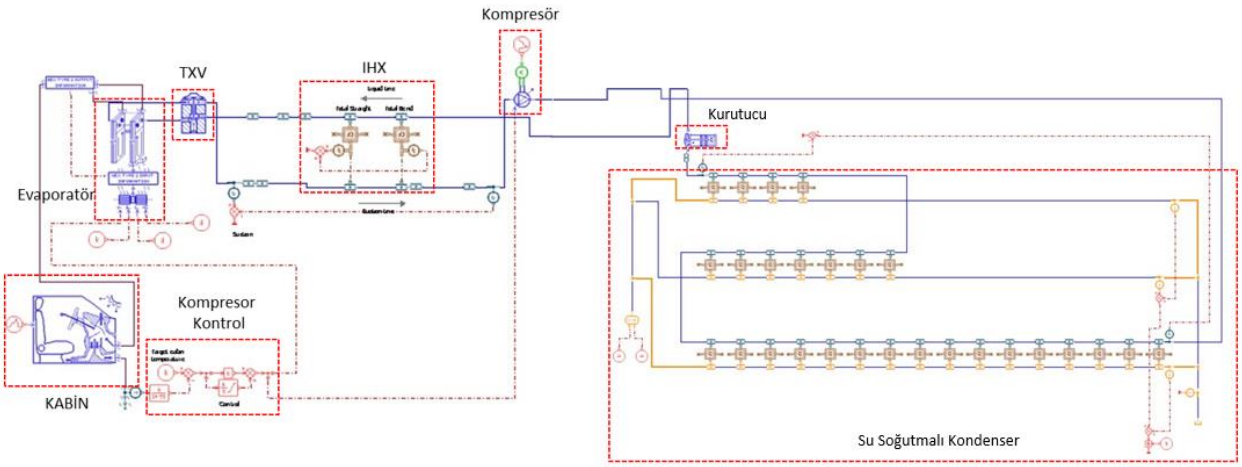
Tek boyutlu modelleme sürecinde sistem komponentleri ayrı ayrı modellenerek teknik özellikleri tanımlanmıştır. Geliştirilen tek boyutlu model, araç kabini ve soğutucu akışkan çevrimi modelleri olmak üzere iki alt modelden oluşmaktadır. Bileşenler döngüde birleştirilmeden önce, her bir bileşenlerin kalibrasyonu geometri ve performans verilerine göre yapılmıştır. Sistem genel anlamda aşağıdaki şemada görüldüğü üzere temel olarak evaporatör, kondenser, IHX ve TERMOSTATIK GENLEŞME VANASI komponentlerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada genel anlamda gerekli performans testleri ile simülasyon doğrulamaları yapılarak soğutma çevrimlerinin IHX ile ve IHX kullanılmadan durumları için incelemeler yapılmıştır.



Şekil.1. *HVAC & Kabin Şeması*

2.1. Amesım'de Modelin Oluşturulması

Araç hızı tek boyutlu model simülasyonlarına dahil edilmiş olup araç kabininin farklı durumlardaki termal değerlendirmesi için HVAC sistem performansının araç kabin modeliyle birlikte değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar araçlarda IHX ile ve IHX olmadığı durumlarda komponent ve sistem sağlığı açısından değerlendirilerek aşırı soğutma ve aşırı ısıtma durumları irdelenmiştir. Bu amaçla, bir araç kabininin tek boyutlu modeli Şekil 1' de gösterildiği gibi hazırlanmıştır.



Şekil.2. *Amesim'deki Kabin Modeli*

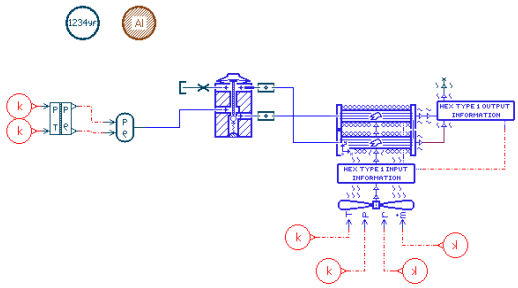
Araç kabin modellemesi yapılırken kabin iç ve dış yüzeylerdeki bileşenlerin malzemeleri dahil edilerek termal geçirgenlik katsayıları ile tanımlanmıştır. Tek boyutlu matematiksel hesaplamaların ani soğuma testi simülasyonu için bu model kullanılarak havanın bağıl nemi, kabin içi ve dış hava sıcaklığı gibi başlangıç sınır değerlerinin de tanımlamaları yapılmıştır. Kabin modeli, soğuma simülasyonlarında soğutucu döngüsüyle birlikte çalıştırılmıştır. Tek boyutlu modelde kabine 1 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Buradan gelen veri, kontrol ünitesinden geçirilerek kompresöre sinyal olarak gönderilmiştir. Böylece kompresör, kabin sıcaklık verisine göre kendi iç hacminde değişiklik yaparak hedeflenen sıcaklık değerini sağlamıştır.

2.1. Komponent Kalibrasyonu

Komponentlerin modelleme sürecinde her bir bileşen için kalibrasyon çalışmaları yapılmış olup komponent, sistem seviyesi kontroller yapılarak oluşturulmuştur.

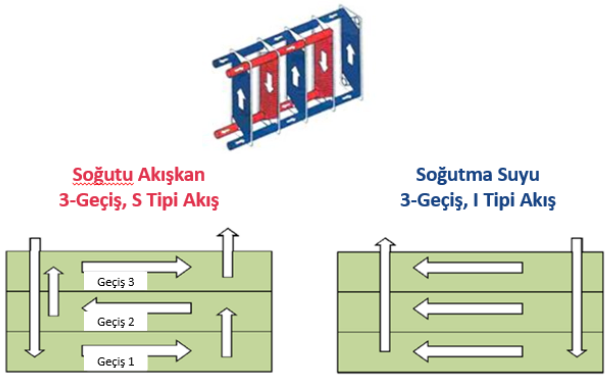
2.1.a. Eşanjör Modelleri Kalibrasyonu

Isı eşanjörü modelleri HVAC sisteminde hem kondenser hem de evaporatörden oluşmaktadır. Bu komponentlerin kalibrasyonu hem geometri hem de performans verilerine göre yapılır. Bu eşanjörlerin geometrik olarak fin ve kanal ölçüleri ile birlikte akışkan geçiş tipleri dahil olmak üzere ısı eşanjörlerinin geometri ayrıntıları modele girilir. Bunların yanı sıra bu ısı eşanjörlerine ilişkin performans verileri, çeşitli soğutucu tarafı ve hava tarafı koşulları için ısı atım değerlerini içeren veriler, komponent performans datalarından elde edilerek simülasyon programında girdi olarak kullanılır. Bu veriler aracın gerçekte farklı kondisyonlarda çalışma koşullarını temsil edecektir. Kalibrasyon sürecinde kondenser, ısı atımı ve aşırı soğutma için, evaporatör ise yine ısı atımı ve aşırı ısıtma için ayrı ayrı kalibre edilmiştir.



Şekil.3. *Kompresör Modelleme Teorisi ve Tek Boyutlu Modeli*

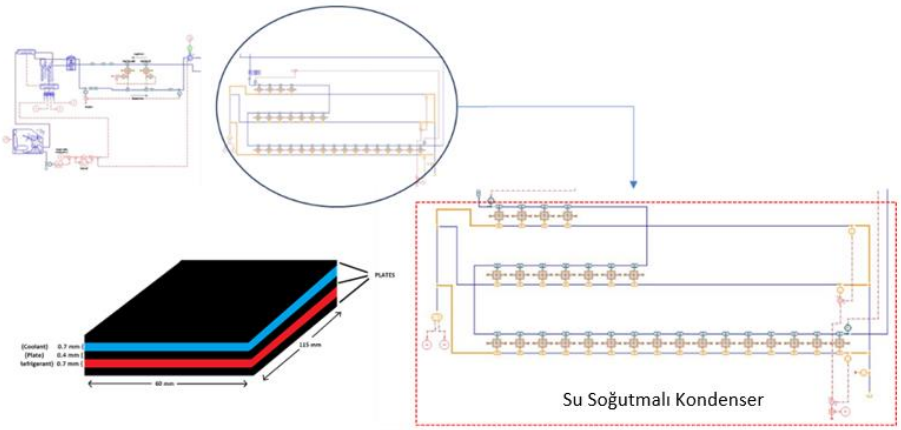
Bu çalışmada kullanılan kondenser tipi su soğutmalı kondenser olup, ısıyı gaz fazdaki soğutucu akışkandan uzaklaştıran ve içinden geçen suya aktaran bir ısı eşanjördür. gaz fazdaki soğutucu akışkanın bir tüpün dışında yoğunlaşması bunu sağlar. Bunu yaparken soğutucu akışkan yoğunlaşır ve borunun içinde akan suya ısı verir. Anlatılan çalışma prensibi aşağıdaki şema ile desteklenmiştir.



Şekil.4. Su Soğutmalı Kondenser Çalışma Prensibi

Mevcut Amesim kondenser modellerinde sıvı-gaz, gaz-gaz kombinasyonları bulunmaktadır. Su soğutmalı kondenserin içeriği sıvı-sıvı olduğundan mevcut kondenser modelleri ile simüle edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle yapılan literatür çalışmasında da benzer bir yaklaşım olan Windsor Üniversitesi'nden Carlo Ciacci'nin "1D Modeling and Analysis of Thermal Conditioning Systems for Electric Vehicles" başlıklı makalesinde

kullanılan metodoloji izlenmiştir. Bu metodoloji ile sıvı ile sıvı arasında ısı transferini sağlayan bir model kullanılarak Su soğutmalı kondenser modeli oluşturulmuştur. [10]



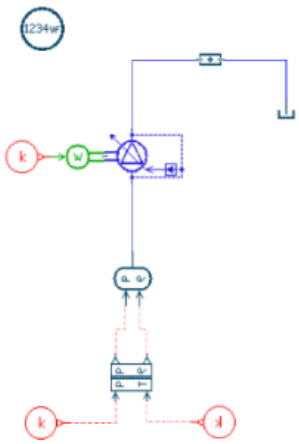
Şekil.5. Su Soğutmalı Kondenser Modelleme Teorisi ve Tek Boyutlu Modeli

$$Cross\ Sectional\ Area: (60\ mm\ x\ 0.7\ mm) = 42\ mm^2$$

$$Hydraulic\ Diameter: D_H = \frac{4A}{P} = \frac{4x(42\ mm^2)}{2x(60\ mm + 0.7\ mm)} = 1.383855\ mm$$

2.1.b. Kompresör Modeli Kalibrasyonu

Modelleme aşamasında 140 cc hacimli, dışarıdan kontrollü bir kompresör kullanılmıştır. Kompresör devri, araç hızına bağlı olarak değişen motor devrine göre simüle edilmiştir. Komponent kalibrasyonu için tedarikçinin sağlamış olduğu test verileri kullanılmıştır. Kompresör girişine belli basınç ve entalpide soğutucu akışkan girişi yapılmış, çıkış verileri gerçek test verilerine göre kalibre edilmiştir.

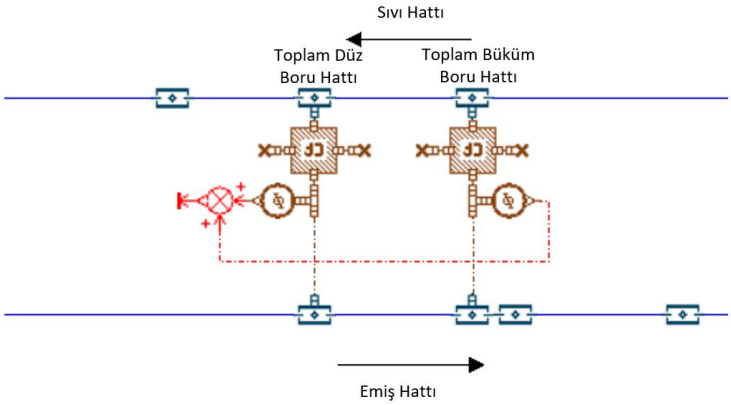


Şekil.6. *Kompresör Modelleme Teorisi ve Tek Boyutlu Modeli*

2.1.c. IHX Modeli Kalibrasyonu

Amesim modelinde IHX komponenti toplam düz boru uzunlukları ve toplam büküm boyları olmak üzere 2 farklı analiz elemanından oluşturularak tasarlanmıştır. IHX iç içe geçmiş iki borudan oluşmaktadır. Temel amacı emiş ve sıvı hattı arasında ısı alışverişi yapmaktır. Isı alışverişi sonucunda emiş hattındaki sıcaklık değeri düşer, sıvı hattındaki sıcaklık değeri artar. Bu sayede emiş hattının entalpisi düşerken, sıvı hattının entalpisi artar. Sonuç olarak performans katsayı değeri artar. Ayrıca IHX, klima sisteminde performans katsayı değerinin

artmasını sağlarken, enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Amesim'de oluşturulan model aşağıda gösterilmiştir.



Şekil.7. *IHX Modelleme Teorisi ve Tek Boyutlu Modeli*

2.1.d. Termostatik Genleşme Vanası Modeli Kalibrasyonu

Termostatik genleşme valfi, akışı kontrol ederek evaporatör çıkışının aşırı ısınmasını düzenler. Termostatik genleşme vanası modeli performansa dayalıdır. Tedarikçiden alınan dört çeyrek diyagram, bu bileşeni modellemek için gereken bilgileri içerir. 4 çeyrek diyagramı, iki boyutlu bir grafik üzerinde valf kaldırma kuvveti, evaporatör basıncı, evaporatör sıcaklığı, soğutucu akışkan akış hızı ve aşırı ısı arasındaki ilişkiyi gösterir.

Doğrulama için, tam olarak aynı kabin koşulları için simülasyonlar yapılır ve sonuçlar karşılaştırılır. Soğutma döngüsü için testte kaydedilen girdi koşulları modele beslenir. Evaporatör hava çıkış sıcaklığı ve kompresör tahliye basıncı bu soğutucu akışkan döngüsü modelinin öngördüğü önemli sonuçlardır.

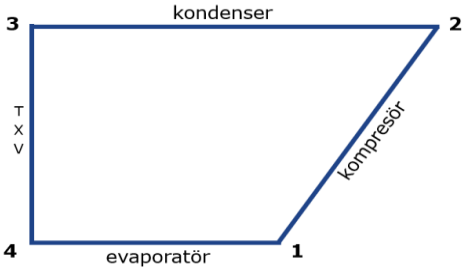
3. Performans Katsayısı Hesabı

Soğutma sistemlerinde enerji verimliliği performans katsayısı değeri ile ölçülmektedir. performans katsayısı değeri, buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığı, ortam sıcaklığı gibi verilere bağlıdır. Bu kadar çok parametre hesaba katıldığında, sistem optimizasyonu için bilgisayar ortamını kullanmak en iyi seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. (Atalay, 2019: 775-791)

performans katsayısı değeri evaporatör tarafından emilen ısı miktarının, kompresör gücüne bölünmesi ile hesaplanır. (Patel vd., 2016) Yapılan sanal analiz ve araç testlerinin performans katsayısı değeri hesabı için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$COP = \frac{Q_L}{\mathrm{W_{net}}} \ (\mathrm{W})$$

$$COP_{SM} = \frac{q_L}{\mathrm{W_{net,g}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$



Şekil.8. *R1234yf Basınç-Entalpi Diagramı*

Q_L ile sembolize edilen değer, evaporatörün araç kabininden çektiği ısıyı temsil etmektedir. Bu değer hesaplanırken, yukarıda görülen şema kullanılır. h_4 değeri evaporatör giriş entalpisini, h_1 değeri ise evaporatör çıkış entalpisini temsil etmektedir. W_{net} değeri kompresörün çektiği gücü sembolize etmektedir. Bu değeri hesaplamak için kompresör giriş (h_1) ve çıkışındaki (h_2) soğutucu gaz entalpileri kullanılmaktadır. Giriş ve çıkışlardaki entalpi değişimi kompresörün çektiği güce eşittir.

3.1. Aşırı ısıtma ve Aşırı soğutma

Aşırı ısıtma, aşırı ısıtmanın hesaplanması HVAC sistemlerinde büyük öneme sahiptir çünkü bu değerle birlikte evaporatörün borularından geçen akışkanın ne kadar sıvı ne kadar gaz halde olduğu anlaşılabilir. Daha yüksek aşırı ısıtma, borularda sıvı halin azınlıkta gaz halin çoğunlukta olduğu anlamına gelir ve bu da sistem kapasitesinin düşmesine neden olabilir. Daha düşük aşırı ısıtma ise önceki durumun tam tersi, borularda sıvı halin çoğunlukta gaz halin azınlıkta olduğu anlamına gelir, bu da kompresörün hasar görmesine yol açabilir.

Kompresör girişindeki sıcaklık ile buharlaşma sıcaklığı arasındaki fark, aşırı ısıtma miktarını verir.

Aşırı soğutma, doyma sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerine aşırı soğutma denir. Soğutucu akışkan, evaporatörün içinde akarken sıcaklığı ne kadar düşük olursa, o kadar fazla ısıyı absorbe edebilir. Bu durumda, aşırı soğutma değerini genel verimliliği tahmin etmek için kullanabiliriz. Klima veriminin düşük olmasının nedenlerinden en yaygınlarından biri yetersiz aşırı soğutmadır. Bu, soğutucu akışkanın absorbe edebileceği ısı miktarını sınırlar. Bunun dışında, aşırı soğutma değerinin çok yükselmesi durumu da sisteme zarar verebilir. Bu aşırı durumda evaporatörün içine giren akışkan gaza dönüşmez. Soğutucu akışkanın sıvı halde kompresöre akması, tehlikeli derecede yüksek basınç seviyelerine yol açar ve kompresörün bozulmasına yol açabilir.

Kondenser çıkışındaki sıcaklık ile doygunluk sıcaklığı arasındaki fark, aşırı soğutma miktarını verir.

3.2. Test Senaryolarının Hazırlanması

Tek boyutlu Amesim modelini doğrulamak amacıyla ani soğuma testi yöntemlerini referans almış bir test planlanmıştır. Test, aracın sıcak koşuldaki soğutma davranışını gözlemlemek için kullanılmıştır. Her senaryo IHX ile ve IHX'siz olarak tekrarlanmıştır. Tablo 1'de yapılan test senaryolarının parametrelere bağlı özelliklerini içeren bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. *Gruplara Göre Çalışma Parametrelerinin Değerlendirilmeleri*

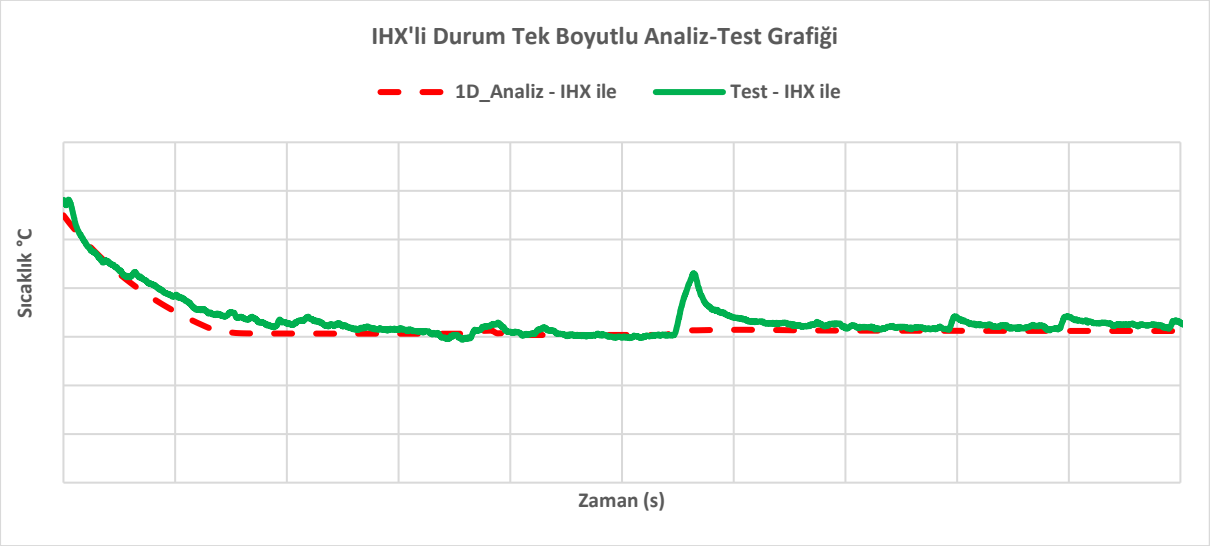
	Dış Ortam Sıcaklık (°C)	**Dış Ortam Nem (%)**	**Hava Çıkış Bölgesi**	**Fan Hız (Stage)**	**Hava Emiş Bölgesi**	**Araç Hızı(km/h)**
Senaryo	X	T	Panel	7-6-5-4-3-2-1	Kabin içi	Y-Z

Senaryo 1'de dış ortam X °C sıcaklık ve % T nem oranı olarak şartlandırılmıştır. Kabin içine 3 adet, motor bölümündeki komponent giriş çıkışlarına toplam 8 adet, araç içi hava çıkışlarına toplam 3 adet sıcaklık sensörü yerleşimi yapılmıştır. HVAC döngüsündeki sıvı ve emiş hatlarına birer adet basınç sensörü yerleştirilmiştir. Test süresi norm destekli referanslara göre belirlenmiştir. Araç sürüş dinamiğini gözlemlemek amaçlı dinamometre cihazına eklenerek sürüş ve araç hızı takibi yapılmıştır. Test yukarıda tabloda gösterilen şartlar altında gerçekleştirilerek her belirlenen süre adımlarında fan hızı 1 kademe düşürülerek komponent ve araç seviyesi performans sonuçları gözlemlenmiştir.

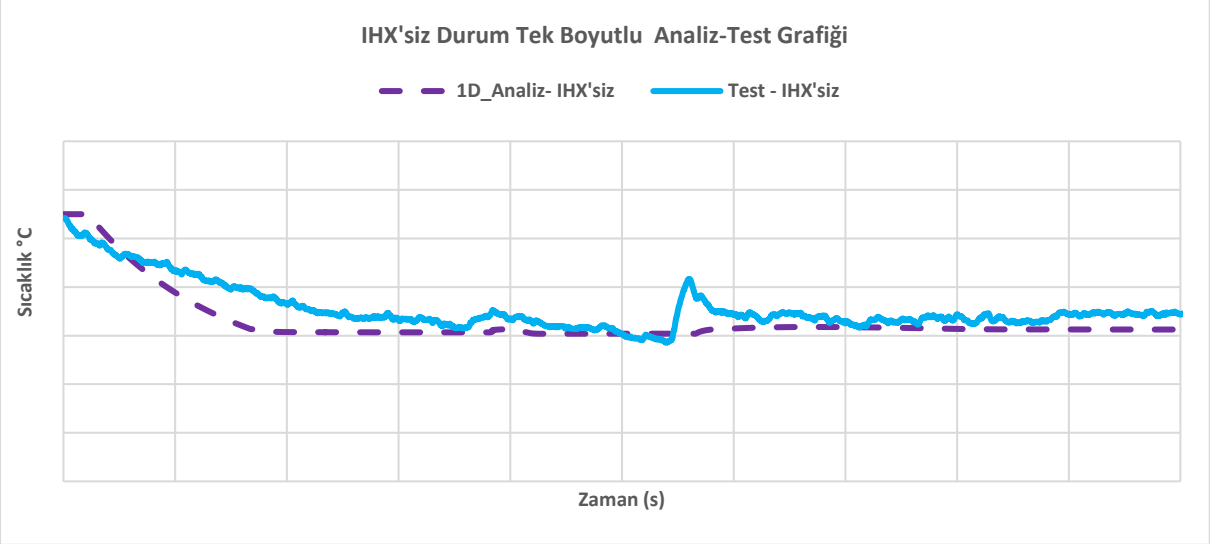
3.3. Ani Soğuma Testi ve Analiz Kıyaslaması

IHX'li ve IHX'siz durumların tek boyutlu analizi için hesaplanan kabin hava sıcaklığı değerleri Şekil'de gösterilmektedir. Her bir senaryoda veriler arasındaki ortalama kabin içi

sıcaklık değeri arasındaki mutlak fark genel olarak 2 °C'nin altında olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan hesaplanan sıcaklık verilerinin testverilerle iyi bir uyum içinde olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz.



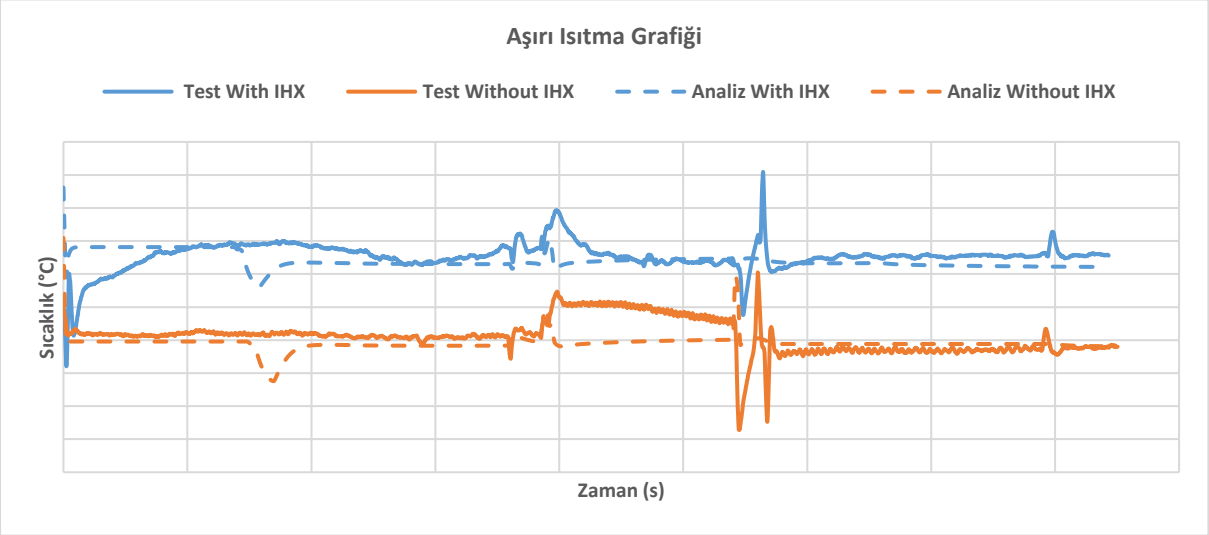
Şekil.9 IHX'li durumun simülasyon ve test sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil.10 IHX'siz durumun simülasyon ve test sonuçlarının karşılaştırılması

3.4. Aşırı ısıtma:

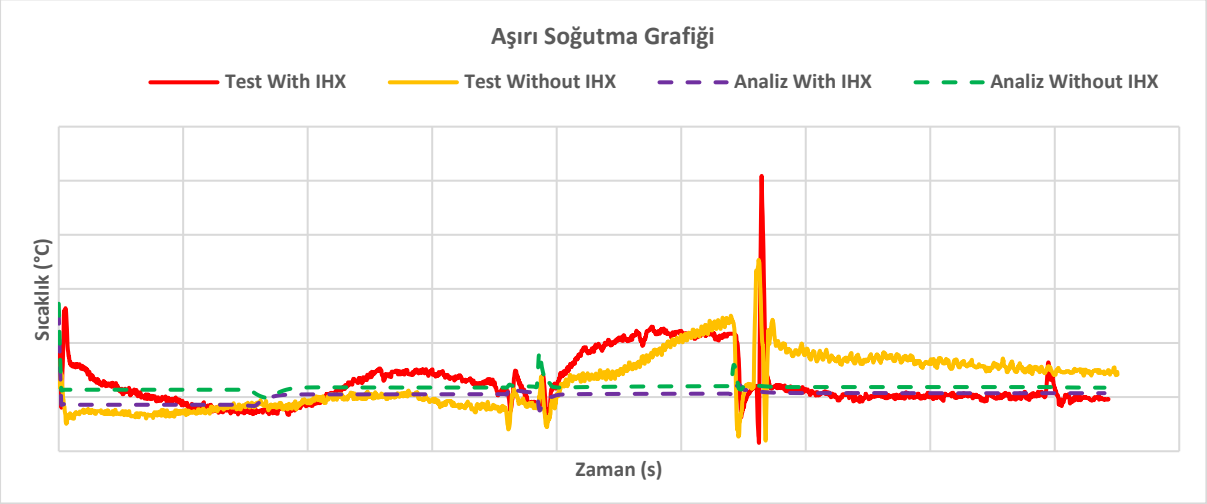
IHX'li ve IHX'siz döngülerin test çıktılarından aşırı ısıtma hesaplandığında IHX komponentinin aşırı ısıtma değerini ortalama 12,1(˚C) artırdığı gözlemlenmiştir. Bu değerle Amesim analizinde 12,5(˚C) olarak karşılaşılmıştır.



Şekil.11 *IHX'li ve IHX'siz durumların simülasyon ve test sonuçlarının aşırı ısıtma sıcaklıklarının karşılaştırılması*

3.5. Aşırı soğutma:

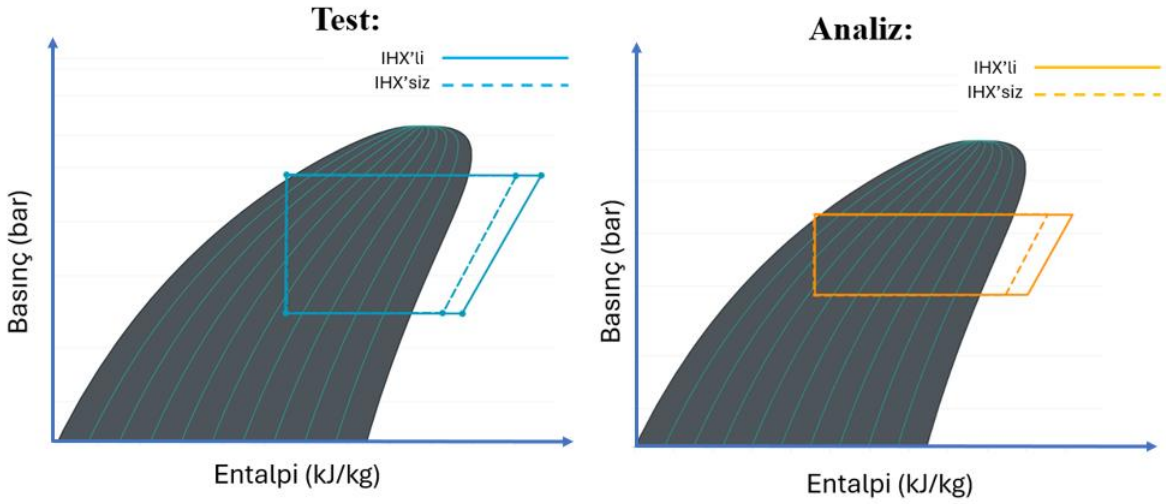
IHX'li ve IHX'siz döngülerin test ve analiz çıktılarından aşırı soğutma hesaplandığında IHX komponentinin aşırı soğutma değeri üzerinde belirgin bir etkisi gözlemlenmemiştir. Aşırı soğutma değerinde IHX komponenti eklenmesi sonrasında test verilerinde ortalama 0,04(˚C), Amesim analizinde ortalama 0,3(˚C) azalmayla karşılaşılmıştır.



Şekil.12 *IHX'li ve IHX'siz durumların simülasyon ve test sonuçlarının aşırı soğutma sıcaklıklarının karşılaştırılması*

3.6. Basınç Entalpi Grafiği

Test ve analiz, basınç-entalpi grafiklerinde aşırı ısıtma değerinin IHX komponenti kullanımıyla olan artışı görselleştirilmiştir. Aşırı ısıtma bölümünde hesaplandığı ve basınç-entalpi grafiklerinde görüldüğü üzere IHX komponenti kullanıldığında süper-heating değeri artmaktadır. Bu sayede kompresör'e soğutucu akışkanın sıvı halde gitmeyeceğinin garanti altına alındığı ve komponent hasar riskinin azaltıldığı görülebilir.



Şekil.13 *IHX'li ve IHX'siz durumların simülasyon ve test sonuçlarının basınç-entalpi grafiklerinin karşılaştırılması*

3.7. Performans Katsayısı Değeri

Aşağıdaki tabloda performans katsayısı değerleri ve enthalpi değerleri görülmektedir. Bu tablo gerçek test verileri kullanılarak oluşturulmuş, entalpi değerleri testin stabil gittiği aralıktan seçilmiştir. IHX kullanılan ve kullanılmayan durum için performans katsayısı değeri karşılaştırıldığında IHX'in performans katsayısı değerini % 4.73 arttırdığı görülmüştür.

Tablo 2. Şekil.12 *IHX'li ve IHX'siz durumların performans katsayısı değerleri tablosu*

		h_1	h_2	h_3	h_4	q_L	W_{net}	COP
With IHX	X°C	a_1	a_2	a_3	a_4	a_L	a_{net}	1.047 * d
Without IHX		b_1	b_2	b_3	b_4	b_L	b_{net}	d

4. Sonuç

Bu çalışmada Amesim ile oluşturulan araç tek boyutlu HVAC modelinin, araç testleri ile doğrulanması amaçlanmıştır. Bu doğrulama sırasında 1234yf kullanan iklimlendirme sisteminin, IHX'li ve IHX'siz durumun termal performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Araç testlerinde ise iklimlendirme sistemi maximum performansta çalışırken, araç farklı hız seviyelerine getirilmiştir. Bu sayede aracın gerçek kullanım durumu simüle edilmiştir. Alınan veriler ile aşırı soğutma, aşırı ısıtma değerleri, basınç-entalpi diyagramı ve performans katsayısı değeri hesaplanmıştır. Simülasyonlarla testler arasında 2 ˚C'den daha az hata gözlemlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada, ürün geliştirme sürecinde AC sistem bileşenlerinin seçimi yapılırken erken tasarım aşamalarında IHX'in etkisi incelenmiş, testler ve tek boyutlu simülasyonla doğrulamalar yapılmıştır. Bu doğrulamalar sonucunda IHX'in performans katsayısı değerini % 4.73, süper-heating değerini ise ortalama 12,1 ˚C artırdığı gözlemlenmiştir. Bu sayede kompresör'e soğutucu akışkanın sıvı halde gitmeyeceğinin garanti altına alındığı ve komponent hasar riskinin azaltıldığı gözlemlenmiştir.

ISBN: 978-625-372-170-1

5. Kaynakça

[1] Sen, S., Selokar, M., Numerical Simulation and Validation of Cabin Aiming and Cool-Down of a Passenger Car, SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems, 9 (2016), 1 pp. 52–61

[2] W. Zhang, W. Li, V. Cernicin, P. Hrnjak, "Theoretical And Experimental İnvestigation On The Effects Of İnternal Heat Exchangers On A Reversible Automobile R744 Air-Conditioning System Under Various Operating Conditions," Applied Thermal Engineering 121569, Vol. 236, Part B, Jan. 2024.

[3] W. Zhang, V. Cernicin, P. Hrnjak, "The Role of Internal Heat Exchanger in an R744 Vapor Compression System in the Air-conditioning Mode Under Various Conditions," International Refrigeration and Air Conditioning Conference, July 2022.

[4] Davis, G., Chianese, F., and Scott, T., "Computer Simulation of Automotive Air Conditioning - Components, System, and Vehicle," SAE Technical Paper 720077, 1972, doi: 10.4271/720077.

[5] M. Frondel, C. M. Schmidt, and C. Vance, "A regression on climate policy: The European Commission's legislation to reduce CO2 emissions from automobiles," Transp. Res. Part Policy Pract., vol. 45, no. 10, pp. 1043–1051, Dec. 2011.

[6] European Commission, "Reducing CO2 emissions from passenger cars." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en.

[7] A. Patidar, Simulation and validation of passenger compartment soaking and cooling under solar load, SAE Technical Paper, 2009, 28-0050.

[8] G. Sevilgen, M. Kilic, Investigation on transient cooling of an automobile cabin with a virtual manikin under solar radiation, Therm. Sci. 17 (2013) 397–406.

[9] V. Kumar, S.A. Shendge, et al., Underhood thermal simulation of a small passenger vehicle with rear engine compartment to evaluate and enhance radiator performance, SAE Technical Paper Series, 2010, 01-0801

[10] T. Han, K.H. Chen, Assessment of various environmental thermal loads on passenger compartment soak and cool-down analyses, SAE Technical Paper, 2009, 01-1148.

[11] M. Chang, Integrated Thermal Systems and Controls Modelling for AUTO Mode Simulation and Optimization, University of Windsor master thesis 2020

[12] C Ciacci, 1D Modelling and Analysis of Thermal Conditioning Systems for Electric Vehicles, , University of Windsor master thesis 2019

[13] P. Lu, Q. Gao, Y. Wang, The simulation methods based on 1D/3D collaborative computing for the vehicle integrated thermal management, Appl. Therm. Eng. 104 (2016) 42–53.

[14] H. Atalay, R290 (Propan) ve R600 (N-Bütan) Soğutucu Akışkanların Kullanıldığı Ardışık İki Kademeli (Kaskad) Bir Soğutma Sisteminin Optimum Çalışma Parametrelerinin Belirlenmesi, DEÜ FMD 21(63), 2019, 775-791.

[15] J. Patel, M. Patel, J. Patel, H. Modi, Improvement In The COP Of Thermoelectric Cooler, INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 5, 2016, ISSUE 05.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Investigation of Stress Corrosion Behavior of AISI 304 Stainless Steel Welded by TIG Welding

Gürkan SOY[1]
Büşranur KESER[2]
Selda AKGÜN KAYRAL[3]
Ali Osman EMET[4]

Özet

AISI 304 paslanmaz çelikler otomotiv sanayi olmak üzere sağlık sektöründe tıbbi ekipmanların yapımından gıda, kimya ve denizcilik sektörlerinde, inşaat sektöründen ısıtma ve soğutma sistemlerine kadar sahip oldukları yüksek mukavemet ve yorulma dayanımı, korozyona karşı mükemmel direnç ve kaynaklanabilirlik gibi çekici özellikleri sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, AISI 304 paslanmaz çeliklerin sahip olduğu %18 oranında Cr elementinin kaynak sırasında tane sınırlarında CrC çökeltileri oluşturması ve kaynak bölgesine uygulanan gerilmeler neticesinde gerilmeli korozyon çatlaklarına sebep olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, 2 mm kalınlığındaki AISI 304 paslanmaz çelik numuneler TIG kaynağı ile birleştirilmiştir. Gerilmeli korozyon davranışı ve mikroyapıları araştırılarak, sertlik, çekme ve eğilme özellikleri tespit edilmiştir. TIG kaynağı yapılan numunelerin merkez bölgesindeki sertlik değeri hızlı soğumadan kaynaklı maksimum 280 HV olarak belirlenmiştir. Çekme ve üç nokta eğme sonuçlarına göre çekme dayanımı 605 MPa, eğilme dayanımı ise 1650 MPa olarak tespit edilmiştir. Gerilmeli korozyon testi öncesinde hassaslaştırma işlemi uygulanan numuneler 168,192, 360, 384 ve 408 saat süresince çözelti içerisinde bekletilerek çatlak ölçümü yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, numunelerdeki maksimum çatlak oluşumu 408 saat çözeltiye alınmış ve hassaslaştırılmış numunede 1212,3 µm olarak gerçekleşmiştir. Gerilmeli korozyon davranışı açısından değerlendirildiğinde, hassaslaştırma işlemi yapılmamış numunelerin çatlak ilerlemesinin daha düşük olduğu ve çözelti süresinin artışı ile çatlak ilerlemesinin arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 304, TIG kaynağı, Gerilmeli Korozyon, Sertlik, Çekme ve Eğilme gerilmesi.

[1] Öğr. Gör. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri, Orcıd: 0000-0002-0308-1702
[2] Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine ve İmalat Mühendisliği, Orcıd: 0000-0001-8640-9752
[3] Dr. Öğr. Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Orcıd: 0000-0003-1971-1550
[4] Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Orcıd:

ISBN: 978-625-372-170-1

1. Giriş

Paslanmaz çelikler, başta korozyona karşı direncinin yüksek olması sayesinde makine sektöründe ve daha birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Korozyona karşı dayanıklı olmasının yanı sıra şekillendirilmesinin kolay olması, iyi mekanik özelliklere sahip olması, uzun ömürlü olması, yüksek ve düşük sıcaklıklarda kullanılabilmesi paslanmaz çeliklerin öne çıkan özelliklerindendir. Üretim aşamasında kaynaklı parçalar, sıcak veya soğuk ortamlarda çalışma, korozif ortamlarda çalışma, yüklerle çalışma vb. nedenlerden dolayı deforme olmaktadır. Bu durumlarda kullanılan malzemelerin maksimum dayanıklılığa sahip olması gerekir. Östenitik paslanmaz çelikler arasında AISI 304 endüstride en çok kullanılan malzemelerden biridir (Seçkin, 2012: 5). Paslanmaz çelikler, ağırlıkça minimum %10,5 oranında krom (Cr) elementini içeren demir (Fe) bazlı bir alaşımdır (Seçkin, 2012: 5).

Paslanmaz çelikteki krom elementi atmosferdeki O elementi (oksijen) ile birleştiğinde metal yüzeyinde bir Cr_2O_3 (krom oksit) tabakası oluşturmaktadır. Pasivasyon tabakası metal yüzeyini çok ince bir film şeklinde kaplayarak su, gaz vb. maddelerin metale nüfuz etmesini engeller. Bu sayede metal oksidasyona veya korozyona karşı daha dayanıklı hale gelmektedir (Paksoy, 2008: 17).

Günümüzde inşaat, ağır ve hafif makine sanayi, medikal ve gıda sanayi olmak üzere birçok alanda paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Kullanıldığı alanların ihtiyaçlarına göre farklı türleri bulunmaktadır. Paslanmaz çelik kaliteleri içerdikleri elementlere (nikel, titanyum, fosfor, bakır, krom, kükürt vb.) ve uygulanan imalat prosesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Odabaş, 2007: 59).

Kaynak, paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde en yaygın kullanılan birleştirme yöntemidir. TIG kaynağı, lazer kaynağı, ark kaynağı, tozaltı ark kaynağı, korumalı elektrot kaynağı vb. kaynak çeşitleri en çok kullanılan yöntemlerdendir. TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağı, diğer kaynak yöntemlerinden farklı olarak tükenmeyen tungsten elektrotlar ile yapılmaktadır. Bu yöntemde ark, tungsten elektrot ile malzeme arasında meydana gelmektedir. Koruyucu gaz olarak argon, helyum, karbondioksit ve karışım gazlar kullanılmaktadır. Tungsten elektrot kaynak sırasında erimediğinden dolgu metali olarak ilave teller de kullanılabilmektedir (*Metal Teknolojisi Tig Kaynağı*, 2011: 4).

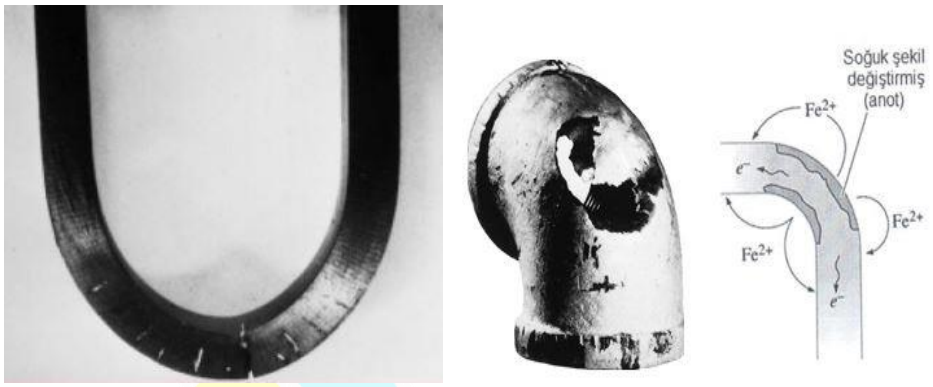
Bu çalışmada, endüstride yaygın olarak kullanılan AISI 304 paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilerek üretim ve çalışma koşullarında maruz kalabileceği mekanik zorlanmalar ve korozif ortam şartlarında malzeme yapısında oluşabilecek yapısal deformasyon ve mikroyapı değişimleri incelenmiştir. TIG kaynağı ile birleştirilen numuneler çekme, mikroyapı, üç nokta eğme, sertlik ve gerilmeli korozyon testi uygulanmıştır.

2. Paslanmaz Çeliklerin Gerilmeli Korozyonu

Korozyon, malzemelerin çevreyle etkileşimi sonucu mekanik, kimyasal ya da elektriksel nedenlerle bozulmasıdır. Metaller için korozyon, malzemenin bozulmasına neden olan ve mekanik özelliklerini olumsuz olarak etkileyen kimyasal ya da elektrokimyasal bir olaydır (Moosbrugger, 2003: 14).

Gerilmeli korozyon, bir malzemeye zorlayıcı bir kuvvet uygulandığında meydana gelen, malzeme yüzeyinde çatlak oluşmasına ve çatlağın yayılmasına neden olan bir korozyon türüdür. Gerilmeli korozyon çatlağının en önemli özelliği, korozyonun çatlak yüzeyinde değil, çatlağın dibinde meydana gelmesidir (Paksoy, 2008: 7). Paslanmaz çelikte tane sınırları meydana geldiğinde taneler arasındaki krom içeriği düşüktür. Bu bölgeler malzemenin korozyon direncinin en düşük olduğu bölgedir. AISI 304 paslanmaz çelik 650°C sıcaklıkta 1 saat tutulduğunda malzemedeki krom ile karbon reaksiyona girmesi sonucunda krom karbür

($Cr_{23}C_6$) bileşiğini oluşturmaktadır. Oluşan bileşik çelik içerisinde çözünmediği için tane sınırları arasında çökelti olarak yer almaktadır. Tane sınırları arasındaki korozyona karşı direncin düşük olması, bu bileşiğin oluşumu sırasında ortamdaki krom içeriğini azaltmasıyla açıklanmaktadır (Eker, 2009: 13). Gerilmeli korozyonun ortaya çıkması için zaman, korozif ortam, zorlanmalar, çekme gerilmesi vb. gibi bazı etkenler bulunmaktadır (Smith, 2001: 855).



Şekil 2.1. *Paslanmaz çeliklerde gerilmeli korozyon örnekleri (Smith, 2001: 855).*

Malzemelerde gerilme oluşturabilmek için büküm, çevresel etkileri gözlemlemek açısından hassaslaştırma gibi ısıl işlemler uygulanmaktadır. Sonrasında malzemelerin gerilme gözlemlenen kısımlarındaki korozyonu hızla gerçekleşmesi için birtakım çözeltiler kullanılmaktadır (Saklakoğlu vd., 2016). Hassaslaştırma işlemi, östenitik paslanmaz çeliklerin 450°C ile 850°C arasındaki bir sıcaklıkta belirlenen süre boyunca bekletilerek gerçekleştirilen bir işlemdir. Bekletme sonrasında malzemenin tane sınırları arasında krom karbür çökelmesi meydana gelmektedir. Bu bölge, krom miktarı bakımından fakir olduğundan korozyon direnci en düşük bölgedir (Almubarak vd., 2013).

3. Materyal ve Metot

3.1. Malzeme

Bu çalışma kapsamında, endüstride yaygın olarak kullanılan AISI 304 paslanmaz çelik kullanılmıştır. AISI 304 paslanmaz çeliğini kimyasal bileşimi Tablo 3.1'de ve mekanik özellikleri ise Tablo 3.2'de verilmektedir (Kaya, 2010).

Tablo 3.1. *AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi (% ağırlıkça) (Kaya, 2010).*

	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Fe
AISI 304	0,07	1,01	0,75	18-20	8-10	0,027	0,02	Kalan

Tablo 3.2. *AISI 304 paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri (Kaya, 2010).*

Mekanik özellik	Değer
Çekme dayanımı (MPa)	500-700
Akma dayanımı (MPa)	≥ 190
Sertlik (HB)	≤ 215

3.2. Yöntem

Bu çalışmada, 900x85x2mm boyutlarında AISI 304 paslanmaz çelik malzemeler Zenweld Ultimate 315 AC/DC model TIG kaynak makinesi ile birleştirilmiştir. Bununla birlikte, baz malzemenin mekanik özelliklerinin tayin edilmesi için kaynak uygulanmamış numuneler hazırlanmıştır. Kaynaklı ve kaynak uygulanmamış numuneler, uygulanacak test yönteminin standartlarına uygun boyutlarda lazer ile hassas olarak kesilmiştir. Numunelerin TIG kaynağı ile birleştirilmesi için kullanılan parametreler Tablo 3.5'te verilmektedir.

Tablo 3.3. *TIG kaynağı parametreleri*

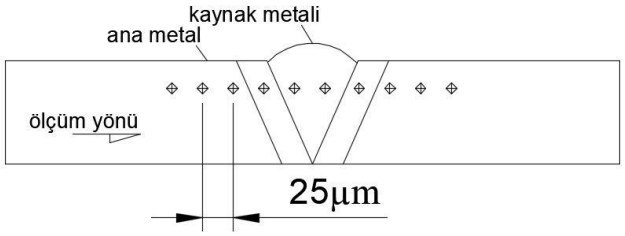
Parametre	Değer
İlave metal	Ø1,6 mm AISI 304 ilave tel
Kaynak hızı	5,5 m/s
Kaynak gücü	9,9 – 11,0 Volt ve 100 Amper
Tungsten çapı	2,4 mm
Koruyucu gaz	Argon gazı
Gaz debisi	0,9 lt/dk

3.3. Metalografik İncelemeler

Hazırlanan numuneler, çekme, üç nokta eğme, sertlik, mikroyapı ve gerilmeli korozyon testine tabi tutulmuştur. Kaynak işlemi uygulanmış numunelerdeki içyapı incelemeleri ve gerilmeli korozyon testi sonrasında çatlak oluşumunun gözlemlenebilmesi için, metalografi işlemleri uygulanmıştır. Numuneler, Struers Labopol 5 marka Zımparalama ve Parlatma Cihazı ile 240 ile 1200 kum arasındaki zımparalar ile zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler 3 µm ve 1 µm'luk Struers DiaPro süspansiyonları ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler, 15cc hidroklorik asit (HCl), 10cc asetik asit (CH_3COOH), 10cc nitrik asit (HNO_3), 3 damla gliserin ($C_3H_8O_3$) çözeltisi kullanılarak dağlanmasının ardından NIKON Eclipse LV100 model metal mikroskobuyla içyapıları incelenmiştir.

3.4. Mikrosertlik Testi

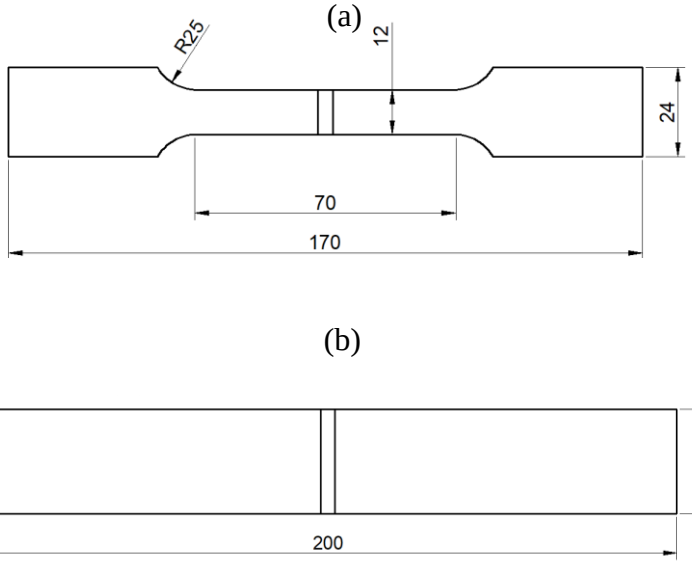
TIG kaynağıyla birleştirilen numunelerin mikrosertlik değerleri Future-Tech FM-700 model sertlik cihazı yardımıyla alınmıştır. Sertlik ölçümü, esas metalden başlanılarak kaynak bölgesine doğru izler arası 25µm mesafesinde, 300 gf yük ve 10 sn süresince uygulanarak yapılmıştır. (Şekil 3.11).



Şekil 3.1. *Mikrosertlik ölçüm prosedürü*

3.5. Çekme ve Üç Nokta Eğme Testi

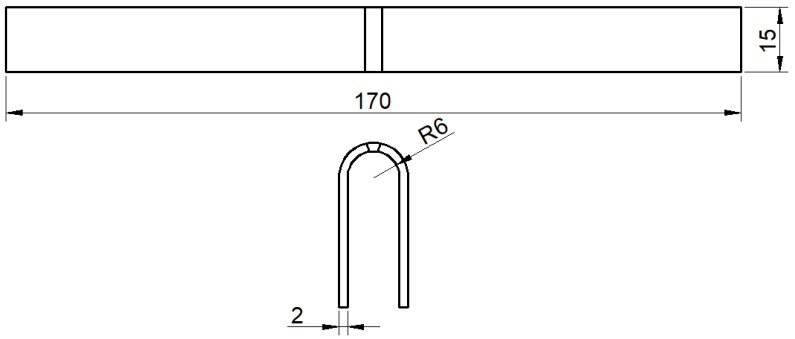
Çekme testi için TS EN ISO 4136 standardı, Üç nokta eğme testi için TS EN ISO 5173 standardına uygun bir şekilde hazırlanan numunelerin testleri Shimadzu marka Autograph AG-IS 100kN model çekme ve eğme testi cihazında gerçekleştirilmiştir. Çekme testi 1 mm/dk çekme hızında, Üç nokta eğme testi ise 100 mm mesnet açıklığında gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları Şekil 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.2. *Çekme (TS EN ISO 4136) (a) ve üç nokta eğme (TS EN ISO 5173) (b) numunesi boyutları*

3.6. Gerilmeli Korozyon Testi

Gerilmeli korozyon testi için numuneler Şekil 3.3'te verilen ölçülere göre bükülmüştür. Numunelerin yarısı hassaslaştırma işlemi için 600^{o}C sıcaklıkta 4 saat süresince bekletilmesinin ardından yavaş bir şekilde soğumaya bırakılmıştır. Hassaslaştırılmış ve hassaslaştırılmamış numuneler %90 etil alkol ve %10 HCl çözeltisi içerisine bükülmüş bölgelerinden batırılmıştır. Numuneler 24 saat bekletilmiş ve her 24 saatte bir grup numune çözeltiden alınmıştır. Çözeltiler her 48 saatte bir değiştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. *Büküm ölçüleri*



Şekil 3.4. *Numunelerin çözelti içerisinde bekletilmesi*

Numunelerde ağırlık değişimlerinin tespiti amacıyla numunelerin ağırlıkları çözeltiye daldırılmadan önce ve daldırıldıktan sonra 0,0001g hassasiyetteki dijital terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür. Hassaslaştırılma işlemi uygulanan ve uygulanmayan numunelerin ağırlık kayıpları Tablo 3.4'te verilmektedir.

Tablo 3.4. *TIG kaynağı ile birleştirilen hassaslaştırılmış ve hassaslaştırılmamış numunelerin ağırlık kayıpları*

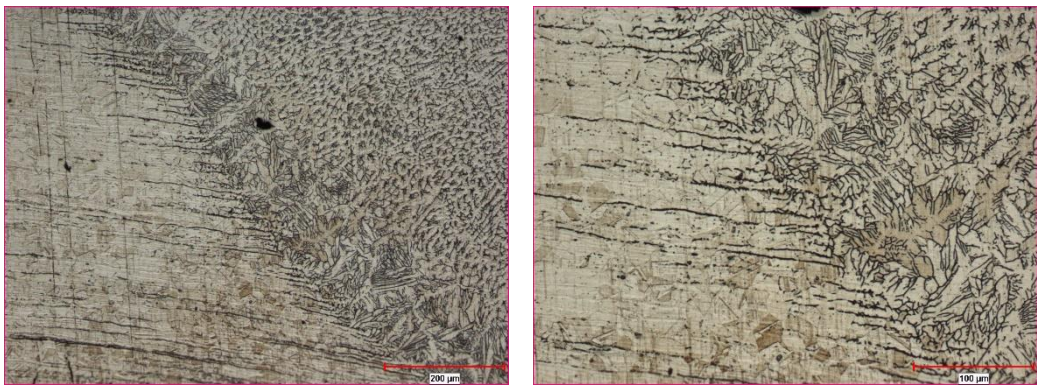
TIG kaynağı ile Birleştirilen Numunelerdeki Ağırlık Kayıpları											
Hassaslaştırılmamış Numuneler						Hassaslaştırılmış Numuneler					
No	Bekleme Süresi (Saat)	İlk Ağırlık (gr)	Son Ağırlık (gr)	Kayıp (gr)	Kayıp Oranı (%)	No	Bekleme Süresi (Saat)	İlk Ağırlık (gr)	Son Ağırlık (gr)	Kayıp (gr)	Kayıp Oranı (%)
1	168	39,5155	38,6319	0,8836	2,24%	16	168	39,2878	38,1133	1,1745	2,99%
2	192	39,0435	38,1829	0,8606	2,20%	17	192	36,9398	35,8615	1,0783	2,92%
3	216	39,2131	38,2936	0,9195	2,34%	18	216	37,435	36,3901	1,0449	2,79%
4	240	39,0665	38,1384	0,9281	2,38%	19	240	37,5479	36,4419	1,106	2,95%
5	264	39,2577	38,2114	1,0463	2,67%	20	264	37,5118	36,4912	1,0206	2,72%
6	288	40,7447	39,4778	1,2669	3,11%	21	288	39,8399	38,3727	1,4672	3,68%
7	312	38,8777	37,6113	1,2664	3,26%	22	312	39,8899	38,0146	1,8753	4,70%
8	336	39,2665	37,8214	1,4451	3,68%	23	336	40,0344	37,7712	2,2632	5,65%
9	360	39,3965	37,643	1,7535	4,45%	24	360	40,3138	38,0754	2,2384	5,55%
10	384	39,3717	37,3816	1,9901	5,05%	25	384	39,8433	37,3744	2,4689	6,20%
11	408	39,0995	37,0232	2,0763	5,31%	26	408	38,9186	35,9735	2,9451	7,57%
12	408	39,3745	37,0367	2,3378	5,94%	27	408	38,9923	35,9115	3,0808	7,90%
13	408	41,5209	39,3095	2,2114	5,33%	28	408	39,3762	36,3654	3,0108	7,65%
14	408	39,7026	37,4733	2,2293	5,61%	29	408	39,5871	36,597	2,9901	7,55%
15	408	39,314	37,1375	2,1765	5,54%	30	408	39,2416	36,1517	3,0899	7,87%

Tablo 3.4 incelediğinde, numunelerin çözelti içerisinde bekleme süreleri arttığında ağırlık kayıp oranları doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Hassaslaştırılmış numunelerin ağırlık kayıp oranları hassaslaştırılmamış numunelerin ağırlık kayıp oranlarından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Hassaslaştırılmış numunelerde maksimum kayıp oranı 408 saat süresince çözeltide bekletilen numunede %7.9, hassaslaştırılmamış numunelerdeki maksimum kayıp oranı %5.94 olarak tespit edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de TIG kaynağı uygulanan AISI 304 paslanmaz çeliğine ait mikroyapı fotoğrafları verilmektedir.



Şekil 4.1. *TIG kaynağı ile birleştirilen numunenin geçiş bölgesi*

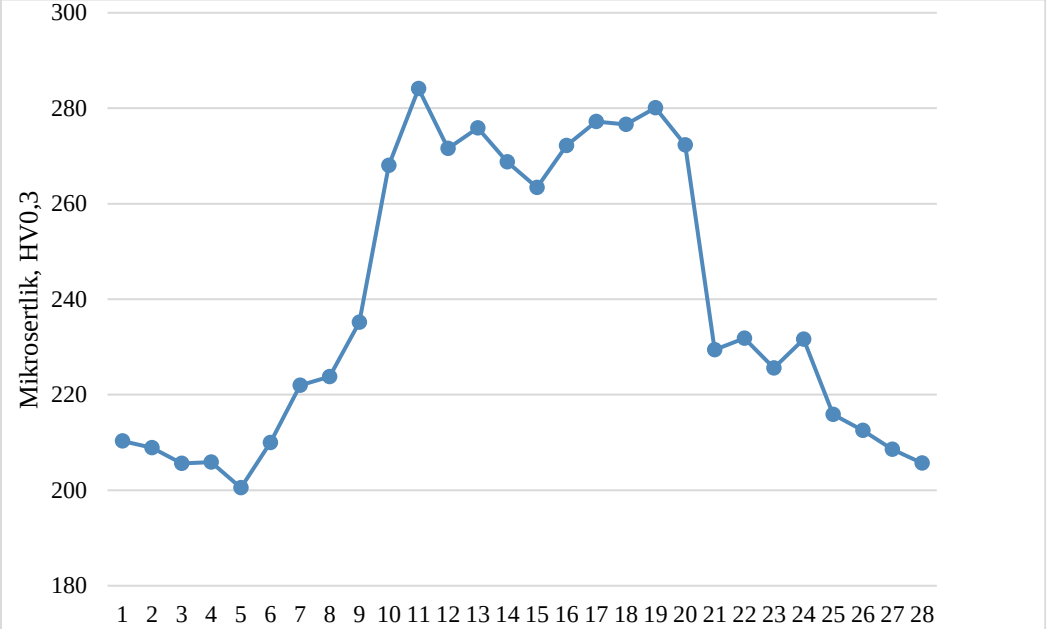


Şekil 4.2. *TIG kaynağı ile birleştirilen numunenin kaynak metali*

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilen mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, ana metal geçiş bölgesi ve kaynak metali net olarak gözlemlenmektedir. Kaynak bölgesinin hızlı soğumasından kaynaklanan dentritik bir yapıdan oluşmaktadır.

4.2. Sertlik Ölçümleri

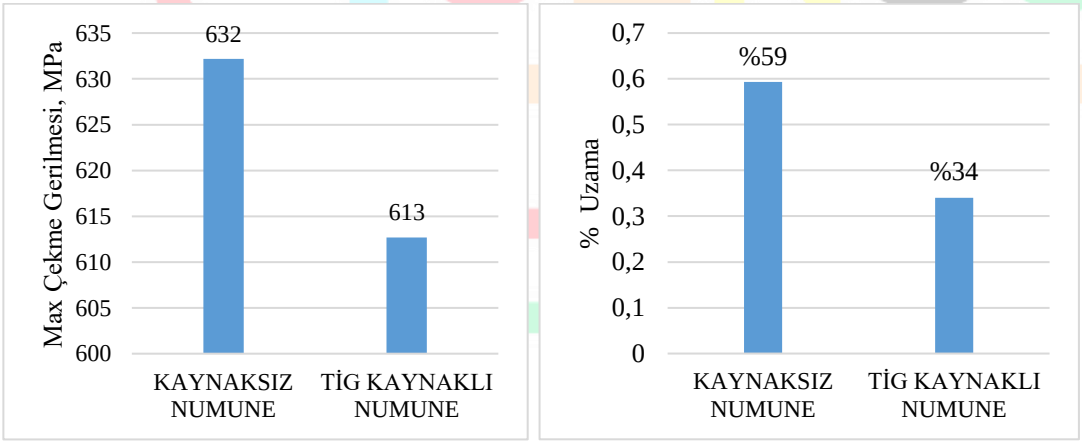
Şekil 4.3'te TIG kaynağı ile birleştirilen numunenin mikrosertlik grafiği verilmektedir. Şekil 4.3 incelendiğinde kaynak bölgesinde hızlı soğumadan kaynaklanan dentritik bölgede maksimum sertlik değeri 284 HV (11 numaralı bölge) olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte, esas metal ile kaynak metali geçiş bölgesinde sertlik değerleri dengeli olarak azalmaktadır. Esas metalin sahip olduğu ortalama sertlik değeri 205 HV olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. *TIG kaynağı ile birleştirilen numunenin mikrosertlik değerleri*

4.3.Çekme Testi Sonuçları

Şekil 4.4'te kaynak işlemi uygulanan ve kaynaksız numunelerin maksimum çekme gerilmesi ve %uzama miktarı grafikleri verilmektedir. Maksimum çekme dayanımı kaynaksız numunede 632 MPa olarak belirlenmiştir. TIG kaynağı ile kaynaklanmış numunelerde ise kaynak uygulanmamış numunenin çekme dayanımına yakın (613 MPa) mukavemet değerine ulaşılmıştır. Şekil 4.4'te verilen %uzama miktarları incelendiğinde, kaynaklı numunelerin %uzama miktarı kaynaksız numunelere kıyasla düşük olduğu görülmüştür. TIG kaynağı uygulanan numunenin %uzama miktarı kaynaksız numuneye kıyasla %58 oranla daha düşüktür. Bu durum, kaynak metalinin mikrosertlik değerinin esas metalin mikrosertlik değerinden yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

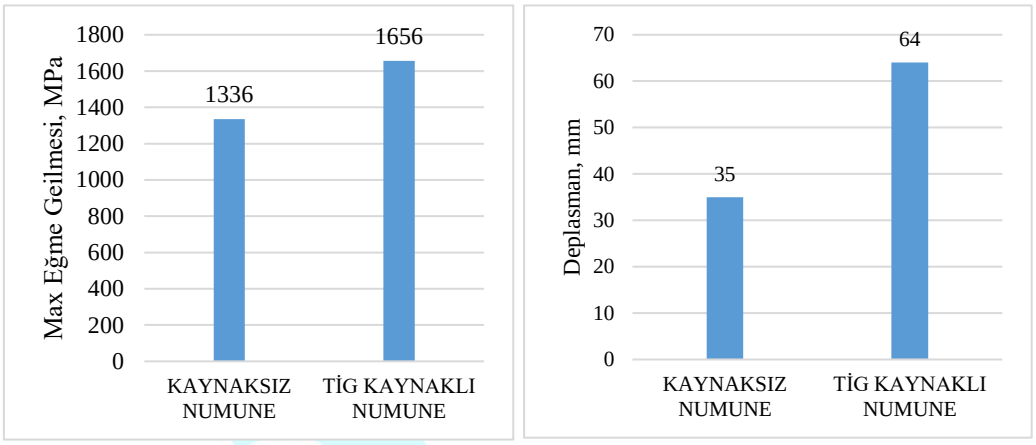


Şekil 4.4. TIG kaynağı ile birleştirilmiş ve kaynak uygulanmamış numunelerin çekme gerilmesi ve %uzama miktarları

4.4. Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları

Şekil 4.5'te TIG kaynağı ile birleştirilmiş ve kaynak uygulanmamış numunelerin eğilme gerilmesi ve deplasman miktarları verilmektedir. Şekil 4.5 incelendiğinde, maksimum eğilme gerilmesinin TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunenin 1656 MPa olduğu, kaynaksız numunenin ise 1336 MPa ile %19 oranında daha düşük eğilme dayanımına sahip olduğu

görülmektedir. Bu durum, TIG kaynağının geniş bir yüzeye ve kaynak bölgesinin daha dayanıklı yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

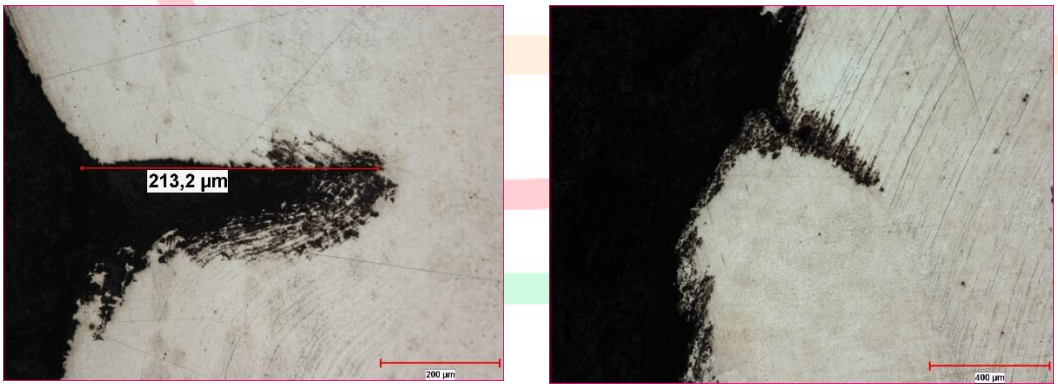


Şekil 4.5. TIG kaynağı ile birleştirilmiş ve kaynak uygulanmamış numunelerin eğilme gerilmesi ve deplasman miktarları

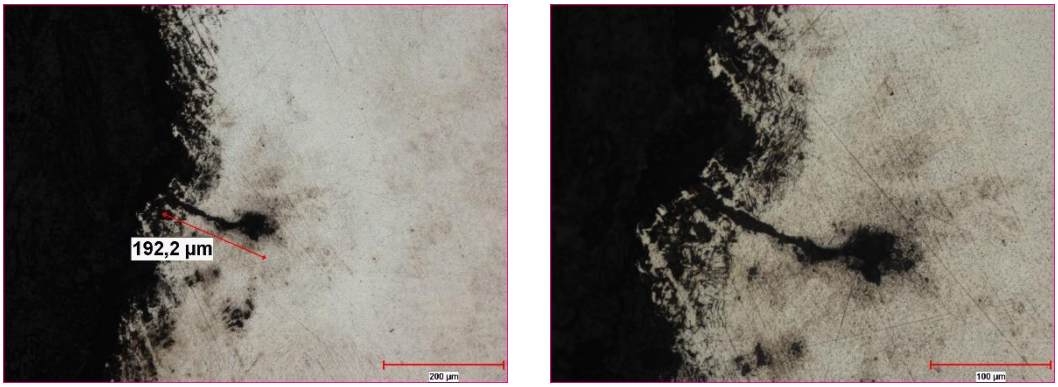
Şekil 4.5'te verilen numunelere ait deplasman miktarları incelendiğinde, eğilme gerilmesi ile paralel sonuçlar elde edilmiştir. TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunenin deplasmanı 64 mm ve kaynaksız numunenin deplasmanı 35 mm olarak belirlenmiştir. Kaynaklı numunenin deplasman oranı kaynaksız numuneye kıyasla %83 oranında daha fazla gerçekleşmiştir.

4.5. Gerilmeli Korozyon Testi Sonuçları

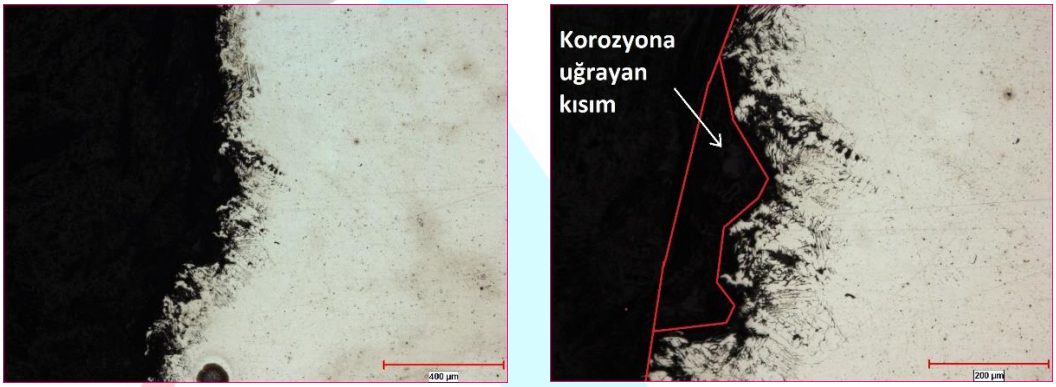
TIG kaynağıyla birleştirilen numunelere ait gerilmeli korozyon davranışı, numunelerin mikroyapı incelemeleri yapılarak çözelti içerisinde kalma sürelerine bağlı olarak çatlak ilerlemeleri belirlenmiştir. Şekil 4.16 ile Şekil 4.10 arasında verilen mikroyapı görüntüleri sırasıyla 168, 192, 360, 384 ve 408 saat çözeltide bekletilmiş ve hassaslaştırılmamış numunelerdeki çatlak başlangıçları ve çatlak boyu ölçümleri verilmektedir.



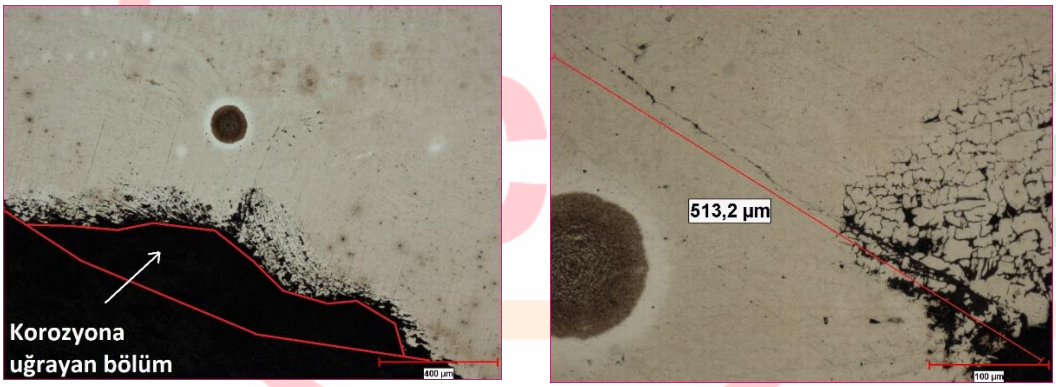
Şekil 4.6. *168 saat çözeltide bekletilen hassaslaştırılmamış numunenin çatlak ölçümü*



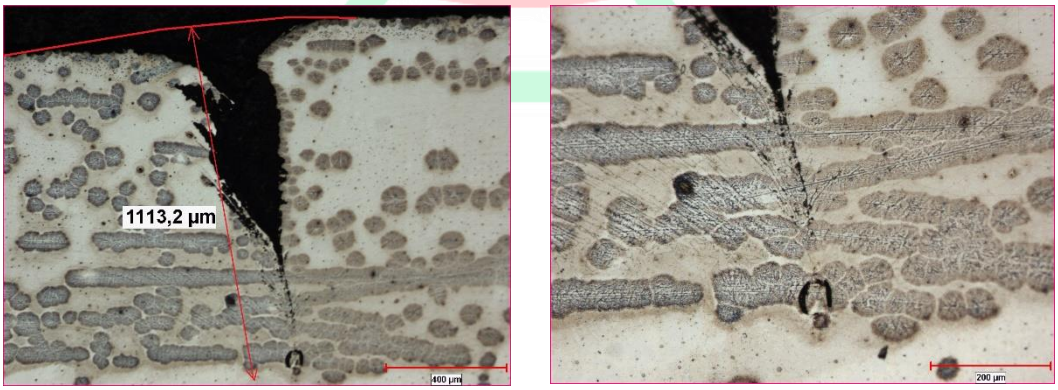
Şekil 4.7. *192 saat çözeltide bekletilen hassaslaştırılmamış numunenin çatlak ölçümü*



Şekil 4.8. *360 saat çözeltide bekletilen hassaslaştırılmamış numunenin çatlak ölçümü*



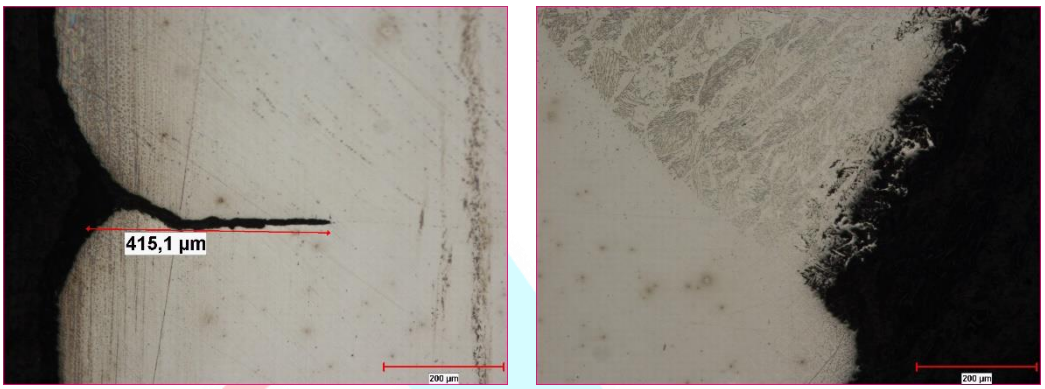
Şekil 4.9. *384 saat çözeltide bekletilen hassaslaştırılmamış numunenin çatlak ölçümü*



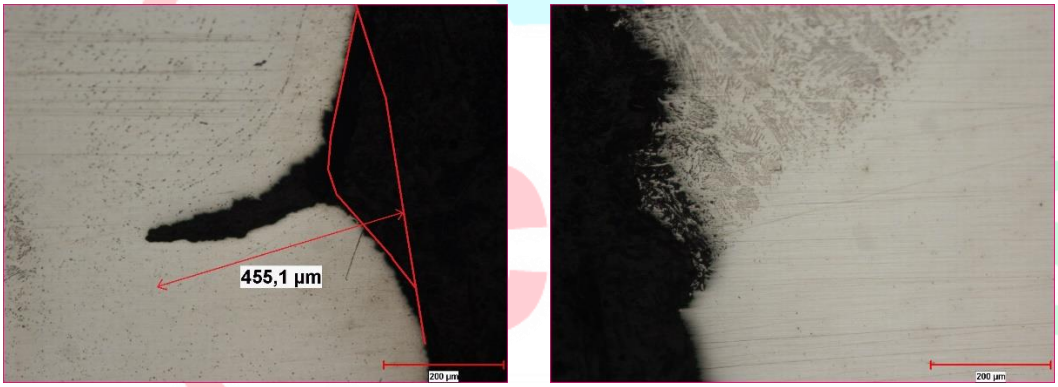
Şekil 4.10. *408 saat çözeltide bekletilen hassaslaştırılmamış numunenin çatlak ölçümü*

Şekil 4.6 ile Şekil 4.10 arasındaki görüntüler incelendiğinde, hassaslaştırılmamış tüm numunelerin bükülme bölgelerinde çatlakların oluştuğu ve çözeltide artma sürelerinin artmasıyla birlikte çatlakların 1113,2 µm uzunluğuna ulaştığı görülmektedir. Genellikle, kaynak metali ile ana metal arasında büyük çatlakların yayıldığı ve farklı kaynaklarında oluştuğu gözlemlenmiştir.

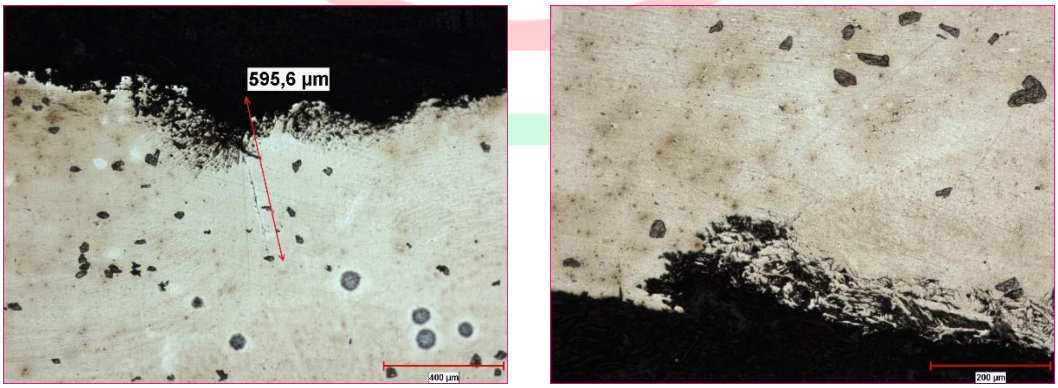
Şekil 4.11 ile Şekil 4.24 arasında verilen mikroyapı görüntüleri sırasıyla 168, 192, 360, 384 ve 408 saat çözeltide bekletilmiş ve hassaslaştırılmış numunelerdeki çatlak başlangıçları ve çatlak boyu ölçümleri verilmektedir.



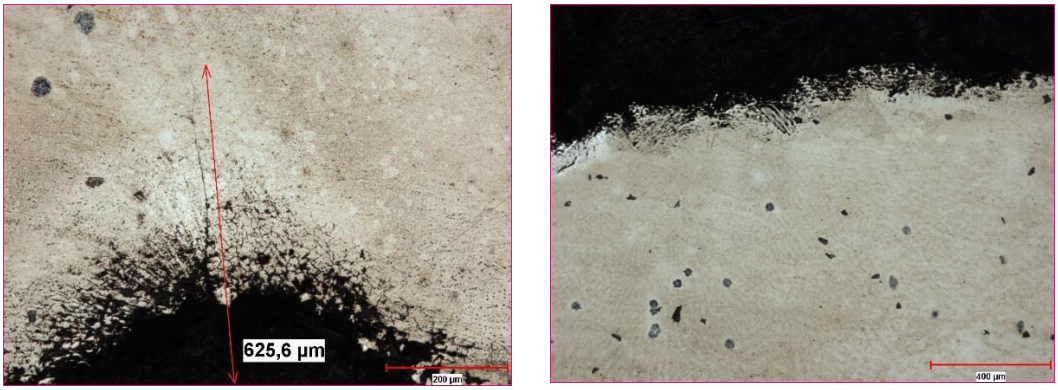
Şekil 4.11. *168 saat çözeltide bekletilen hassaslaştırılmış numunenin çatlak ölçümü*



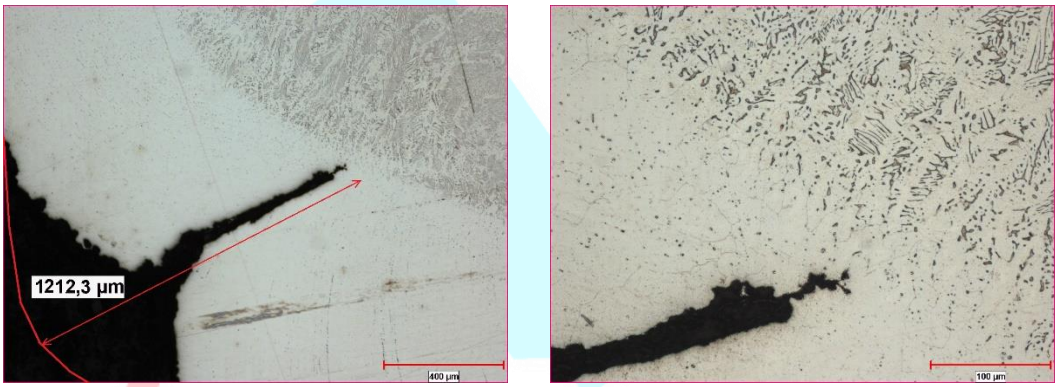
Şekil 4.12. *192 saat çözeltide bekletilen hassaslaştırılmış numunenin çatlak ölçümü*



Şekil 4.13. *360 saat çözeltide bekletilen hassaslaştırılmış numunenin çatlak ölçümü*



Şekil 4.14. *384 saat çözeltide bekletilen hassaslaştırılmış numunenin çatlak ölçümü*



Şekil 4.15. *408 saat çözeltide bekletilen hassaslaştırılmış numunenin çatlak ölçümü*

Şekil 4.11 ile Şekil 4.24 arasında verilen mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, çatlak uzunluklarının çözelti süresinin artışıyla doğru orantılı bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca, hassaslaştırılmamış numunelere kıyasla bükülme yüzeylerinin iç tarafında çatlak ilerlemesinin meydana geldiği ve hızlı bir şekilde ilerlediği gözlemlenmiştir. Büküm iç yüzeylerindeki çatlaklar özellikle 408 saat çözeltide beklemiş numunede çok fazla ilerleyerek büküm bölgesinin dışına yakın bir noktada kaynak metaline kadar ulaştığı görülmüştür. Hassaslaştırılmış ve hassaslaştırılmamış numunelerin gerilmeli korozyon davranışı taneler arasında oluştuğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, endüstride yaygın olarak kullanılan AISI 304 paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilerek çekme, mikroyapı, üç nokta eğme, sertlik ve gerilmeli korozyon davranışları araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Kaynak bölgesinde hızlı soğumadan kaynaklanan maksimum sertlik değeri 284 HV olarak ölçülmüştür.
- TIG kaynağı ile birleştirilen numunenin çekme gerilmesi 613 MPa olarak tespit edilmiştir. Kaynaksız numunenin sahip olduğu çekme gerilmesi (632 MPa) değerine %97 oranında yaklaşılmıştır.
- TIG kaynağı ile birleştirilen numunenin % uzama miktarı %34 olarak gerçekleşmiştir. Kaynaksız numunenin % uzamasına oranla (%59) %58 daha az uzama gerçekleşmiştir.
- TIG kaynağı ile birleştirilen numunenin eğilme gerilmesi 1656 MPa olarak elde edilmiştir. Kaynaksız numuneye göre %24 oranında artış sağlanmıştır.

- Eğme testi sonuçlarına göre TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunenin deplasmanı 64mm ile kaynaksız numuneye oranla %83 daha fazla olarak tespit edilmiştir.
- Hassaslaştırılmamış numunelerin sadece büküm yüzeylerinin dış kısımlarından çatlak ilerlemesi gerçekleşmiştir. 408 saat süresinde çözeltide bekletilen numunede maksimum çatlak ilerlemesi 1113.2 µ olarak ölçülmüştür.
- Hassaslaştırma işlemi uygulanmış numunelerde süre arttıkça çatlak boyu artarken büküm dış ve iç yüzeylerinde de çatlak meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Hassaslaştırılmış numunelerden 408 saat süresinde çözeltide bekletilen numunede maksimum çatlak ilerlemesi 1212.3 µ olarak ölçülmüştür.
- Numuneler gerilmeli korozyon davranışı açısından incelendiğinde, hassaslaştırma işlemi yapılmamış numunelerde çözeltiye maruz kalma süresi arttıkça elde edilen çatlak boyu hassaslaştırılmış numunelere kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynaklar

Almubarak, A., Abuhaimed, W., Almazrouee, A. (2013). Corrosion Behavior of The Stressed Sensitized Austenitic Stainless Steels of High Nitrogen Content in Seawater. *International Journal of Electrochemistry*, 970835, 1-7 s.

Moosbrugger, C. (2003). Corrosion: fundamentals, testing and protection (Vol. 13, p. 14). S. D. Cramer, & B. S. Covino (Eds.). Materials Park: ASM international.

Eker, A. (2009). Paslanmaz çelikler ve paslanmaz çeliklerin korozyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi Ders Notları, İstanbul, 13 s.

Kaya, Y. (2013). AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin TIG, MIG ve örtülü elektrod ark kaynağıyla birleştirilebilirliğinin araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(3).

Odabaş, C. (2007). *Paslanmaz çeliklerin kaynağı*. Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayınları, İstanbul, 59 s.

Paksoy, A. K. (2008). Çelik yapıların, atmosferik korozyona karşı korunmasında epoksi bazlı boya ve kaplamaların kullanımı ve performansı (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Saklakoğlu, N., İrizalp, S. G., Gökdemir, Z. E., & Polat, S. (2016). AISI 304 ve 316 paslanmaz çeliğinin HCl ve H_2SO_4 çözeltilerindeki gerilim korozyon çatlaması davranışı. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(1), 139-149.

Seçkin, Edip. *Kapalı Kesit Paslanmaz Çelik Çekme Elemanları Kaynaklı Uç Birleşimlerinin Davranış ve Tasarımı* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Metal Teknolojisi TIG Kaynağı. (2011). T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara, 4 s.

Smith, W. F. (2001). *Malzeme bilimi ve mühendisliği*. (Kınıkoğlu, N. G. Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık, 855 s.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Using Natural Fiber in Automobile Parts

Barış ŞENOL[1]
Berkant UYSAL[2]

Abstract

The ever-growing demand for lighter, more fuel-efficient, and environmentally friendly vehicles is pushing the automotive industry towards innovative materials. Natural fiber composites, composed of plant-based fibers like flax, hemp, and sisal embedded in a polymer matrix, are emerging as a promising alternative to traditional materials. This review paper examines the current state of development and applications of natural fiber composites in the automotive sector.The review highlights the key benefits of these composites, including their lightweight nature, good specific strength, and excellent thermal and acoustic insulation properties. Additionally, natural fibers are renewable, biodegradable, and often less expensive than conventional materials, contributing to a more sustainable automotive manufacturing process.The paper also explores the challenges associated with using natural fibers in composites. These can include lower overall strength and stiffness compared to synthetic fibers, as well as susceptibility to moisture absorption. However, ongoing research is addressing these limitations through improved fiber treatment methods and novel matrix formulations.Overall, the review concludes that natural fiber composites hold significant potential for various automotive applications. With continued research and development, these eco-friendly materials can play a crucial role in achieving lighter weight, improved fuel efficiency, and a more sustainable future for the automotive industry.

Keywords: Natural fibers, eco friendly, renewable, automotive,plant-based

[1] Researcher, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. R&D Center, Bursa, Türkiye
[2] Researcher, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. R&D Center, Bursa, Türkiye / Researcher, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ISBN: 978-625-372-170-1

Giriş

Plastik kullanımı, otomotiv endüstrisinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Araçlarda kullanılan plastik miktarının her geçen gün artması, hem çevresel hem de çalışan sağlığı ve güvenliği açısından bazı riskler taşımaktadır (Santos vd. 2008). Bu nedenle, TOFAŞ da plastik kullanımını azaltmak ve daha sürdürülebilir çözümler geliştirmek, biyoesaslı malzmelerin getirdiği avantajları da araçlarda kullanabilmek için doğal bitki bazlı liflerin araç parçalarında kullanılması araştırmalarına öncelik vermektedir.

Otomotiv sektöründe plastik ve varyasyonlarının kullanımı son yıllarda artan bir ivmeyle yükseliş göstermektedir. Günümüz araçlarının iç kısımlarında kullanılan(kapı trim,torpido,orta konsol) parçaların yaklaşık yarısı polimerik malzemelerden üretilmektedir..Gelişmiş ülkelerde bir araçta ortalama plastik kullanımı 120 kilogramken, dünya ortalaması alındığında bu miktarın 105 kg civarında olduğu görülür ve aracın toplam ağırlığının %10-12'sini oluşturmaktadır. Bu veriler, plastik sarfiyatının sektörde önemli bir yer tuttuğunu ve araçların ağırlığını da doğrudan değiştirdiğini göstermektedir.2012 yılında Plastik Sanayicileri Federasyonu (PLASFED) tarafından hazırlanan rapora göre, son 7 yılda üretim artışları nedeniyle binek araçların toplam hacim ağırlığında %1 oranında artış olmasına karşın, kullanılan plastik miktarında %28, kauçuk miktarında ise %33 oranında yükselme olduğu belirtilmiştir. Bu veriler, plastik kullanımının otomotiv sektöründe ne kadar ivmeli şekilde arttığını açıkça göstermektedir.(Demirci,2012)

Termoplastikler, otomotiv sektöründe tasarım ihtiyaçlarına bağlı olarak güvenlik ve kullanım konforu gibi hususlarda oldukça kullanışlıdır. Ek olarak estetik olarak da ihtiyaçları karşılama noktasında ön plana çıkarlar. Ayrıca elektronik aksam performansına maliyet açısından da uyum sağlama kapasiteleri yüksektir ve geri dönüşümü kolay bir malzeme olmaları gibi birçok avantaja sahiptirler. Ancak, termoplastik yüzeylerin sünek olması, çizilme dirençlerinin düşük olması ve ısıl kararlılıklarının görece düşük olması gibi dezavantajları da vardır.Bu da kullanım alanlarına bağlı olarak saf polimerlerle (plastiklerle) beklenen özellikleri sağlamanın nerdeyse imkansız olduğu anlamına gelir. Polimer kompozitlerde, mekanik ve kimyasal özellikleri iyileştirmek için farklı bitkisel ve anorganik esaslı dolgu ve katkı materyalleri kullanılmaktadır. Bu materyaller doğal olarak bulunabileceği gibi endüstriyel olarak da üretilebilirler. Nanokil, karbon nanotüp/nanolifler, silikatlar, seramik tozu ve kısa lifler gibi dolgu malzemeleri, termoplastik kompozitlerin çekme, basınç, eğilme ve şok direnci gibi mukavemet özelliklerini ileriye taşımak için sık tercih edilmektedir (Martin vd. 2004:2309-2316; Groner vd. 2006; Tetsuka vd. 2007:3545-3550; Golebiewskive Galeski, 2007:3442-3447; Sarkar vd. 2008; Gupta vd. 2010:4230-4239 ; Sardar ve Bandopadhya, 2013). Çevre kirliliği, küresel ısınma ve petrol kaynaklarının azalması gibi küresel sorunlar, otomotiv sektörünü de etkilemektedir. Bu gibi sorunlar, inorganik endüstriyel malzemeler yerine doğal lif içeren kompozitlerin kullanımını da beraberinde getirmiştir. (Marsh, 2003:36-43). Bu bağlamda düşünüldüğünde bitkisel lif içeren kompozit materyaller, biyo-bozunurluk özellikleri sayesinde yeşil dostu malzeme olarak nitelendirilebilir. Özellikle otomotiv sektöründe, kapı panelleri, koltuk kaplamaları, iç tavan kaplamaları, gösterge panelleri gibi çeşitli parçalarda doğal elyaf takviyeli plastik kompozitlerin uygulanmasını merkezine alan araştırma ve testlerde bir yükseliş olmuştur (Eckert, 2000; Yongxiang vd. 2012:53-68).

Bu çalışmanın amacı araç içi parçalarda -özellikle kapı panel ve koltuk kumaşı-doğal lif kullanımını değerlendirmek ve uygulanabilirliğini araştırmaktır. Doğal liflerin özelliklerini ve pazar payını incelemek çalışmanın gidişatı açısından oldukça elzemdir.

Doğal Lifler: Sınıflandırılması ve Pazar Payı

Kompozit malzemelerde en yaygın kullanılan doğal lifler arasında sisal, hint keneviri, Hindistan cevizi, şeker kamışı ve muz lifleri bulunur Selüloz lifleri biyolojik olarak parçalanabilir, toksik olmayan ve geri dönüştürülebilir bir maddedir. Önemli miktarlarda kullanıldığında, yüksek mukavemet ve sertlik performansı sağlarken düşük yoğunluklu kompozitlerin üretimini kolaylaştırma yetenekleriyle tanınırlar. Ayrıca, doğal lifler, operasyonlar sırasında hasara karşı direncini artıran esnekliğe sahiptir. Sonuç olarak, muz, kenevir ve hindistancevizi lifleri gibi lignoselülozik lifler, endüstriyel sektörlerde polimer katkı maddesi kategorisinde araştırmacıların göz bebeği haline gelmiştir. Bu lifler, cam elyaflara kıyasla daha düşük yoğunluk ve maliyet dahil olmak üzere sayısız fayda sunar. (Santos vd. 2008; Spoljaric vd. 2009:791-799; Joseph vd. 2002: 1857–1868; Mothe vd.2009:181-185; Merlini vd.,2011:833-840) Doğal elyaf kompozitlerin küresel pazarı 2010 yılında 2,1 milyar dolara ulaştı ve son 5 yılda %15'lik bir büyüme yaşadı. Doğal elyaf kompozitler ağırlıklı olarak otomotiv ve inşaat endüstrilerinde kullanılmaktadır. Ahşap plastik kompozitler inşaatta yaygın olarak kullanılırken, keten, kenevir ve hint kenevir gibi iç kabuk lifleri otomotiv sektöründe tercih edilmektedir (Lucintel, 2011).

Doğal Liflerin Avantajları ve Dezavantajları

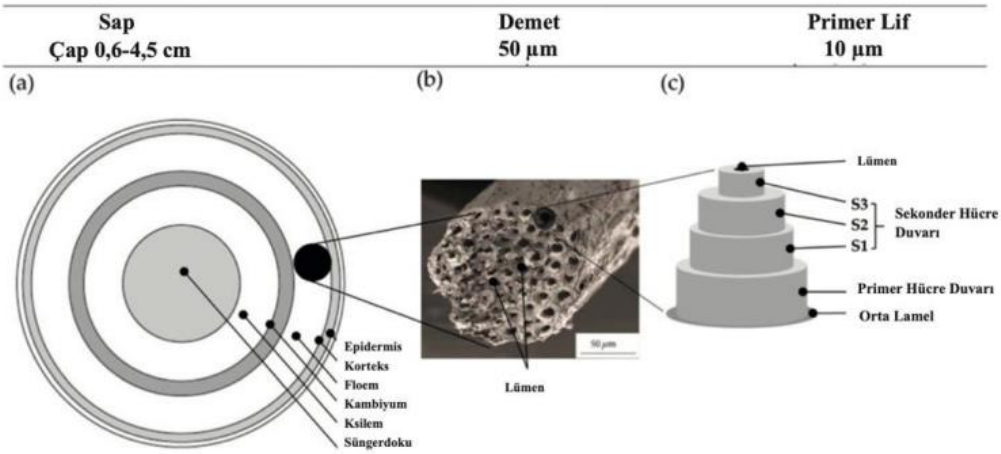
Doğal lifler, düşük maliyet, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet ve elastikiyet modülü, yüzey modifikasyonu kolaylığı, çevre dostu olma, aşınma direnci, yenilenebilirlik, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve kullanım ömrünün sonunda yanma yoluyla geri dönüştürülebilme yeteneği gibi bir dizi avantajlı özellik sunar. Ayrıca üretim için daha az enerji gerektirirler ve sentetik elyaflara kıyasla daha az güvenlik riski oluştururlar. Ayrıca, doğal lifler, cam elyaf bazlı kompozitlere rakip olmalarına izin veren belirli mekanik özelliklere sahiptir ve pozitif bir CO2 dengesine katkıda bulunurlar. Ek olarak, iyi ısı ve akustik yalıtım özellikleri sergilerler. Ayrıca, doğal lifler, işleme sıcaklıklarında bozulmaya uğramadan yüksek oranlarda polimer matrislerine dahil edilebilir. Biyolojik olarak parçalanabilir ve geri dönüştürülebilir olduklarından, yakıldığında kolayca termal enerjiye dönüştürülebilirler ve bu da minimum kirliliğe neden olur. Üretim için büyük ölçüde fosil yakıtlara dayanan sentetik liflerle karşılaştırıldığında, doğal lifler yaklaşık 10 kat daha az enerji tüketir. (Çavdar ve Boran., 2016)

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kenevir liflerinin koltuk kumaşında ve araç içi parçalarda kompozit katkı maddesi olarak kullanılması araştırma konusu olarak belirlenmiştir. Kenevir liflerinin yapısı diğer yaygın materyallerle karşılaştırılması ve öne çıkan özelliklerinin açıklanmasında yararlı olacaktır.

Kenevir Liflerinin Yapısı ve Özellikleri

Cannabis Sativa bitkisel kenevir türünün erkek bireyleri, tekstil sektöründe kullanılan ve çapı boyunca uzanan düzensiz şekle sahip lifler üretirler. Bu lifler bitki sapının uzunluğuyla hizalanır ve kabaca% 70-74 selüloz, % 15-20 hemiselüloz,% 3.5-5.7 lignin,% 0.8 pektin ve% 1.2-6.2 balmumundan oluşan bir lif demetinden oluşur. Bu lifler tekstil uygulamaları için uygundur. Kenevir liflerinin gövde üzerinde bulunan düğümleri vardır ve liflerin uzunluğu ve verimi, bu düğümler arasındaki boşluğa bağlı olarak farklılık gösterir (Gedik,2010: 39-48).



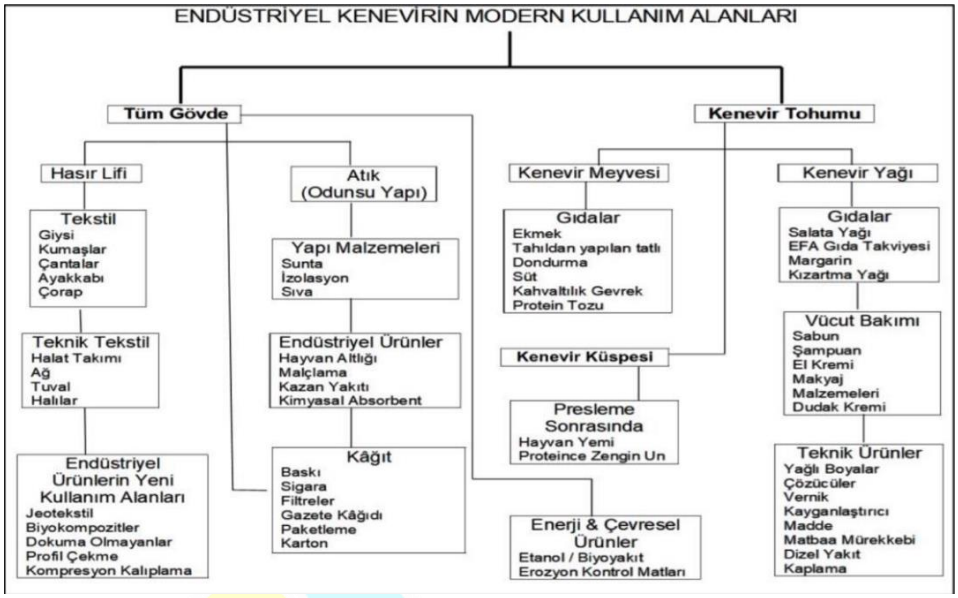
***Şekil 1**. Kenevir Lif Kesit Gösterimi (Manaia 2019:1-16)*

Kenevir lifleri yaklaşık % 70-74 selüloz, % 15-20 hemiselüloz,% 3.5-5.7 lignin,% 0.8 pektin ve% 1.2-6.2 balmumundan oluşur. Bu bileşenler, liflerin hava geçirgenliği ve termal yalıtımıgibi özelliklerine katkıda bulunur. Kenevir lifleri selüloz içerdikleri için yoğunluğu yüksek inorganik asitlerden etkilenirler. Sıcaklık arttıkça zayıf asitler liflerde dayanıklılık kaybına neden olabilir. Alkalilerle işlenmiş kenevir lifleri ise fazlasıyla dayanıklıdır. Bazik işlemler sonrasında kotonize edilmiş kenevir liflerinin mukavemetleri iyidir. Kenevir lifleri ayrıca bakterilere karşı da dayanıklı olması sebebiyle leke tutmayan yüzeyler oluşturma konusunda da avantaj sağlar. Kenevir, sürdürülebilir, organik ve yenilenebilir bir tarım ürünü olarak pamukla yapabileceğimiz pek çok şeyi çok daha az uğraş ve maliyetle gerçekleştirebilir. Kenevir bir ot olarak doğada yabani ot gibi büyür. Hızlı ve temiz büyür ve doğal olarak böceklere dirençlidir (Demirbek ve Oktav, 2021:176-191)



***Şekil 2.** Kenevir Bitkisi (Yerli Kenevir Tohumu,2018)*

Kenevir zorlu bir ürün olarak kabul edilmez; çünkü aşırı su, kimyasal gübre ve böcek ilacı gerektirmez Kenevir lifleri yüksek hijyenik özelliklere sahiptir; yani yüksek emici ve higroskopik, bakteriyostatik, anti-statik ve anti-mikrobiyel özelliklere sahiptir. Ayrıca, UVR engelleme ve anti-alerjik performans özelliklerine de sahiptir. Bu kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, kenevir lifi endüstride, sağlıklı ve UV korumalı tekstil üretiminde tercih edilen liflerden biri olmuştur. Birçok alanda kullanım alanı bulunan kenevirin kullanım alanları sınıflandırılmasını Şekil 3'te görebiliriz.



Şekil 3. *Kenevirin Kullanım Alanları (Gizlenci vd. 2019)*

Bu bağlamda TOFAŞ tarafından numuneler alınarak validasyon ve kalite kontrol testlerine tabi tutulacaktır. PLA maddesine kenevir lifi sarılması ve koltuk kumaşı olarak kullanılmak üzere hibrit kompozit ürünlerin prototip üretimi yapılacaktır.

Tartışma ve Sonuç

Araştırmalarda da görüldüğü üzere doğal bitki liflerinin kullanılma sıklığı her geçen gün artmaktadır. Bu artış eğilimi çevreci olması, maliyetinin düşük olması ve bunların yanı sıra eklendiği malzemeye mukavemet artışı, anti-mikrobiyel özellik kazandırması bu lifleri kullanmayı oldukça cazip hale getirmiştir. TOFAŞ'ın yapacağı testler de kanıtlayacaktır ki hem istenilen özellikte parça üretilebilmesi hem çevre dostu bir uygulama olması hem de maliyet indirimi sağlaması şimdinin ve geleceğin bir numaralı üretim katkı maddesi bitkisel doğal liflerdir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Çavdar, A., & Boran, S. (2016). Doğal Liflerin Otomotiv Sanayinde Kullanımı. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *16*(1). https://doi.org/10.17475/kujff.36865

Demirbek, D., & Oktav Bulut, M. (2021). KENEVİR LİFLERİNİN ELDESİ, ÖZELLİKLERİ VE KOMPOZİT UYGULAMA ALANLARI. Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences, 4(2), 176-191.

Demirci, B. (2012). Türkiye otomotiv plastikleri sektör raporu.

Eckert, C. (2000). Opportunities for natural fibers in plastic composites. *Proceedings of the progress in wood fibre plastic composites, Toronto, ON*.

Gedik, G., Avinç, O.O. & Yavaş, A. (2010). *Kenevir Lifinin Özellikleri ve Tekstil Endüstrisinde Kullanımıyla Sağladığı Avantajlar.* Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(3), 39-48.

Gizlenci, Ş., Acar, M., Yiğen, Ç. & Aytaç, S. (2019). Kenevir Tarımı, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü. Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitü Müdürlüğü, Samsun.

Golebiewski, J., Galeski, A. 2007. Thermal stability of nanoclay polypropylene composites by simultaneous DSC and TGA.Composite Science and Technology, 67, 3442–3447.

Groner, M. D., George, S. M., McLean, R. S., & Carcia, P. F. (2006). Gas diffusion barriers on polymers using Al_2O_3 atomic layer deposition. *Applied Physics Letters*, *88*, 051907.

Gupta, M., Lin, Y., Deans, T., Baer, E., Hiltner, A., & David, A. S. (2010). Structure and gas barrier properties of poly(propylene-graft-maleic anhydride)/phosphate glass composites prepared by microlayer coextrusion. *Macromolecules*, *43*(9), 4230–4239.

Joseph, S., Sreekala, J. M. S., Oommen, Z., Koshyc, P., & Thomas, S. (2002). A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibres and glass fibres. *Composite Science and Technology*, *62*, 1857–1868.

Lucintel. (2011). *Opportunities in natural fiber composites*. Las Colinas, USA. Erişim adresi: http://www.lucintel.com/lucintelbrief/potentialofnaturalfibercomposites-final.pdf

Manaia, J., Manaia, A. T., & Rodriges, L. (2019). Industrial hemp fibers: An overview. *Fibers*, *7*(106), 1-16.

Marsh, G. 2003. Next step for automotive materials. Materials Today, 6(4), 36-43

Martin, C.A., Sandler, J.K.W., Shaffer, M.S.P., Schwarz, M.K., Bauhofer, W., Schulte, K., Windle, A.H. 2004. Formation of percolating networks in multi-wall carbon-nanotube–epoxy composites. Composite Science and Technology, 64, 2309–2316.

Merlini, C., Soldi, V., & Barra, G. M. O. (2011). Influence of fiber surface treatment and length on physico-chemical properties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites. *Polymer Testing*, *30*, 833-840.

Mothé, C.G., Araújo, C.R., Wang, S.H. 2009. Thermal and mechanicals characteristics of polyurethane/curaua fiber composites. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 95, 181–185.

Santos, P. A., Giriolli, J. C., Amarasekera, J., & Moraes, G. (2008). Natural fibers plastic composites in automotive applications. *SPE Automotive Composites Conference & Exhibition*.

Spoljaric, S., Genovese, A., & Shanks, R. A. (2009). Polypropylene-microcrystalline cellulose composites with enhanced compatibility and properties. *Composite Part A: Applied Science and Manufacturing, 40*, 791-799.

Tetsuka, H., Ebina, T., Nanjo, H., & Mizukami, F. (2007). Highly transparent flexible clay films modified with organic polymer: Structural characterization and intercalation properties. *Journal of Materials Chemistry, 17*, 3545-3550.

Yerli Kenevir Tohumu, 2018. https://images.app.goo.gl/vRTRcJZq2biavYrL9

Yongxiang, Y., Boom, R., Irion, B., Heerden, D., Kuiper, P., & Wit, H. (2012). Recycling of composite materials. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 51*, 53–68.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING and NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Improvment Quality of Plastic Granuls

Berkant UYSAL[1]
Taner ŞENGÜL[2]

Abstract

Plastic pollution is a growing concern, and enhancing plastic recycling is crucial for a sustainable future. This paper proposes a process design approach to achieve two key objectives:Improved Quality of Plastic Granules and Enhanced Recycling and Product Quality after Conversion. This study focuses on optimizing the recycling process to yield high-quality plastic granules. This may involve strategies like advanced sorting techniques, contamination control measures, and potentially incorporating innovative cleaning or decontamination technologies. Additionally, the paper explores methods to ensure the recycled plastic retains its properties after conversion into new products. This could involve optimizing conversion processes like extrusion or injection molding, potentially including techniques like blending virgin and recycled material in controlled ratios or exploring novel processing technologies that improve the quality of recycled plastic products.The paper will discuss the challenges associated with maintaining quality throughout the recycling chain, from plastic waste collection to final product. It will then present the proposed process design, outlining the key steps and technologies involved in achieving both high-quality plastic granules and superior quality in the final converted product. Finally, the paper will touch upon the potential benefits of this approach, including environmental advantages, cost reductions, and the creation of a more closed-loop plastic economy.

Keywords: plastic recycling, process design, quality improvement, plastic granules, recycled products

[1] Researcher, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
[2] Researcher, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. R&D Center, Bursa, Türkiye / Researcher, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ISBN: 978-625-372-170-1

Giriş

Bugünün imalat sektöründe, plastik granüller birçok ürünün yapı taşını oluşturur, bu ürünler basit ev eşyalarından karmaşık endüstriyel bileşenlere kadar çeşitli ürünleri kapsar. Son ürünlerin performansı ve ömrü, bu granüllerin özellikleri ve kalitesi tarafından büyük ölçüde etkilenir. Bu nedenle, imal edilen ürünlerin toplam kalitesini ve sürdürülebilirliğini artırmak, plastik granüllerin kalitesinde sürekli bir iyileştirmeyi gerektirir. Son yıllarda plastik üretim süreçlerinin sürdürülebilirliğini artırma gerekliliği giderek önem kazanmıştır. Bu, üretimin çevreye olan olumsuz etkilerini azaltırken aynı zamanda ürünleri daha sağlam ve uzun ömürlü hale getirerek atığı azaltmayı içerir. Bu sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak, plastik granüllerde ilerlemeler gerektirir, örneğin karmaşık karışım yöntemlerinin geliştirilmesi ve katkı maddelerinin eklenmesi gibi.

Bu çalışma, plastik granüllerin standartlarını yükseltmek için kullanılabilecek çeşitli yaklaşımları ve yenilikleri incelemektedir. Katkı maddelerinin granüllerin mekanik ve termal özelliklerini nasıl iyileştirebileceği ve karışım yöntemlerinin belirli kullanımlar için benzersiz formülasyonlar yapmak için nasıl kullanılabileceği üzerine ve geri dönüşüm esnasında yapılacak proseslerle granül kalitesinin nasıl artırılabileceğine odaklanmaktadır. Ayrıca, bu gelişmelerin endüstriyel sektörün sürdürülebilirliğini nasıl etkilediğine de bakarak, bu gelişmelerin gelecekte daha sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek için ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Literatür Araştırması

Bu çalışmada, endüstrileşmiş ülkelerde plastik çöplerin belediye katı atıklarının (MSW) önemli bir bölümünü oluşturacak kadar büyüdüğü, bu durumun depolama alanı kapasitesi ve çöplerin yakılmasıyla çevresel sorunlar yarattığı belirtilmektedir. Plastik çöplerin geri dönüştürülmesi, MSW'nin azaltılması ve enerji gibi kaynakların korunması için önemlidir. Plastik geri dönüşümü önemli olmasına rağmen, küresel olarak yalnızca az bir kısmı şu anda geri dönüştürülmektedir. Bu nedenle, ABD, Almanya ve Japonya gibi ülkeler geri dönüşüm sistemleri geliştirmiştir. Plastik geri dönüşüm süreci, toplama, ayrıştırma, işleme ve pazarlama gibi adımları içerir; yüksek kaliteli geri dönüştürülmüş ürünler ve kimyasal hammadde geri dönüşümü, verimli ayrıştırmaya bağlıdır. Ayrıştırma için birkaç teknoloji mevcuttur, ancak mineral işlemede sıkça kullanılan bir teknik olan köpük flotasyonu, karışık polimerlerden atığı etkili bir şekilde uzaklaştırmak için umut vadetmektedir. Sonuç olarak, çalışma plastiklerin geri dönüşümünün artan önemini, mevcut geri dönüşüm oranlarıyla ilişkili zorlukları ve karışık plastik atıklar için bir ayrıştırma tekniği olarak köpük flotasyonunun olasılığını vurgulamaktadır (Shent vd., 1998: 85-109).

1940'lardan bu yana plastik üretimi artmıştır ve bu durum küresel olarak plastik atık üretiminde önemli bir artışa neden olmuştur. Bu atıkların önemli bir kısmı plastik katı atıklardır (PSW).Plastiklerin yaygın olarak kullanılması nedeniyle plastiklerin geri dönüşümü büyük önem taşır. Ancak, PSW'nin sadece dörtte biri geri dönüştürülmektedir. Bunun temel nedeni, geri dönüştürülmüş plastiklerin aynı uygulamalar için tekrar kullanılmasının zor olması ve karışık plastiklerin ayrılmasının ekonomik olarak uygun olmamasıdır.Karışık PSW'nin inşaat ürünlerine dönüştürülmesi, özellikle büyük miktarda atık üreten inşaat endüstrisinde, atıkların yönetilmesine ve çevresel etkisinin azaltılmasına yardımcı olabilir. Bu çalışma, genellikle kullanılan HDPE, LDPE ve PP gibi plastikleri içeren karışık PSW'nin mekanik davranışını karakterize etmeye odaklanmaktadır ve karışık PSW'nin inşaat veya kompozit malzemelerde

kullanımı için temel veriler sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışma, HDPE, LDPE ve PP içeren geri dönüştürülmüş karışık plastik katı atıkların (PSW) mekanik davranışını kupon ve tam ölçekli numunelerle inceliyor. Gerilme, basınç, fleksür ve kesme için sırasıyla 14.8, 19.8, 20 ve 5.6 MPa olan mukavemet değerleri belirlendi, elastisite modülü değerleri rapor edildi. Kupon ve tam ölçekli numunelerin özellikleri için değişim katsayısı %10'un altında olduğundan, karışık PSW için tutarlı malzeme özelliklerinin olduğu gösterildi. Karışık PSW'nin mukavemet özellikleri, inşaat uygulamaları için uygun hale getiren yumuşak ahşap yapısal keresteye benzer. Tam ölçekli numunelerin fleksür davranışı, kupon numunesi özellikleri kullanılarak tahmin edilmiş, güvenilir tahminler göstermiş ve maliyetli tam ölçekli deneysel test ihtimalini ortadan kaldırabilir. (Bajracharya vd.,2015:72-80)

Bu çalışma, geri dönüştürülmüş plastik granüllerin ve yıkım atıklarının, ek stabilizasyon olmaksızın yol yapım malzemeleri olarak kullanılabilirliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu malzemelerin mukavemeti, rijitliği ve performansı hakkında içgörüler sunmayı hedeflemektedir. Katı atıkların üretimi ve depolanması, küresel olarak karbon emisyonlarına ve kirliliğe katkıda bulunarak, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde atık yönetimi konusunda zorluklar ortaya koymaktadır. Katı atıkların depolanması, kentsel alanlarda arazi kıtlığı nedeniyle sürdürülemezdir, bu da inşaat endüstrisinde geri dönüşüm fırsatlarının aranmasına neden olmaktadır. Özellikle LDPE, HDPE ve LDCAL gibi polietilen ürünlerine yönelik plastik atıklar, düşük üretim maliyeti ve geniş uygulamalar gibi faktörlerden dolayı bol miktarda bulunmaktadır. Önceki araştırmalar, HDPE ve LDPE gibi plastiklerin, esas olarak jeoteknik uygulamalarda takviyeler olarak inşaat malzemelerinde kullanımını araştırmıştır. Ezilmiş Tuğla (CB) ve Geri Kazanılmış Asfalt Kaplama (RAP) gibi yıkım atıkları, geleneksel taş ocaklarından elde edilen malzemelere benzer özelliklere sahiptir, bu da onları inşaat uygulamaları için uygun hale getirir. Araştırma, inşaat malzemeleri olarak plastiklerin ve yıkım atıklarının kullanımını değerlendirir; özellikle üç tip plastik (LDPE, HDPE, LDCAL) ve iki tip yıkım atığı (CB ve RAP) test edilir. Malzemelerin değerlendirilmesi için esnek modül ve mukavemet testleri yapılmış olup, inşaat amaçları için %5 plastik içeriğinin optimal olduğu belirlenmiştir (Arulrajah vd.,2017:639-647).

Araştırma, beton mukavemeti üzerinde plastik atık formlarının etkisini incelemekte olup, sentetik lifler ve E-plastik atıklardan elde edilen granüller üzerinde odaklanmaktadır.E-plastik atıklar ve kalın plastik atıklar da dahil olmak üzere plastik atıklar, beton kullanımı için sentetik lifler ve granüller oluşturmak üzere işlenmektedir.Çalışma, PET şişeleri ve elektronik atıkların betonda yeniden kullanılmasını amaçlayarak plastik atıklardan kaynaklanan çevresel kirliliği azaltmayı hedeflemektedir.Plastik atıklar, potansiyel olarak geri dönüşüm ve yeniden kullanım için kullanılmış plastikler (örneğin, kesme atıklar) ve son kullanım plastikleri (örneğin, ambalaj malzemeleri) olarak kategorize edilmektedir.Beton içinde plastik atık yeniden kullanımı, basınç ve gerilme mukavemetini artırabilir (E.M vd., 2020: 125-128)

Materyal ve Yöntem

TOFAŞ olarak yürüttüğümüz çalışmaların başında sürdürülebilirlik ve maliyet azaltımı konuları gelir. Bu konulara ait yürütülen çalışmalarda bazı ürün ve çözümler sunan partner şirketlerle iş birliği yapılmaktadır. Üretim ve montaj hattındaki kayıpları azaltmak, son ürün kalitesini artırmak ve geri dönüştürülmüş ve tekrar üretime alınmak istenen ham madde verimliliğini artırmak için enjeksiyon makineleriyle uygun çalışan bu çözümler partner firmalarla TOFAŞ için üretilen parçalardan kaynaklı veya TOFAŞ'ta oluşan geri dönüşüm atıklarının değerlendirilmesi açısından oldukça uygundur. Bazı yöntem ve ürünler şu şekilde sıralanabilir:

Konformal Soğutma: Soğutma kanallarının ürün yüzeyini takip etmesini sağlayarak daha dengeli ve verimli soğutma sağlanır. Otomotiv sektöründe en az %20 çevrim süresinde düşüş hedeflemektedir ve parçada soğutmadan dolayı meydana gelen hataların giderilmesi için kullanılmaktadır.



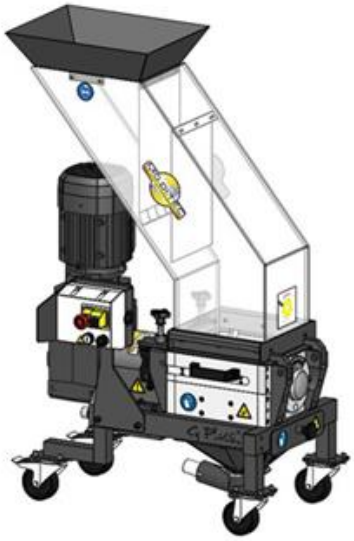
***Şekil 1**. Kalıp Soğutma*

Variotherm Üniteleri: Hızlı ısıtma-soğutma prosesi uygulanarak ürün yüzeyi üzerinde meydana gelen (akış izi, birleşme izi, çökme izi vb.) problemlerin oluşmasını engeller. Boya prosesi gerektirmeden piano black yüzey elde edilebilir.



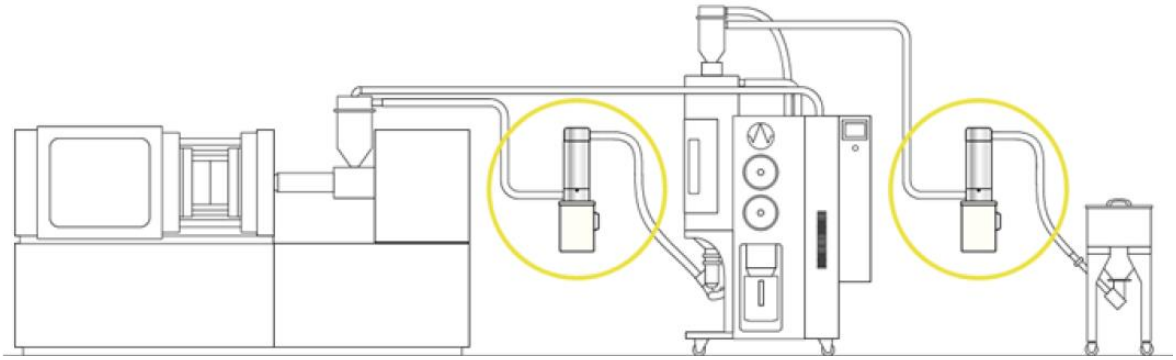
***Şekil 2.** Yüzey variotherm Prosesi*

Düşük Devirli Kırıcı:. Özellikle makine başı uygulamalarda ses, toz ve metal sorunlarını en aza indirmektedir.



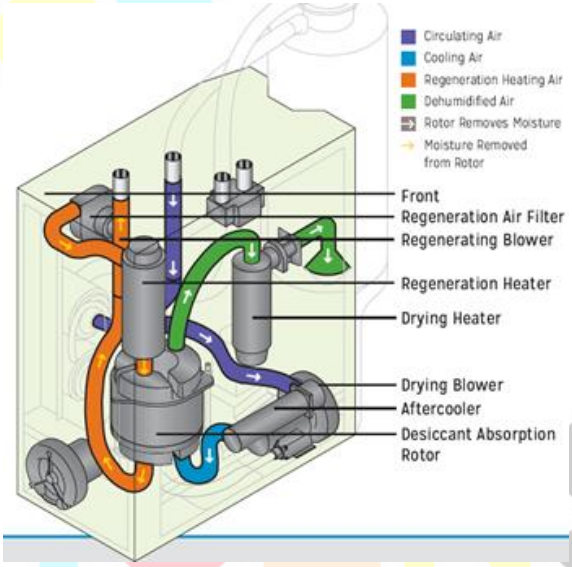
***Şekil 3**. Kırıcı İllüstrasyonu*

Aero Remover: Hava kanallı iticiler sayesinde metal olmayan toz zerreciklerini ayıklamak için kullanılır..



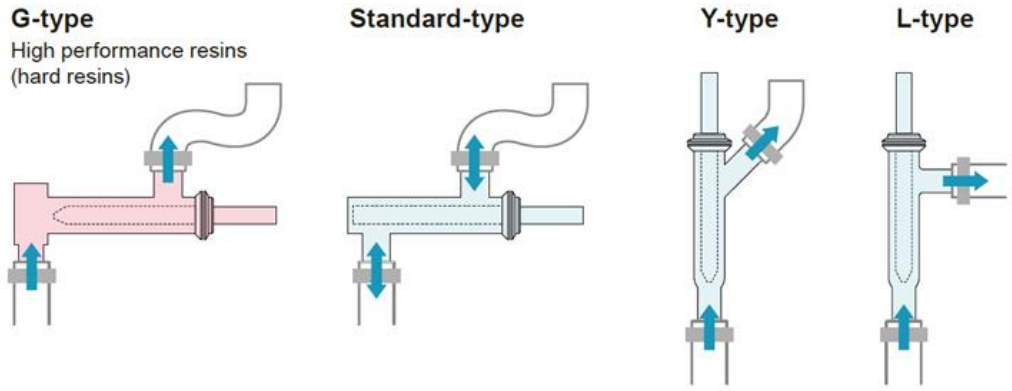
***Şekil 4**. Aero Remover İllüstrasyonu*

Nem Almalı Kurutucu: Yeni nesil nem almalı kurutucu ünitesidir. Kendi içerisinde loader mevcut olup duruma göre 2 farklı enjeksiyon makinasını besleyebilmektedir. Ayrıca %83 enerji verimliliğine sahip olup kullanılan filtre slikajel değil honeycomb filtre teknolojisidir.



***Şekil 5.** Kurutucu Ünite İllüstrasyonu*

Magic Catch: Basit anlamda ham madde içine karışmış metalik kirleticilerin yüksek kuvvetteki bir mıknatıs yardımıyla tutulması işlemidir.



***Şekil 6.** Farklı Tipte Mıknatıs Yerleşim Şekilleri*

Tüm bu çözüm yöntemleri geri dönüştürülmüş ve kullanıma hazır hale getirilmiş olan plastik granüllerin kalitesini artırmayı farklı yönlerden sağladığı görülmektedir. Sürdürülebilirlik hedeflerinin yanı sıra kayıp malzeme oranını azalttığı için üretim

maliyetlerini de azaltmaktadır. Iskarta ürünün azalması da zaman kazandırıcı bir unsur olmaktadır. İlerleyen kısımda sunulan çözümler arasından hangilerinin ne için seçildiğinden bahsedilecektir.

Seçilen Çözüm ve Ürünler

TOFAŞ sunulan ürün ve çözümlerden Magic Catch ve Aero Remover teknolojilerinin seçilmesine karar vermiştir. Üretim ve montaj hattındaki kayıpları azaltmak, son ürün kalitesini artırmak ve geri dönüştürülmüş ve tekrar üretime alınmak istenen ham madde verimliliğini artırmak için en fazla sorun yaratan tozlanma problemlerini elimine eden,enjeksiyon makineleriyle uygun çalışan bu çözümler partner firmalarla TOFAŞ için üretilen parçalardan kaynaklı veya TOFAŞ'ta oluşan geri dönüşüm atıklarının değerlendirilmesi açısından oldukça uygundur. Sürdürülebilirliğin korunması ve karbon emisyonunun azaltılması yönündeki bu atılım oldukça önemlidir.Seçilen yöntemlerin daha ayrıntılı açıklanması faydalı olacaktır.

Aero Remover

En büyük 2 avantajı;geliştirilmiş kalıplama stabilitesi:Kabarcıkları, yanmış noktaları, ve bölgesel ağırlık değişimlerini elimine eder,kolay filtre bakımı :Daha az sıklıkta temizlik gerektirir ve filtre tıkanmalarını geciktirir şeklinde sıralanabilir. Geleneksel yöntemlere kıyasla orijinal hava akış prosesi sayesinde %90 daha verimlidir.Bakımları tamamen bir aletten bağımsız olarak yapılabilir. Taşıma hattının istenilen bölgesine montajlanabilir.Şekil 7'de kahve-granül karışımının ayıklanması sürecini görebiliriz.



Şekil 7. Kahve-granül karışımının cihaz yardımıyla ayıklanması

Magic Catch

Üretimin herhangi bir noktasına konumlandırılabilir ve metal tozlarına kadar çekebilmektedir. 13.000 Gauss'luk gücüyle bir süper mıknatıs olarak manyetik alan sayesinde metalleri çekecektir. Mıknatıslanan çubuk ise kolayca bir bez yardımıyla temizlenebilir. malzeme taşıma hortumuna basit kurulumla arındırılan ham madde bir havuza aktarılır.Nispeten daha büyük cıvata pul gibi malzemelerden en küçük demir tozlarına kadar yakalama sağlayan mıknatıs sayesinde kalıplar ve enjeksiyon makinesinin diğer aktarma aksamları da korunmuş olur.



Şekil 8. Mıknatıs çubuk şematik gösterimi ve temizlenmesi

Tartışma ve Sonuç

Yapılan araştırmalar ve otomotiv sektöründeki plastik kullanımı göz önüne alındığında geri dönüşüm ve ve son ürünün kalitesinin artırılması ihtiyacı uzun yıllardır önemli bir problemdir.Sektördeki sürdürülebilirliği artırmak ve geri dönüşüm oranlarının artmasıyla beraber maliyet indirimine gitmek önemli kazanımlar olarak görülür.TOFAŞ olarak bu ve bunun gibi çevreci atılımlar oldukça önemsenmektedir.Kazanılan süre ve maliyetin hangi oranla azaldığı yapılan iş birliği ve tedarik süreleri analiz edilerek ortaya konulacaktır. TOFAŞ ve Türk sanayisi adına bu tür uygulamaların yaygınlaşması teşvik edilmelidir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Arulrajah, A., Yaghoubi, E., Wong, Y. C., & Horpibulsuk, S. (2017). Recycled plastic granules and demolition wastes as construction materials: Resilient moduli and strength characteristics. Construction and Building Materials, 147, 639–647. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.178

Bajracharya, R. M., Manalo, A. C., Karunasena, W., & Lau, K.-t. (2016). Characterisation of recycled mixed plastic solid wastes: Coupon and full-scale investigation. Waste Management, 48, 72–80. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.017

E.M, G., S.V, J., P.B, K., & M.S, T. (2020). Reuse of Synthetic Plastic Fibres and Plastic Granules in Concrete. HELIX, 10(1), 125–128. https://doi.org/10.29042/2020-10-1-125-128

Shent, H., Pugh, R. J., & Forssberg, E. (1999). A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics. Resources, Conservation and Recycling, 25(2), 85–109. https://doi.org/10.1016/s0921-3449(98)00017-2

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Investigation of Thermal Performance of an Automotive Refrigerant System Internal Heat Exchanger (IHX) with Different Cross Sections Using R290 and R1234yf Refrigerants by 1-Dimensional Analysis Method

Kağan Bayraktar[1]
Zeliha Kamış Kocabıçak[2]

Abstract

The harmful effects of materials containing PFAS on human health and the environment are becoming increasingly recognized. According to the updated EU Regulation 1907/2006 by the European Parliament and Council, materials containing PFAS chemicals will soon be banned in the automotive sector. Therefore, safer, and more environmentally friendly alternatives should replace PFAS-containing substances used in automotive air conditioning systems, such as R134a and R1234yf. R290 (Propane) emerges as a PFAS-free and environmentally friendly option that could serve as an alternative to the widely used R1234yf coolant in the passenger vehicle category. In the study, a 1-D model of the internal heat exchanger (IHX) component, which enhances cooling performance in automotive air conditioning systems, was created using the Amesim simulation program. On the IHX component with a length of 600mm and 6 bends, two commonly used cross-sections (10-tooth and 15-tooth) were selected. Heat transfer from the high-pressure liquid line to the low-pressure gas line was analyzed in watts using three different mass flow rates (Low, Medium, and High) and combinations of two different refrigerants (R1234yf and R290). According to the results obtained, it was determined that the IHX component with R290 usage provided an average of 93% more heat transfer than R1234yf for each flow rate and cross-section. Additionally, it was observed that the IHX component with a 15-tooth cross-section provided 3% more heat transfer than the 10-tooth cross-section when used with both refrigerants. These findings indicate that R290 refrigerant and a 15-tooth cross-section have the potential to be more efficient alternatives.

Keywords: R290, R1234yf, Heat Transfer, IHX, 1-D Simulation

[1] Makine Mühendisi, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Güç Sistemleri Müdürlüğü / Yüksek Lisans Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, Orcıd: 0009-0006-3970-6352
[2] Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, Bursa / Türkiye, Orcıd: 0000-0003-3292-8324

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Giriş ve Kuramsal Çerçeve

Otomobil klima sistemleri, buhar sıkıştırmalı soğutma prensibi ile çalışır. Bu sistemin genel elemanları kompresör, kondenser, genleşme vanası ve evaporatörden oluşmaktadır. Soğutucu akışkan, bu sistemin temelini oluşturur ve gaz halinde bulunan akışkan çevrim boyunca dolaşarak bileşenler arasında taşınır. Otomobil klima sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların çoğu yüksek küresel ısınma potansiyeli (GWP) ve ozon tükenmesi potansiyeli (ODP) değerlerine sahip olması nedeniyle çevre dostu değillerdir (S. Yadav, 2022). Otomobil iklimlendirme sistemlerinde 1994 yılından itibaren kullanılmakta olan Hidroflorokarbon (HFC) grubuna ait R13a soğutucu akışkan klor içermemesiyle ODP değeri bulunmasa dahi GWP değeri 1430 olduğu için doğaya zarar verebilir niteliktedir. 2014'te Avrupa F-Gaz Yönetmeliği'nin yürürlüğe girmesiyle GWP değeri 150'den yüksek olan soğutucuların kullanımı sınırlandırılmıştır. Soğutucu akışkan sızıntısı, GWP üzerinde direkt etkiye sahiptir, bu nedenle yönetmeliğin benimseme nedeni, bu sektördeki soğutucu sızıntıları tarafından doğrudan etkiyi azaltarak Küresel Isınma etkisini azaltma amacıyla çevresel sorumluluk alınmasıdır (D. Sanchez vd., 2022). Sonuç olarak, HFC'lerin yerine geçecek alternatiflerin aranması endüstriyel ve akademik bir odak haline gelmiş ve otomobil klima sistemlerinin soğutucu emisyonlarının küresel ısınma üzerindeki etkisine artan bir dikkat gösterilmiştir (Yun Zhang, 2019; Saurabh Yadav vd., 2022).

R134a akışkanına alternatif olması için geliştirilen Hidrofloroolefin (HFO) grubuna ait R1234yf akışkanları mevcut otomobil klima sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. R1234yf akışkanı, R134a'ya göre daha pahalı olup soğutma kapasitesi ve soğutma tesir katsayısının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden R1234yf kullanılmasıyla birlikte klima sistemlerinin performansının artması için ilave çözümlerin devreye alınması gerekmiştir. Otomobil üreticilerinin tercih ettiği en yaygın uygulama ise sıvı hattı ile emiş hattı arasında ısı transferi sağlayan iç ısı değiştiricisi (IHX) eklenmesidir. Bir IHX elemanı iç içe geçmiş iki borudan oluşmaktadır ve evaporatörden çıkan düşük basınçlı, düşük sıcaklıktaki soğutucuyu kullanarak, kondenserden çıkan sıvı haldeki soğutucu akışkanı soğutma işlevini gerçekleştirir (Zhang vd., 2024). İçteki borudan emiş hattından gelen soğuk buhar kompresöre doğru akarken, dışarıdaki borudan da yoğuşturucudan çıkan doymuş sıvı termostatik genleşme valfine doğru akar. IHX'in görevi ise buharlaştırıcıdan çıkan soğuk buharı kullanarak, termostatik genleşme valfine giren sıvının daha fazla soğumasını sağlamak ve bu sayede buharlaştırıcıdaki ısı alma kapasitesini arttırmaktır (S. A. Klein vd., 2000).

Avrupa Birliği'nin yayınladığı diğer bir yönetmeliğe göre ise R134a ve R1234yf gibi PFAS içeren kimyasalların kullanımının otomotiv sektöründe yasaklanması beklenmektedir. Bu yüzden daha güvenilir ve çevre dostu soğutucu akışkan alternatif çözümleri yeniden gündeme gelmiştir. Bu nedenle otomobil üreticileri alternatif bir soğutucu akışkan arayışına girmişlerdir. R290 soğutucu akışkanının klor içermemesi sebebiyle ODP değeri 0 ve GWP değeri 3 olması ile regülasyon gerekliliklerini sağlayan çevre dostu bir akışkan olduğu bilinmektedir. Literatürde, R290 akışkanının alternatif soğutucu akışkan olabileceği ancak yanıcılık değerinin yüksek olmasından dolayı sistemde direkt kullanımının uygun olmadığı üzerine birçok çalışma bulunmuştur. (Zhang vd., 2024; EU 1907/2006)

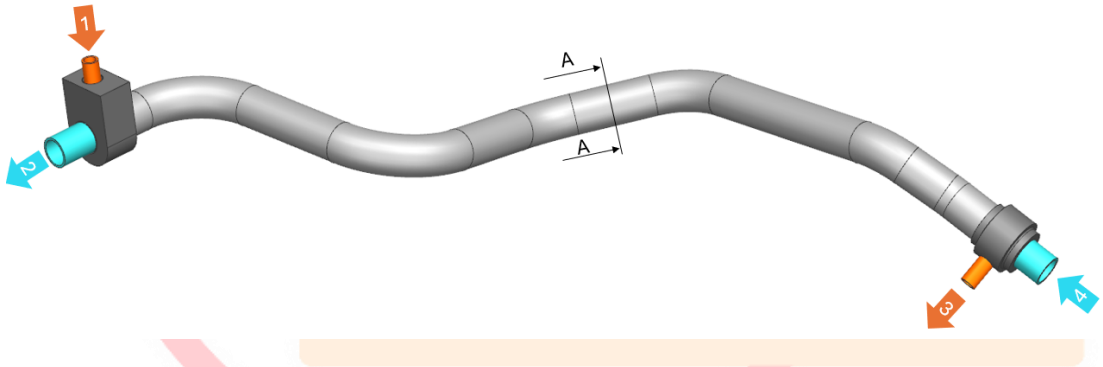
Bu çalışmada 2 farklı kesite sahip IHX komponentinin AMEsim programında 1 boyutlu analizi gerçekleştirilmiştir. R1234yf için analiz sonuçları test sonuçları ile doğrulanmış olup sonuçlar R290 ile kıyaslanmıştır. Kullanılan akışkanlara ait temel termodinamik özellikler Tablo-1'de verilmiştir.

Tablo 1 – Akışkanların Temel Termodinamik Özellikleri

Özellik	R1234yf	R290 (Propan)
Ozon Seyreltme Potansiyeli (ODP)	0	0
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	4	3
Kaynama Noktası (ºC)	-29	-42
Kritik Basınç (kPa)	3382	4250
Kritik Sıcaklık (ºC)	94,7	96,7

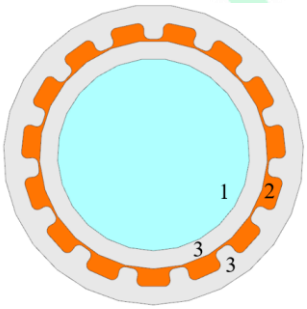
2.Materyal ve Yöntem

Çalışmada, 600mm uzunluğunda ve 6 büküme sahip bir IHX komponenti kullanılmıştır. Şekil-1'de gösterilen 1 numara; yüksek basınçta ve yüksek sıcaklıkta olan sıvı fazda akışkan girişini, 2 numara; düşük basınçta ve düşük sıcaklıkta olan gaz fazında akışkan çıkışını, 3 numara; yüksek basınçta ve yüksek sıcaklıkta olan sıvı fazda akışkan çıkışını, 4 numara; düşük basınçta ve düşük sıcaklıkta olan gaz fazında akışkan girişini göstermektedir.

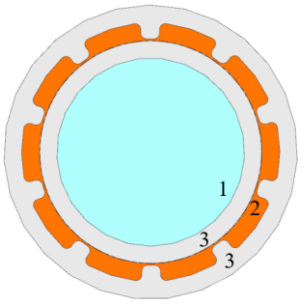


Şekil-1. IHX Komponenti

IHX komponentinin kesiti (A-A) olarak, otomotiv sektöründe en sık kullanılan ekstrüze edilmiş alüminyum boruya sahip 2 ayrı kesit seçilmiştir. Şekil-2'de gösterilen ilk kesit, 15 dişe ve kanala sahiptir. Şekil-3'te gösterilen ikinci kesit ise 10 dişe ve kanala sahiptir.



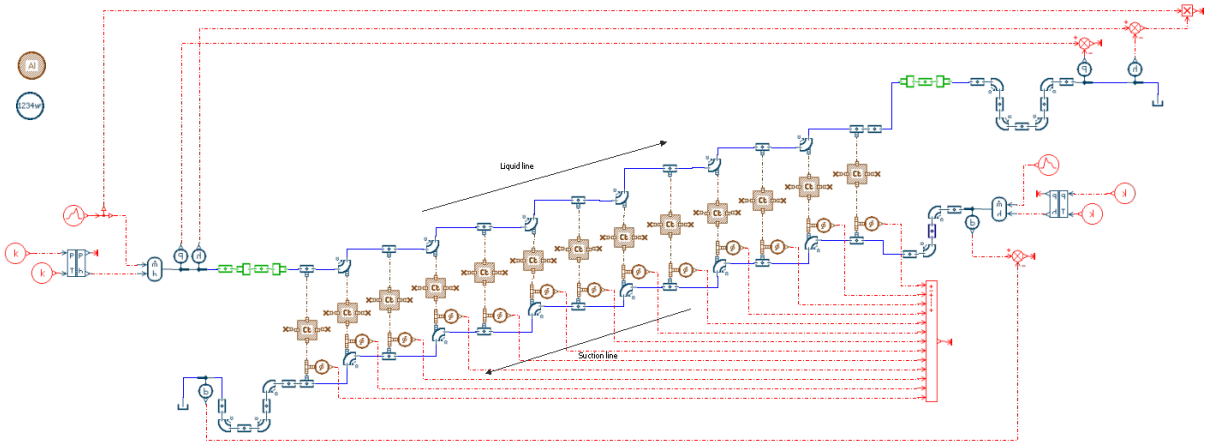
Şekil-2. 15 dişli ve kanala sahip IHX kesiti



Şekil-3. 10 dişli ve kanala sahip IHX kesiti

Şekil-2'de ve Şekil-3'te 1 numara ile gösterilen kesit alanı, düşük basınçta ve düşük sıcaklıkta gaz fazındaki akışkanı temsil etmektedir. 2 numara ile gösterilen kesit alanı, yüksek basınçta ve yüksek sıcaklıkta sıvı fazındaki akışkanı temsil etmektedir. 3 numara ile gösterilen kesit alanları ise alüminyum boruların et kalınlıklarını temsil etmektedir. Bu çalışmada, IHX komponentinin ortama olan veya ortamdan gelen ısı transferi olmadığı varsayılarak (adyabatik sistem), sadece iki farklı fazda olan akışkanın arasında gerçekleşen ısı transferi hesaplanmıştır.

2.1 Tek Boyutlu Analiz Modeli Kurulması



Şekil-4. 1D Amesim Modeli (R1234yf & R290)

Amesim simülasyon programında Şekil-4'te görülen 1D modeli kurulmuştur. IHX komponentinde bulunan her bir büküm ve bükümler arası uzunluklar, hem yüksek basınç sıvı hattı için, hem de düşük basınç gaz hattı için ayrı ayrı kurulmuştur. Bu büküm ve düzlükler arasında ısı transferini sağlayan termal kapasite elemanları eklenmiştir. Her bir termal elemanın ölçtüğü ısı transferi toplamı ise toplam ısı transferini vermektedir.

2.2 Kesit Alanlarının Hesaplanması

Her bir büküm ve düzlük için ayrı ayrı açı ve uzunluk ölçüleri, IHX komponenti 3D modeli üzerinden ölçülmüş olup, 1D modele eklenmiştir. Hidrolik çap ve kesit alanları ise aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Şekil-2 ve Şekil-3'teki 1 numaralı alan için;

$$Kesit\ Alanı: (\pi\ x\ 8^2\ mm) = 201\ mm^2$$

$$Hidrolik\ Çap: D_H = 16\ mm$$

Şekil-2'de 2 numaralı alan için;

$$Kesit\ Alanı: 62\ mm^2$$

$$Hidrolik\ Çap: D_H = \frac{4A}{P} = \frac{4x(62\ mm^2)}{95\ mm} = 2{,}6\ mm$$

Şekil-3'te 2 numaralı alan için;

$$Kesit\ Alanı: 73\ mm^2$$

$$Hidrolik\ Çap: D_H = \frac{4A}{P} = \frac{4x(73\ mm^2)}{84\ mm} = 3{,}5\ mm$$

3. Test Şartları ve Model Kalibrasyonu

3.1. R1234yf Gazı ile Fiziksel Testin Gerçekleştirilmesi

Aynı uzunluğa, büküm sayısına, açılarına ve Şekil 2'deki kesite sahip bir IHX komponenti üzerinde, R1234yf gazı ile test bankosu üzerinde fiziksel test yapılmıştır. Test sırasında IHX komponenti üzerine, ortamdan veya ortama olan ısı transferini engellemek için termal koruyucular sarılmıştır. Test sırasında kullanılan sınır şartları tablo 1'de gösterilmiştir. Isı transferi Watt cinsinden ölçülmüştür.

Tablo 1. Banko Test Sınır Şartları

Kütlesel Debi (Kg/h)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Basıncı (Bar)
Düşük	X	Y	A	B
Orta	X	Y	A	B
Yüksek	X	Y	A	B

3.2. Tek Boyutlu Modelin Kalibrasyonu

Fiziksel test sonucunda elde edilen verilere göre, tek boyutlu model üzerindeki her bir büküm ve düz boru içindeki ısı transferi kazanç değerleri güncellenerek, fiziksel test sonuçlarına yakınsamaya çalışılarak, model kalibrasyonu sağlanmıştır. Test sonuçları ile tek boyutlu model sonuçlarının kıyaslaması tablo 2'de verilmiştir. Sonuçlara göre, termal ısı transferi %1,8, %4,3 ve %6,2 'lik farklılıklarla tek boyutlu model kurulmuş oldu.

Tablo 2. Test ve 1D Model Sonuçlarının Kıyaslanması

Kütlesel Debi (Kg/h)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	1D Model Sonucunun, Test Verisi ile Kıyaslaması (W)
Düşük	X	Y	A	B	< %4,3
Orta	X	Y	A	B	> %1,8
Yüksek	X	Y	A	B	> %6,2

4. Sonuç

Bu çalışmada, IHX komponenti modeli Amesim programında kurulmuştur. Kurulan amesim modelinin kalibrasyonu ise, fiziksel testi yapılan aynı özelliklere sahip IHX komponenti üzerinden elde edilen verilere göre yapılmıştır. Yapılan bu model üzerinde, soğutucu akışkan R290 (Propan) seçilmiş olup, yüksek basınç ile düşük basınç hattı arasındaki ısı transferi watt cinsinden incelenmiştir. Tablo 3 ve 4'te aynı kesitlerde, farklı gazların sonuçları paylaşılmışken, Tablo 4 ve 5'te aynı gazlarda farklı kesitlerin sonuçları paylaşılmıştır.

Tablo 3. R290 ve Şekil 2 Kesitinin, R1234yf ve Şekil 2 Kesitine Göre Kıyaslanması

Kütlesel Debi (Kg/h)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	Isı Transferi (W)
Düşük	X	Y	A	B	> %93,1
Orta	X	Y	A	B	> %92,9
Yüksek	X	Y	A	B	> %92,3

Tablo 4. R290 ve Şekil 3 Kesitinin, R1234yf ve Şekil 3 Kesitine Göre Kıyaslanması

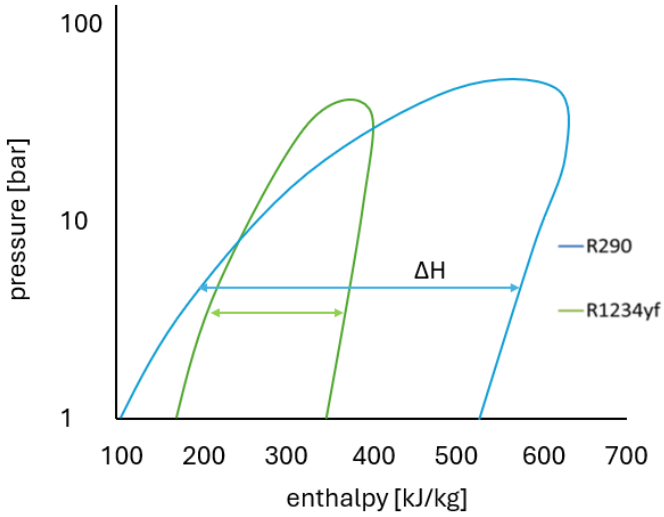
Kütlesel Debi (Kg/h)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	Isı Transferi (W)
Düşük	X	Y	A	B	> %93,4
Orta	X	Y	A	B	> %93,1
Yüksek	X	Y	A	B	> %92,7

Tablo 5. R1234yf ve Şekil 2 Kesitinin, R1234yf ve Şekil 3 Kesitine Göre Kıyaslanması

Kütlesel Debi (Kg/h)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	Isı Transferi (W)
Düşük	X	Y	A	B	> %3,32
Orta	X	Y	A	B	> %3,22
Yüksek	X	Y	A	B	> %3,31

Tablo 6. R290 ve Şekil 2 Kesitinin, R290 ve Şekil 3 Kesitine Göre Kıyaslanması

Kütlesel Debi (Kg/h)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Sıcaklığı (ºC)	Sıvı Faz Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	Gaz Fazı Akışkan Giriş Basıncı (Bar)	Isı Transferi (W)
Düşük	X	Y	A	B	> %3,18
Orta	X	Y	A	B	> %3,14
Yüksek	X	Y	A	B	> %3,12



Şekil-5. R1234yf ve R290 P-h Diyagramı

Sonuç olarak, R290 gazının kullanıldığı bir IHX komponentinin, her iki kesit için de yaklaşık %93 daha iyi ısı transferi sağladığı gözlenmiştir. Şekil-5'te görülen P-H grafiğindeki entalpi farkı bu veriyi doğrular niteliktedir. R290 kullanımı, yaklaşık 2 kat yüksek ısı transferi sağladığı için, IHX komponentinde kısaltma yapılabilir veya seçilen 3 farklı debiden daha düşük debiler seçilerek, sistemin daha verimli çalışması sağlanabilir. Ayrıca 15 dişli ve kanala sahip kesit (Şekil-2) ise, diğer kesite (Şekil-3) göre her iki gaz içinde ortalama %3 daha iyi ısı transferi sağladığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, R290 ve 15 dişli ve kanala sahip IHX komponentinin daha verimli bir alternatif olduğunu göstermektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

5. Kaynakça

ECHA - European Chemicals Agency, Annex XV Restriction report - Proposal for a restriction –

Per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs) PFAS - REACH (EU 1907/2006)

D. Sanchez, A. Andreu-Nacher, D. Calleja-Anta, R.Llopis, R. Cabello. (2022). Energy impact evaluation of different low-GWP alternatives to replace R134a in a beverage cooler. Experimental analysis and optimization for the pure refrigerants R152a, R1234yf, R290, R1270, R600a and R744. *Energy Conversion and Management*.

S. A. Klein, D. T. (2000). Refrigeration System Performance using Liquid-Suction Heat Exchangers. *International Journal of Refrigeration*.

Saurabh Yadav, J. L. (2022). A comprehensive study on 21st-century refrigerants - R290 and R1234yf: A review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.

Wenying Zhang, W. L. (2024). Theoretical and experimental investigation on the effects of internal heat exchangers on a reversible automobile R744 air-conditioning system under various operating conditions. *Applied Thermal Engineering*.

Yun Zhang, C. L. (2019). Leakage analysis and concentration distribution of flammable refrigerant R290 in the automobile air conditioner system. *International Journal of Refrigeration*.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Integration Blade Element Momentum Theory Into the Computational Fluid Dynamics Solver

Safa DUMANLI [1]
Nureddin DİNLER [2]
Kaan YUTÜK [3]

Abstract

A lot of high accuracy aerodynamic models in computational fluid dynamics (CFD) continues to drive significant developments in the simulation of complex fluid flows. This study explores the integration of Blade Element Momentum (BEM) theory into a CFD solver, aiming to bridge the gap between high-fidelity fluid mechanics and practical, basic engineering applications. The BEM theory, traditionally implemented for its robust performance in predicting the local forces on rotating blades, is combined with CFD for gaining ability to model intricate flow phenomena including three-dimensional effects and wake dynamics.

This paper presents a novel framework where the BEM theory is integrated to the CFD solver. Classic BEM theory uses parameters as constants. In this work, BEM parameters calculated due to CFD parameters. This allows to predict more accurate result which includes 3D effects such as wakes and tip vorticities. These initial conditions used as feedback for the CFD simulations, which in turn refine the blade load predictions by capturing detailed flow patterns and dynamic interactions that are typically cannot be captured by BEM alone.

Validation of the integrated model is made on NASA's Rotor Body Interaction (ROBIN) experiments. ROBIN case is a simple generic helicopter geometry. With this wind tunnel experiments rotor thrust and pressure distribution over body can be examined in different flight conditions. Integrated BEM model validated on that case by checking thrust force and pressure coefficient over the generic body.

To sum up, this integration approach reduces the computational cost by reducing complexity of the rotor geometry and mesh density. In the same time, this method still provides a high degree of accuracy, making it a promising tool for both academic research and practical engineering applications in rotorcraft and wind energy systems. Future work will focus on extending this model to model more complex blade geometries and operational conditions with better accuracy.

Keywords: Blade Element Momentum Theory, Computational Fluid Dynamics, Aerodynamic Simulation, Rotorcraft, Hybrid Modeling

[1] Master Student, Gazi University, Mechanical Engineering, Orcıd: 0000-0002-0179-4485
[2] Assoc. Prof. Dr, Gazi University, Mechanical Engineering, Orcıd: 0000-0002-2872-9050
[3] Ms., Middle East Technical University, Aerospace Engineering, Orcıd: 0000-0001-9804-9213

ISBN: 978-625-372-170-1

Introduction

Blade Element Momentum (BEM) theory is a widely used approach for analyzing the aerodynamic performance of rotor blades in various applications, including wind turbines and aircraft propellers. BEM theory provides a framework for understanding the complex interactions between rotor blades and airflow, making it an essential tool in preliminary design and optimization processes. The integration of BEM theory into Computational Fluid Dynamics (CFD) solvers enhances the fidelity of aerodynamic analyses by combining the strengths of both approaches (Ning, 2015).

The BEM theory simplifies the complex three-dimensional flow around the blades into two-dimensional sectional analyses, where the aerodynamic forces and moments are calculated based on local flow conditions. This simplification makes BEM computationally efficient while still providing accurate predictions for a wide range of operating conditions (Jonkman, 2013).

Integrating BEM into CFD solvers allows for detailed insights into the aerodynamic behavior of blades under various flow conditions. CFD provides a comprehensive analysis of the flow field around the blades, capturing the effects of turbulence, blade deformation, and other complex phenomena that are not easily modeled using BEM alone. This integration is particularly beneficial for optimizing the design of rotor blades and improving their aerodynamic performance (Glauert, 1926).

Recent advancements in CFD technologies and increased computational power have made it feasible to incorporate BEM theory into CFD solvers. This integration enables the detailed study of unsteady aerodynamic effects, such as dynamic stall and wake interactions, which are critical for the accurate prediction of rotor blade performance. By combining BEM and CFD, researchers can achieve a higher level of accuracy and reliability in their aerodynamic analyses (Coleman, 1945).

The application of BEM theory within CFD solvers has shown promising results in various studies. For instance, the integration of BEM into SU2 CFD solver, a widely used aerodynamics software, has demonstrated significant improvements in the prediction of aerodynamic loads and performance of wind turbine blades under skewed inflow conditions (Drees, 1949).

Moreover, the combined use of BEM and CFD allows for the detailed investigation of blade element dynamics and the impact of design changes on overall system performance. This integrated approach supports the development of more efficient and reliable rotor blade designs, contributing to advancements in aerospace engineering and renewable energy technologies (Madsen, 2003).

In conclusion, the integration of Blade Element Momentum theory into Computational Fluid Dynamics solvers represents a significant advancement in aerodynamic analysis and design. This approach leverages the strengths of both methods, providing detailed and accurate insights into rotor blade performance. As computational resources continue to grow, the application of BEM within CFD solvers is expected to play an increasingly important role in the optimization and development of advanced aerodynamic systems (Sebastian, 2018).

Methodology for Integrating BEM into SU2

Blade Element Momentum Theory Overview

BEM theory divides the rotor blade into several elements and applies both blade element theory and momentum theory to each element. This section explains the methodology for integrating BEM calculations into the SU2 CFD solver.

Steps for Integration

1. Blade Discretization

The rotor blade is divided into N elements along its span. Each element's aerodynamic properties are analyzed independently. The following parameters are defined for each element:

- Radial Position: Distance from the rotor hub to the element's midpoint.
- Chord Length: Width of the blade element.
- Twist Angle: Local twist angle of the blade.

2. BEM Calculations

For each blade element, the following calculations are performed:

a. Induced angle

The induced angle at each element is determined with the parameter calculated by SU2 CFD solver:

$$\alpha_i = tan^{-1}\left(\frac{V_{rel} * \vec{n}}{V_{rel} * \vec{t}}\right)$$

Developed BEM code calculates that effective angle of attack by calculating induced angle and with the geometric twist. C_l and C_d parameters already calculated and given as inputs to BEM integrated SU2 CFD solver. C_l and C_d interpolated due to effective angle of attack. Detailed explanation can be show in data exchange with SU2 headline. With that C_l and C_d, lift and drag force calculated.

The lift and drag forces on each element are computed using:

$$L = \frac{N * A}{4 * \pi * r} * c * \rho * {V_{rel}}^2 * C_l$$

$$D = \frac{N * A}{4 * \pi * r} * c * \rho * {V_{rel}}^2 * C_d$$

where ρ is the air density, V_{rel} is the relative wind speed, C_l and C_d are the lift and drag coefficients, respectively.

3. Data Exchange with SU2

To integrate BEM with SU2, data exchange between the BEM module and the SU2 solver is essential. The following parameters are exchanged:

- Input from SU2 to BEM
  - Freestream Velocity (U)
  - Air Density (ρ)
  - Initial Flow Field Data
- Output from BEM to SU2
  - Induced Velocities
  - Lift and Drag Forces and Pressure Residuals

- Pressure Residuals for Convergence

4. Coupling BEM with SU2 Solver

The integration involves modifying the SU2 solver to call the BEM module at each iteration step. This includes:

a. Initialization

- Initialize the BEM parameters
- Read the rotor geometry.

b. Iterative Solution Process

- At each iteration, compute the induced velocities and aerodynamic forces for each blade element using the BEM equations.
- Update the flow field in SU2 with the calculated induced velocities.
- Compute residuals for convergence based on the difference between the updated and previous flow fields.

5. Validation on ROBIN Geometry

The integration of the BEM theory into the SU2 CFD solver was validated using the ROBIN geometry. The ROBIN rotor configuration, known for its detailed geometric and aerodynamic characteristics, served as an excellent benchmark for testing the accuracy and reliability of the newly developed code.

Analysis and Validation

Validation parameters checked on E. M. Raymond ve A. G. Susan's wind tunnel experiment made in NASA. Induced flow streamlines can be seen in the Figure 1.

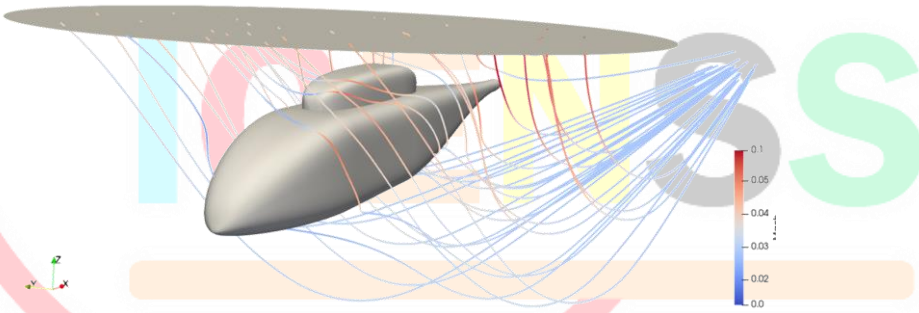


Figure 1 ROBIN geometry and actuator disk

The following steps were undertaken to validate the integrated BEM-SU2 solver:

- Simulation Setup: The ROBIN rotor geometry was implemented within the SU2 framework, and simulations were conducted under various operating conditions to replicate realistic scenarios.
- Comparison with Experimental Data: The results from the integrated solver were compared against existing experimental data for the ROBIN rotor. Key performance metrics, such as thrust, torque, and pressure distributions, showed strong agreement with the experimental results.
- Residual Convergence: The solver's convergence was monitored by evaluating the residuals of the induced velocities and aerodynamic forces. The smooth decline in residuals confirmed the stability and accuracy of the integrated BEM calculations.
- Performance Metrics: The integrated solver accurately predicted the aerodynamic performance of the ROBIN rotor, demonstrating the effectiveness of the BEM integration.

ROBIN Validation Cases

Various case conditions can be seen in the Table 1.

Table 1 ROBIN validation cases variables

Case	Forward Flight Velocity (m/s)	0.75R Twist Angle	Hub Angle	Tip Angle	1s	1c
1	1.80	9.4	15.4	7.4	0.2	-0.1
2	2.16	11.8	17.8	9.8	0.2	-0.1
3	9.19	11.9	17.9	9.9	1.3	-1.3

CFD analysis made due to these parameters. Results can be seen in the Figure 2, Figure 3, Figure 5, Figure 4, Figure 6, and Figure 7.

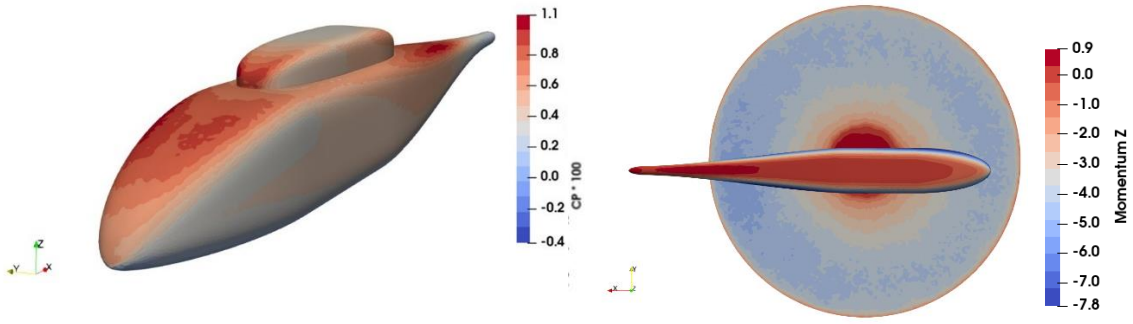


Figure 2 ROBIN – Validation Case 1 Results

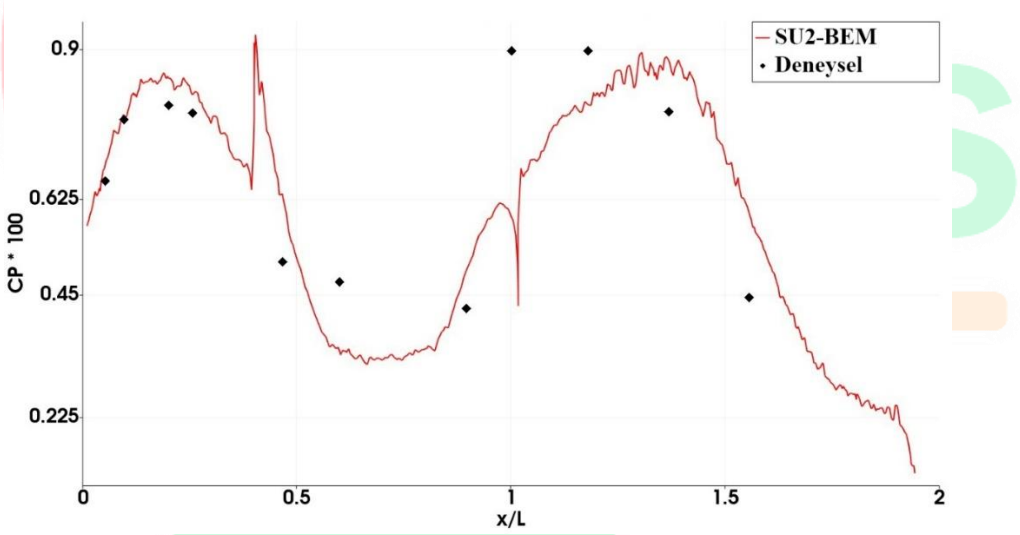


Figure 3 ROBIN – Validation Case 1 –Cp Distirbution at y normal

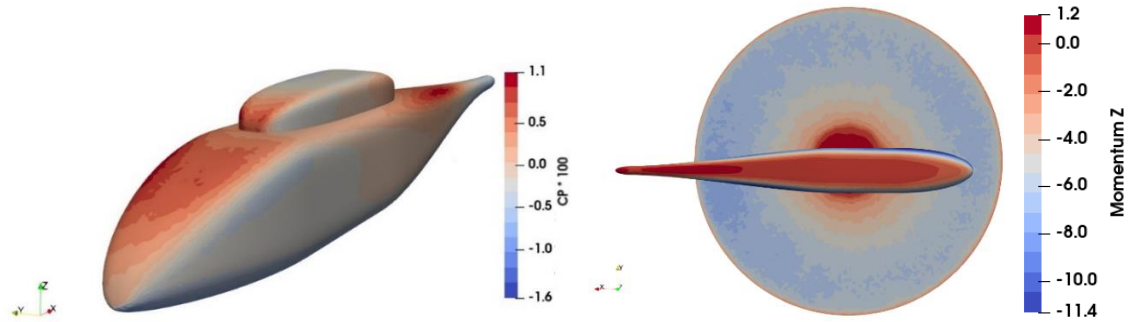


Figure 4 ROBIN – Validation Case 2 Results

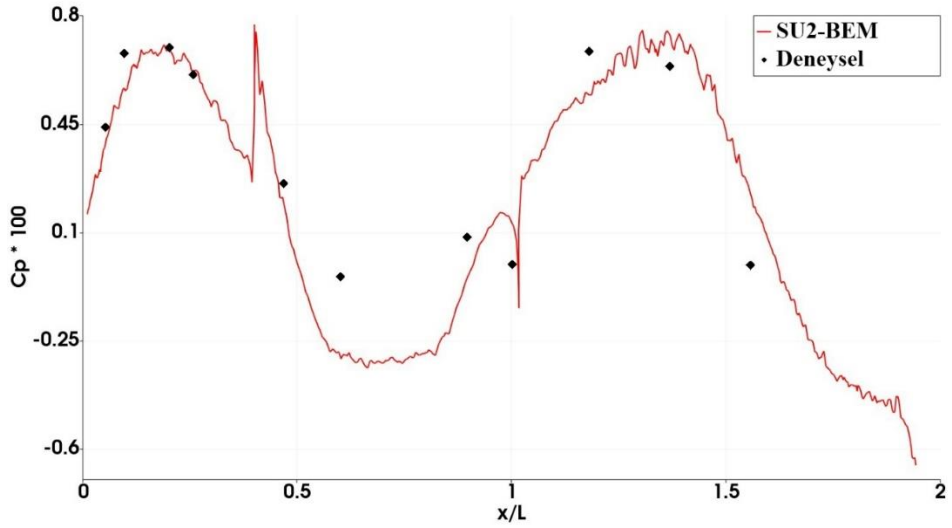


Figure 5 ROBIN – Validation Case 2 –Cp Distirbution at y normal

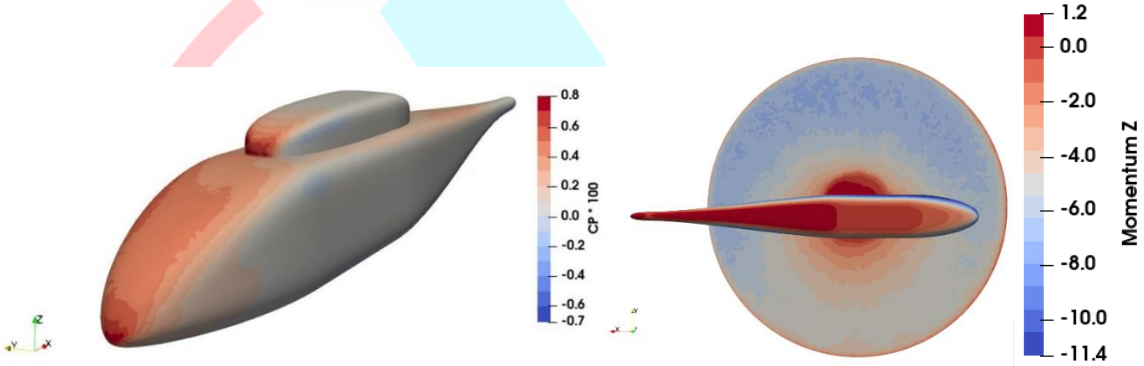


Figure 6 ROBIN – Validation Case 3 Results

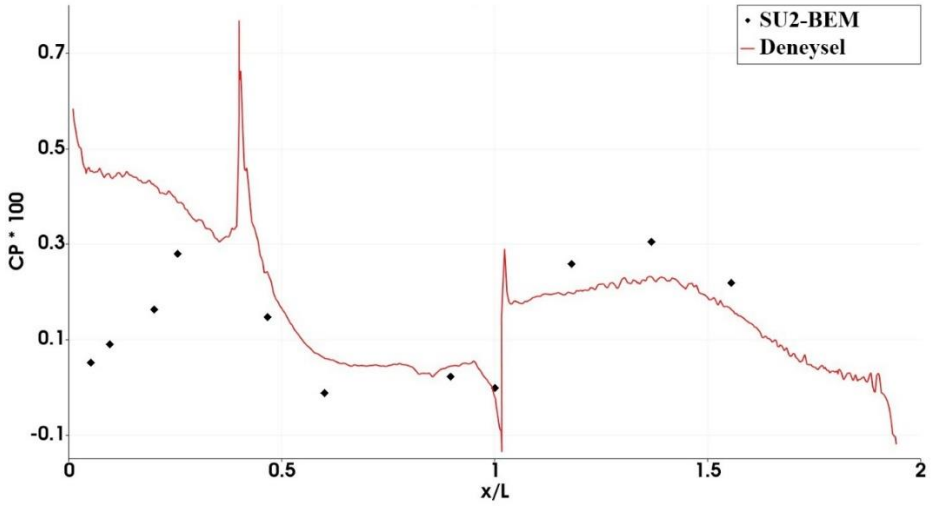


Figure 7 ROBIN – Validation Case 3 –Cp Distirbution at y normal

Thrust results and errors can be seen in the Table 2.

Table 2 ROBIN validation Thrust results

	Ct/σ	Experimental Thrust (N)	BEM - Thrust (N)	Error (%)
Case 1	0.041	743.0748	783	5.37297
Case 2	0.0639	1158.109	1143	1.3046
Case 3	0.0649	1117	1108	0.8057

6. Conclusion

The integration of BEM theory into the SU2 CFD solver represents a significant advancement in rotor aerodynamics analysis. The validation process, conducted using the ROBIN geometry, has thoroughly demonstrated the reliability and accuracy of the newly developed code. The ROBIN rotor, with its well-documented geometric and aerodynamic properties, served as an ideal benchmark for assessing the performance of the integrated solver.

The analysis performed on the ROBIN geometry revealed a strong consistency between the BEM-SU2 solver's predictions and the available experimental data. Key performance metrics such as thrust, torque, and pressure distributions were meticulously compared, and the results showed remarkable agreement with experimental measurements. This consistency underscores the solver's capability to accurately capture the complex aerodynamic phenomena associated with rotor blades.

One of the significant advantages of incorporating BEM theory into the SU2 solver is the enhanced capability to model rotors with high fidelity while maintaining computational efficiency. BEM theory simplifies the complex aerodynamic interactions by breaking down the rotor blade into discrete elements and applying momentum theory at each element. This approach reduces the computational load compared to full-scale CFD simulations while still providing detailed insights into the rotor's performance.

Moreover, the integration process has demonstrated smooth residual convergence, indicating stable and reliable solutions. The systematic decline in residuals validates the accuracy of the induced velocity and aerodynamic force calculations, further confirming the robustness of the integrated solver.

In conclusion, the successful validation of the BEM-SU2 solver using the ROBIN geometry not only verifies the accuracy of the developed code but also highlights the potential of BEM theory for rotor modeling. By combining the strengths of BEM and CFD approaches, the integrated solver offers a powerful tool for rotorcraft aerodynamic analysis and optimization. This advancement opens new avenues for more efficient and accurate rotor performance evaluations, benefiting both research and practical applications in the field of aerodynamics. The ability to model rotors with such precision and efficiency is particularly advantageous for the design and analysis of rotorcraft, wind turbines, and other rotor-based systems, promising significant improvements in their aerodynamic performance and overall efficiency.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

1. Ning, S.A., et al., "Development and Validation of a New Blade Element Momentum Skewed-Wake Model within AeroDyn," Brigham Young University, 2015.
2. Jonkman, J., "The New Modularization Framework for the Fast Wind Turbine Cae Tool," 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting, 2013.
3. Glauert, H., "A General Theory of the Autogyro," HM Stationery Office, 1926.
4. Coleman, R.P., et al., "Evaluation of the Induced-Velocity Field of an Idealized Helicopter Rotor,"
5. Drees, J.M., "A Theory of Airflow through Rotors and Its Application to Some Helicopter Problems," Journal of the helicopter association of great britain, 1949.
6. Madsen, H.A., Larsen, G.C., "Validation and modification of the Blade Element Momentum Theory based on comparisons with actuator disk calculations," Wind Energy, 2003.
7. Sebastian, Carl, & Hamid, "Implementation of BEM theory into CFD solvers for aerodynamic analysis," 2018.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Kinematic Analysis on Lifting Tailgates in Automobiles and Light Commercial Vehicles

Mehmet GÜVEN[1]

Özet

Bu yazıda otomobil ve hafif ticari araçlarda kullanılan yukarı açılır tip bagaj kapılarındaki gaz pistonlarının kinematik hesabı, bu kinematik hesapta hangi parametrelerin hesaplamaya dahil edildiği ve nelere dikkat edildiği konuları incelenerek yapılacak değerlendirme hakkında bilgi verilecektir.

Kinematik hesabına etki eden faktörlerden bazıları; Kullanılacak kapı mimarisi, bagaj kapısının ağırlığı, ağırlık merkezinin koordinatları, bagaj kapısının maksimum açılma açısı, enerji depolama ünitesi olan gaz pistonlarının gövde bağlantı noktasının koordinatı, kapı bağlantısının koordinatı, bu iki nokta arası mesafenin hem yukarı açılır tip bagaj kapısı kapalı konumda iken, hem de tam açık pozisyonda iken ihtiyaç duyulan kurs miktarının kapalı pozisyon için uygun olup olmadığı, moment dengesi, İdeal Gaz Yasası parametreleri olan hem ortam sıcaklığı, hem de gazın sıcaklığı, enerji depolama ünitesi olan gaz piston içerisinde yer alan gazın türü, gaz sabiti ve gaz basıncı, yukarı açılır bagaj kapısının gövde bağlantısının gerçekleştiği ve dönme hareketini sağlayan menteşelerin dönme ekseninin koordinatları, -varsa- dış açma kolunun koordinatları, -varsa- iç kapama kolunun koordinatları, yukarı açılır tip bagaj kapısının en alt orta noktasının koordinatları, enerji depolama ünitesi olan gaz pistonlarının yukarı doğru açılacak bağlantı tipi ile mi yoksa takla atacak bağlantı tipi mi, enerji depolama ünitesi olan gaz pistonunun açık ve kapalı pozisyonlarının uyguladığı sıkışma oranları, enerji depolama ünitesi olan gaz pistonun küçük çaplı mili ile gaz tüpü içerisinde açılma-kapanma hareketleri yaparken ki ve gövde ile kapı bağlantılarındaki dönme hareketi sırasındaki sürtünmesi, vb. parametrelere göre karar verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Liftgate, Tailgate, Kinematics, Gas Struts

[1] Mühendislik Uzmanı, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., AR-GE, Orcıd: 0009-0006-1615-1331

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Bu çalışmada, günümüzün yoğun rekabet yaşandığı otomotiv sektöründe, otomobil ve hafif ticari araç üreticilerinin, müşteri beklentilerinin araç performans hedeflerini karşılaması, müşterilerinin günlük yaşamda sık kullandığı bagaj alanına yükleme / boşaltma işlemlerini yukarı açılır tip bagaj kapılarıyla yapmaları esnasında, kapıları açma ve kapama için harcadıkları eforun kinematik hesap olarak nasıl optimize edildiği, hangi araçlar, komponentler, parametrelerin dikkate alındığı ve müşteri memnuniyetinin nasıl karşılandığının açıklanması amaçlanmıştır.

Bu çerçevede, yukarı açılır tip bagaj kapısı kinematik hesap parametrelerinin ortaya konulması, bu parametrelerin hesaplamaya nasıl dahil edildiği ve nasıl açma kapama eforlarının nasıl optimize edildiği ortaya konulmaktadır.

YÖNTEM

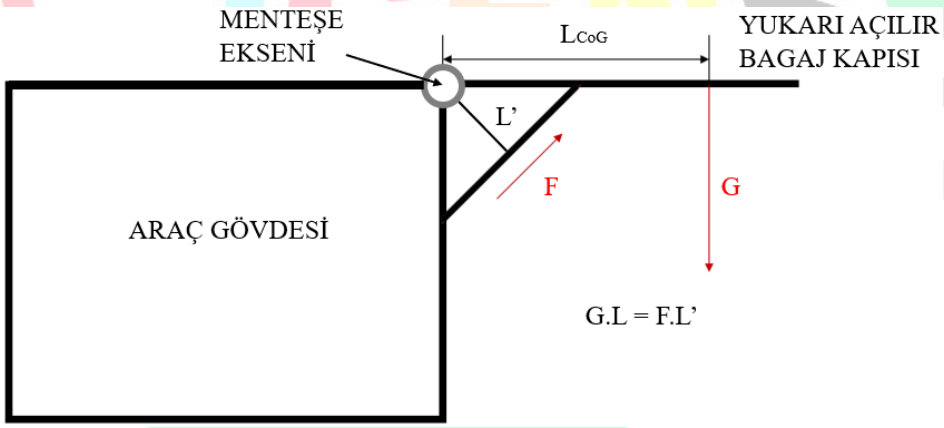
Yukarı açılır tip bagaj kapıları, temelde moment prensibine dayalı olarak çalışmaktadır. Moment prensibi çerçevesinde:

Kuvvet x Kuvvet Kolu = Yük x Yük Kolu

Dengesinin sağlanması gerekmektedir.

Bu dengenin sağlanması, pratikte, yukarı açılır tip bagaj kapısının öncelikle yük ve yük kollarının detaylı olarak ortaya konulması, daha sonra ise "Yük x Yük Kolu" nun karşılanması için "Kuvvet x Kuvvet Kolu" yani hangi karşı kuvvet ve bu kuvvetin araç üzerinde nerede konumlandırılacağının optimizasyonun yapılması gerekmektedir[1].

Bu prensibin yanında, sıcaklık da etki eden başlıca parametrelerin bir diğeridir. İki boyutlu hesaplama yapılarak yukarı açılır bagaj kapısının kinematik hesabına etki eden parametrelerin tamamı, moment formülün bileşeni olarak ortaya konulur.



Şekil.1. *Yukarı açılır tip bagaj kapılarında temel moment dengesi*

Yukarı açılır tip bagaj kapılarındaki moment dengesi parametrelerinden biri olan "Yük", Şekil.1. 'de G olarak ifade edilmiştir. G, burada yukarı açılır tip bagaj kapısının ağırlık merkezi olmaktadır.

Bagaj kapısı, diğer birçok otomotiv parçası gibi birçok farklı malzeme tipi ve ağırlığa sahip parçaların montajlanarak kompleks bir yapı olarak araç gövdesi üzerine takılmaktadır. Bu kompleks yapısından dolayı ağırlık merkezinin hesaplanması için de bagaj kapısını

oluşturan tüm unsurların ayrı ayrı ağırlıklarının ve ağırlık merkezlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Yukarı açılır tip bagaj kapısı kinematik hesabındaki "G" "Ağrılık merkezi" yükünü oluşturan unsurların hesabında aşağıdaki yöntem kullanılmaktadır.

Öncelikle söz konusu parçanın tekil olarak malzemesinin öz kütlesi bilinmelidir. Söz gelimi parçanın çelik malzeme kapı sacı olduğunu varsayalım. Bu durumda genel olarak çelik kapı sacının özkütlesi 7830,64 kg / m^3 olarak kullanılabilir. İlgili parçanın özkütlesi ve hacmiyle birlikte, bir kütle elde edilmektedir. Bu kütle, sac parçalardaki kalıp operasyonları sonrasındaki incelmelerin de etkisiyle ağırlıkta azalma etkisinin olacağı varsayılmalıdır. Bu varsayım, parçanın tasarımına bağlı olarak, çekme ve incelmelerin yoğunluğuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Günümüzde güncel kalıplanabilirlik simülasyon programları ile, parçaların bu incelmelerden sonra ulaşacakları ağırlıklar ölçülebilmektedir. Bununla birlikte aynı parçaya ait CAD ortamında ağırlık merkezinin ölçülmesi de gerekmektedir. Ölçülen ağırlık merkezinin, X, Y ve Z koordinatları ayrı ayrı yazılmalıdır. Ayrı ayrı yazılan X, Y ve Z koordinatları, yine ayrı ayrı olarak elde edilen kütle ile çarpılarak X, Y ve Z koordinatları ayrı ayrı yazılmalıdır.

Örneğin:

Yukarı açılan bagaj kapısındaki bir menteşe takviye braketini ele alalım. Söz gelimi parçanın CAD ortamında ölçülen ağırlığı 0,700 Kg olduğunu varsayalım. Aynı parçanın güncel kalıplanabilirlik simülasyonu programındaki incelmelerin dikkate alınarak hesaplanmış ağırlığı ise yaklaşık %4 azalmaktadır. Bununla birlikte ölçülen ağrılık merkezinin X, Y ve Z koordinatları da sırasıyla 2600 mm, 406 mm ve 1100 olsun. Bu durumda her bir koordinat birimi için simülasyon ölçümü ağırlığı (Kg) x X koordinatı, simülasyon ölçümü ağırlığı (Kg) x Y koordinatı ve simülasyon ölçümü ağırlığı (Kg) x Z koordinatı hesaplanmalıdır. Son durumda ölçülen: 1747.2, 272.16 ve 739.2 olacaktır.

Tablo 1 *- Menteşe takviye braketi ağırlık ve ağırlık merkezinin, yük kolu hesabına etkisi*[2]

RESİM	AĞIRLIK	SİMÜLASYON AĞIRLIK	Xc bar	Yc bar	Zc Bar	X	Y	Z
	0.700000000	0.672000000	2600.000000000	405.000000000	1100.000000000	1747.200000000	272.160000000	739.200000000

Kapı açıldığında yukarı kaldırılan ve ağırlığa etkisi olan tüm komponentler için yukarıdaki örnekteki gibi bir tablo oluşturulmalı ve etkileri ayrı ayrı listelenmiş olmalıdır.

Liste tamamlandığında tüm ağırlıklar alt alta toplanmış olmalı, tüm ağırlık x ağırlık merkezi çarpımları da alt alta toplanmış olmalıdır. Toplamların ardından her bir X, Y ve Z Toplam ölçümü, tekrar toplam ağırlığa bölünmelidir. Böylece toplam X, toplam Y ve Toplam Z koordinatı bulunmaktadır.

Bu hesapla birlikte toplam ağırlık ve toplam ağırlığın koordinatları edinilmiştir.

Şekil.1. de belirtilen yük olan "G" hesaplandıktan sonra, "L" yük kolunun hesabı / ölçümü gerekmektedir. Burada "L" yük kolu, ağırlık merkezinin, bagaj kapısının gövde üzerine bağlantılarının gerçekleştirildiği menteşelerin eksenine olan uzaklıktır. Ölçülen "G" ağırlık merkezi koordinatı, CAD ortamında bir nokta olarak oluşturulduktan sonra, bagaj kapısı menteşe eksenine olan mesafesi ölçülür ve bu ölçüm, "L" yük kolu olarak kullanılır.

Yük x Yük Kolu hesaplarının gerçekleştirilmesinin ardından, Kuvvet x Kuvvet Kolu hesabı yapılmalıdır.

Burada Kuvvet "F", bagaj kapısının açılmasını sağlayan ve açılma / kapanma enerjisi depolama ünitesi olan gaz pistonunun anma kuvveti olmaktadır. Kuvvet Kolu "L` " x Kuvvet "F", Yük "G" x Yük Kolu "L" eşitliğini karşılamalıdır. Bu dengeyi yenerek kapının açılmasını ve açma ve kapama eforları ile bu dengeyi bozarak açılma ve kapanma yönünde el kuvveti etkisi sağlanmaktadır.

Bagaj kapısı açılma / kapanma enerji depolama ünitesi olan gaz pistonu, araç gövdesine 1 adet, küresel bağlantı ve yukarı açılır bagaj kapısına da 1 adet küresel bağlantı ile bağlanmaktadır. Araç gövdesi bağlantı noktasından, bagaj kapısı bağlantı noktasına uzanan bir çizgi olduğu varsayılırsa, bagaj kapısı tam açıldığında Kuvvet Kolu "L` ", bu çizgiye dik ve menteşe eksenine uzanan mesafe olmaktadır.

Bagaj kapısını, hesaplanan açma el kuvvetiyle açabilmek, açılma açısında açık tutabilmek ve hesaplanan kapanma kuvvetiyle kapatabilmek için çoğunlukla 2 adet enerji depolama ünitesi / gaz pistonu kullanılmaktadır.

Yukarı açılır tip bagaj kapılarında açılma ve kapanma yüklerinin hesaplanması, hedef değerlerine ulaşılıp ulaşılamadığının göstergesi için zorunludur. Bu nedenle bagaj kapısı tasarım mimarisinde, açma kuvvetinin hesabı için -varsa- dış açma kolunun konumu, yoksa elin ergonomik olarak kolayca açabileceği, dış yüzeyin en alt orta noktası vb. bir nokta, açma noktası olarak kabul edilebilir.

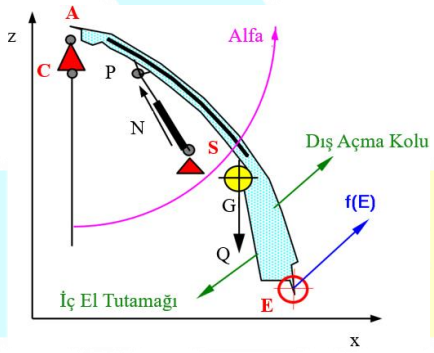
Kapama için ise -varsa- iç el tutamağının konumu, yoksa yine dış yüzeyin en alt orta noktası vb. bir nokta, kapatma noktası olarak kabul edilebilir.

İdeal Gaz Yasası

Bagaj kapısı açılma ve kapanma kuvvetlerine etki eden faktörlerin bir diğeri de ideal gaz yasasıdır.

$$pV = nRT$$

Bu nedenle enerji depolama ünitesi olan gaz pistonun hareketinde sıcaklık da önemli bir faktördür.



Şekil.2. *Yukarı açılır tip bagaj kapılarında temel moment dengesi için önemli noktalar*

Kinematik Analize Etki Eden Faktörler[1]

(Menteşe Ekseni) A
(Gaz Pistonu Bagaj Kapısı Bağlantı Noktası Konumu) P
(Gaz Pistonu Gövde Bağlantı Noktası Konumu) S
(Ağırlık Merkezi) G
(Bagaj Kapısının Ağırlığı; N) Q
Sıcaklık (°C) [Normal Ortam, Sıcak Ortam, Soğuk Ortam]
F1 (Açma Kuvveti) (N)
F2 (Kapama Kuvveti) (N)
(Dış Açma Kolu) Oh
(İç El Tutamağı) Ih
(Bagaj Kapısının En Alt Uç Noktası)
(Bagaj Kapısı Açılma Açısı) alfa° E
Açma Noktası Mesafesi (mm)
Kapama Noktası Mesafesi (mm)
Gaz Pistonu Açık Pozisyondayken Gaz Piston Tüpü İçerisindeki Gazın Basıncının, Gaz Pistonu Kapalı Pozisyondayken

Gaz Piston Tüpü İçerisindeki Gazın Basıncına Oranı (V1 / V2)

Gaz Pistonun İçerisinde Uzama ve Kısalma Hareketini Sağlayan Dar Çaplı Tüp (Ø, mm)

Gaz Pistonun Dış Kısmında Uzama ve Kısalma Hareketini Sağlayan Dar Çaplı Tüpün İçerisinde girdiği Geniş Çaplı Tüp (Ø, mm)

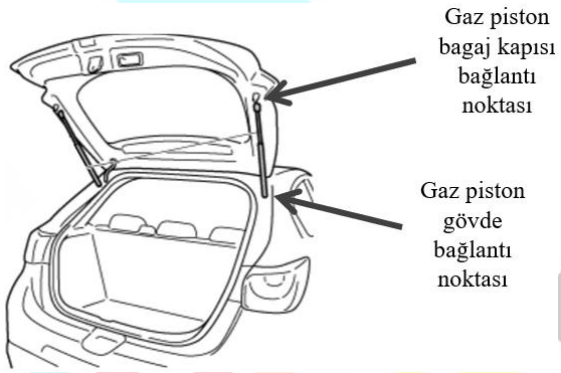
Gaz Pistonunun Kursu (mm)

Bagaj Kapısının Maksimum Açılmış Halinin Yerden Yüksekliği (mm)`

Gaz Pistonu Bagaj Kapısı Bağlantı Noktası Konumu (P)' den Gaz Pistonu Gövde Bağlantı Noktası Konumu S' ye çizilen çizginin uzantısı, Menteşe Ekseni (A)' dan geçiyor olması, hedeflenen durumdur. Ne var ki her araç projesinde bu durumun sağlanması mümkün olamayabilmektedir. Bu durumda açma ve kapanma eforlarına ulaşmak zorlayıcı olabilmektedir.

Günümüzde her bir araç projesi birbirinden farklı tasarımlara, beklentilere ve mimarilere sahip olabilmektedir. Bu beklentiler karşısında açma ve kapama eforlarının karşılanabilmesi, çok kapsamlı bir tasarım çalışması ve dengenin oluşturulması ile mümkün olabilmektedir.

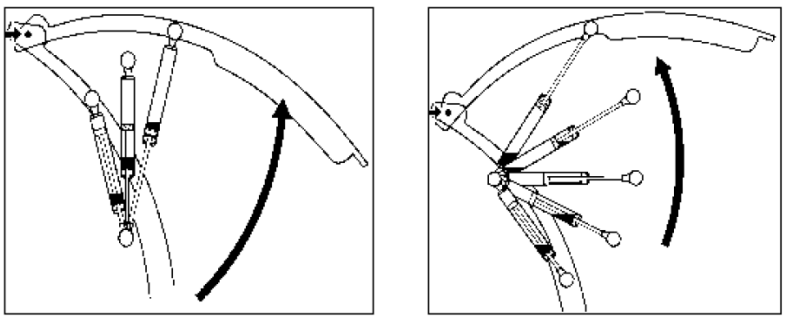
Bagaj kapısının açılma açısı, ergonomi hedef değerlerine ve araç tasarımına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Tespit edilen gerekli açılma açısına ulaşabilmek için, gaz piston gövde ve kapı bağlantı noktaları arası mesafenin, pistonun fiziksel özellikleri ile uyumlu olması gerekmektedir.



Şekil.3. *Yukarı açılır tip bagaj kapılarında gaz piston bağlantı noktaları*[3]

Yukarı Açılır Tip Bagaj Kapılarında Gaz Piston Bağlantı Tipleri

Yukarı açılır tip bagaj kapılarında enerji depolama ünitesi olarak kullanılan gaz pistonunun araç gövdesi bağlantılarının konumları da açma ve kapama yüklerine etki etmektedir. Bu bağlantıların konumları, araç genel tasarımına ve mimarisine göre belirlenmektedir. Bazı araçlarda gövde bağlantısı Z yönünde yukarıda, kapı bağlantısı ise gövde bağlantısına göre Z yönünde aşağıda tasarlanırken, bazı araçlarda ise kapı bağlantısı Z yönünde yukarıda, gövde bağlantısı ise kapı bağlantısına göre Z yönünde aşağıda olabilmektedir.



Şekil.4. *Yukarı açılır tip bagaj kapılarında gaz piston bağlantı tipleri*[1]

İdeal Bagaj Kinematik Tanımı

İdeal bagaj kinematik tanımı, rekabetin yoğun olarak yaşandığı otomotiv sektöründe, her OEM açısından miktarsal farklılıklar içerebileceği gibi, ortak beklentilerin de yer alabildiği bir durumdur.

Söz gelimi;

Düşük açılma ve düşük kapanma kuvveti

Bagaj kapısını açarken oluşan denge noktasından sonra kendi kendine açılma

Bagaj kapısını kaparken oluşan denge noktasından sonra kendi kendine kapanma

Düşük sıcaklık ortamında tam açılma açısında açık pozisyonda kalma

Yüksek sıcaklık ortamında bagaj açma butonuna bastıktan sonra kendi kendine açılmama

Dış açma kolunun ergonomik olarak uygun yerde oluşu

İç açma kolunun ergonomik olarak uygun yerde oluşu

Bu tanımlara farklı maddeler de eklenebilir ancak temel beklentiler benzerlik göstermektedir.

Yukarı Açılır Bagaj Kapısının Ağırlığı

Günümüzde yüksek rekabetin yaşandığı otomotiv sektöründe, taşıt üreticileri, müşteri beklentilerini karşılamak, rekabetçi olmak ve homologatif gereksinimleri taşımak zorundadır. Bu beklentileri karşılayabilmek ve rekabetçi olabilmek için de her geçen gün yeni taşıtlara birçok yeni, büyük ve estetik parçalar eklenebilmektedir.

Yukarı açılır bagaj kapısının ağırlığının, normal ortam sıcaklığı, düşük ortam sıcaklığı ve yüksek ortam sıcaklıklarında hedeflenen açılma ve kapanma yüklerine ulaşabilmek için, kayda değer bir etkisi vardır. Bu ağırlık etkisi, bazı durumlarda çeşitli tasarım ve bağlantı noktası optimizasyonları ile normalize edilebilirken, araç segmenti, bagaj kapısının üzerindeki komponentlerin ağırlıkları vb. etkilerle hedef değerlerin üzerinde sonuçlar olabilmektedir.

Ne var ki, fazla ağırlık etkisini azaltmanın çeşitli yöntemleri vardır. Bunlardan bir tanesi de, yukarı açılır bagaj kapısının yapısal bölümünü oluşturan parçaların, geleneksel çelik sac malzemelerden, daha hafif ve yenilikçi malzemeler kullanılmasıdır. Bu malzemeler uzun cam elyaf katkılı kompozit malzemeler, SMC malzemeler, alüminyum, magnezyum ve cam, çelik saclardan daha az öz kütleye sahip malzemeler olabilmektedir.

Bagaj kapısının hafifletilmesi, açma ve kapama yüklerini iyileştirici bir etkiye neden olurken, aynı zamanda CO_2 emisyonlarının azaltılması yönünde de etkisi olmaktadır.

Tasarım ve proje uzmanları, maliyet, performans ve diğer faktörleri de göz önünde bulundurarak optimum tasarımı ve malzeme seçimlerini elde etmek için çalışmaktadırlar.

Bagaj Açılmada ve Kapanmada Denge Açısı

Yukarı açılır tip bagaj kapılarında hem açılmada hem de kapanmada üzerinde durulan parametrelerden biri, denge açısıdır.

Denge açısı, taşıt kullanıcılarının bagaj kapılarının kullanımları sırasında memnuniyet ya da memnuniyetsiz yaratacak faktörlerden biridir. Gerek düşük sıcaklık gerekse de normal ortam ve yüksek sıcaklıktaki açılma ve kapanma sırasındaki denge açıları, mühendisler tarafından detaylı olarak üzerinde durulan bir konu olmaktadır. Kapanma ve açılmada kayda değer bir açı farkı olması, bununla birlikte açılmadaki denge açısının her performans sıcaklığında maksimum açılma açısına yakın olmaması, aynı zamanda kapanmadaki denge açsının da her performans sıcaklığında kapalı konum açısına yakın olmaması temelde aranan performans çıktılarıdır.

Bagaj Açılmada ve Kapanmada El Kuvveti

Yukarı açılır tip bagaj kapılarında hem açılmada hem de kapanmada üzerinde durulan en önemli parametrelerden biri, el kuvveti değeridir.

El kuvveti değeri, taşıt kullanıcılarının memnuniyetlerinin ya da memnuniyetsizliklerinin en büyük göstergelerinden biri olduğu söylenebilir. Bu nedenle bu göstergenin algısal olarak rahatsızlık hissedilmeyecek düzeylerde olması için çalışılır.

Bagaj Açılma Hızı ve Süresi

Yukarı açılır tip bagaj kapılarında açılma hızı ve açılma süresi de taşıt kullanıcılarının memnuniyet göstergelerinden biridir. Bu nedenle üzerinde durulan ve performans göstergelerinden biri olarak kabul edilebilen değerlerdir. Açılma süresi ve hızı taşıt kullanıcılarını rahatsız etmeyecek makul değerlerde olmalıdır.

SONUÇLAR

Günümüz otomotiv sektöründe, otomobil ve hafif ticari araç üreticileri, bir yanda rekabetçi ürünler ortaya koymak için çalışmalar yürütürken, bir yandan da rekabetçi ürünlerin beraberinde getirdiği mühendislik sorunlarının çözümlerine daha fazla zaman ayırmak durumunda kalmaktadırlar.

Yukarı açılır bagaj kapıları da taşıt üreticilerinin, müşterilerinin ilgisini çekmek için çekici tasarımsal faaliyetlerini yürüttükleri başlıca komponentlerden biridir. Bu bağlamda çekici tasarımlar da fazladan parça ve ağırlıkları da beraberinde getirmektedir. Yukarı açılan bagaj kapılarına eklenen her parça ve ağırlık, kinematik hesaplarda olumsuzluklara, hedeflenen değerlere ulaşmada zorluklara ve maliyet artışlarına neden olabilmektedir.

Ne var ki tüm bu zorluklara rağmen kullanıcı deneyimini açısından yüksek memnuniyeti sağlamak esastır. Bu nedenle esas parametreler olan bagaj açılma ve kapanmadaki el kuvveti, açma ve kapamada denge açıları, açılma hızı ve süresi optimizasyonu, memnuniyeti beraberinde getirmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

1. Kinematik analiz bilgi notları, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., AR-GE
2. Kinematik analiz hesaplamaları, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., AR-GE
3. https://www.amazon.com/GAFENO-Tailgate-Springs-Support-SsangYong/dp/B0CQZGR3SH Erişim Tarihi: 20.05.2024

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

A Case Study on the Performances of the Pressure Gauges used in the Industry

Can EKİCİ[1]

Abstract

Between 2015 and 2020, 772 manometers used in the industry were calibrated and the performances of the devices operating under continuous pressure and their deviations from their declared classes were evaluated. In the study, manometers used in many different industries were examined. Among these manometers, there are manometers used in many fields such as chemical industry, technical service, vehicle maintenance, electronics industry, test laboratories, biomedical, fire tube production, automobile industry. Analogue manometers are widely used in industry, so their performance can be important for users in decision-making processes. As a result of the studies carried out, suggestions for use were presented and comments were made for the industry.

Keywords: manometers; calibration; metrology; pressure gauges; pressure metrology

[1] Dr., Türk Standardları Enstitüsü, Orcıd: 0000-0002-1123-0253

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Background

1.1 Introduction

Pascal's law explains pressure with the behaviour of fluids at rest (Gillum, 2009). All points at the same depth in a vessel containing fluid, if inert, must be at the same pressure (Serway & Vuille, 2011). Gas molecules in a container hit the walls of the container. These collisions create a force that is applied to the surface area of the container. Pressure is defined as the force applied per unit area as given in Equation 1 (Gillum, 2009).

$$P = F / A \quad (1)$$

In living environments, the atmospheric pressure produced by the effect of gravity on the air molecules is about 1 atm. Pressure measurements are named as gauge pressure when referring to atmospheric pressure. If pressure refers to absolute zero, pressure measurement is called absolute pressure (Fig. 1) (Gillum, 2009).

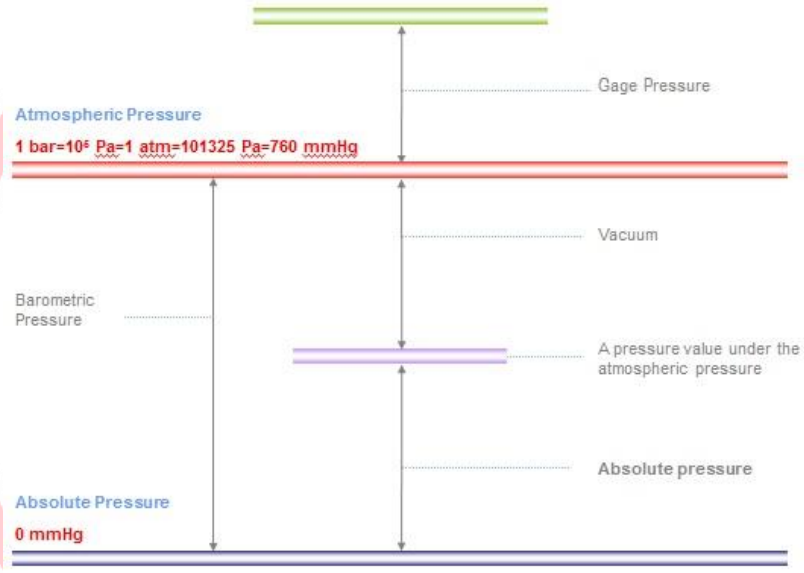


Figure 1. *Absolute, gage and atmospheric pressure*

1.2 Common Pressure Gauges

Pressure transducers, pressure transmitters, and manometers with digital or analogue gauges are known as pressure gauges (Euramet cg.17, 2022).

Pressure transducers / transmitters are pressure gauges that convert the measured pressure into an analogue or electrical signal proportional to the applied pressure. The output electrical signal may be a voltage value, a current value or a frequency (Euramet cg.17, 2022). This study is about the performance conditions of analogue manometers used in industry. An analogue manometer is given in Figure 2.



Figure 2. *An analogue manometer*

1.3 Analogue Manometers

According to the EN 472 Pressure Gauges-Definitions standard (1994), analogue manometer is a device in which the pressure moves the elastic pressure element and this movement triggers the pointer on the scale. A diagram of an analogue manometer from a commercial manufacturer's manual is given in Figure 3 (WIKA, 2010).

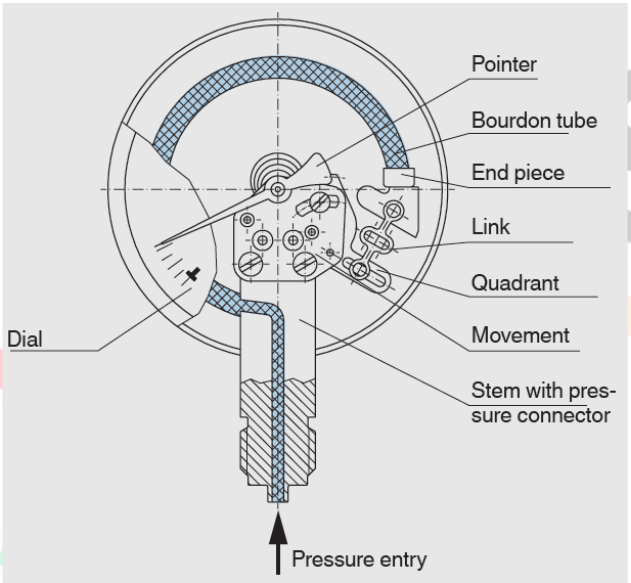


Figure 3. *A diagram of an analogue manometer*

Bourdon tubes are spiral or circular shaped tubes with an oval cross section. Elastic pressure element tries to open when pressure is applied or closes under negative pressure, and returns to its initial position when pressure is removed (TSE & EN, 1994; WIKA, 2010).

Full scale of the pressure gauge shows the pressure measuring area. A certain error tolerance is specified in each accuracy class of the manometer. The pressure measuring instrument should not make more errors than the error limits specified in its class. Repeatability is the ability to repeat close to the measured value at the same pressure under specified conditions of use. Hysteresis refers to the difference between the value displayed by the

pressure gauge in the direction of increasing pressure and the value it shows in the direction of decreasing pressure (Euramet cg.17, 2022; TSE EN, 1994).

According to the EN 837-1 Pressure Gauges; Part 1: Bourdon Tube Pressure Gauges-Dimensions, Metrology, Requirements and Testing standard (1997), the accuracy class is the allowable error limits expressed as a percentage of the measuring range. Accuracy classes are given in the standard as; 0.1, 0.25, 0.6, 1, 1.6, 2.5 and 4 for the full scale of the manometer.

The expected measurement errors (percentage of full scale) for the accuracy classes are seen in Table 1. The hysteresis should not be greater than the absolute value of the expected measurement error of the full scale of the instrument (TSE EN, 1997; Ekici, 2017).

Table 1. *Geometric parameter information used in the study*

Pressure gauge's class	Expected measurement error
CL 0.1	± 0.1 %
CL 0.25	± 0.25 %
CL 0.6	± 0.6 %
CL 1.0	± 1.0 %
CL 1.6	± 1.6 %
CL 2.5	± 2.5 %
CL 4.0	± 4.0 %

The mathematical expression of the expected error is given in Equation 2 (TSE EN, 1997; Ekici, 2017).

$$\% \text{ accuracy} = \left[\frac{P_{test} - P_{reference}}{\text{Full Scale}}\right] x\ 100 \qquad (2)$$

2.Methods

2.1 Calibration of a Manometer

Calibration is the process of establishing a relationship between the value displayed by the manometer and the value read on the reference device with comparative measurements (TSE & EN, 1994).

Euramet's "Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers" have been developed to improve compliance in pressure measurement (Euramet cg.17, 2022).

The calibration procedure should enable evaluation of the hysteresis, linearity, and repeatability of the calibrated device. The calibration procedure is selected according to the accuracy of the pressure gauge (Euramet cg.17, 2022). If applicable, the reference pressure gauge (pressure calibrator) should have three-four times better accuracy than the device under test for accuracy tests/calibrations (Euramet cg.17, 2022; TSE & EN, 1997).

In this study, Euramet cg.17's (2022) basic calibration procedure, given in Table 2, was applied for manometers that have accuracy greater than 0.2% of full scale. It has been determined that the accuracy classes of analogue manometers used in industry and production are generally greater than 0.2%. An application example of basic calibration procedure for an analogue manometer is given in the Table 3.

Table 2. *Euramet cg.17 basic calibration procedure*

Number of Measuring Points	Number and Point of the Repeatability	Waiting Time in Every Pressure Point	Waiting Time in the Maximum Pressure Point	Number of the Measurement Cycle
6 points	2 points (preferably %0 and %50 FS)	>30 seconds	2 minutes	1 increasing pressure way + 1 decreasing pressure way

Table 3. *An example of measurement results for basic calibration procedure*

P_{test}	P_{ref}		$(P_{test} - P_{ref})$		h	b'	U
	↑	↓	↑	↓			
bar	**bar**	**bar**	**bar**	**bar**	**bar**	**bar**	**bar**
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30
2,0	1,70	1,60	0,30	0,40	0,10		0,30
4,0	3,60	3,50	0,40	0,50	0,10		0,30
6,0	5,60	5,50	0,40	0,50	0,10		0,30
8,0	7,50	7,30	0,50	0,70	0,20		0,30
12,0	13,00	13,00	-1,00	-1,00	0,00		0,30

P_{test}: Measurement results of the device under test

P_{ref}: Measurement results of the reference device

h: Hysteresis

b': Repeatability

U: Expanded measurement uncertainty (k=2)

↑: Increasing pressure way

↓: Decreasing pressure way

P_{test}- P_{ref}: Error

The manometers were visually checked for abnormalities, errors and operational faults before calibration. The pressure values of the reference and test device were recorded at each calibration point. The identification parameters and laboratory conditions (temperature and relative humidity) were recorded (Euramet cg.17, 2022).

In this study, classes of the manometers were determined according to the measurement results using Euramet's basic calibration procedure. Other destructive and non-destructive tests in the reference documents (TSE & EN, 1997).were not performed.

2.2 Performance Evaluation Method

Secondary pressure standards (pressure calibrators) were used for determination of accuracy classes. Calibrators are traceable to pressure balances those are calibrated by Turkish National Metrology Institute. Accuracy tests were applied to analogue manometers at six pressure points. Testing laboratory conditions were (20 ± 2) ºC, (50 ± 35) % rh.

Analog manometers can be used in test systems and to fulfil the requirements of standards in non-automated systems for the decision of operators. Therefore, measurements may affect the quality of products. The accuracy classes of the manometers used in the industry can be selected according to the requirements of the relevant field standard. If the pressure gauges are out of their classes during the next calibration, it may lead to weaknesses. It is

difficult to predict when the manometer is out of class within the calibration period. For this, users need to make intermediate controls.

Between 2015 and 2020, 772 manometers used in the Turkish industry were calibrated and the performances of the devices, which are thought to work under continuous pressure, and their deviations from their declared classes were evaluated. In this study, manometers used in many different industries were examined. There are manometers used in many areas such as chemical industry, technical service, vehicle maintenance, electronics industry, test laboratories, biomedical, fire tube production, automobile industry, etc… Equation 2 was applied to each point of the calibration results and the largest full-scale percentage error value was determined as the calculated class value of the relevant manometer.

In this study, two 0.25 accuracy class, nine 0.6 accuracy class, eighty-nine 1.0 accuracy class, two-hundred-seventy-three 1.6 accuracy class, four-hundred-twenty-six 2.5 class manometers were examined.

3. Results

3.1 Accuracy Determination of the Manometers

According to the equation given in Equation 2, the classes of the calibrated manometers were determined. The results given in separate figures according to the accuracy classes declared by the manufacturer are shared in this section. The classes declared by the manufacturer represent the maximum error expected by the device in full scale. For example, a pressure gauge with a CL1.6 10 bar capacity is expected to make a maximum error of 0.16 bar.

It has been studied on 772 manometers, which have several accuracy classes, calibrated between 2015 and 2020, these manometers are actively used in the Turkish industry.

Since only two manometers with CL0.25 class were calibrated and the number of observations was less, no examination was carried out considering that it would not give an idea.

As a result of the calibration of nine CL0.6 class manometers, full scale percentage accuracy was calculated. The results are shown in Figure 4. The blue line shows the class value declared by the manufacturer.

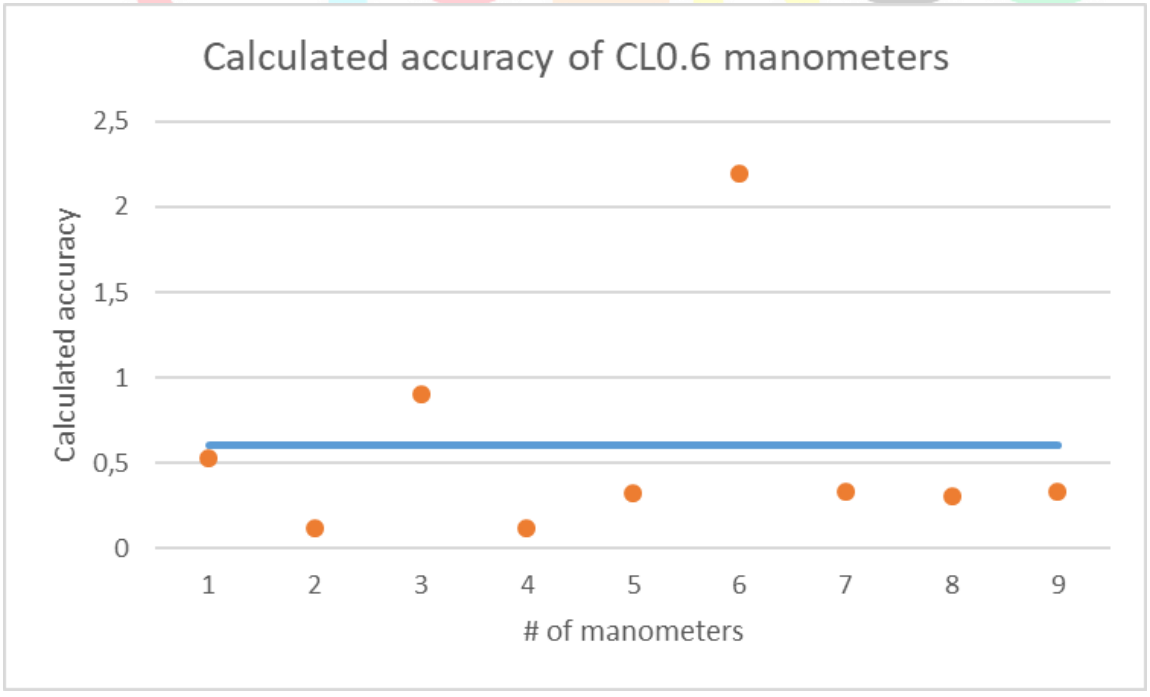


Figure 4. *Calculated accuracy of CL0.6 manometers*

It is thought that CL0.6 manometers are used in industry for more precise measurements and in non-heavy production facilities. It is seen that approximately 80% of these manometers are within the class values as a result of use. It is considered that these manometers do not operate above the measuring capacity or under vibration. However, since the number of samples is small, it is considered that it is not very appropriate to make definite comments.

Eighty-four CL1.0 class manometers were examined and the full-scale accuracy values calculated as a result of the calibrations are given in Figure 5.

Forty-three of the manometers were out of the declared class values. It is seen that most of the out-of-class manometers have an accuracy better than 2 %FS. It can be thought that there are areas where intermediate controls of these manometers used in the industry are not made or that less accurate manometers can be used instead of the CL1.0 class manometers. If the accuracy is required to be better than 1% in the relevant production site, this will create a weakness for production. This situation can be eliminated in processes where layered quality control mechanisms operate. For example, could a CL1.0 class manometer be used in an area where a CL2.5 class manometer would be sufficient? It is another risky possibility that the companies that have the calibration continue to use the manometers without examining the calibration certificates. It is also known that some companies use manometers only for the operator's visual inspection.

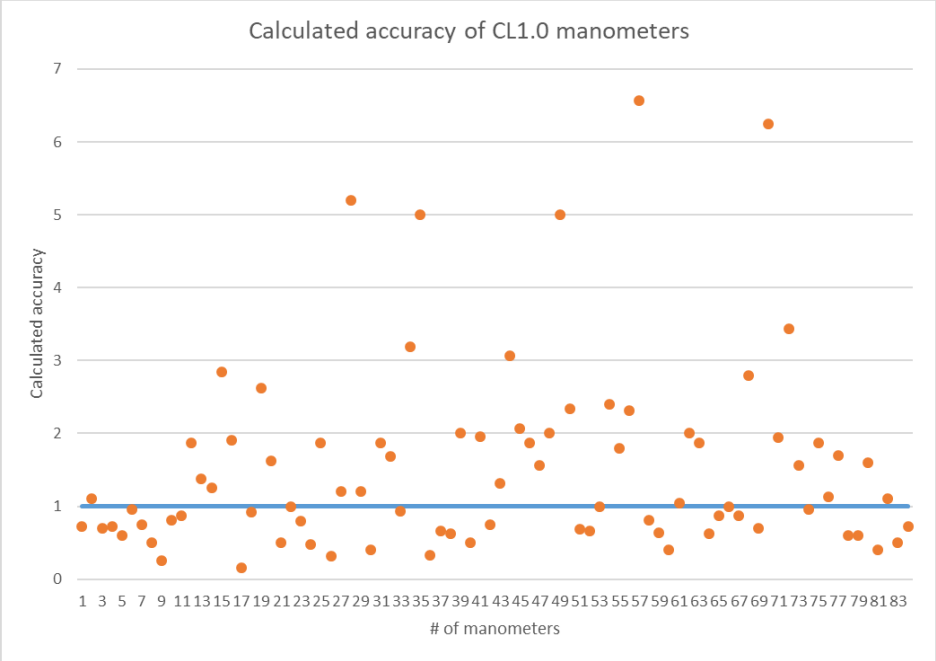


Figure 5. *Calculated accuracy of CL1.0 manometers*

Two hundred and seventy-two CL1.6 class manometers were calibrated and %FS accuracy was calculated as a result of the calibration. The results are shown in Figure 6. One hundred and twenty-nine of the manometers are out of the class. It is seen that the full-scale errors of the out-of-class manometers are concentrated below 4%. The high number of out-of-class manometers can create the idea that this type of manometers are generally used on the line under continuous pressure.

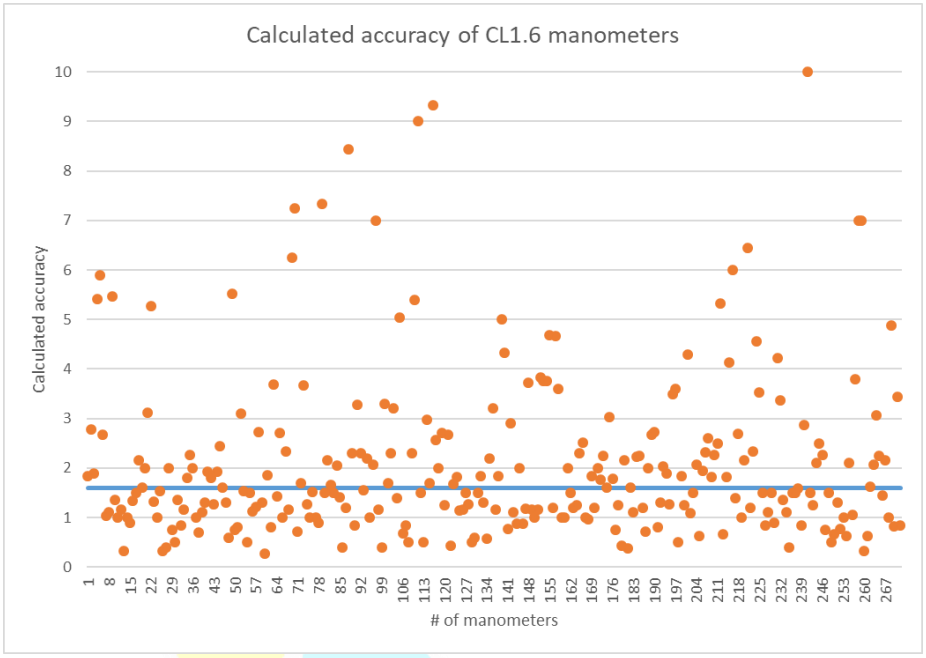


Figure 6. *Calculated accuracy of CL1.6 manometers*

Four hundred and twenty-six CL2.5 manometers were calibrated and their accuracy was calculated. The calculated accuracy classes are shown in Figure 7. One hundred and twenty-six of these manometers are out of class. It was observed that eight of them made more than 10% errors.

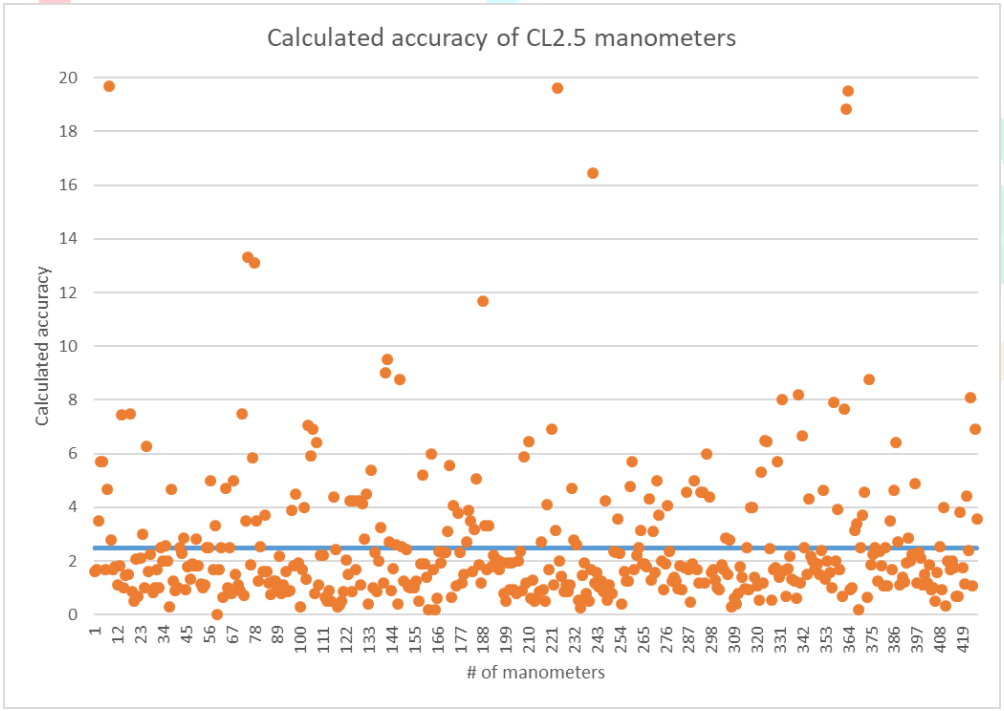


Figure 7. *Calculated accuracy of CL2.5 manometers*

4.Discussion

Euramet's basic calibration procedure were applied to 772 analogue manometers those are used in industry. Full-scale accuracy of the manometers were calculated. The deviations of the manometers from the declared accuracy, which are thought to work under continuous pressure, were examined.

5.Conclusions

1. Within the scope of the study, 772 manometers, which are actively used in the industry, were calibrated and the full-scale percentage errors of the devices were calculated according to the calibration results. It is seen that the manometers used in the industry are mostly in CL1.6 and CL2.5 classes, it is understood that the number of CL1.0, CL0.6 and CL0.25 manometers is relatively less. Therefore, it is seen that less accurate manometers are mostly used in the industry. This may lead to the conclusion that there are situations where there is no need for very precise pressure measurements in production, or that manometers are used for the operator's visual control and are not used effectively in decision. In decision-making and quality control processes, automation and electronic measurement systems may be used more effectively instead of analogue manometers.
2. In this study, the manometers used in many different industries were calibrated, the performances of the devices that are thought to work under continuous pressure and their deviations from the declared classes were evaluated. It has been observed that the number of manometers going out of the class is not few. This situation may cause weakness if the manometer is selected according to the requirements of the production and test standards and the values read from the manometers are used in quality control. Analogue manometers can be used in test systems and to fulfil the requirements of standards in non-automated systems for the decision of operators. The accuracy classes of the manometers used in non-automation systems can sometimes be selected according to the requirements of the relevant field standard. Therefore, if the pressure gauges are out of class during the next calibration, it may lead to weaknesses. It is difficult to predict when the manometer is out of class accuracy within the calibration period. For this, users need to make intermediate controls.
3. If the results obtained from analogue manometers are used in quality control processes, it is recommended to make intermediate controls of measuring devices or to prevent possible negative results with layered quality control. In today's production systems, automation and computer-aided decision processes are common, it is common to monitor the disruptions in the production line through automation systems and computer screens. However, in order not to mislead the employees, it is expected that the analogue manometers used on the line will show the results correctly. Therefore, as can be seen from the results obtained within the scope of the study, it can be concluded that some of the analogue measuring devices are not controlled by the users. It is recommended that businesses keep and monitor each measuring device under their own control. Making the evaluation as a result of the calibration of a device is the responsibility of the user, rather than the responsibility of the calibration company. The owner of the device is responsible for examining the calibration results of the device and deciding about whether to use the device or not. The devices should not be put into use without examining the calibration certificate.
4. Although most of the manometers are in the class, the number of manometers that go out of the class is not less. It is known that the bourdon pipes in the manometers deform over time under pressure due to their structure. Therefore, it is recommended that the manometers be periodically renewed and this situation should be followed by a plan.

Acknowledgements

Author is thankful to the Turkish Standard Institution for providing the space and facilities.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

D. R. Gillum, Industrtial Pressure, Level, and Density Measurement, Isa (2009).

R. A. Serway, C. Vuille, College physics (Vol. 1), Brooks/Cole Cengage Learning (2011).

Euramet e.V. Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers, cg 17, v4.1 (2022).

TS EN 472, Pressure Gauges-Definitions, (1994).

WIKA. (2010). Technical Information: Data Sheet IN 00.01. Klingerbergen, WIKA.

TS EN 837-1, Pressure Gauges; Part 1: Bourdon Tube Pressure Gauges-Dimensions, Metrology, Requirements and Testing, (1997).

Ekici, C. (2017). An Adapted Procedure for Calibration of the Non-digital Peak Pressure Indicators: Motor Compression Measuring Devices. MAPAN, 32(2), 87-94.

TS EN 837-2, Pressure gauges-Part 2:Selection and installation recommendations for pressure gauges, (1997).

TS EN 837-3, Pressure Gauges-Part 3: Diaphragm and Capsule Pressure Gauges-Dimensions, Metrology, Requirements and Testing, (1997).

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Investigation of Soil-Pile Structure Interaction In Lıquefiable Soils

Burak DEDEOĞLU [1]
Murat Ergenokon SELÇUK [2]

Abstract

Turkey frequently encounters major earthquakes due to active fault lines in its geography, resulting in loss of life and property damage. Therefore, considering the effects of seismic forces in structural design is crucial. Analyses of structure-soil interaction, particularly for rigid, large-scale structures such as multi-story buildings where seismic behavior is significant, became mandatory for multi-story pile supported structures under specific seismic design categories and local soil conditions with the enactment of the "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği" in 2019. In this study, the interaction between pile foundation systems and soil for reinforced concrete structures has been investigated. Analyses were conducted on liquefiable and non-liquefiable soils, observing the effect of liquefaction on structure-pile-soil interaction. Soil models were created using data obtained from drilling, field and laboratory experiments for a project in Gemlik. Suitable earthquake records were selected based on the soil class and seismic level of the Gemlik region of Bursa, and spectral matching was achieved using Seismomatch software. Subsequently, output related to the production of excess pore water pressure models in the nonlinear time domain was obtained using nonlinear site response analysis program named Deepsoil, and these outputs were used in structure-pile-soil interaction analyses. In these analyses, the effect of liquefiable soil, the influence of saturated loose sand on pile internal forces and the variation in pile internal forces due to low water levels were clearly demonstrated.

Keywords:TBDY-2018, site response analysis, liquefaction, excess pore water pressure ratio, structure-pile-soil interaction,

[1] MSc Student, Yıldız Technical University, Civil Engineering Department, Orcıd: 0000-0001-7503-3729
[2] Asst. Prof. Dr., Yıldız Technical University, Civil Engineering Department, Orcıd: 0000-0003-1890-7965

ISBN: 978-625-372-170-1

1. GİRİŞ

The interaction between structure, pile, and soil is of great importance in the fields of civil engineering and geotechnics, and it is a critical issue for the safety and stability of structures. Pile foundations are used to transfer loads from unstable surface layers to deeper and more stable soil layers. In this way, stability is ensured for particularly high-storey buildings, bridges, and other heavy structures.

The structure-pile-soil interaction involves the mutual interaction of loads transmitted from the structure to the soil through the piles and the soil's response to these loads. This interaction directly affects the load-bearing capacity of the piles, soil deformations, and the settlement behavior of the structure. Therefore, the accurate analysis of this interaction is crucial for determining the safety and service life of structures.

In recent years, numerous experimental and numerical modeling studies have been conducted on structure-pile-soil interaction. These studies provide valuable insights into understanding and improving the performance of pile foundations. In their study, Taştan and Özgür (2023) examined the interaction between a reinforced concrete structure with a pile foundation system and the foundation soil. As a result of this study, it was determined that the internal forces in the piles obtained using the substructure approach were significantly greater than those obtained using the coefficient of subgrade reaction method. This finding supports the thesis that due to the rigidity of the piles being much greater than that of the soil, the piles cannot accommodate the deformations induced in the soil by seismic effects. Consequently, the soil layers impose loads on the piles, resulting in large internal forces within the piles.

In his study, Özyıldırım (2023) conducted kinematic interaction and inertial interaction analyses using two earthquake records. The outputs from the kinematic interaction analysis were applied to the superstructure modeled for inertial interaction at the foundation level, and the effects of the structure on the piles were determined based on the structural characteristics. As specified in TBDY 2018, the obtained results were combined, and moment and shear force values in the piles were determined for both methods. According to the results, the Method II analysis conducted in the time domain and considering DD1 or DD2 earthquake ground motion was found to be more reliable from an engineering perspective compared to the Method III analysis.

In this study, an idealized soil model was created using data obtained from boreholes, field, and laboratory tests conducted for a project in Gemlik. Site response analyses were performed in Deepsoil, and the results were used in the Plaxis2D software for the structure-pile-soil kinematic interaction. The effect of water presence on the piles was investigated in the interaction.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1 Field Studies and Supply of Engineering Data

The dynamic-elastic engineering parameters of the soil environment used in this study were obtained from the Data and Geotechnical Report prepared as a result of field investigations and laboratory tests conducted in the project area. The spectral acceleration coefficients for the project area were obtained using TDTH, through parameters including the coordinates of the project area, local soil class, and seismic level. The 11 pairs of earthquake records used in the analyses were obtained from the PEER database.

2.2 Ground Conditions and Material Parameters

Based on the data obtained from field and laboratory tests conducted in approximately 8000 meters of drilling work carried out in Gemlik district of Bursa province, 3 boreholes were selected, and geological cross-sections were created as seen in Figure 1. As seen in Table 1, SPT-N values for 3 boreholes have been provided and SPT-N corrections have been applied. Accordingly, an idealized soil profile as shown in Figure 2 was developed.

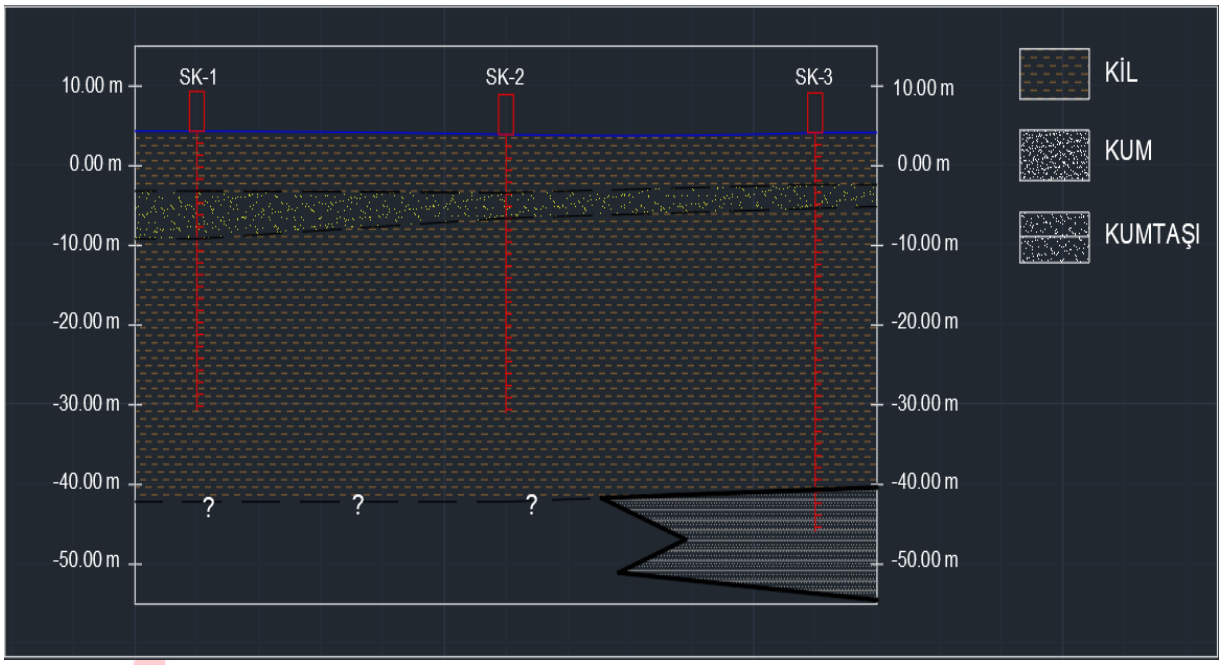


Figure 8 *Geological cross-section of 3 boreholes at the project site*

Table 3 SPT-N Correction

Sondaj No	Derinlik	GWT	Zemin Tipi	SPT/N	sv' (tsf)	C_N	C_E	C_B	C_R	C_S	$(N_1)_{60}$	z
SK-1	1,50	3,90	KİL	10	0,285	1,00	0,75	1,00	0,75	1,20	**6**	4,33
SK-1	3,00	3,90	KİL	7	0,570	1,00	0,75	1,00	0,75	1,20	**4**	4,33
SK-1	4,50	3,90	KİL	8	0,795	1,00	0,75	1,00	0,85	1,20	**6**	4,33
SK-1	6,00	3,90	KİL	6	0,930	1,00	0,75	1,00	0,85	1,20	**4**	4,33
SK-1	7,50	3,90	KUM	5	1,065	0,97	0,75	1,00	0,95	1,20	**4**	4,33
SK-1	9,00	3,90	KUM	19	1,200	0,90	0,75	1,00	0,95	1,20	**14**	4,33
SK-1	10,50	3,90	KUM	14	1,335	0,84	0,75	1,00	1,00	1,20	**10**	4,33
SK-1	12,00	3,90	KUM	4	1,470	0,79	0,75	1,00	1,00	1,20	**2**	4,33
SK-1	13,50	3,90	KİL	5	1,605	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**4**	4,33
SK-1	15,00	3,90	KİL	7	1,740	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**6**	4,33
SK-1	16,50	3,90	KİL	4	1,875	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**3**	4,33
SK-1	18,00	3,90	KİL	6	2,010	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	4,33
SK-1	19,50	3,90	KİL	9	2,145	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**8**	4,33
SK-1	21,00	3,90	KİL	6	2,280	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	4,33
SK-1	22,50	3,90	KİL	7	2,415	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**6**	4,33
SK-1	24,00	3,90	KİL	8	2,550	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**7**	4,33
SK-1	25,50	3,90	KİL	5	2,685	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**4**	4,33
SK-1	27,00	3,90	KİL	6	2,820	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	4,33
SK-1	28,50	3,90	KİL	6	2,955	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	4,33
SK-1	30,00	3,90	KİL	12	3,090	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**10**	4,33
SK-1	31,50	3,90	KİL	11	3,225	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**9**	4,33
SK-1	33,00	3,90	KİL	11	3,360	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**9**	4,33
SK-1	34,50	3,90	KİL	11	3,495	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**9**	4,33
SK-2	1,50	3,20	KİL	11	0,285	1,00	0,75	1,00	0,75	1,20	**7**	3,92
SK-2	3,00	3,20	KİL	8	0,570	1,00	0,75	1,00	0,75	1,20	**5**	3,92
SK-2	4,50	3,20	KİL	11	0,725	1,00	0,75	1,00	0,85	1,20	**8**	3,92
SK-2	6,00	3,20	KİL	9	0,860	1,00	0,75	1,00	0,85	1,20	**6**	3,92
SK-2	7,50	3,20	KUM	10	0,995	1,00	0,75	1,00	0,95	1,20	**8**	3,92
SK-2	9,00	3,20	KUM	9	1,130	0,93	0,75	1,00	0,95	1,20	**7**	3,92
SK-2	10,50	3,20	KUM	11	1,265	0,87	0,75	1,00	1,00	1,20	**8**	3,92
SK-2	12,00	3,20	KUM	7	1,400	0,82	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	3,92
SK-2	13,50	3,20	KİL	5	4,535	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**4**	3,92
SK-2	15,00	3,20	KİL	4	1,670	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**3**	3,92
SK-2	16,50	3,20	KİL	5	1,805	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**4**	3,92
SK-2	18,00	3,20	KİL	6	1,940	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	3,92
SK-2	19,50	3,20	KİL	6	2,075	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	3,92
SK-2	21,00	3,20	KİL	7	2,210	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**6**	3,92
SK-2	22,50	3,20	KİL	6	2,345	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	3,92
SK-2	24,00	3,20	KİL	5	2,480	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**4**	3,92
SK-2	25,50	3,20	KİL	6	2,615	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	3,92
SK-2	27,00	3,20	KİL	5	2,750	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**4**	3,92
SK-2	28,50	3,20	KİL	6	2,885	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	3,92
SK-2	30,00	3,20	KİL	7	3,020	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**6**	3,92
SK-2	31,50	3,20	KİL	6	3,155	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	3,92
SK-2	33,00	3,20	KİL	6	3,290	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	3,92
SK-2	34,50	3,20	KİL	7	3,425	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**6**	3,92
SK-3	1,50	3,20	KİL	9	0,285	1,00	0,75	1,00	0,75	1,20	**6**	4,14
SK-3	3,00	3,20	KİL	8	0,570	1,00	0,75	1,00	0,75	1,20	**5**	4,14
SK-3	4,50	3,20	KİL	13	0,725	1,00	0,75	1,00	0,85	1,20	**9**	4,14
SK-3	6,00	3,20	KİL	12	0,860	1,00	0,75	1,00	0,85	1,20	**9**	4,14
SK-3	7,50	3,20	KUM	12	0,995	1,00	0,75	1,00	0,95	1,20	**10**	4,14
SK-3	9,00	3,20	KUM	13	1,130	0,93	0,75	1,00	0,95	1,20	**10**	4,14
SK-3	10,50	3,20	KİL	8	1,265	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**7**	4,14
SK-3	12,00	3,20	KİL	5	1,400	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**4**	4,14
SK-3	13,50	3,20	KİL	6	1,535	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	4,14
SK-3	15,00	3,20	KİL	4	1,670	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**3**	4,14
SK-3	16,50	3,20	KİL	5	1,805	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**4**	4,14
SK-3	18,00	3,20	KİL	7	1,940	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**6**	4,14
SK-3	19,50	3,20	KİL	7	2,075	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**6**	4,14
SK-3	21,00	3,20	KİL	8	2,210	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**7**	4,14
SK-3	22,50	3,20	KİL	8	2,345	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**7**	4,14
SK-3	24,00	3,20	KİL	6	2,480	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	4,14
SK-3	25,50	3,20	KİL	6	2,615	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	4,14
SK-3	27,00	3,20	KİL	5	2,750	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**4**	4,14
SK-3	28,50	3,20	KİL	6	2,885	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**5**	4,14
SK-3	30,00	3,20	KİL	9	3,020	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**8**	4,14
SK-3	31,50	3,20	KİL	11	3,155	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**9**	4,14
SK-3	33,00	3,20	KİL	11	3,290	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**9**	4,14
SK-3	34,50	3,20	KİL	25	3,425	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**22**	4,14
SK-3	36,00	3,20	KİL	24	3,560	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**21**	4,14
SK-3	37,50	3,20	KİL	18	3,695	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**16**	4,14
SK-3	39,00	3,20	KİL	16	3,830	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**14**	4,14
SK-3	40,50	3,20	KİL	20	3,965	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**18**	4,14
SK-3	42,00	3,20	KİL	20	4,100	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**18**	4,14
SK-3	43,50	3,20	KİL	18	4,235	1,00	0,75	1,00	1,00	1,20	**16**	4,14
SK-3	45,00	3,20	KUMTAŞI	-	-	-	-	-	-	-	-	4,14
SK-3	46,50	3,20	KUMTAŞI	-	-	-	-	-	-	-	-	4,14
SK-3	48,00	3,20	KUMTAŞI	-	-	-	-	-	-	-	-	4,14
SK-3	49,50	3,20	KUMTAŞI	-	-	-	-	-	-	-	-	4,14

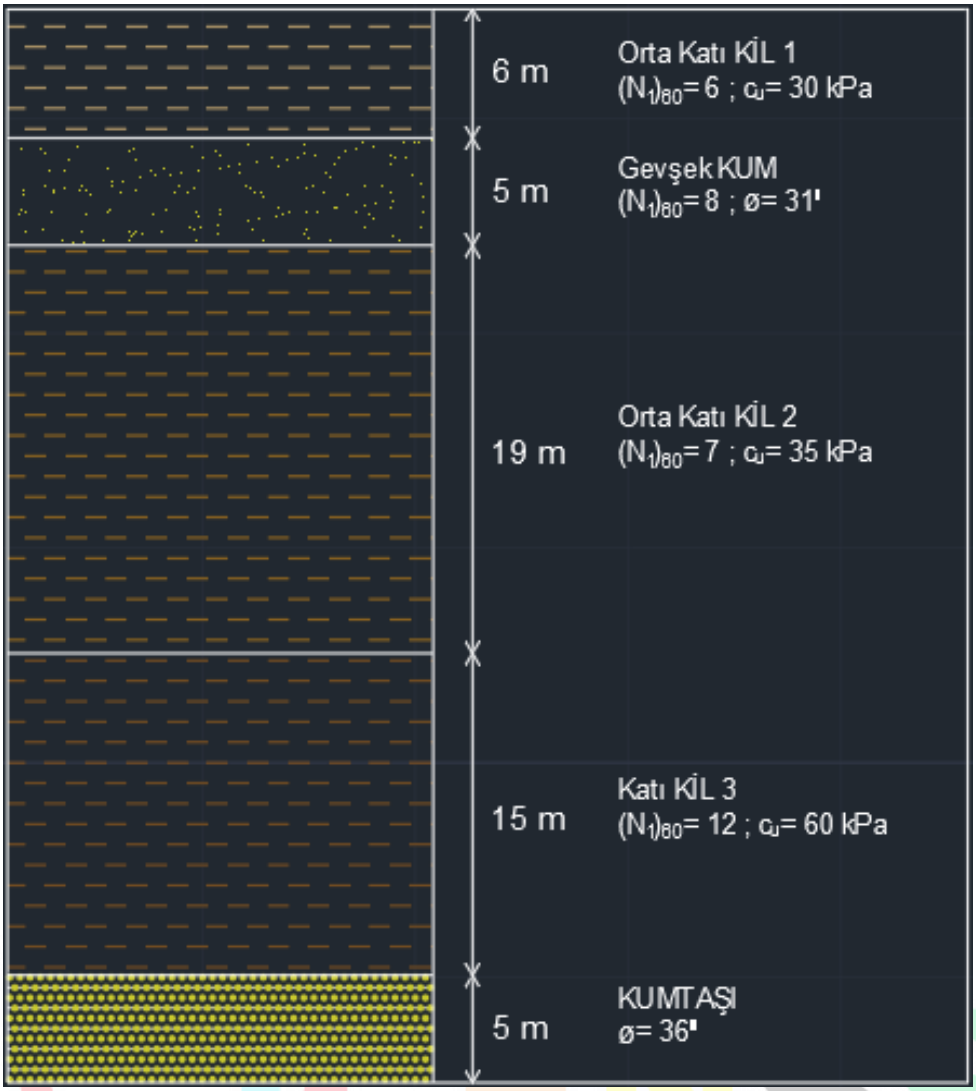


Figure 9 Idealized Soil Profile

The MASW results conducted in the field are presented in Table 2, and the proposed geotechnical parameters based on the data obtained from site and laboratory experiments are shown in Table 3.

Table 4 MASW Results

SİSMİK PROFİL	TABAKA NO	KALINLIK (m)	TABAN (m)	V_P (m/sn)	V_S (m/sn)	V_{S30} (m/sn)	ZEMİN SINIFI
MASW-46	1	2,5	2,5	546	124	158	ZF
	2	6,5	9,0	954	145		
	3	21,0	30,0	1385	165		
MASW-48	1	2,5	2,5	534	111	149	ZF
	2	6,5	9,0	963	144		
	3	21,0	30,0	1324	155		
MASW-49	1	2,5	2,5	615	123	157	ZF
	2	6,5	9,0	977	155		
	3	21,0	30,0	1347	162		
MASW-50	1	2,5	2,5	622	135	167	ZF
	2	6,5	9,0	1004	156		
	3	21,0	30,0	1388	174		
MASW-51	1	2,5	2,5	574	126	159	ZF
	2	4,5	7,0	932	150		
	3	21,0	30,0	1250	164		
MASW-53	1	2,5	2,5	534	136	159	ZF
	2	4,5	7,0	937	153		
	3	23,0	30,0	1245	162		
MASW-54	1	2,5	2,5	522	131	161	ZF
	2	4,5	7,0	867	151		
	3	23,0	30,0	1128	167		
MASW-55	1	2,5	2,5	508	128	163	ZF
	2	4,5	7,0	963	154		
	3	23,0	30,0	1265	169		
MASW-56	1	2,5	2,5	578	134	168	ZF
	2	6,5	9,0	962	156		
	3	21,0	30,0	1402	176		
MASW-57	1	2,5	2,5	590	138	172	ZF
	2	8,5	11,0	1003	161		
	3	19,0	30,0	1315	181		

***Table 5** Recommended Geotechnical Parameters*

Zemin Tipi	γ_n (kN/m³)	Ø'	C' (kPa)	E_{50} (kPa)	kh (m/s)	Cc	Cs	Su (kPa)
Kil-1	16,5	23	1	7 500	$2x10^{-9}$	0,243	0,035	20
Kum-1	18,0	32	1	4 000	$2x10^{-5}$	-	-	-
Kil-2a	17,5	25	5	4 000	$2x10^{-9}$	0,243	0,059	30
Kil-2b	17,5	25	5	4 000	$5x10^{-10}$	0,243	0,059	40
Kil-3	18,0	27	10	20 000	$1x10^{-10}$	0,229	0,033	50-70
Ana Kaya	23,0	35	20	1 000 000	Geçirimsiz	-	-	-

2.3 Selection of Earthquake Records and Spectral Matching

The 11 earthquake records shown in Table 4 were spectrally matched to the horizontal elastic spectrum shown in Figure 3 using the Seismomatch program.

***Table 6** 11 Earthquake Records Taken From PEER Database*

Earthquake Name	RSN No	Station Name	Magnitude	Mechanism	Rjb (km)	Rrup	Vs30 (m/sec)	H1	H2
Morgan Hill, 1984	452	Foster City - APEEL 1	6,19	strike slip	53,89	53,89	116	MORGAN_A01040	MORGAN_A01310
Superstition Hills-02, 1987	729	Imperial Valley Wildlife Liquefaction Array	6,54	strike slip	23,85	23,85	179	SUPER.B_B-IVW090	SUPER.B_B-IVW360
Chi-Chi_Taiwan-04, 1999	2715	CHY047	6,20	strike slip	38,59	38,62	170	CHICHI.04_CHY047N	CHICHI.04_CHY047W
Chi-Chi_Taiwan-04, 1999	2718	CHY054	6,20	strike slip	61,1	61,12	172	CHICHI.04_CHY054N	CHICHI.04_CHY054E
Chi-Chi_Taiwan-04, 1999	2755	CHY107	6,20	strike slip	63,37	63,38	176	CHICHI.04_CHY107N	CHICHI.04_CHY107W
Tottori_Japan, 2000	3934	SMN002	6,61	strike slip	16,6	16,61	139	TOTTORI_SMN002NS	TOTTORI_SMN002EW
El Mayor-Cucapah_Mexico, 2010	5989	El Centro Array #3	7,23	strike slip	40,96	41,29	163	SIERRA.MEX_E03360	SIERRA.MEX_E03270
Tottori, Japan, 2000	6378	TKS001	6,61	strike slip	147,51	147,51	164	TOTTORI.1_TKS001NS	TOTTORI.1_TKS001EW
Tottori_Japan, 2000	6410	YMG001	6,61	strike slip	174,54	174,55	173	TOTTORI.1_YMG001NS	TOTTORI.1_YMG001EW
Tottori_Japan, 2000	6426	YMG017	6,61	strike slip	179,2	179,2	134	TOTTORI.1_YMG017NS	TOTTORI.1_YMG017EW
Darfield_New Zealand, 2010	6959	Christchurch Resthaven	7,00	strike slip	19,48	19,48	414	DARFIELD_REHSN02E	DARFIELD_REHSS88E

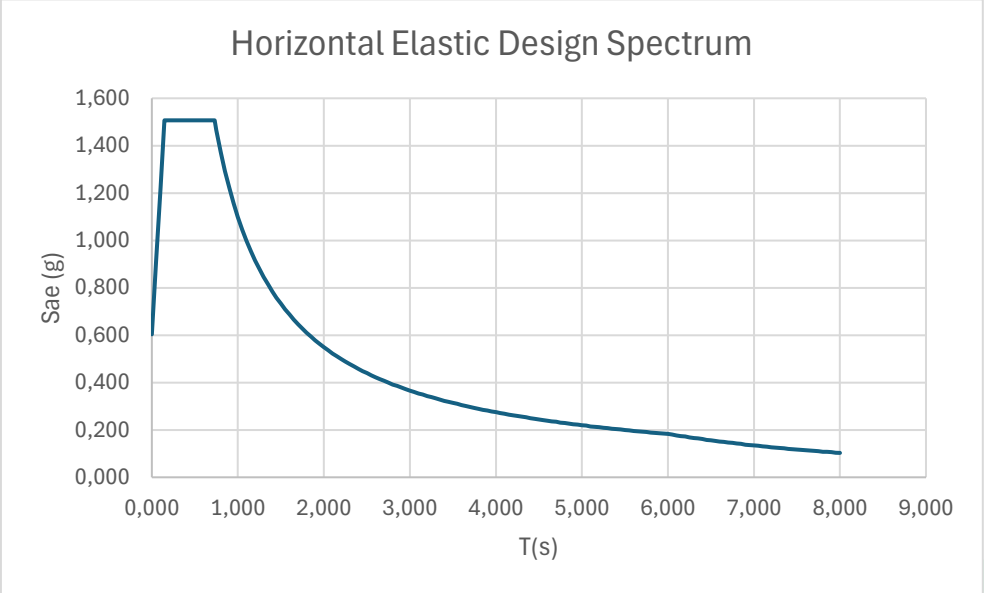


***Figure 10** Horizontal Elastic Design Spectrum*

The earthquake records matched to the horizontal elastic design spectrum using the Seismomatch program are shown in Figure 4.

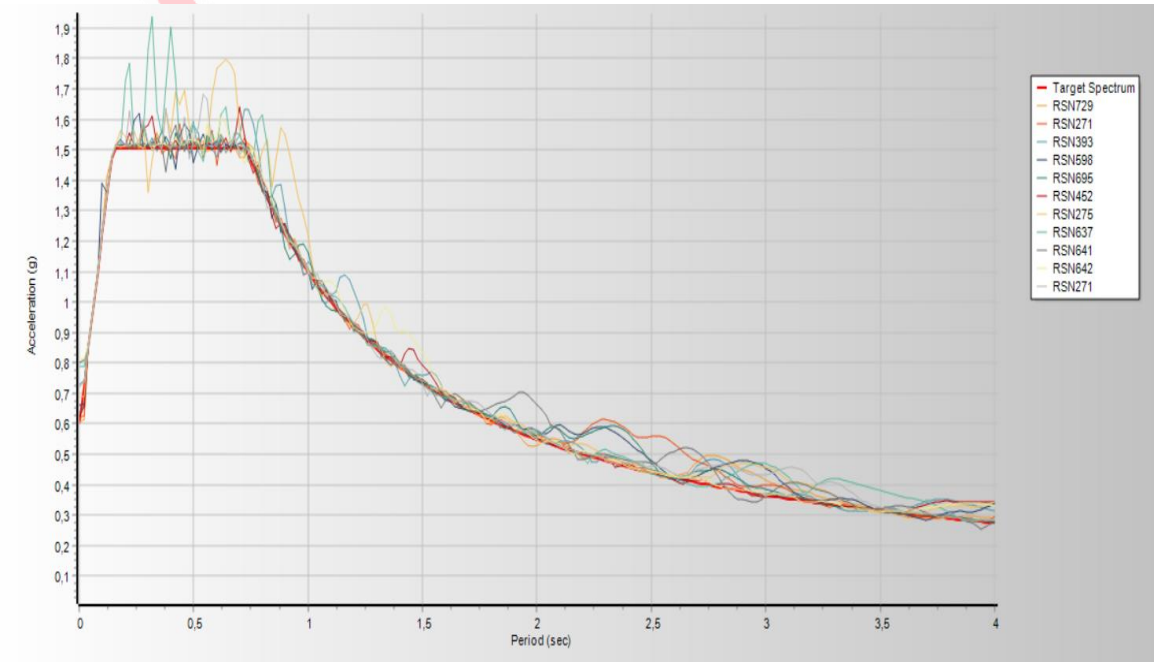


Figure 11 Matched Accelograms

3. ANALYSIS

3.1 Liquefaction Analysis

The method proposed for calculating the liquefaction resistance using the results of the SPT tests is provided in TBDY 2018-16B.3. In the analyses conducted in accordance with the Turkish Building Earthquake Code, the safety factors against liquefaction are specified as Fs > 1.1. The calculations and their results are shown in Table 5.

Table 7 Liquefaction Analysis

S_{DS} :	1,507		a_{max} (g) :	0,6		Y (kN/m^3) :	19		M_w :	7,5		C_M :	1,00		FS < 1,1 İSE SIVILAŞMA VAR!
LIQUEFACTION ANALYSIS															
Sondaj No	Yass (m)	Derinlik (m)	Zemin Tipi	σv' (kN/m2)	σv (kN/m2)	FC (%)	$(N_1)_{60}$	α	β	$(N_1)_{60cs}$	r_d	$CRR_{7,5}$	CSR	FS	NOT
SK-1	3,90	7,50	KUM	106,5	142,5	20	4	3,615	1,079	7	0,943	0,088	0,492	0,18	SIVILAŞMA VAR
SK-1	3,90	9,00	KUM	120	171	20	14	3,615	1,079	18	0,931	0,192	0,517	0,37	SIVILAŞMA VAR
SK-1	3,90	10,50	KUM	133,5	199,5	20	10	3,615	1,079	14	0,894	0,150	0,521	0,29	SIVILAŞMA VAR
SK-1	3,90	12,00	KUM	147	228	20	2	3,615	1,079	5	0,854	0,072	0,516	0,14	SIVILAŞMA VAR
SK-2	3,20	7,50	KUM	99,5	142,5	20	8	3,615	1,079	12	0,943	0,131	0,526	0,25	SIVILAŞMA VAR
SK-2	3,20	9,00	KUM	113	171	20	7	3,615	1,079	11	0,931	0,122	0,550	0,22	SIVILAŞMA VAR
SK-2	3,20	10,50	KUM	126,5	199,5	20	8	3,615	1,079	12	0,894	0,131	0,550	0,24	SIVILAŞMA VAR
SK-2	3,20	12,00	KUM	140	228	20	5	3,615	1,079	9	0,854	0,104	0,542	0,19	SIVILAŞMA VAR
SK-3	3,20	7,50	KUM	99,5	142,5	20	10	3,615	1,079	14	0,943	0,150	0,526	0,29	SIVILAŞMA VAR
SK-3	3,20	9,00	KUM	113	171	20	10	3,615	1,079	14	0,931	0,150	0,550	0,27	SIVILAŞMA VAR

3.2 Deepsoil Site Response Analysis

To determine the deformations occurring in the soil profile under the effects of liquefaction, 1-dimensional nonlinear site response analyses were performed using Deepsoil v7 software. The nonlinear soil behavior was defined using the stress-based hyperbolic Modified Kondner-Zelasko (MKZ) backbone model with a non-Masing hysteretic unload/reload formulation. The shear modulus reduction curves and damping ratio curves for each layer were generated using the Darendeli (2001) model. The values obtained from the Darendeli model were matched to create the MKZ model parameters using the curve fitting (MRDF) function defined within Deepsoil.

For the generation and dissipation of pore water pressure, the Vucetic and Dobry (1986) model was used for the liquefiable sand layer, and the Matasovic and Vucetic (1992) pore water pressure model was used for the clay layer.

***Table 8** Soil Layers 1D Model Parameters*

Tabaka Adı	OCR [%]	K0 [-]	PI [%]	Freq [Hz]	N [-]
Kil-1	3	0.609	40	1	15
Kum-1	1	0.47	0	1	15
Kil-2a	1	0.577	45	1	15
Kil-2b	1	0.577	45	1	15
Kil-3	1	0.546	45	1	15

***Table 9** Vucetic&Dobry Model Input Parameters*

Max. Ru	Cv [m2/sec]	Cv Exponent	f [-]	p [-]	F [-]	s [-]	γ [-]	v [-]
0.99	0.025313	0	1	1	1.25	1	0.02	3

Table 10 *Matasovic&Vucetic Model Input Parameters*

Tabaka Adı	Max. Ru	Cv [m2/sec]	Exponent [-]	s [-]	r [-]	A [-]	B [-]	C [-]	D [-]	γ [-]
Kil-1	0.99	1.17E-07	0	0.054	0.521	11.990	-23.446	12.827	-1.354	0.040
Kil-2a	0.99	3.80E-07	0	0.077	0.515	7.645	-14.714	6.380	0.692	0.040
Kil-2b	0.99	3.80E-07	0	0.077	0.515	7.645	-14.714	6.380	0.692	0.040
Kil-3	0.99	1.76E-07	0	0.077	0.515	7.645	-14.714	6.380	0.692	0.060

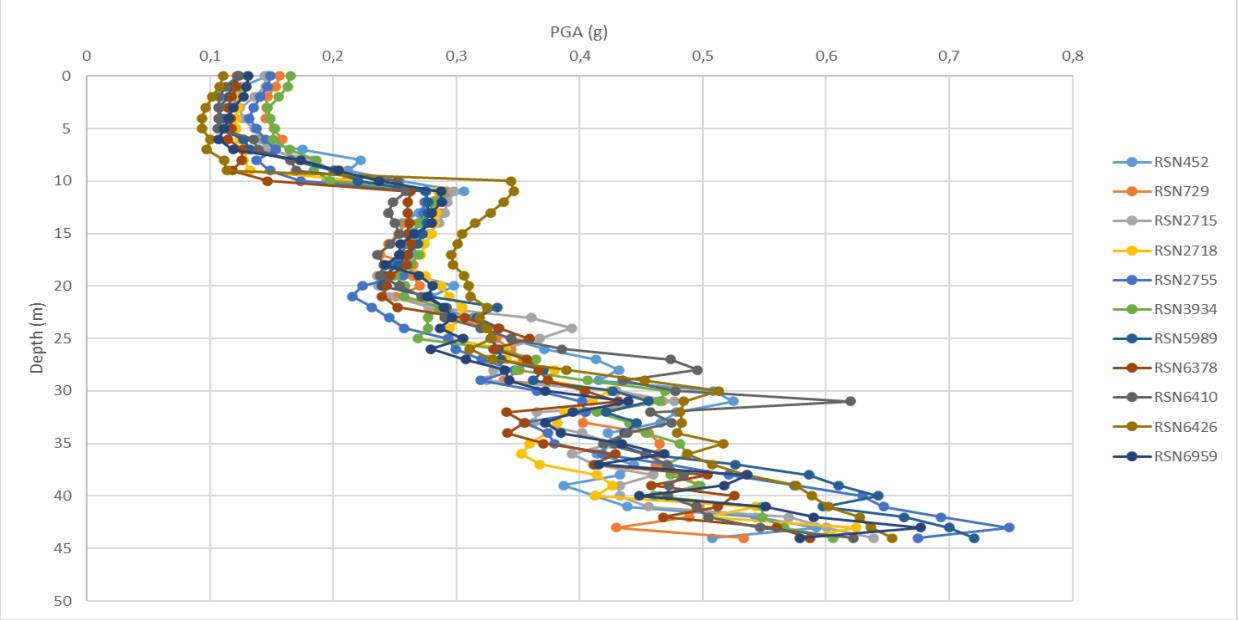


Figure 12 *Peak Ground Acceleration Values Depending on Depth*

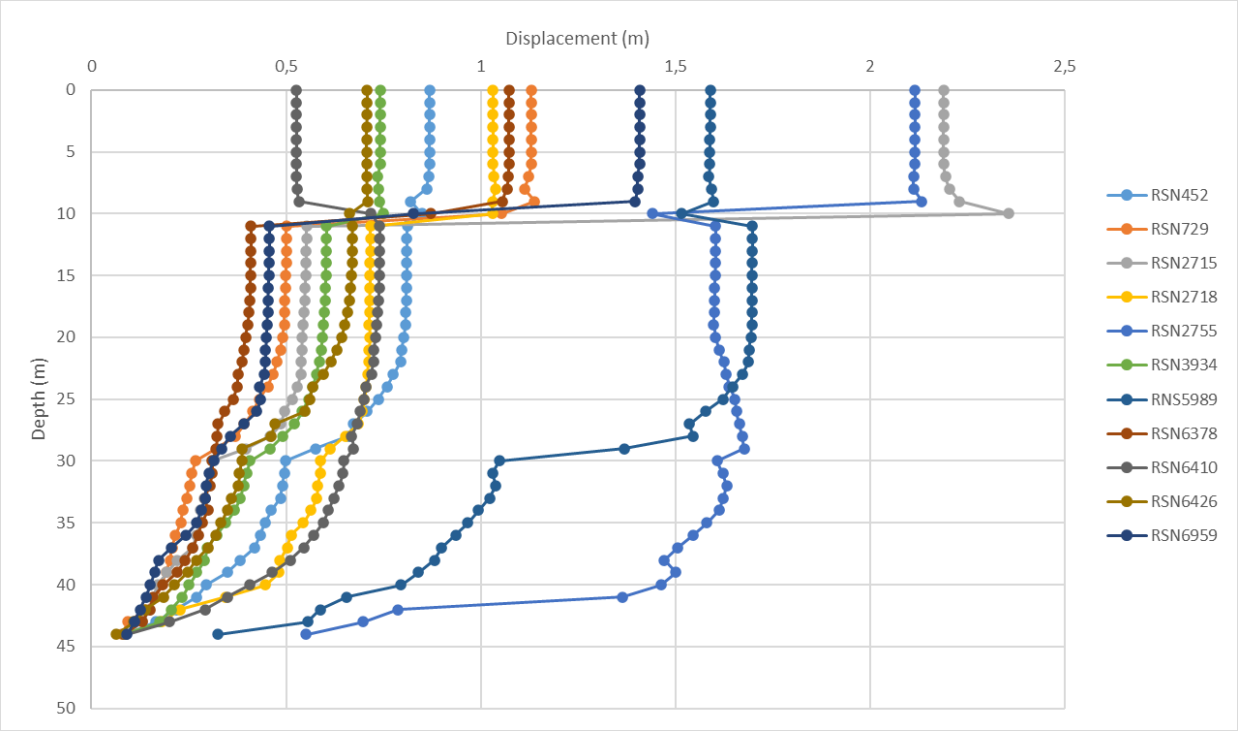


Figure 13 *Displacement Values Depending on Depth*

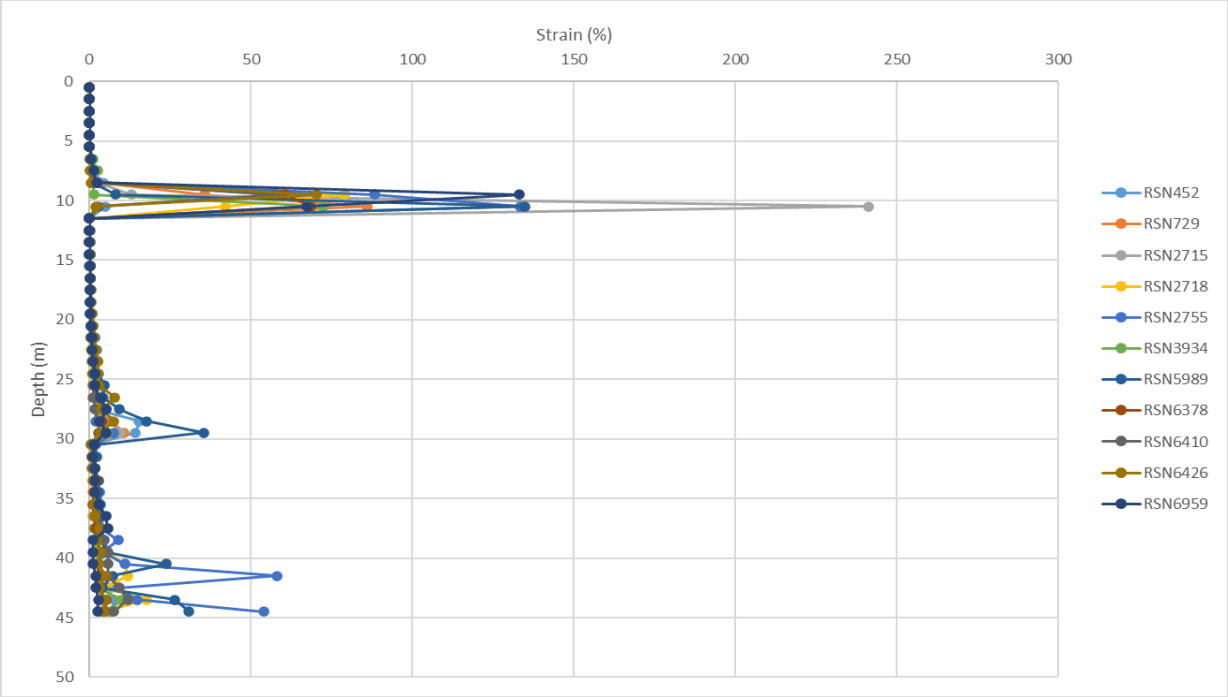


Figure 14 *Strain (%) Values Depending on Depth*

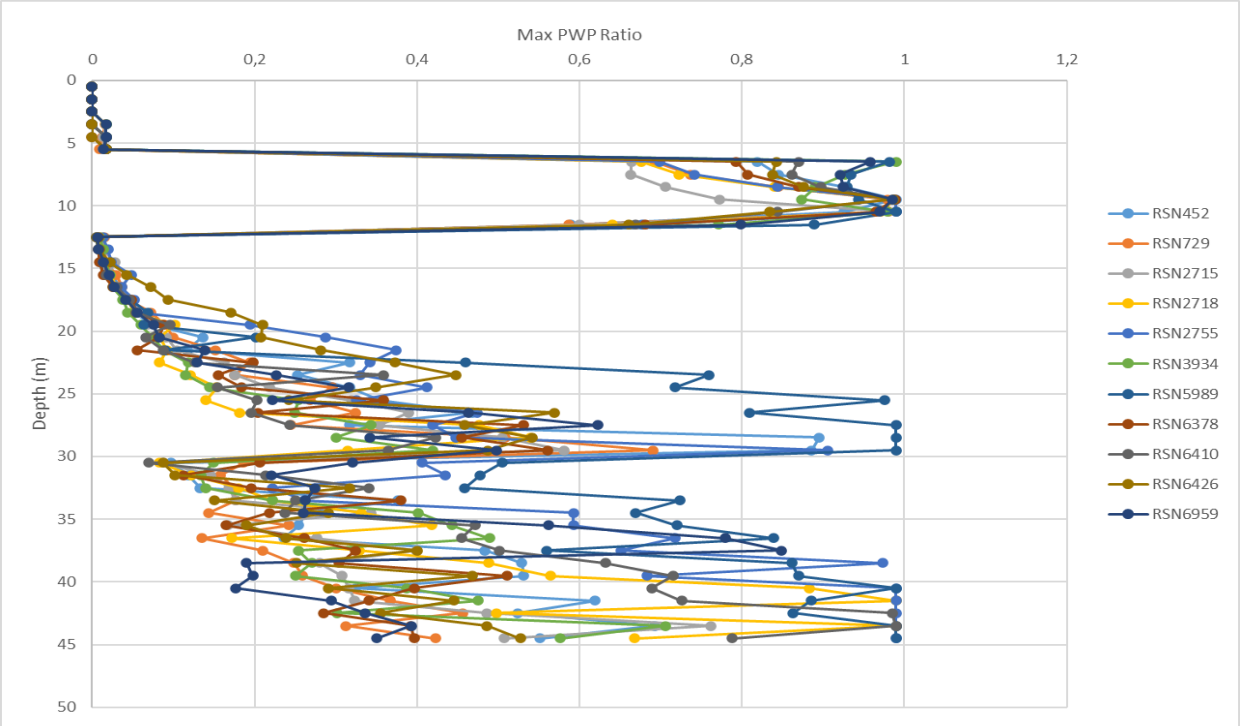


Figure 15 *Max Pore Water Pressure Ratio Depending on Depth*

Considering Figure 8, if we take into account the first 20 meters where the liquefaction risk is evaluated according to the TBDY 2018, the maximum pore water pressure ratio has reached its highest values in the sand layer and has almost approached 1.

3.3 Plaxis2D Kinematic Interaction Analysis

Kinematic interaction is the initial interaction in the subsystem solution. This interaction focuses on the interaction between the soil and the piles. After determining the relevant soil model and obtaining the earthquake records for the relevant area, soil response analyses for the respective soil are carried out. This allows for determining the changes in the

soil due to the earthquake forces and the displacements, moments, and shear forces in the piles caused by these dynamic effects. To prevent these effects from impacting the foundation and structure, foundations and basement floors are modeled as rigid and massless in solutions using this method. The kinematic interaction, which allows the piles to initially encounter the earthquake forces and obtain the first results, is extremely important for examining the behavior of the piles.

In this study, analyses were performed on two different models using Method 1 with the Plaxis2D software. The figures below show the moment and displacement values in the piles as a result of the analysis.

3.3.1 Model 1

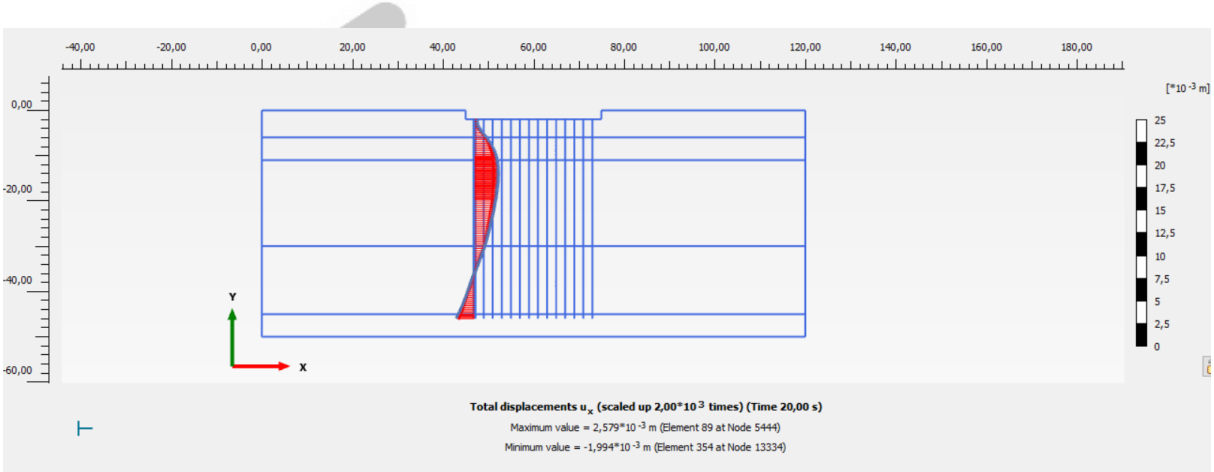


Figure 16 *Displacement in the x direction at the pile 1*

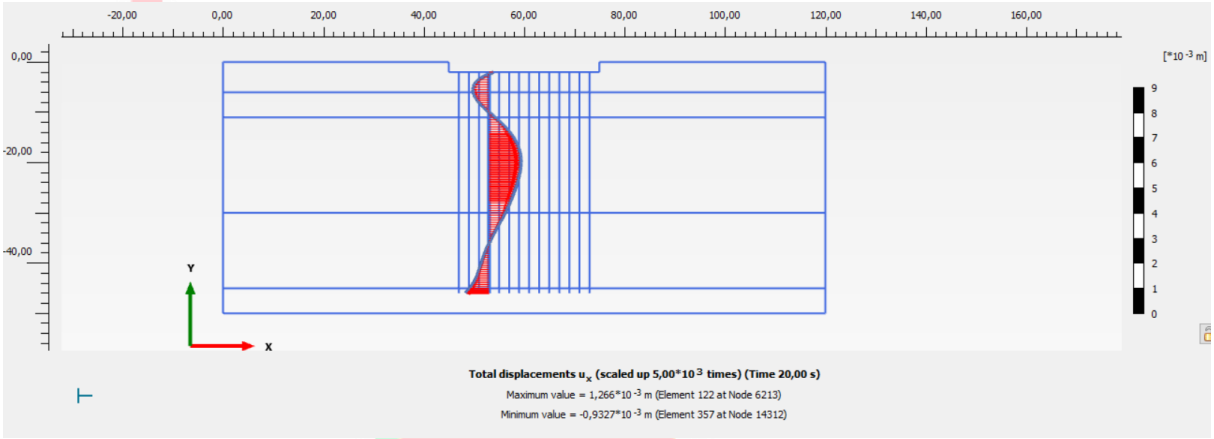


Figure 17 *Displacement in the x direction at the pile 4*

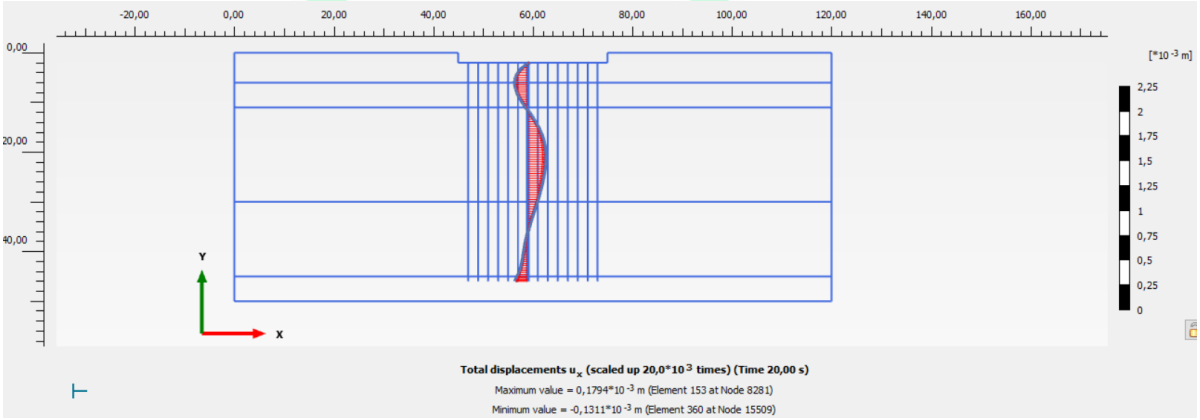


Figure 18 *Displacement in the x direction at the pile 7*

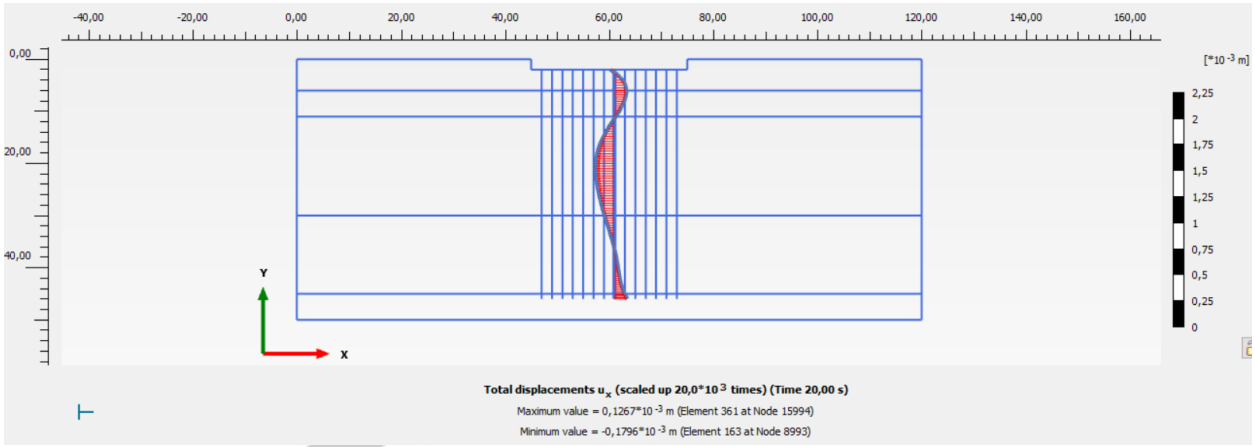


Figure 19 *Displacement in the x direction at the pile 8*

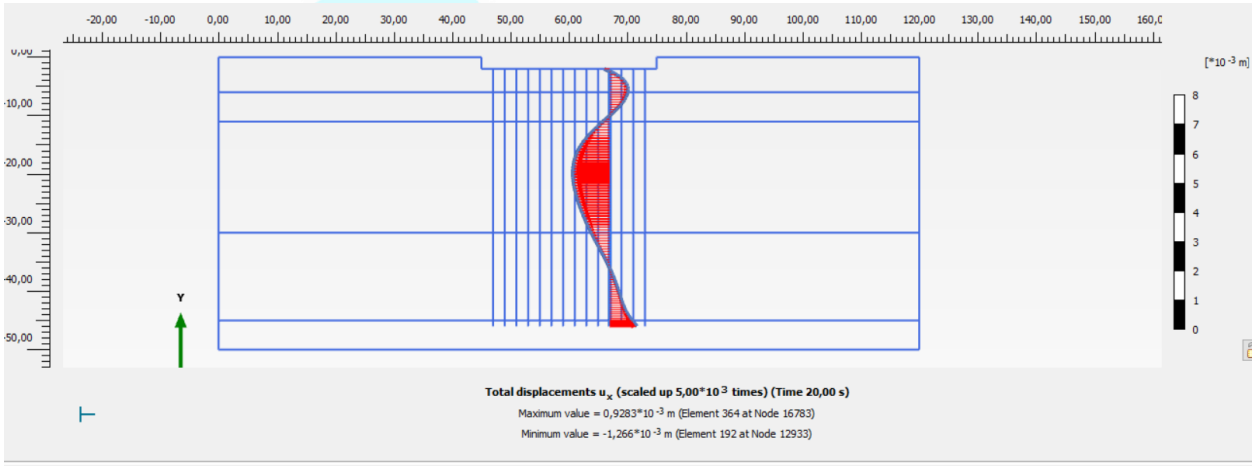


Figure 20 *Displacement in the x direction at the pile 11*

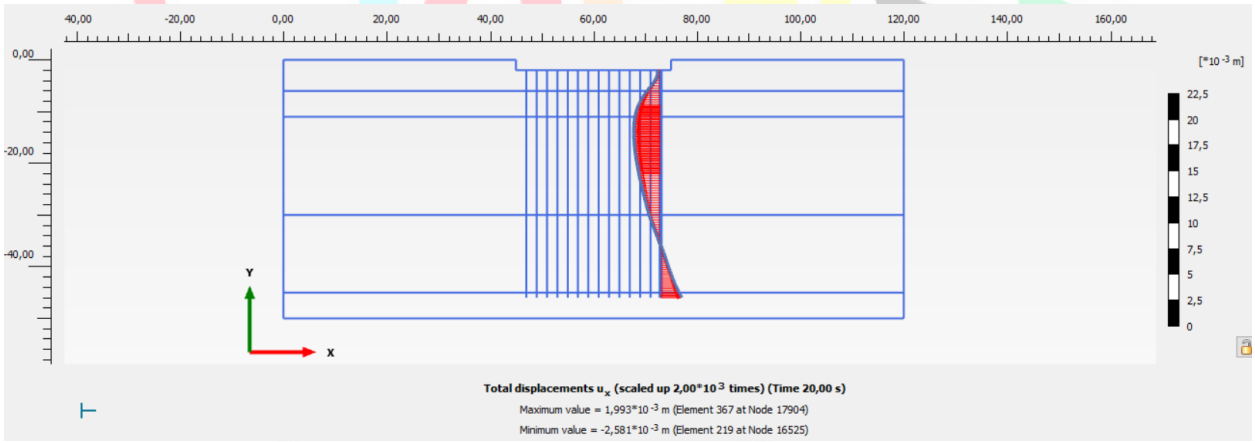


Figure 21 *Displacement in the x direction at the pile 14*

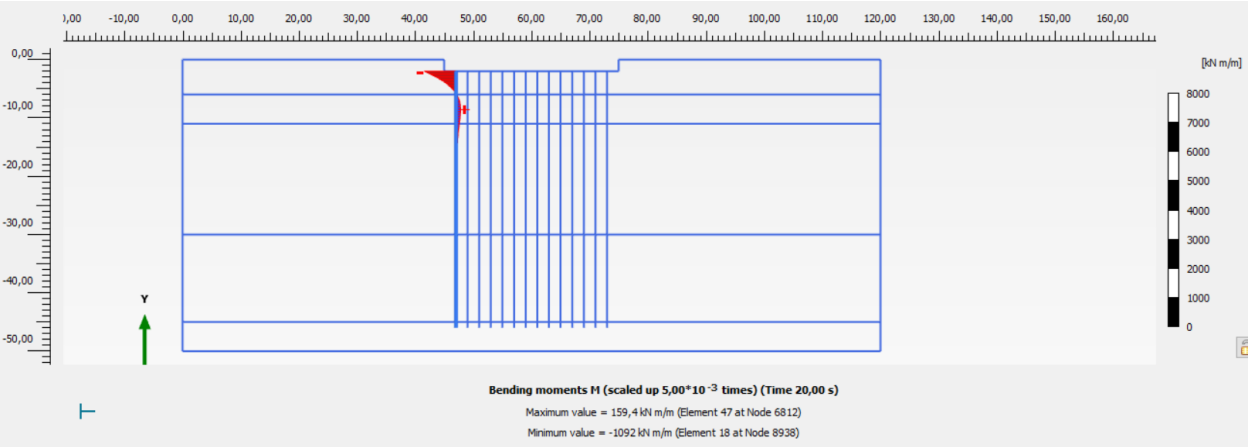


Figure 22 Bending moment at the pile 1

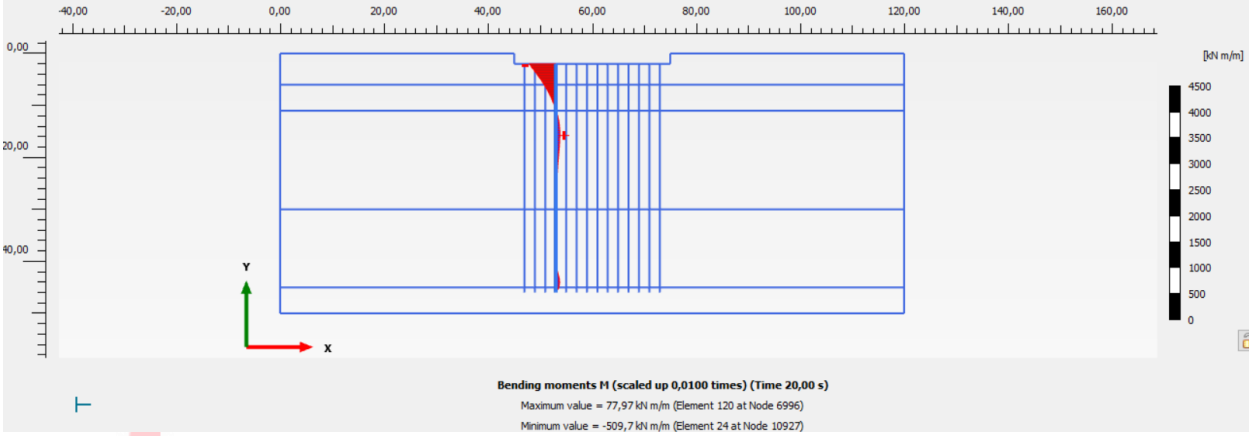


Figure 23 Bending moment at the pile 4

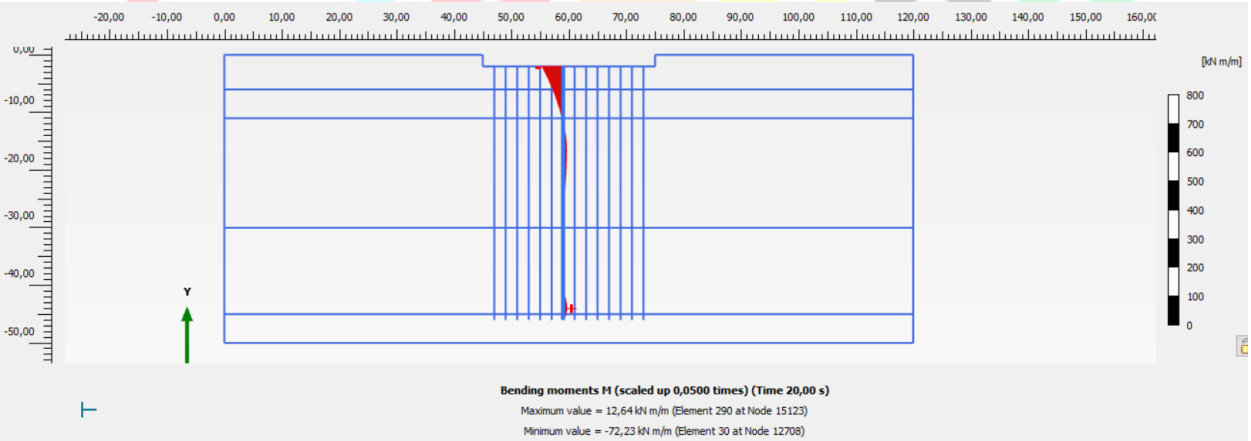


Figure 24 Bending moment at the pile 7

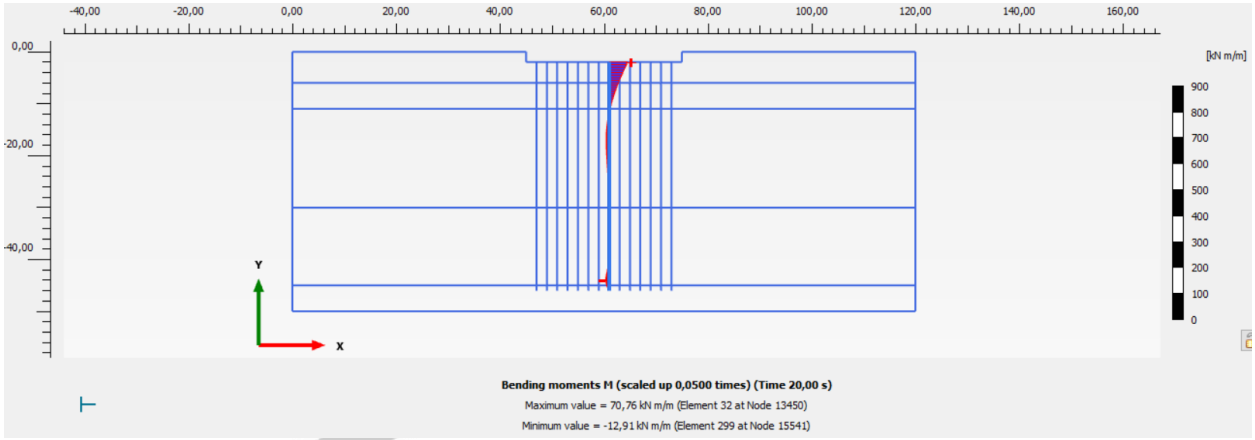


Figure 25 Bending moment at the pile 8

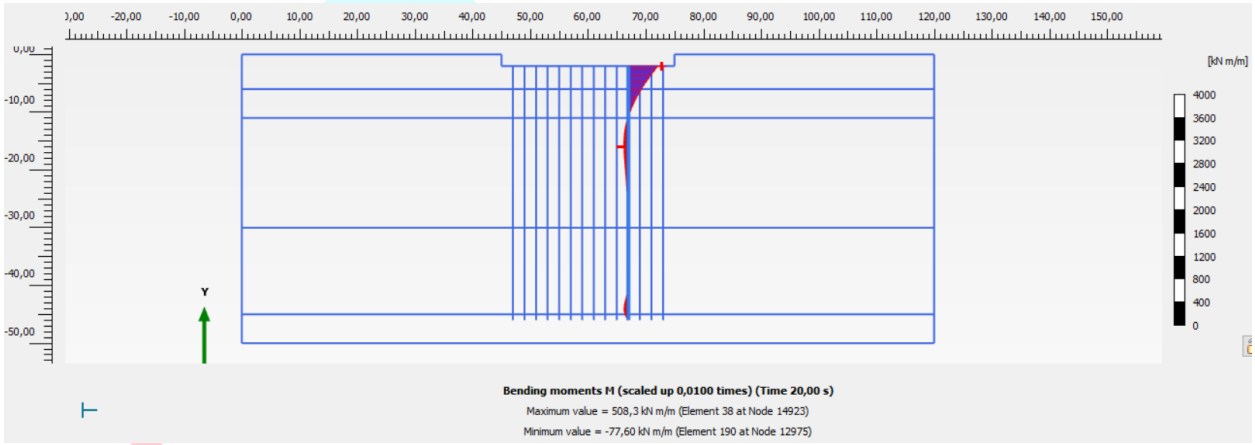


Figure 26 Bending moment at the pile 11

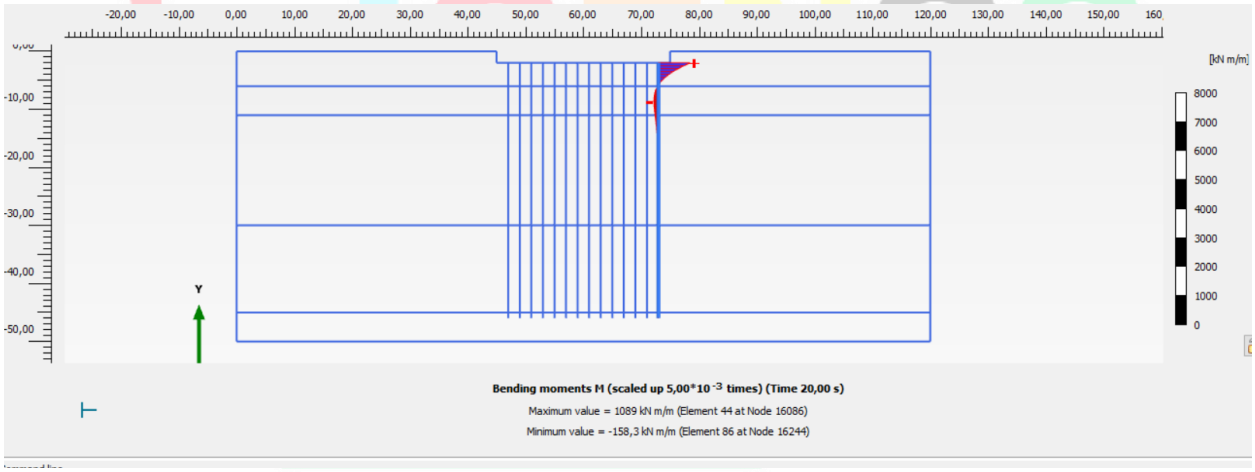


Figure 27 Bending moment at the pile 14

3.3.2 Model 2

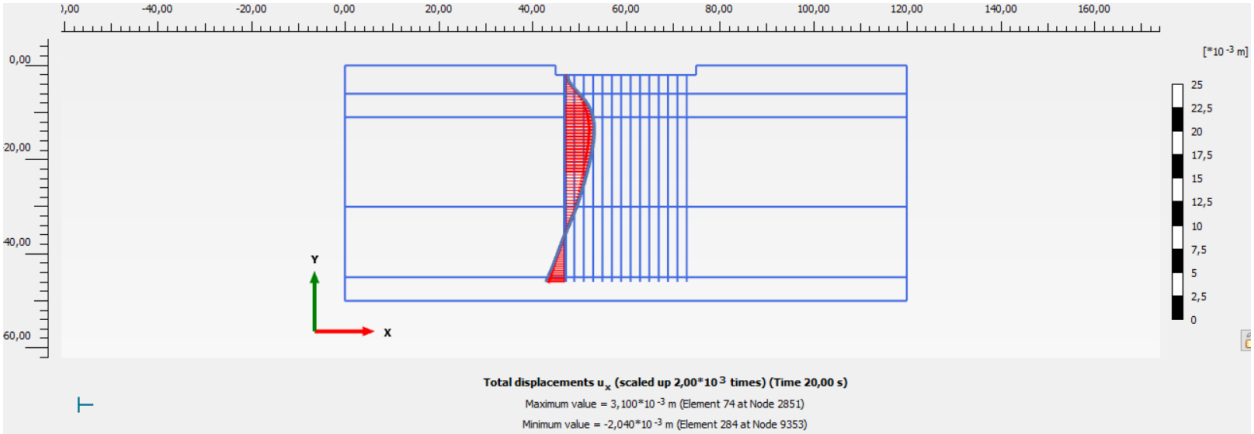


Figure 28 *Displacement in the x direction at the pile 1*

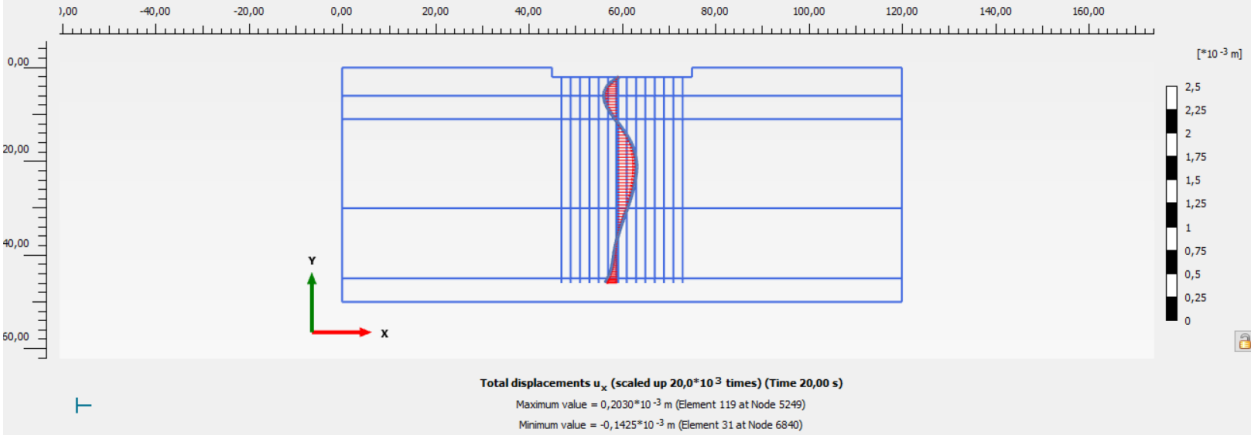


Figure 29 *Displacement in the x direction at the pile 7*

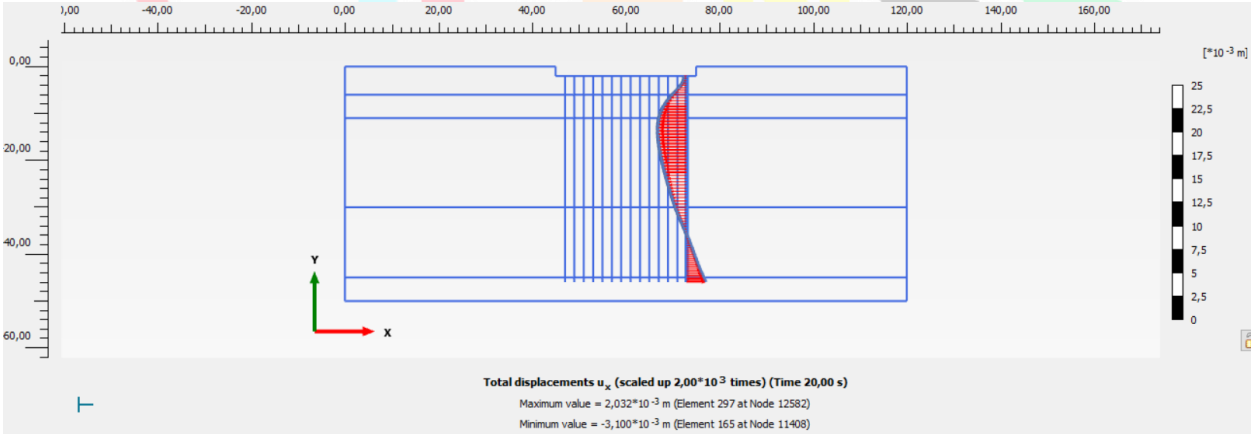


Figure 30 *Displacement in the x direction at the pile 14*

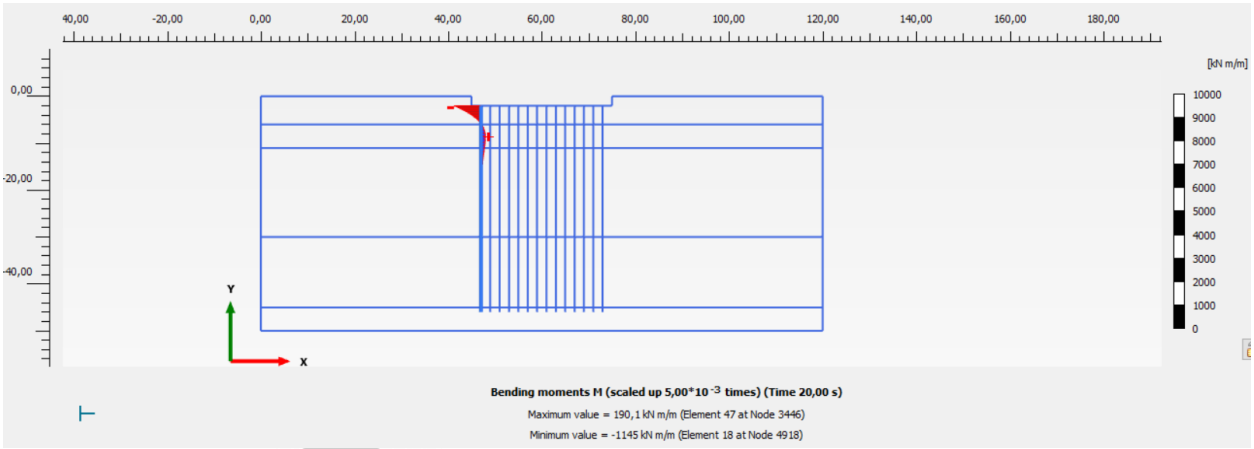


Figure 31 Bending moment at the pile 1

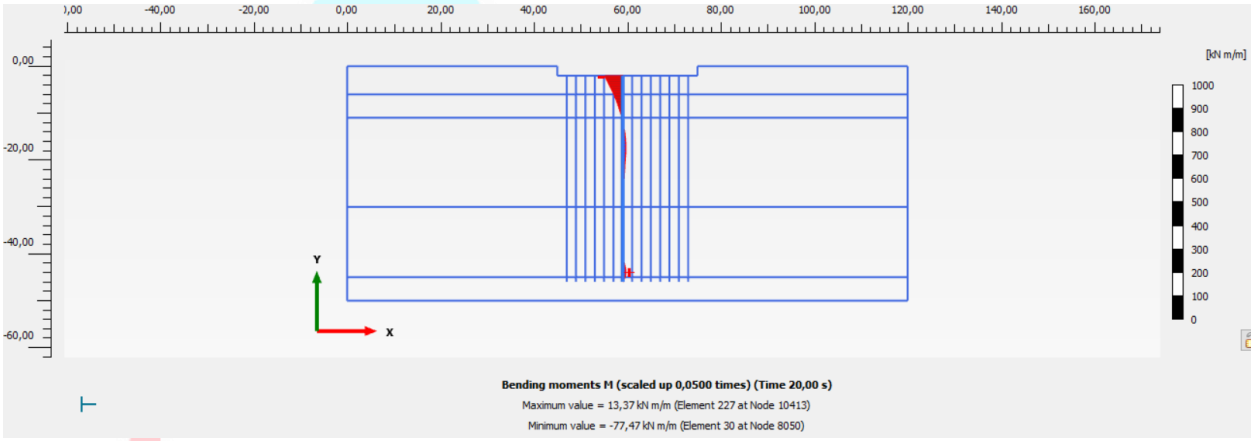


Figure 32 Bending moment at the pile 7

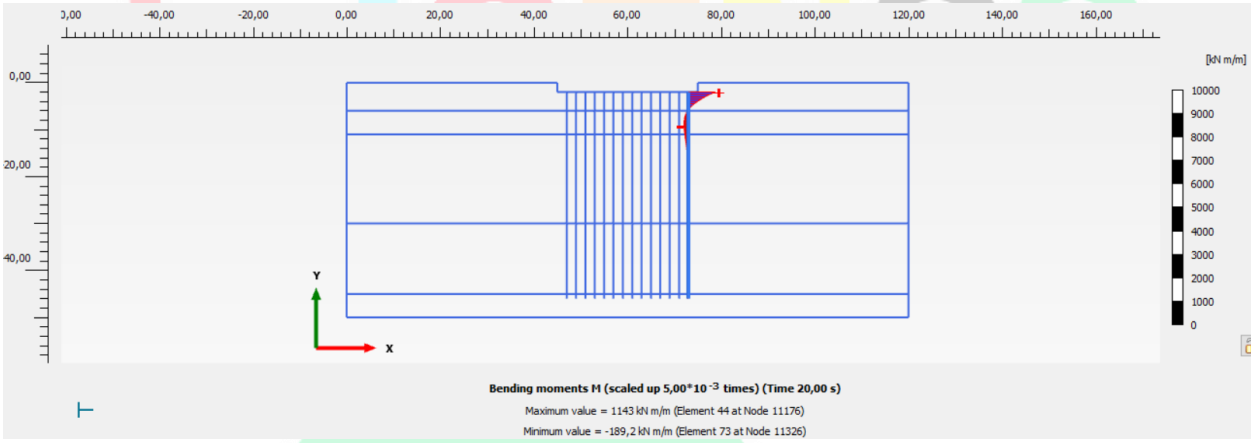


Figure 33 Bending moment at the pile 14

4. CONCLUSIONS

In the analyses, various programs were used, and it was shown how to perform the analysis for 11 pairs of earthquake records. However, to shorten the analysis time and minimize the problem, one earthquake record was selected and applied to the model. In the analyses, elastic design spectra were first obtained from the Turkey Earthquake Hazard Maps according to the earthquake level and soil class to be used in the relevant location. The obtained horizontal elastic design spectrum was entered into the Peer Ground Motion database, and 11 pairs of earthquake records suitable for the relevant site were selected. The selected 11 pairs of earthquake records were scaled according to the target spectrum defined by TBDY 2018 using

the Seismomatch program. The scaled earthquake records were then input into the Deepsoil program, where the previously defined soil profile was entered, and nonlinear site response analyses in the time domain were obtained. During the matching of earthquake records to the horizontal design spectrum, distortions occur in the records. To address this, 'baseline correction' was performed. TBDY-2018 does not mention these issues; it only states that the acceleration values should not be below the horizontal design spectrum.

Two models were created in the analyses. In Model 1, the water level is above the loose sand layer, while in Model 2, it is below the loose sand layer. Results obtained from the kinematic interaction analyses are as follows:

- Maximum displacement and moment values have occurred at the exterior piles in both models.
- In Model 2, displacement and moment values are observed to be higher compared to Model 1.
- Maximum moments in both models were observed at the pile-foundation connection point.

ISBN: 978-625-372-170-1

REFERENCES

ALVER, O., SEZEN, A., & ESELLER-BAYAT, E. E. (2021). TBDY 2018'e Göre Geoteknik Tasarım: Sıvılaşma ve Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi Analizleri. Teknik Dergi, 32(5), 11197-11226.

Deniz, K., (2019). Yüksek katlı yapılarda yapı-kazık-zemin dinamik etkileşiminin iki boyutlu olarak incelenmesi (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Ilhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. (2020). "DEEPSOIL 7, User Manual". Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.

TAŞTAN, H., & ÖZGÜR, M. (2023). Çok Katlı Betonarme Bir Binanın Altsistem Yaklaşımı İle Analizi. Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, 9(1), 167-182.

TBDY (2018). Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. Ankara, Türkiye

Ufuk, Ö., (2023). Deprem etkisi altındaki yumuşak kil zeminlerde yapı-kazık-zemin etkileşimi hesaplarının TBDY 2018 - Yöntem 2 ve Yöntem 3 kullanılarak parametrik analizi (Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)

Yu, Hao, et al. "Comparison of 1-D seismic site response analysis tools for layered liquefiable deposits." Geo-Congress 2020. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2020.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING and NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Investigation of The Behavior of Fixed Offshore Structure Under Earthquake Loads

Melis AKFIRAT[1]
Asuman Işıl ÇARHOĞLU[2]

Abstract

Offshore structures are very important in terms of producing natural gas and oil. Offshore structures are often designed as a steel space truss. Unlike truss-type structures built on land, offshore structures are subject to hydrodynamic loads. Offshore structures can be built in fixed and moving. In recent years, offshore structures with different features which is increasingly used all over the world can be subjected to external loads such as wave load, earthquake load, wind load. One of the most important points to be considered for the long-term use and protection of these structures is external loads. Earthquakes such as 17 Agustos 1999 Kocaeli, 23 Ekim 2011 Van, 30 Ekim 2020 İzmir, 6 Subat 2023 Kahramanmaras earthquakes caused quite a lot of damage, loss of life and property. For this reason, it is of great importance to determine the behaviors that the structures can show in the earthquake effect. For this purpose, an offshore structure of the jacket type was designed and modeled as three dimension by using ANSYS finite element program. The behavior of the structure under the effect of different earthquakes were determined by performing dynamic analyzes. As a result of the analyzes carried out, the values of displacement and stress obtained were examined.

Keywords: Offshore Structures, Dynamic Analysis, Earthquake Load, Jacket Type Platform, Finite Element Method

[1] İnş. Müh., Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, melisak384@gmail.com ORCID: 0000-0002-2577-6978
[2] Dr. Öğr. Üyesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, isilcarhoglu@sdu.edu.tr ORCID:0000-0003-2325-1788

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Dünyada enerjiye olan ihtiyacın giderek artması nedeniyle fosil yakıt rezervleri yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı enerji ihtiyacını karşılamak için karada ve denizde yapılan yapıların inşaası giderek artmaktadır. Kara ve denizde rüzgar enerjisinden yararlanmak oldukça önemlidir. Bununla birlikte, dalgalardan da enerji kaynağı olarak yararlanmak oldukça büyük önem taşımaktadır. Açık deniz yapıları sismik aktivitelerin etkin olduğu bölgelere inşa edilebilmektedir. Bu nedenle, bu yapıların deprem etkisindeki davranışlarının belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır. Günümüze kadar meydana gelen birçok depremde yapılar hasar görmüş, yıkılmış, can ve mal kayıpları meydana gelmiştir. Depreme dayanıklı yapılar inşa edebilmek için yapıların depremde göstereceği davranışın belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır.

Deniz yapıları deniz tabanına sabitlenmiş veya yüzer olarak inşa edilmektedir. Yüzer yapılar her derinlikte inşa edilebilmeleri nedeniyle kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yapılar alt yapısındaki pontonlar sayesinde yüzebilmektedir (Gücüyen ve Erdem,2019). Kara ve denizdeki enerji üreten yapılar uzay kafes sistem şeklinde tasarlanabilmektedir. Kafes sistem tipi yapılar her derinlikte inşa edilebilmekte, kazık tipi yapılar derin sularda inşa edilebilmektedir. Deniz yapıları deprem kuvvetleri, rüzgâr kuvvetleri ve dalga kuvvetlerinin etkisi altındadır. Rüzgâr hızının artmasıyla dalga kuvvetleri artmakta, dalga kuvvetlerinin artmasıyla yapıda oluşan etkiler artmaktadır. Dalga kuvvetleri deniz yapılarında oldukça etkili kuvvetler olup kaldırma, sürükleme ve atalet kuvvetleri olarak etki etmektedir (Ergin, 2015).

Açık deniz yapıları; yarı dalgıç yapılar, sondaj gemileri, dalgıç yapıları, yükselen platformlar olarak gruplandırılmaktadır. Sondaj gemileri yapım maliyeti ve demirleme açısından avantajlı olup dalga yüklerine maruz kalma durumlarında hareket edebilme etkisine sahiptir. Yarı dalgıç yapılar; beşgen, üçgen ve kare platforma ve güverteye sahip olup güverte büyük hacimli ayaklara bağlı olan kolonlara oturtulmuş yapılardır. Yarı dalgıç yapılar hareket kabiliyeti yüksek olan yapılar olup çalışma alanları oldukça geniştir. Dalgıç yapıları hareket edebilme kabiliyetleri yüksek olan yapılardır. Yükselen platformlar ise ayak ve güverte bölümünden oluşan hareket edebilen sondaj çalışmalarının yapıldığı yapılardır. Açık deniz platformları, ceket tip platformlar, gergi ayaklı platformlar, yerçekimi tip platformlar ve kriko tip platformlar olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Ceket tip platformlar; suyun derinliklerinde sabitlenen yapılar olup çelik kafes sistem üzerinde güverte sistemi yer almaktadır (Yaylacı, 2007).

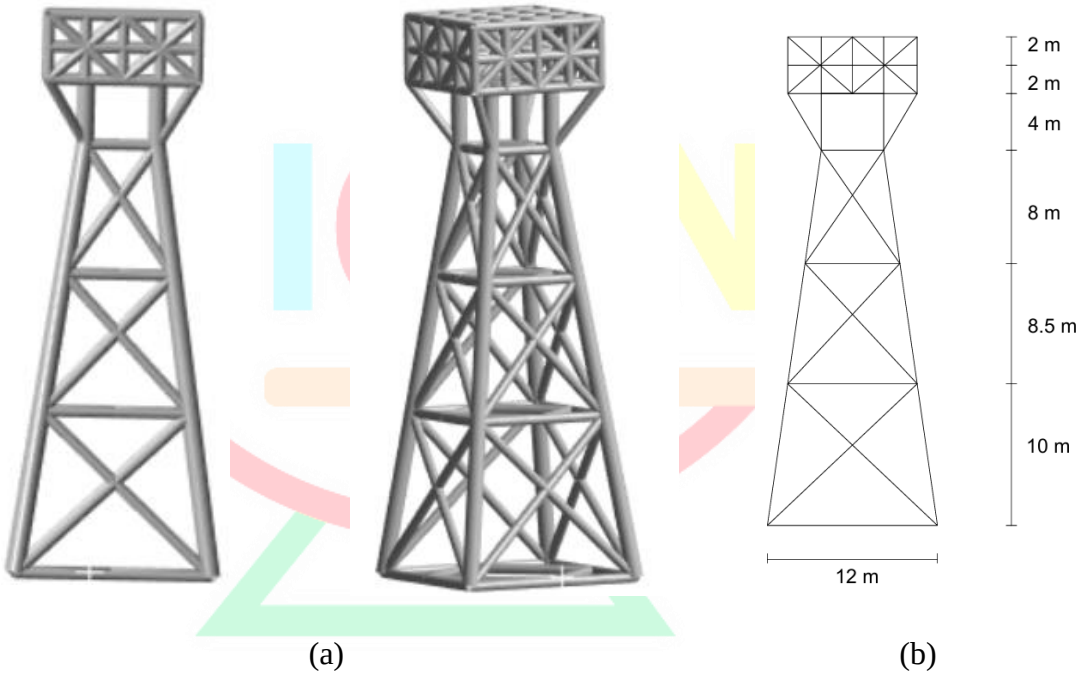
Açık deniz yapıları ile ilgili olarak yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Yang vd. (2019), farklı depremler göz önünde bulundurarak deniz yapısının sismik etkiler altındaki davranışını inceleyerek göçme olasılığını belirlemişlerdir. Zhao vd. (2021), Bir deniz platform yapısının zaman tanım alanı yöntemini kullanarak deprem analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Farklı özelliklere sahip depremlerin kullanıldığı analiz sonuçlarında elde edilen değerleri incelemişlerdir. Ajamy vd. (2018). Mevcut bir deniz yapısının zamana bağlı ivme kayıtlarını göz önünde bulundurarak farklı depremler etkisinde yapının dinamik analizlerini gerçekleştirerek kırılganlık analizleri yapmışlardır. Yapının göçme olasılıklarını belirlemişlerdir. Yang (2017), Bir açık deniz yapısı ele alarak dinamik analizler yapmışlardır. Analizlerde; etkin yer ivmesi değerlerini 0.0093g ve 0.4310g arasında seçerek dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Göçme, mukavemet ve düktilite açısından incelemeler yaparak karşılaştırma yapmışlardır. Göçme olasılıklarını belirlemişlerdir. Xu vd. (2023); Deniz yapısının davranışını deprem ve dalga etkilerini göz önünde bulundurarak incelemişlerdir.

Bu çalışmada, bir açık deniz yapısı tasarlanarak yapının deprem etkisinde göstereceği davranışı belirlemek açısından zamana bağlı ivme değerleri yapıya uygulanarak zaman tanım alanında analiz yöntemi uygulanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye aktif fay kuşağı üzerinde bulunmakta olup günümüze kadar birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden bazıları 17 Ağustos 1999 Kocaeli, 23 Ekim 2011 Van, 30 Ekim 2020 İzmir, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleridir. 6 Şubat 2023'de Türkiye saati ile 04:17'de 7.7 büyüklüğünde yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremin ardından 6 şubat 2023'de saat 13:24'de 7.6 büyüklüğünde ikinci deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerde Kahramanmaraş ilinde yıkıcı etkiler oluşurken Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kilis, Malatya, Osmaniye ve Şanlıurfa illerinde de yıkımlar, hasarlar meydana gelerek can ve mal kayıpları oluşmuştur (AFAD).

Depremlerde meydana gelen hasarları yıkımları engelleyebilmek için depreme dayanıklı yapılar inşa etme oldukça önem taşımaktadır. Açık deniz yapıları sismik etkilerin aktif olduğu bölgelerde de inşa edilebildiği için bu yapılarında depreme karşı dayanımlarının belirlenmesi oluşabilecek hasarları engellemek açısından önemlidir. Bu çalışmada, 34.5 m yüksekliğindeki ceket tipi açık deniz yapısı ANSYS sonlu elemanlar programı ile üç boyutlu olarak modellenerek yapının deprem etkisinde göstereceği davranış incelenmiştir. Yapının kat yükseklikleri 10m, 8.5m, 8m, 4m ve 4m şeklindedir. Yapıda X şeklinde çaprazlar kullanılmış olup yapı, boru profiller kullanılarak tasarlanmıştır. Şekil 1'de açık deniz yapısının üç boyutlu görünümü mevcuttur.

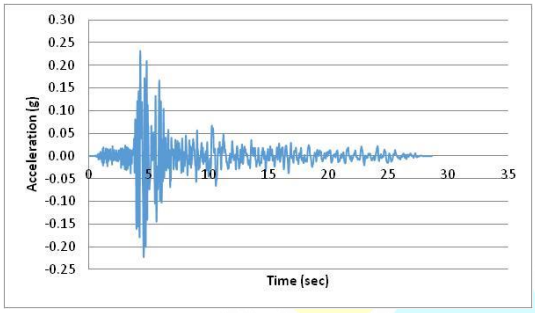


Şekil 1. (a) Deniz yapısının üç boyutlu görünümü (b) yapının boyutları

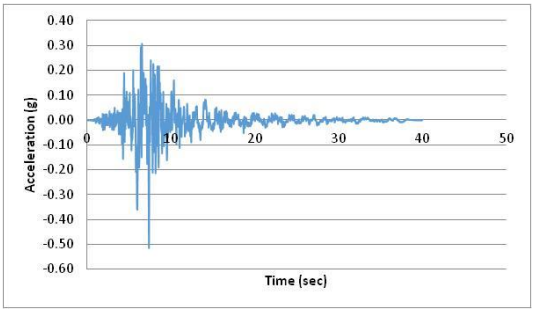
Tasarlanan yapı modeline farklı özelliklere sahip dört depremin zamana bağlı ivme değerleri uygulanarak platformun deprem yükü altındaki davranışı, zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Tablo 2' de platforma uygulanan depremlerin özellikleri yer almaktadır. Şekil 2'de analizlerde kullanılan depremlere ait ivme zaman grafikleri mevcuttur.

Tablo 2. Yapıya uygulanan depremlerin özellikleri (PEER-NGA)

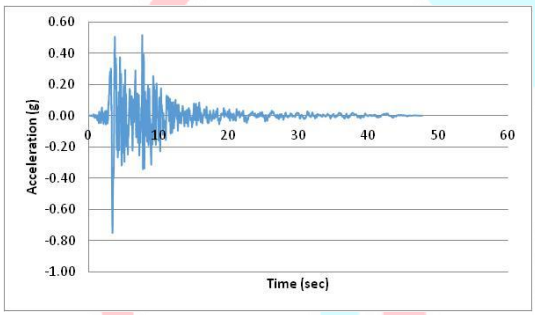
Deprem Numarası	Deprem Adı	Yıl	Vs 30 (m/s)	Deprem Büyüklüğü	Zemin Sınıfı	İstasyon İsmi
1	Whittier Narrows-01	1987	245.06	5.99	D	Downey- Birchdale
2	Loma Prieta	1989	380.89	6.93	C	Saratoga- Aloha Ave
3	Northridge-01	1994	380.06	6.69	C	LA- Sepulveda VA Hospital
4	Parkfield-02, CA	2004	522.74	6.00	C	Parkfield- Cholame 2E



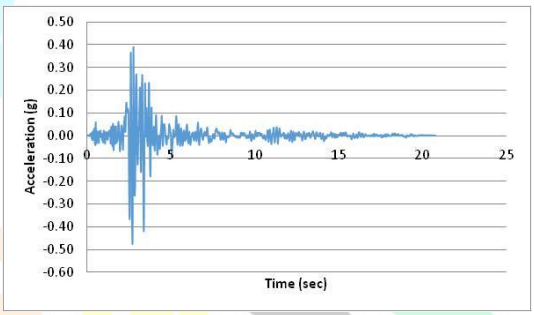
Deprem No 1



Deprem No 2



Deprem No 3

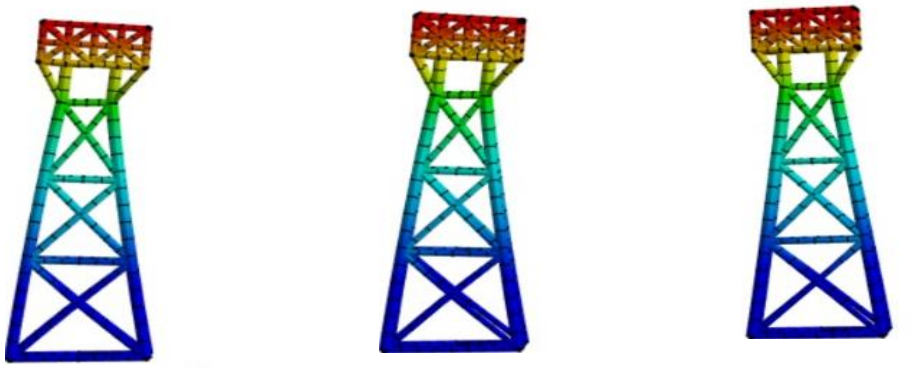


Deprem No 4

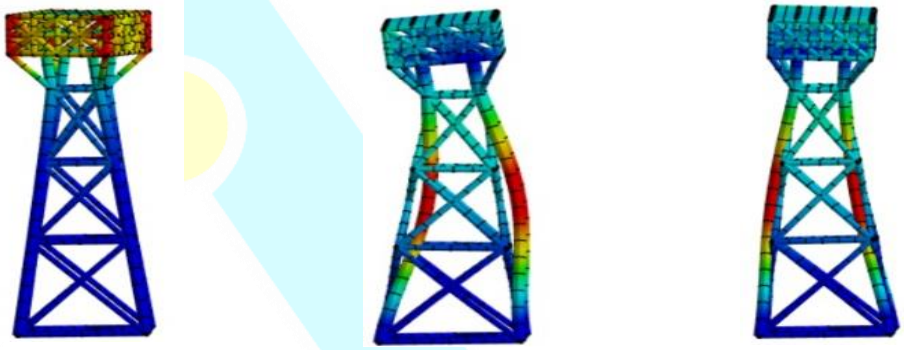
Şekil 2. Depremlerin zamana bağlı ivme değerleri

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Ceket tipi deniz yapısı üç boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Modal analiz sonucunda elde edilen mod şekilleri ve periyot değerleri Şekil 3'de bulunmaktadır. Yapıya ivme-zaman değerleri uygulanarak zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda yer değiştirme ve asal gerilme değerleri belirlenmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'de yer değiştirme ve gerilme değerleri görülmektedir.

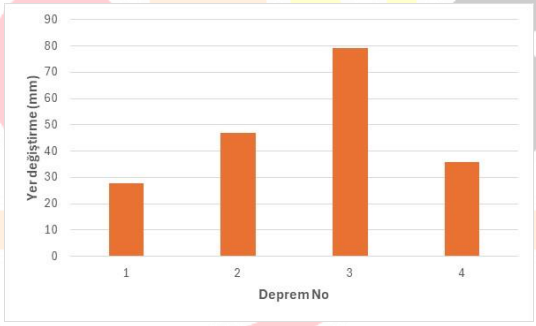


T_1=0,30355 T_2=0,30198 T_3=0,18684

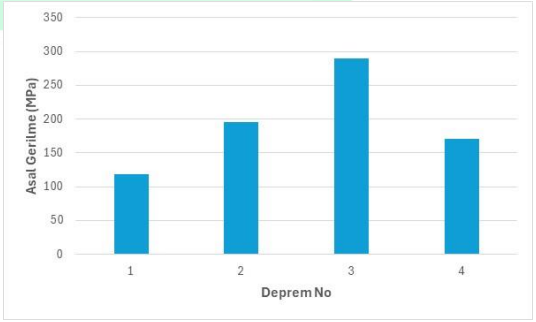


T_4=0,15055 T_5=0,14984 T_6=0,12647

Şekil 3. Yapıda meydana gelen mod şekilleri ve periyot değerleri



Şekil 4. Yapılara depremlerin etkimesi durumunda oluşan yer değiştirme değerleri



Şekil 5. Yapılara depremlerin etkimesi durumunda oluşan asal gerilme değerleri

Şekil 4 ve 5'de, yapıya 4 adet depremin uygulanması sonucu elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerleri görülmektedir. Uygulanan depremler; Whitter Narrows-01 (1987), LomaPrieta (1989) Northridge 01 (1994) ve Parkfield 02 CA (2004) depremleridir. Analizlerde kullanılan depremlerin büyüklükleri, odak derinlikleri, etkin yer hızı ve etkin yer ivmesi değerleri farklıdır. 1 numaralı depremin zemin sınıfı D, 2, 3, 4 numaralı depremlerin zemin sınıfı C'dir. Depremlerin özelliklerinin farklı olmasından dolayı elde edilen değerlerde de oldukça fark olduğu görülmektedir. En büyük yer değiştirme ve gerilme değeri etkin yer ivme değeri en büyük olan 3 numaralı Northridge depreminde sırasıyla 79.1 mm ve 289.89 MPa olarak meydana gelmiştir. En küçük yer değiştirme ve gerilme değerleri sırasıyla 27.61 mm ve 118.86 MPa olarak Whitter Narrows-01 depreminde elde edilmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, 34.5 m yüksekliğinde çelik elemanlar kullanılarak tasarlanan bir deniz yapısı ele alınarak yapının deprem etkisinde göstereceği davranışı belirlemek amacıyla zamana tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapıya, büyüklüğü sırasıyla 5.99, 6.93, 6.69 ve 6.00 olan Whittier Narrows-01 (1987), Loma Prieta (1989), Northridge-01 (1994), Parkfield-02 CA (2004) depremleri uygulanmıştır. Analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirme ve asal gerilme değerleri elde edilmiştir. En büyük yer değiştrme ve gerilme değerlerinin 1994'de meydana gelen 3 numaralı Northridge depreminde meydana geldiği bunu 2 numaralı Loma Prieta depreminin, 4 numaralı Parkfield-02, CA depreminin ve 1 numaralı Whittier Narrows-01 depremlerinin izlediği görülmektedir. Elde edilen değerlerin farklı olması depremlerin farklı özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Depremlerin farklı etkin yer ivmesi, odak derinliği, yer hızı değerlerine bağlı olarak yapıda oluşturacağı etkilerde değişebilmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKLAR

AFAD (2024). https://www.afad.gov.tr/

Ajamy, A., Asgarian, B., Ventura, C. E., Zolfaghari, M. R. (2018). Seismic fragility analysis of jacket type offshore platforms considering soil-pile-structure interaction. *Engineering Structures*, *174*, 198-211.

ANSYS (2023). http://www.ansys.com

Ergin, İ., (2015). Uzay Kafes Tipi Açik Deniz Yapilarinin Dinamik Analizi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.

Gücüyen, E., Erdem, R. T. (2019). Kompozit deniz yapısının dalga kuvvetleri altında incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, *10*(3), 1125-1136.

PEER NGA, Pacific Earthquake Engineering Research Center NGA Database, http://peer.berkeley.edu/nga/

Xu, T., Li, Y., Leng, D. (2023). Mitigating jacket offshore vibration under earthquake and ocean waves utilizing tuned inerter damper. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *21*(3), 1627-1650.

Yang, Y., Wu, Q., He, Z., Jia, Z., Zhangh, (2019). Seismic collapse performance of jacket offshore platforms with time-variant zonal corrosion model. *Applied Ocean Research*, *84*, 268-278.

Yang, Y., Ying, X., Guo, B., He, Z. (2017). Collapse safety reserve of jacket offshore platforms subjected to rare intense earthquakes. *Ocean Engineering*, *131*, 36-47.

Yaylacı, M. (2007). Açık Deniz Yapı Uygulamaları ve Bunların Tasarım Parametrelerinin İrdelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

Zhao, S.X., Bi, C.W., Sun, Z.Z., (2021). Engineering analysis of the dynamic characteristics of an electrical jacket platform of an offshore wind farm under seismic loads. Appl. Ocean Res.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Farklı İçeriklere Sahip Çimento Esaslı Kompozitlerin Yüksek Sıcaklığa Karşı Direnci ve Yüksek Sıcaklık Sonrası Davranışı

Duygu KIRKYAŞAROĞLU [1]
Umur Korkut SEVİM [2]
İmren DOĞRU [3]

Özet

Yapılarda kalıcılık ilkesini etkileyen ve yapının ömrünü kısaltan iç ve dış etkenler vardır. Bunlar kendi içinde fiziksel-mekanik etkenler ve kimyasal-biyolojik etkenler olarak sınıflandırılır. Yüksek sıcaklık, fiziksel-mekanik etkenler arasında bulunur. Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonda, basınç dayanımı kaybı, çatlama ve beton dökülmeleri gözlemlenir. Betonun yüksek sıcaklığa maruz kalması ve yüksek sıcaklığın soğutulma türleri yapının performansını önemli ölçüde etkiler. Bu kapsamda, yüksek sıcaklığın etkileri incelenirken aynı zamanda farklı içerikli betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışlarını karşılaştırmak önemli bir çalışma konusu haline gelmektedir. Çalışmada, betona; beton teknolojisinde yaygın kullanılan silis dumanı, uçucu kül malzemelerinin karıştırılarak yüksek sıcaklık ve yüksek sıcaklık sonrası gösterdiği davranışı üzerine çalışmalar yapılması amaçlanmıştır. Bu araştırmada, kontrol, uçucu kül ve silika dumanı içeren harçların yüksek sıcaklık karşısında gösterdikleri davranış araştırılmıştır. Bu amaçla kontrol, uçucu kül ve silika dumanı olarak 3 farklı grupta harçlar üretilmiştir. Uçucu kül ve silika dumanı çimentonun ağırlığının %15 'i oranında katılmıştır. Bütünüyle, küp numuneler kullanılmış ve beton test çekici deneyleri yapılmıştır. 600ºC'de 2 saat olacak şekilde yüksek sıcaklık fırınında sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Fırından alınan numuneler 2 farklı şekilde soğutma sistemi (spreyleme metodu/kendi kendine soğuma) kullanılarak soğutulup pres makinesinde kırılarak basınç dayanımları tespit edilmiştir. Uçucu kül ve silis dumanı içeren karışımların 56. günde kontrol karışımına göre 600°C'de daha yüksek basınç dayanımı değerine ulaştığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento Esaslı Kompozitler, Yüksek Sıcaklık, Direnç, Uçucu Kül, Silika Dumanı

[1] İnşaat Mühendisi, İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, https://orcid.org/0009-0002-1640-2170
[2] Prof. Dr. , İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, https://orcid.org/0000-0002-6268-4909
[3] İnşaat Mühendisi, İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, https://orcid.org/0009-0001-7335-2977

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ:

Dünya genelindeki doğal afetler ele alınınca, ani gelişen doğal afetlerden biri de yangınlardır. Yangınlar kendiliğinden oluşabildiği gibi, insan kaynaklı da gelişebilir. Yangın, tarih boyunca çoğu zaman can ve mal kaybına sebep olmuştur. Bundan dolayı geçmişten günümüze kadar yangından korunmanın yolları geliştirilmiştir. Örneğin, yangın söndürücüler, ikaz sistemleri, yangına dayanıklı ve yangından koruyucu yapı malzemeleri geliştirilmiştir. İnşaat sektöründe en çok kullanılan malzeme olan beton, diğer malzemelere göre yüksek sıcaklık ve yangınlara karşı daha fazla direnç göstermesine ve A1 sınıfı hiç yanmaz malzemeler grubuna girmesine rağmen, yüksek sıcaklığa maruz kaldığında betonun hacminde %33 oranında azalma, basınç dayanımı kaybı, elastisite modülünde azalma, çatlama, renk değişimleri ve beton yüzeyinde dökülmeler gözlemlenir. ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71). Betonun yüksek sıcaklık karşısındaki performansını iyileştirmek için günümüzde, beton teknolojisinde uçucu kül, cüruf ve silis dumanı gibi puzolanik malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca başka bir endüstrinin atığı olan uçucu kül ve silis dumanı kullanımı çevresel problemlerin azalmasına katkıda bulunmaktadırlar. Uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik malzemelerin kullanımı ile yüksek dayanımlı betonlar elde edilmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde, uçucu kül ve silis dumanının yüksek dayanımlı betonlar elde edilmesinin yanı sıra yüksek sıcaklık karşısındaki davranışları ve performanslarıyla ilgili çalışmalar literatürde mevcuttur.

Özbey (2009)'in yüksek lisans tez çalışmasında, yüksek sıcaklığın ve söndürme türünün betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Beton herhangi bir nedenle yüksek sıcaklık etkisinde kalırsa betonun fiziksel ve mekanik özeliklerinde bazı değişiklikler meydana gelir. Meydana gelebilecek bu değişiklikler betonun performansı açısından oldukça önem taşır. Üretim sürecinde, CEM I ve CEM III çimentoları, nehir kumu ve kırmataş kullandığı gözlemlenmiştir. Beton numunelerini 28 ve 56 günlük küre tabi tuttuktan sonra beton numuneleri 3 saat süreyle 150, 300, 450 ve 600ºC olmak üzere dört farklı sıcaklıkta ısıtmış, soğutma işlemini havada ve suda olmak üzere iki farklı grupta gerçekleştirmiştir. Daha sonra tüm numuneleri ultra ses geçiş hızı deneyi, yüzey sertliği deneyi, basınç dayanımı deneyi, yarmada çekme deneyi ve hacimce su emme deneylerine tabi tutmuştur. Deneyler sonucunda soğutma türü açısından havada soğutmanın her 2 çimento tipi içinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlendiği görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda ise 28 ve 56 günlük kür süreleri ve her iki soğutma türü de dikkate alındığında en iyi dayanım değerlerine CEM III çimentosu ile üretilen numunelerde ulaşıldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; yüksek sıcaklığa maruz kalacağı düşünülen yapılarda CEM III tipi çimentonun kullanılması önerilmiştir.

Yazıcı ve arkadaşları (2012), tarafından yapılan araştırmada, uçucu kül, silis dumanı ve pomza içeren harçların basınç dayanımına yüksek sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Çimentonun kütlece %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında uçucu kül, silis dumanı ve pomza ile yer değiştirilmesiyle 13 harç karışımı üretilmiştir. Bu harç karışımlarından toplam 3900 adet küp harç numunesi hazırlanmış ve numuneler 7, 28 ve 90 gün boyunca kürlenmiştir. Standart kür süresinden sonra numuneler 7 gün oda sıcaklığında kurutulduktan sonra 24 saat boyunca 20, 150, 300, 450, 600 ve 750 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Daha sonra numuneler basınç deneyine tabi tutulup dayanımları belirlenmiştir. Kontrol harçlarına göre puzolan içeren harçların basınç dayanımlarının yüksek sıcaklıktan daha az etkilendiği sonucuna varılmıştır. Genel olarak, tüm sıcaklık seviyelerinde, pomza harçları en düşük basınç dayanımı değerlerine

sahipken, silis dumanı harçları en yüksek basınç dayanımı değerlerine sahiptir. Sonuç olarak, artan sıcaklık seviyesi ile puzolanik harçların basınç dayanımı kayıpları artmıştır.

Dündar ve Çınar (2021), bu çalışmalarında, uçucu kül, katkılı pomza agregaları, kolemanit, yüksek fırın cürufu ve mermer tozu ile üretilen hafif harçların yüksek sıcaklık altında fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. İnce agrega olarak pomza ve çimento olarak CEM I 42.5R Portland Çimentosu kullanılmuştur. Hafif harç karışımında ağırlıkça sırasıyla %1, %2 ve %3 K ve YFC, MT ve UK'nin %10, %20 ve %30'u çimento ile değiştirdikleri gözlemlenmiştir. Numuneler 28 gün kürlenmeye bırakılmıştır. 7. günü dolduran harç numuneleri kür tankından çıkarılıp eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. 28 gün kürlenen harçların su emme, gözeneklilik ve birim hacim ağırlığı gibi fiziksel özellikleri belirlenmiş, eğilme ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. 28. gün sonunda nihai mukavemetine ulaşan numuneler etüvde 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C ısılara maruz bırakılmıştır. Artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde ağırlık kaybının arttığı, eğilme ve basınç dayanımlarının azaldığı sonucuna varılmıştır. Mineral katkıların kullanımı ile hem ağırlık kayıplarının hem de eğilme ve basınç dayanımlarındaki kayıpların azaldığı ve harçların sıcaklığa karşı daha dirençli hale geldiği tespit edilmiştir. Su emme ve gözeneklik değerleri artmıştır.

Saad ve arkadaşları (1996), bu çalışmada yangının bina inşaatına zarar veren doğal tehlikelerden biri olduğunu düşünüp sürekli olarak yangına maruz kalan binalarda hasarı incelemişlerdir. Hasarın yüksek sıcaklıktan kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Böylece yüksek sıcaklıkların betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma sırasında normal Portland çimentosu kısmen silis dumanı ile değiştirilmiştir. Isıl işlem sıcaklığı, herhangi bir yük olmadan 3 saat boyunca 100°C'lik artışlarla 100 ila 600°C arasında değiştirilmiştir. Beton numuneler her sıcaklık seviyesinde işlem görmüştür. Numuneler her bir sıcaklık seviyesi için aynı koşullar altında ısıtılmış ve bu işlem sırasında da numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Tüm numuneler, dökümden sonra 28 gün boyunca nemli ortamda kürlenmiştir. Testler, ısıtıldıktan sonra yavaş yavaş oda sıcaklığına soğutulan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmanın sonuçları, normal Portland çimentosunun ağırlıkça %10 silis dumanı ile değiştirilmesinin basınç dayanımını yaklaşık %64,6 oranında iyileştirdiğini, ancak normal portland çimentosunun %20 ve %30 oranlarında silis dumanı ile değiştirilmesinin basınç dayanımını yalnızca %28 artırdığını göstermiştir.

Poon ve diğerleri (2001), çalışmalarında, silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren normal ve yüksek dayanımlı puzolanik betonların 800°C'ye kadar olan yüksek sıcaklıklardaki dayanım ve dayanıklılık performanslarını karşılaştırmışlardır. Dayanıklılık, hızlı klorür difüzyon testi, cıva intrüzyon porozimetresi (MIP) ve çatlak paterni gözlemleri ile araştırırlarken, mukavemet özelliklerini ise pres makinesi kullanılarak basınç değerleri belirlenmiştir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren puzolanik betonların saf çimento betonlarına göre özellikle 600°C'nin altındaki sıcaklıklarda en iyi performansı verdiği görülmüştür. Yüksek dayanımlı puzolanik betonlar, basınç dayanımı kaybına göre geçirimliliğe bağlı dayanıklılıkta ciddi bir kayıp göstermiştir. Yüksek dayanımlı betonlarda (HSC) çimentonun %30'unun uçucu külle ve normal dayanımlı betonda (NSC) çimentonun %40'ının yüksek fırın cürufuyla değiştirilmesinin, yüksek sıcaklıklardan sonra maksimum mukavemet ve dayanıklılığı korumak için en uygun olduğu tespit edilmiştir.

Literatür incelendiğinde farklı içeriklere sahip çimento esaslı kompozitlere dair çalışmaların çokluğu görülmektedir ancak yüksek sıcaklık ve yüksek sıcaklık sonrası davranışı hakkında daha az çalışma bulunmaktadır. Betonun yüksek sıcaklığa maruz kalması ve yüksek sıcaklığın soğutulma türleri yapının performansını önemli ölçüde etkiler. Bu kapsamda, yüksek sıcaklığın etkileri incelenirken aynı zamanda farklı içerikli betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışlarını karşılaştırmak önemli bir çalışma konusu haline gelmektedir. Bu çalışmada, yapı malzemesi olarak kullanılan betona; beton teknolojisinde yaygın kullanılan silis dumanı ve uçucu kül eklenmesi ile üretilerek, yüksek sıcaklık ve yüksek sıcaklık sonrası

gösterdiği davranışı üzerine çalışmalar yapılması amaçlanmıştır. Bu araştırmada, kontrol, uçucu kül ve silika dumanı içeren beton numunelerinin yüksek sıcaklık karşısında gösterdikleri davranışlar, iki farklı şekilde soğutma sistemi (spreyleme metodu/kendi kendine soğuma) kullanılarak soğutulan betonların soğutma türlerindeki farklılıkların betonlara etkileri ve yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra su ve hava kürlerine bırakılan numunelerin davranışları araştırılmıştır.

YÖNTEM

Numuneler, kontrol (K), uçucu kül (UK) ve silika dumanı (SD) olarak 3 farklı grupta olacak şekilde üretilmiştir. Hazırlanan numuneler beton test çekici ve upv deneyleri tamamlandıktan sonra yüksek sıcaklığa tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklığa tabi tutulan numuneler, 2 farklı şekilde soğutma yöntemiyle soğutulmuştur. Soğutulan numuneler beton presinde teste tabi tutulmuştur. Numunelerin isimlendirilmesi Tablo 1'de gösterilmiştir.

Basınç dayanımı, beton test çekici ve UPV deneyleri için 100x100x100 mm küp numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlarda CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında su/çimento oranı 0,5 ve çimento dozajı 400 kg/m³ olan 3 farklı set beton numunesi hazırlanmıştır. Karışımlarda boyutları 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22 mm olan üç farklı grup doğal kırmataş agrega kullanılmıştır. Uçucu kül ve silika dumanı çimentonun ağırlığının %15 'i oranında eklenmiştir. Beton karışım tasarımı Tablo 2'de verilmiştir. Pan tipi beton mikseri kullanılarak beton üretilmiştir. Betoniyer haznesinin içine tartılmış kuru numuneler konmadan önce betoniyerin içi nemli bir bez yardımıyla nemlendirilmiştir. Daha sonra betoniyerin haznesine tek tek tartılmış kuru malzemeler katılmıştır. Kuru malzemeler ayrı ayrı hazneye ilave edildikten sonra birkaç tur homojen bir karışım olana kadar kuru malzemeler karıştırılmıştır. Kuru malzemeler kendi içlerinde iyice karıştırıldıktan sonra hassas terazide tartılan karışım suyu ve süper akışkanlaştırıcı birbirine katılarak tek bir karışım suyu haline getirilerek hazne içerisine katılıp kuru malzemelerle iyice homojen bir görünüm elde edilene kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan beton karışımlarının slump değerlerini (19±2 cm) aynı seviyelerde tutmak için süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Homojen hale geldikten sonra beton üretimi tamamlanmıştır. Tüm karışım grupları için aynı adımlar tekrarlanmıştır. Hazır hale getirilen beton karışımları, kalıplara yerleştirilmeden önce kalıpların iç yüzeyleri yağlanmıştır. Yağlanıp hazır hale getirilen 100x100x100 mm küp kalıplara hazırlanan beton yerleştirilmiştir. Ve kalıplar hızlıca doldurulup betonların iyice sıkışması ve kalıba iyi yerleşmesi için sarsma tablası üzerine konularak sarsılıp iyi bir şekilde sıkışması ve yerleşmesi sağlanmıştır. 24 saat kalıpta kalan beton numuneleri 24. saatte kalıplardan sökülmüştür ve kür tanklarına 28 gün kürlenmeleri için konmuştur.

Kür süreleri biten beton numuneler sırasıyla, beton test çekici, upv ve basınç dayanım testlerine tabi tutulmak için kür tankından çıkartılmıştır. Kür tankından çıkartılan numuneler 24 saat 50°C'lik etüve konulmuştur. Deneylere hazır hale getirilen beton numuneleri, beton test çekici deneyi için numuneler düz bir zemine yerleştirildikten sonra 90°C açı oluşturacak şekilde test çekicinin darbe ucu serbest bırakılarak 12 farklı noktadan 12 geri sıçrama değeri okunmuştur. Okunan 12 değerden en yüksek ve en düşük değerler çıkarılarak kalan 10 değerin ortalaması alınarak test çekici üzerindeki basınç dayanımı grafiğine göre betonun basınç dayanımı belirlenmiştir. Numunelerin yüzey sertliği beton test çekiciyle ölçülmüştür. Daha sonrasında numuneler, upv deneyi için hazırlanmıştır. UPV test cihazı kullanılarak numunelerin ses geçiş hızları tespit edilmiştir. Tahribatsız deneylerin tamamlanmasının ardından tüm numuneler yüksek sıcaklık fırınına yerleştirilmiştir. Yüksek sıcaklık fırını 600ºC'ye ayarlanmıştır. 600ºC'ye ulaştıktan sonra numuneler yüksek sıcaklık fırınının içinde 2 saat daha sıcaklığa maruz bırakılmıştır. 2 saatin sonunda yüksek sıcaklık fırınından çıkartılan numuneler 2 farklı şekilde soğutma sistemi (spreyleme metodu/kendi kendine soğuma) kullanılarak soğutulmuştur. Numuneler spreyleme metoduyla soğutulabilmesi için güvenli ve açık bir alana yerleştirilmiştir. Daha sonrasında beton numunelerine su püskürtülerek oda

sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Soğutulan numuneler basınç dayanım testi için beton presine yerleştirilmiştir. Numuneler, beton presine yerleştirildikten sonra yükleme hızı 3 kN/s sabit yükleme hızı ile yüklenmiştir. Yüksek sıcaklık fırınından alınan numuneler pres makinesinde kırılarak basınç dayanımları tespit edilmiştir.

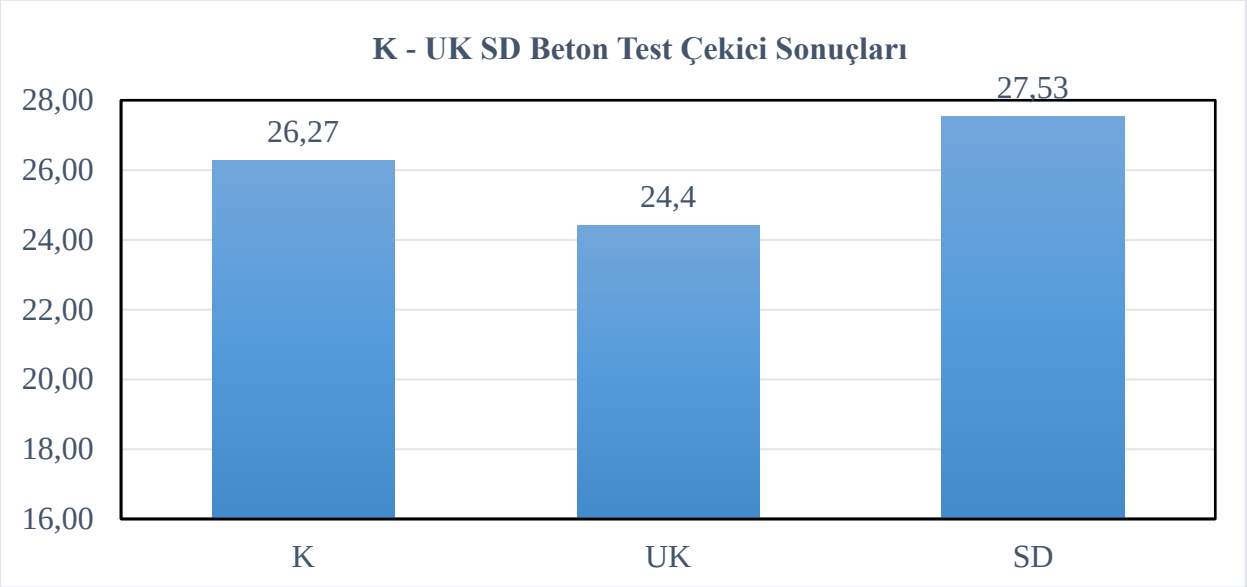
Tablo 1 - Numunelerin İsimlendirilmesi

Numunelerin İsimleri	**Numune İsim Açıklamaları**
K	Kontrol betonu numuneleri
UK	Uçucu kül içeren beton numuneleri
SD	Silika dumanı içeren beton numuneleri
K600 HS	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp kendi kendine soğumaya bırakılan kontrol beton numuneleri
UK600 HS	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp kendi kendine soğumaya bırakılan uçucu kül içeren beton numuneleri
SD600 HS	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp kendi kendine soğumaya bırakılan silika dumanı içeren beton numuneleri
K600 SS	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp spreyleme metoduyla soğutulan kontrol beton numuneleri
UK600 SS	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp spreyleme metoduyla soğutulan uçucu kül içeren beton numuneleri
SD600 SS	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp spreyleme metoduyla soğutulan silika dumanı içeren beton numuneleri
K600 HK	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp hava kürüne bırakılan kontrol beton numuneleri
UK600 HK	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp hava kürüne bırakılan uçucu kül içeren beton numuneleri
SD600 HK	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp hava kürüne bırakılan silika dumanı içeren beton numuneleri
K600 SK	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp su kürüne bırakılan kontrol beton numuneleri
UK600 SK	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp su kürüne bırakılan uçucu kül içeren beton numuneleri
SD600 SK	600°C sıcaklığa maruz bırakılıp su kürüne bırakılan silika dumanı içeren beton numuneleri

Tablo 2 - 1 m³ Beton İçin Karışım Dizaynı

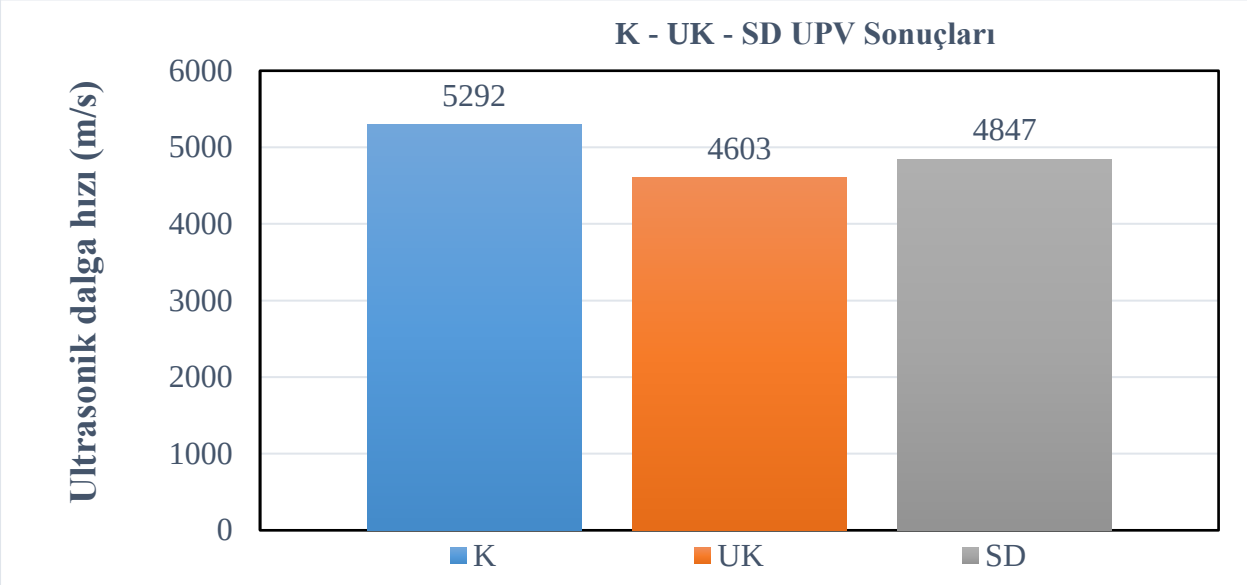
			DKA					
Karışım	Su (Kg)	Çimento (Kg)	0-4 mm (kg)	4-12 mm (kg)	12-22 mm (kg)	Uçucu Kül (kg)	Silika Dumanı (kg)	Akışkanlaştırıcı (kg)
K	200	400	764,967	173,224	796,962	-	-	2,72
UK	200	340	756,363	171,276	787,998	60	-	1,82
SD	200	340	758,032	171,64	789,736	-	60	6,4

BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 1. Kontrol – Uçucu Kül – Silika Dumanı İçeren Numunelerin Beton Test Çekici Deney Sonuçları

Şekil 1, beton numunelerinin ortalama beton test çekici deney sonuçlarını göstermektedir. Uçucu kül içeren numunelerin beton test çekici sonuçları, kontrol numunesi sonuçlarına göre çok az miktarda fark olduğu görülmüştür. Kontrol numunesine yakın sonuçlar vermiştir. Silika dumanı içeren numunelerin ise kontrol numunelerine göre daha yüksek yüzey sertliğine ulaştığı gözlemlenmiştir. Puzolanik mineral katkılar (uçucu kül, cüruf vb.) içeren numuneler yüzey sertliği dayanımları 28 günde kontrol numunesine yaklaşırlar. Ancak 56., 90. günlere ulaştıktan sonra puzolanik malzemeler kontrol numunelerini geçerler. Silika dumanı ise yüksek silika içeriği ve inceliği sayesinde betonun erken yaş dayanımı ve yüzey sertliğini arttırır.



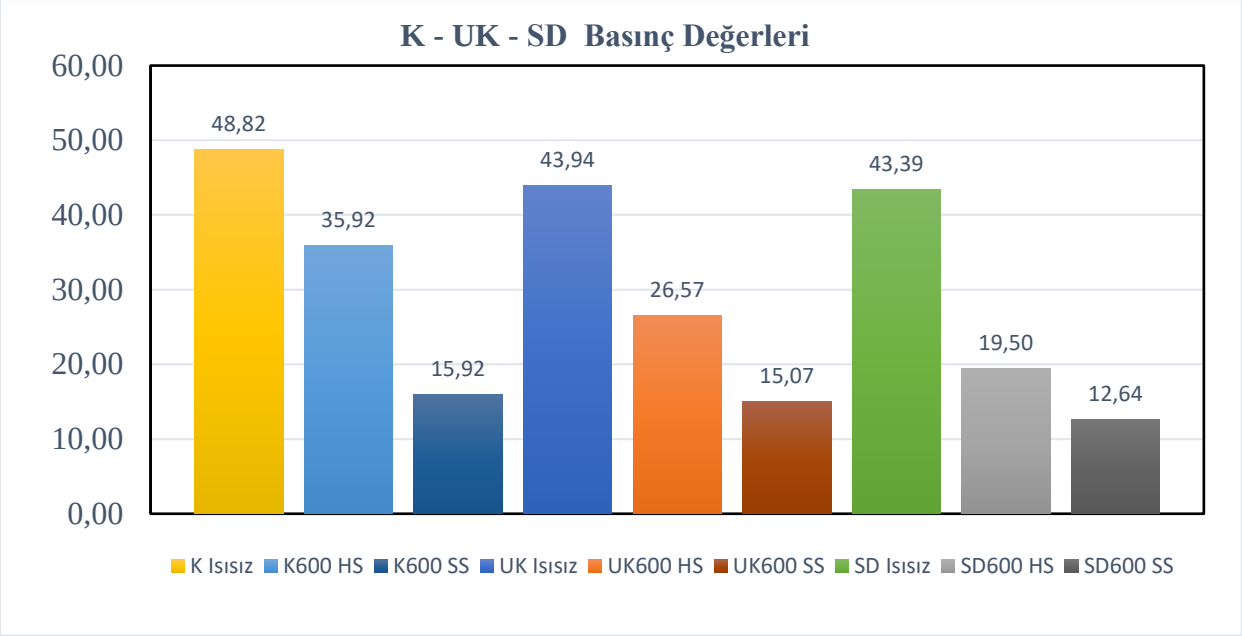
Şekil 2. Kontrol – Uçucu Kül – Silika Dumanı İçeren Numunelerin Ultrasonik Dalga Hızı (UPV) Deney Sonuçları

Tablo 3'de verilen Whitehurst'ün 1951 yılında oluşturduğu sınıflandırmaya göre tüm beton numuneleri derecelendirilmiştir. Şekil 2, ultrasonik dalga hızı (UPV) deneyi yapılan kontrol, uçucu kül ve silika dumanı içeren beton numunelerinin sonuçlarını göstermektedir.

Whitehurst'ün sınıflandırmasına göre tüm beton numuneleri incelenmiştir ve incelenen numunelerin hepsinin mükemmel oldukları tespit edilmiştir. Betonda UPV testine göre ses dalgalarının geçiş hızı ne kadar yüksek olursa beton kalitesi o kadar iyidir (Whitehurst. 1951).

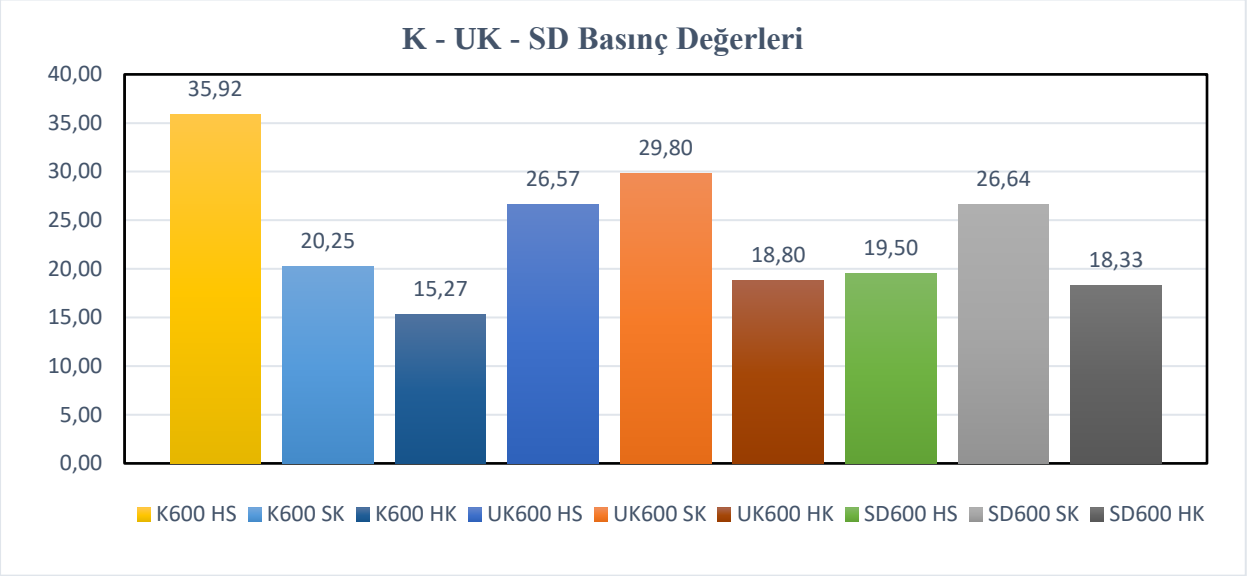
Tablo 3. Ultrasonik Dalga Hızı Aralıkları ve Beton Kalitesi (Whitehurst, 1951)

Dalga Hızı (m/s)	Beton Kalitesi
>4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Orta
2000-3000	Kötü
< 2000	Çok Kötü



Şekil 3. Kontrol – Uçucu Kül – Silika Dumanı İçeren Numunelerin 600°C Yüksek Sıcaklık Uygulanmış ve Farklı Soğutma (Havayla ve Spreyleme Metoduyla) Türleriyle Soğutulduktan Sonra Pres Makinesinde Kırılan Numunelerin Basınç Değerleri

Şekil 3, beton numunelerinin 28 gün kürlendikten sonra kür tankından çıkartılıp 600°C yüksek sıcaklığa tabi tutulduktan hemen sonra farklı soğutma türleriyle soğutulup pres makinesinde kırılarak elde edilen basınç değerlerini göstermektedir. Şekil 3 incelendiğinde, yüksek sıcaklık uygulandıktan sonra hava ve spreyleme metodu kullanılarak soğutulan beton numunelerinin kontrol numunelerine göre basınç dayanımlarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Spreyleme metoduyla soğutulan numunelerde termal şok yaşandığından dolayı basınç dayanımlarında çok daha fazla basınç dayanımı kaybı yaşanmıştır. 600 ºC'den sonra spreyle soğutma neticesinde dayanım kaybı kontrol numunesinde %67 iken, uçucu kül içeren numunelerde bu kayıp %65 ve silika dumanı içeren numunelerde %70'dir.



Şekil 4. Kontrol – Uçucu Kül – Silika Dumanı İçeren Numunelerin 600°C Yüksek Sıcaklık Uygulanmış Sonrasında 28 Gün Su ve Hava Kürlerine Bırakıldıktan Sonra Pres Makinesinde Kırılan Numunelerin Basınç Değerleri

Şekil 4, beton numunelerinin 28 gün kürlendikten sonra kür tankından çıkartılıp 600°C yüksek sıcaklığa tabi tutulduktan sonra su ve hava kürlerinde 28 gün daha kürlendikten sonra pres makinesinde kırılarak elde edilen basınç değerlerini göstermektedir. Şekil 4 incelendiğinde, özellikle uçucu kül ve silika dumanı içeren numunelerde 600°C'ye maruz kaldıktan sonra su kürü yapılmasının dayanımda önemli iyileşmelere sebep olduğu görülmektedir. 600°C'ye maruz kaldıktan sonra havada soğutularak kırılan uçucu kül ve silika dumanı içeren numuneler sırasıyla 26,57 ve 19,50 basınç dayanımlarına sahipken, 28 gün su kürü sonrası bu değerler 29,80 ve 26,64 MPa' a yükselmiştir. Yüksek sıcaklık sonrası yapılan su kürünün yüksek sıcaklık sebebiyle serbest kalan CaO ile uçucu kül ve silika dumanı arasındaki puzolanik reaksiyonların devam etmesini sağladığı ve bundan dolayı dayanım artışı olduğu düşünülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çimento esaslı kompozitlerde sürdürülebilirlik başlığı altında alternatif hammadde Kontrol, uçucu kül ve silika dumanı kullanılarak üretilen beton numuneleri 600°C sıcaklığa maruz bırakılmış ve iki farklı şekilde soğutma sistemi (spreyleme metodu/kendi kendine soğuma) kullanılarak soğutulmuştur. Ayrıca yüksek sıcaklığa maruz kalan beton numuneleri, 28 gün daha su ve hava kürlerine bırakılarak numunelerin davranışları araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Silika dumanı içeren numunelerin yüzey sertliği değerleri kontrol numunesinden daha yüksek çıkarken, uçucu kül içeren numuneler kontrol numunesine göre bir miktar daha az yüzey sertliğine sahiptir.

Her 3 karışımında ultrasonik hız deneyleri 4500 m/s'nin üzerinde çıkmıştır.

Yüksek sıcaklık beklenildiği gibi tüm karışımlarda dayanım kaybına sebep olmuştur. Özellikle spreyleme metoduyla soğutulan numunelerde bu dayanım kaybı çok daha fazladır. Bu durum yangında itfaiye tarafından müdahale sırasında sıkılan sudan dolayı betonarme yapılarda dayanım kaybının artabildiğini göstermektedir.

Yüksek sıcaklık sonrası yapılan su kürünün ise özellikle UK ve SD içeren betonlarda, bu malzemelerin puzolanik özelliklerinin etkisi ile basınç dayanımı açısından olumlu sonuç verdiği tespit edilmiştir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKLAR:

Baradan B., Yazıcı H., Ün H., (2010), *Beton ve betonarme yapılarda kalıcılık (Durabilite)* (İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği)

Özbey, S. (2009). Farklı çimento tipleri ile üretilen betonların yüksek sıcaklık ve değişik soğutma koşulları altındaki fiziksel ve mekanik özelikleri.

Yazıcı, Ş., İnan-Sezer, G., Şengül,H. (2012). The effect of high temperature on the compressive strength of mortars, *Construction and Building Materials, Volume* 35, Pages 97-100, ISSN 0950-0618

Dündar, B., Çınar, E. (2021). 'Farklı mineral katkılı hafif harçlarda yüksek sıcaklık etkilerinin incelenmesi', *Türk Mühendislik Dergisi*. Mersin, Türkiye: Murat Yakar, 5(4), s. 165–170.

Saad, M., Abo-El-Enein, S.A., Hanna, G.B., Kotkata, M.F. (1996). Effect of temperature on physical and mechanical properties of concrete containing silica fume, *Cement and Concrete Research, Volume* 26, Issue 5, Pages 669-675, ISSN 0008-8846,

Chi Sun, P., Salman, A., Mike, A., Wong, Yuk, W. (2001). Comparison of the strength and durability performance of normal- and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperature. *Cement and Concrete Research* - CEM CONCR RES. 31. 1291-1300.

Whitehurst, E. A. (1951). Soniscope tests concrete structures. *In Journal Proceedings* (*Vol.* 47, No. 2, pp. 433-444).

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Experimental And Numerical Study for Local Scour Around Cylindrical Bridge Pier in Non-Cohesive Sediment Bed

Abubaker Sami DHEYAB [1]
Mustafa GÜNAL [2]

Abstract

Local scour is a significant factor contributing to the bridge's collapse, which is defined by the erosive action of sediment-water flow in river systems. Thus, studying scouring is a crucial approach to assess the potential for bridge failure caused by scour. This study investigates the local scour phenomenon in non-cohesive bed conditions using both experimental in a laboratory flume and numerical approaches by applying the computational fluid dynamics (CFD) method with FLOW 3D software to model and compute local scour in the same type of bed. Experimental modeling in live bed flow conditions reveals that water depth is the primary factor influencing local scour depth, with high-velocity water exceeding critical velocity resulting in increased scour depth aligned with pier depth. Sediment accumulation occurs downstream from the scour hole, with scour development reaching equilibrium quickly. The developed numerical model, FLOW 3D, proves efficient in simulating scour depth and flow around bridge piers, with mesh quality significantly impacting modeling accuracy.

Keywords: pier scour; non-cohesive sediment; non-uniform sediment; FLOW 3D; local scour, CFD.

[1] Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Gaziantep University, Orcıd: 0000-0002-2291-2532
[2] Professor Dr., Department of Civil Engineering, Gaziantep University, Orcıd: 0000-0002-6787-2466

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Introduction

The rapid development of cities and the increase in the population leads to the need for more infrastructures such as roads and bridges etc.; meanwhile, there are a lot of problems related to these infrastructures, and some issues need to be solved to ensure sustainability and long-term viability of the infrastructures. one of them is the local scour. Local scour is a natural phenomenon that occurs as a consequence of removing the soil by erosive forces from the vicinity of the structure or any obstacle in the river approach (Alasta et al., 2022; Breusers et al., 1977; E. Richardson & S. Davis, 2001).

Local scour is one of the complex and severe issues; also, It can be considered one of the reasons for the bridge's collapse. In Türkiye, 87 bridges collapsed between 2000 - 2019 to various causes, including hydraulic, collisions and accidents, overloading, construction, and fire. Hydraulic causes were the main factor; overall, 42bridges have failed owing to hydraulic events, 74% due to the scour (Schaap & Caner, 2021).

In the last 30 years, the local scour problem has caused 600 bridges to fail in the United States (Shirole AM, 1991), which lead to high financial losses, life losses, and operating disruption (Schaap & Caner, 2021); (Fernando De Falco, 2002). For the duration between 1989 and 2000 in the United States, there were five hundred bridge failures because of scour and flooding, accounting for 53% of all bridge collapses (Prendergast & Gavin, 2014). The annual anticipated financial losses for flood damage restoration in the United States are $50 million (Lagasse et al., 2012). In 1993, one flood storm on the Mississippi and downstream Missouri rivers caused the collapse of 28 bridges, 22 of which were due to scour (Prendergast & Gavin, 2014). Numerous studies have been done to comprehend the local scour's mechanism, predict its time and depth, discover unique methods to reduce its impact, and develop and simulate the local scour using various software programs.

Numerous researchers used experimental prototyping in the lab to investigate the scour mechanism. Figure 1 illustrates the mechanism of the local scour around the cylindrical bridge pier, and it can be described as a result of increasing the acceleration of the flow which leads to formatting vortexes in the surrounding the pier. When the flow passes the bridge piers, the velocity reduces to reach non-motion due to the stagnation point in front of the pier; meanwhile, the pressure value significantly reduces on the pier face, and a its gradient opposes the flow direction. The pressure and velocity will be lower from the top water surface to the bed, which will direct the high-speed flow along the stagnation line down, creating a horseshoe vortex, then the removal of the sediments around the piers will be started when the pressure is sufficient enough to remove the sediment particles over their natural resistance to movement then local scour will be occurred. And the Lee-Wake vortex will erosive the sediment behind the pier (Ismael et al., 2015; Liang et al., 2020; Moncada-M et al., 2009; Wang et al., 2017).

The main factors affect in the local scour can be classified into: a. Hydraulic aspect (Flow intensity, depth of flow, shear velocity, mean velocity, Reynold number, and Froude number), b. geo-tech aspect (density of the sediments, sediment coarseness, Sediment size and uniformity, and when the motions of the sediments will be started), C. Structural aspect (the shape of the pier, the diameter of the pier, and single or group of piers)(Baker, 1980; Baker, 1986; Baykal et al., 2015; Chiew, 1984; Dargahi, 1989; Liang et al., 2020; Melville & Sutherland, 1988; Melville & Coleman, 2000; R. Ettema, 1998; Raudkivi & Ettema, 1977, 1985; Roulund et al., 2005; Salim & Jones, 1996; Zhao et al., 2010).

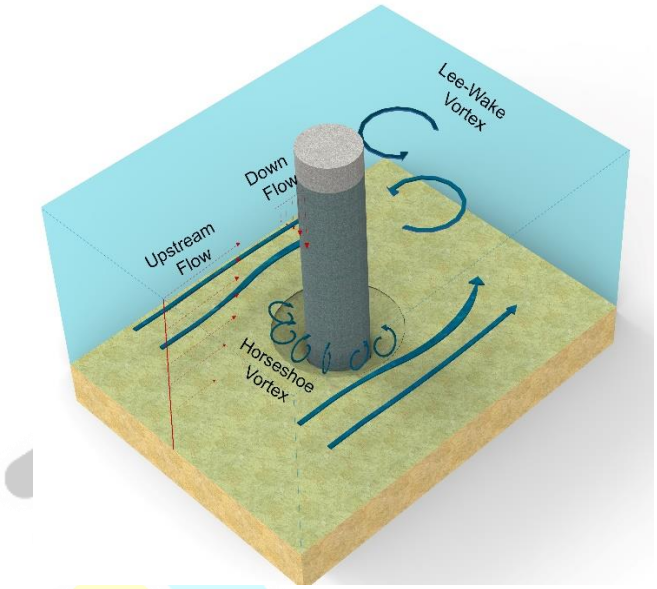


Fig. 1 Mechanism of local scour (Dheyab & Günal, 2023).

In the aforementioned studies, several equations were developed to forecast and compute the depth of local scour. These equations utilize experimental data obtained from experiments to calculate the local scour. However, the applicability of these equations is limited by the number of variables used to derive them. Computational Fluid Dynamics (CFD) models, which are a type of numerical modeling, are increasingly used to simulate complex flow patterns around hydraulic structures and forecast scour. The simulations presently employ numerical techniques to solve the governing equations for fluid flow and sediment movement. Computational Fluid Dynamics (CFD) models require extensive data on the specific variables related to local scour, hydraulic, structural, and hydraulic conditions. These aspects have been studied by (Alasta et al., 2022; Dheyaaldin et al., 2017; Dheyab et al., 2017; Gaydarov et al., 2014; Jalal & Hassan, 2020; Richardson & Panchang, 1998; Salaheldin et al., 2004)

Based on prior research, FLOW 3D is a type of computational fluid dynamics (CFD) software. The software is a computational fluid dynamics (CFD) tool capable of solving equations related to multi-physics flow issues.

In addition, it encompasses numerical methods for solving equations governing fluid motion and models that account for multiple scales and multiple physical phenomena in flow. Users utilize various fluid flows and heat transfer processes by combining physical and numerical methods to address diverse challenges in hydraulic engineering, such as scour (Jalal & Hassan, 2020).

The objective of this study is to experimentally examine the behavior of local scour in a non-cohesive bed (sand), as well as assess the effectiveness of applying the computational fluid dynamics (CFD) method with FLOW 3D to model and compute local scour in the same type of bed.

2.Experimental Model

2.1 Experimental Setting

The study was carried out in the hydraulic laboratory of Gaziantep University. A rectangular flume with dimensions of 9 meters in length, 80 centimeters in width, and 90 centimeters in depth was utilized. It featured glass side walls, a steel base, and no slope. A 1.5-meter section, located 3 meters from the entrance, was designated for testing. A tailgate located at the distant end controlled the water levels. A single pier of 7.5 cm diameter was centered in the experimental area. A highly accurate electromagnetic flowmeter was used to properly

quantify flow rates. Figures 2 and 3 illustrate the experimental arrangement. A laser meter was utilized for measuring the elevation of the bed and the extent of scour depth.

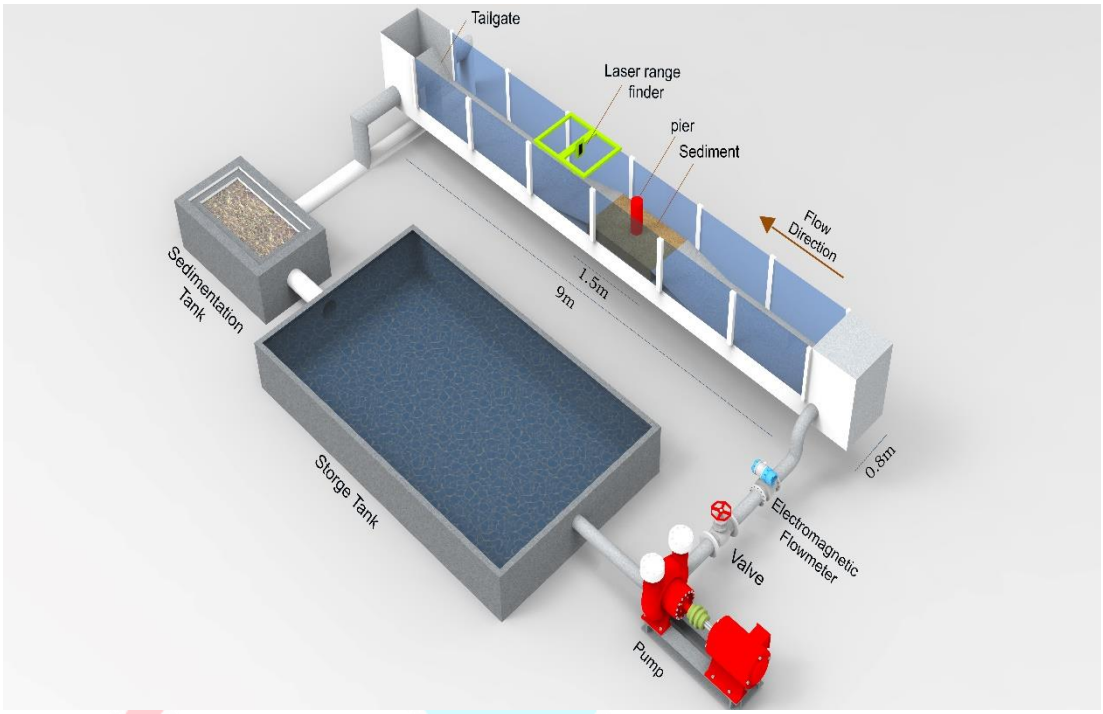


Fig. 1 Schematic layout of the flume.



Fig. 2 Test section and Pier installation.

2.2 Experimental Steps

The experiment begins by determining the mechanical properties of the sand in accordance with the ASTM (C136-01, 2001) and conducting a specific gravity test. The average particle size, as shown in Figure 3, is 1.4 mm. The characteristics of sand are presented in Table 1.

Table 1. Sand characteristics.

Characteristics	Value	Condition
Median size d_{50}	1.4 mm	ASTM (C136-01, 2001)
Specific gravity Gs	2.65	------
Geometric standard deviation of particles σg	2.99	$\sigma g = d_{84}/d_{50}$
Bulk density	1660 kg/m^3	------
Uniformity	Non-uniform	σg>1.4 based on Dey et al. (1995)
Formality	Non-ripple-forming	$d_{50} \geq 0.7$ mm based on Raudkivi and Ettema (1983)

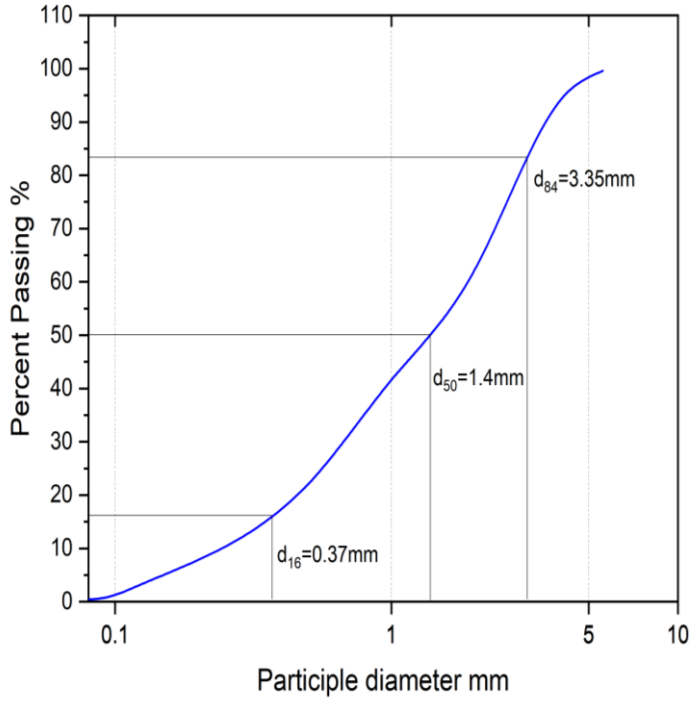


Fig 3. Sieve analysis of sand.

The experiment was conducted using a particular methodology that involved multiple procedures. Firstly, a sand bed measuring 150 cm in length, 20 cm in depth, and 80 cm in breadth was made to prepare the test location. To counteract any possible impacts of slope on the vortex, a pier was then placed in the middle of the test portion. The pier's verticality was then verified to ensure accuracy throughout the trial. After that, sand was added to the test part, and a scraper was used to make sure the sand bed was level. To get precise measurements, a

laser range finder was used to measure the bed. The experiment parameters are listed in Table 2.

Table 2. Experiment parameters

Parameters	Value
Discharge (m^3/s)	0.032
Flow depth (cm)	5.7
Mean velocity (m/s)	0.701
Reynolds number Re	3341.34
Pier Reynolds number Re_p	$20.4*10^5$
V/Vc	1.816
Thickness of the sediments (cm)	20

The vortex shedding of a pier can be characterized as a laminar boundary layer that has experienced turbulent transition, based on the Pier Reynolds number (Rep), which falls within the range of $3*10^5$ to $3.5*10^6$. The vortex shedding of a pier can be determined by calculating the Reynolds number (Rep) using the formula (Chandrasekaran, 2020; Lienhard, 1966; Schlichting & Kestin, 1961). The proposed equation by E. V. Richardson and S. R. Davis (2001) was used to calculate the Vc critical shear velocity Eq1., since the velocity of the test flow exceeds all the calculated critical velocities, with a V/Vc ratio greater than 1, indicating a live-bed state.

$$Vc = \sqrt{\frac{\tau_c \, h^{0.33}}{\rho g n^2}}, \quad \text{.....1}$$

where τ_c = critical shear stress, h = flow depth, ρ = water density, g= acceleration due to gravity, and n = Manning' s coefficient.

3.Numerical investigation

In this investigation, the FLOW 3D program is utilized to develop a three-dimensional sediment scour model for the purpose of simulating the local scour that occurs around the bridge pier. In order to support a wide range of non-cohesive species, deposition, bedload transport, and suspended load transport, the FLOW 3D software has been effectively integrated with fluid flow.

3.1 Numerical modeling

A computational fluid dynamics (CFD) model was developed using Flow-3D software to accurately simulate a rectangular open channel and a rectangular flume. The channel had a width of 0.8 meters, while the flume had a length of 2.5 meters. Components were placed at both the entrance (0.3 m) and the exit (0.05 m) of the flume. Furthermore, a cylindrical pier with a vertical orientation, measuring 0.075 meters in diameter and 0.75 meters in height, was also incorporated. The sediment segment in the channel bed measured 0.8 m in width, 1.5 m in length, and 0.2 m in depth. The accuracy of the simulation was maintained by strategically placing stiff elements on the outer margins of both the initial and final parts of the channel. The water flow depth was carefully maintained from the upper edge of the sediment to avoid any disruption to the sediment bed at the start of the simulation. The sediment particles had a diameter of 0.00145 m. The uniform mesh was applied, and the total number of cells was 128000. Size of the cells 2 cm. Figures 4,5 and 6 illustrate the 3D meshing and the boundary condition. The boundary conditions were set so that the inlet boundary had a discharge rate of Y min and the exit boundary had an outflow rate of Y max. When the water came in, it was

moving at 0.701 m/s and was 5.7 cm deep. The inlet limit was also put under certain pressure and speed conditions based on the modal conditions. The lines that went through X min and X max were thought of as walls, and the line that went through Z min was thought of as the bottom. To make it look like an open channel, a certain amount of pressure was put on the border at Z max.

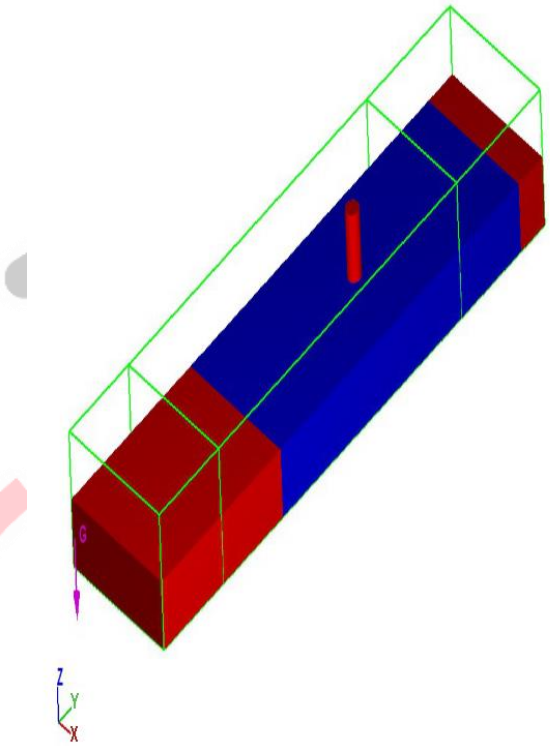


Fig.4 3D Flume model

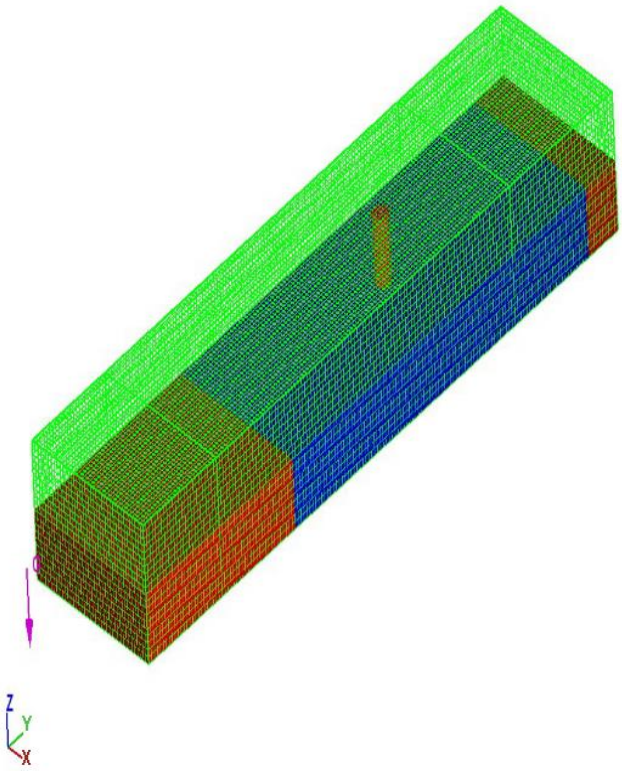


Fig.5 3D Mesh

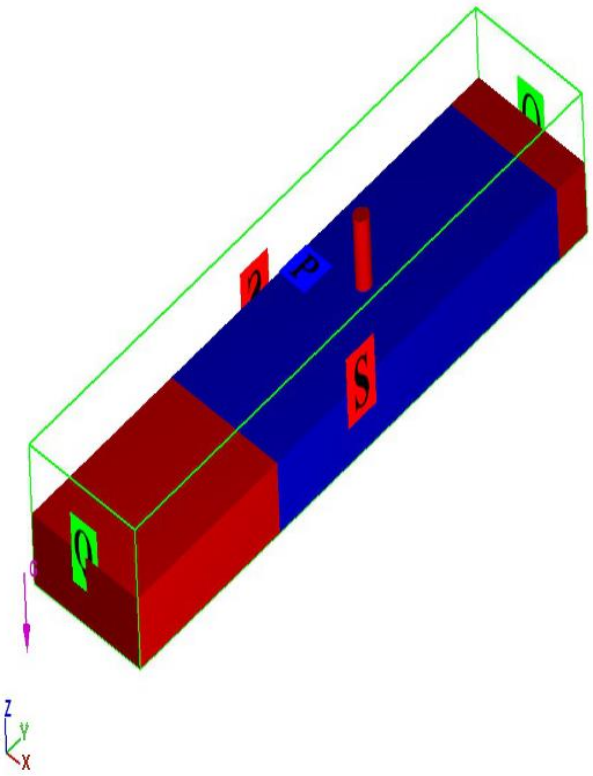


Fig.5 Boundary condition

4.Result and discussion

4.1 Experimental Result

This section outlines the findings of the experimental phase. Throughout the experiment, the maximum depth of local scour was measured at 11.24 cm, as shown in Figure 6, illustrating the progression of local scour over time. It took 245 minutes for the experiments to reach equilibrium, with about 90% of this state achieved within the initial 45 minutes. The sediment movement process was gradual, with distinct phases observed. Initially, there was significant scouring within the first 5 minutes, mainly removing fine particles downstream. Then, between 5 and 25 minutes, there was a shift to the rolling of coarse sand. Subsequently, fine sand accumulated along the inner edge of the scour hole, while coarse sand built up around the pier and downstream.

Two factors influenced the formation of the horseshoe vortex: First, the pier's diameter and the depth of the flowing water. A larger pier diameter accentuated the horseshoe vortex, while a decrease in flow depth intensified local scour. According to Melville and Coleman (2000), the pier in this study falls under the category of narrow width due to a shallowness ratio (h/D) less than 1.4. Secondly, The Pier Reynolds number is the primary indicator for determining the shape of the horseshoe vortex. This will result in significant changes to the extent and depth of local scour, as well as effectively managing the accumulation of sediments downstream.

The coarseness of sediments, represented by the ratio D/d50, directly impacted the scour depth. In this study, the pier's D/d50 value was 53.2, indicating significant local scour depth increase, as noted by Ettema (1980), when the D/d50 ratio exceeds 50.

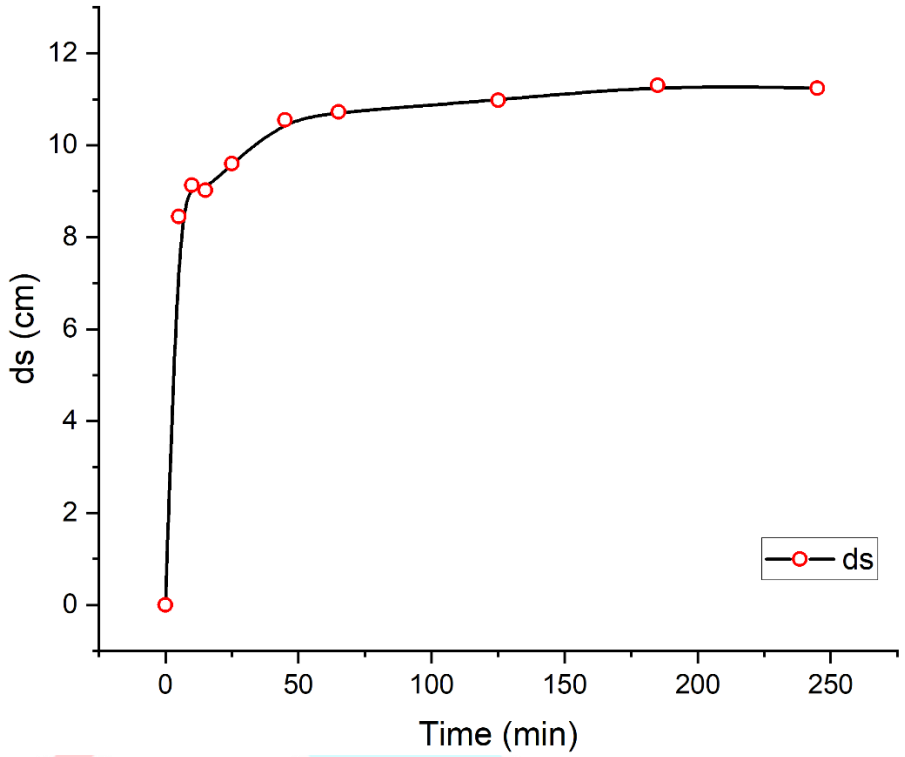


Fig.6 Developing local scour depth ds (cm) during time (min).

4.2 Numerical Result

A computational study was conducted to evaluate the accuracy of the FLOW 3D model in predicting the depths of local scour at a bridge pier. The study closely replicated the experimental conditions. A further inquiry was carried out to examine the impact of scour on the bed elevation surrounding a cylindrical bridge pier. This inquiry was conducted by comparing the outcomes of computational analysis with the findings of experimental observations. Figure 7 illustrates the relationship between the temporal development of local scour depth, showing the connection between experimental data and computational results. The numerical model accurately predicted a local scour depth of 11.04 centimeters, which closely matched the experimental result of 11.24 centimeters. In summary, the computational fluid dynamics (CFD) model employed identical parameters to the experimental setup, yielding a precise depiction of the temporal variations in the local scour depth.

Additionally, Figures 7 and 8 illustrate the transverse section scour profile and the longitudinal section scour profile for the experimental and numerical results, respectively. These figures are presented in the order of their respective sections. There is a discernible resemblance between the profile regions and the CFD model. Additionally, the contour line of the non-cohesive bed and the scour hole are shown in Figures 10 and 11, respectively, for both the experimental and numerical results. These figures reflect the outcomes of the experiment. The scour hole developed around the pier from all directions, and the deposited sediments were carried to a location downstream that was a significant distance away from the position of the pier.Although the CFD model does provide an excellent prediction for the local scour depth, it also provides a great prediction for the topography of the bed in general, which is extremely similar to what was observed in the experimental findings.

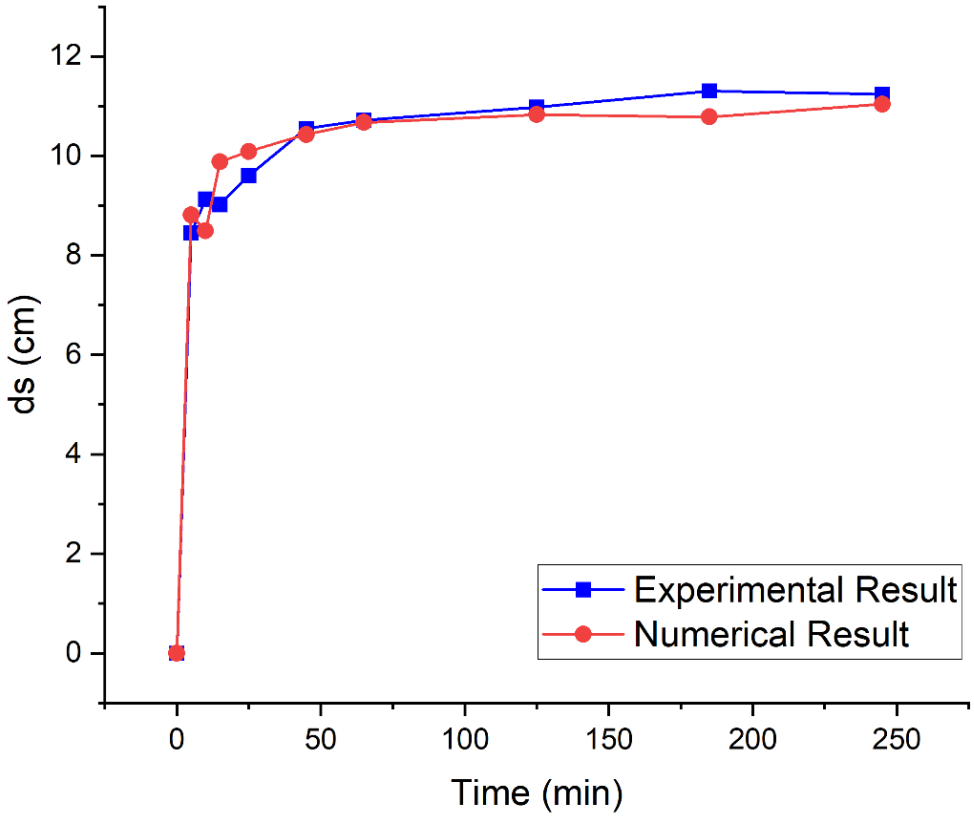


Fig 7. The comparative analysis of experimental observations and numerical results for local scour depth evolution over time.

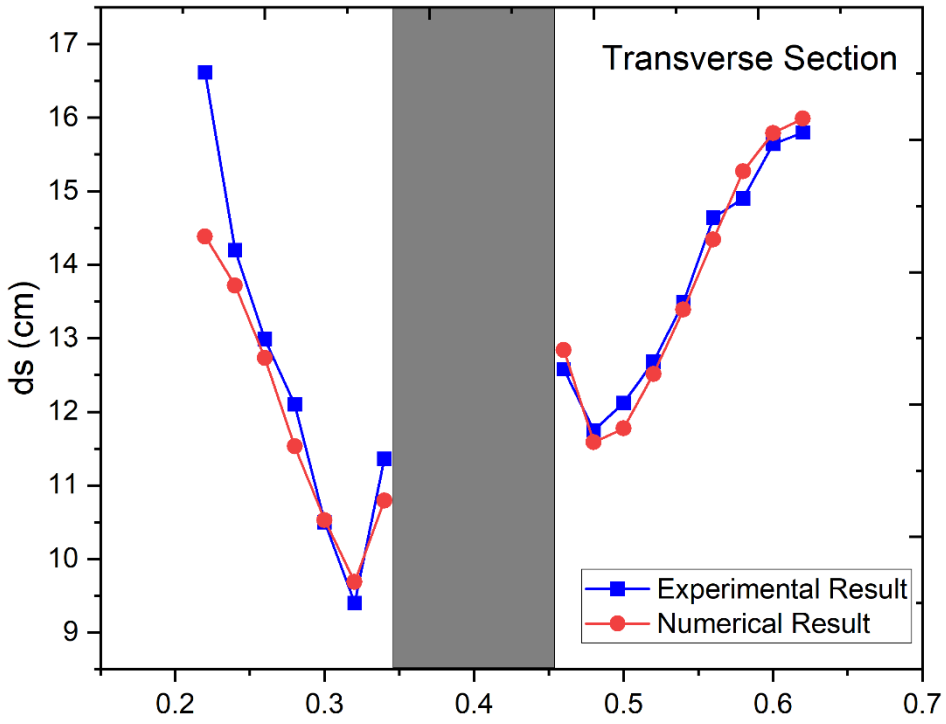


Fig 8. Transverse section scour profile.

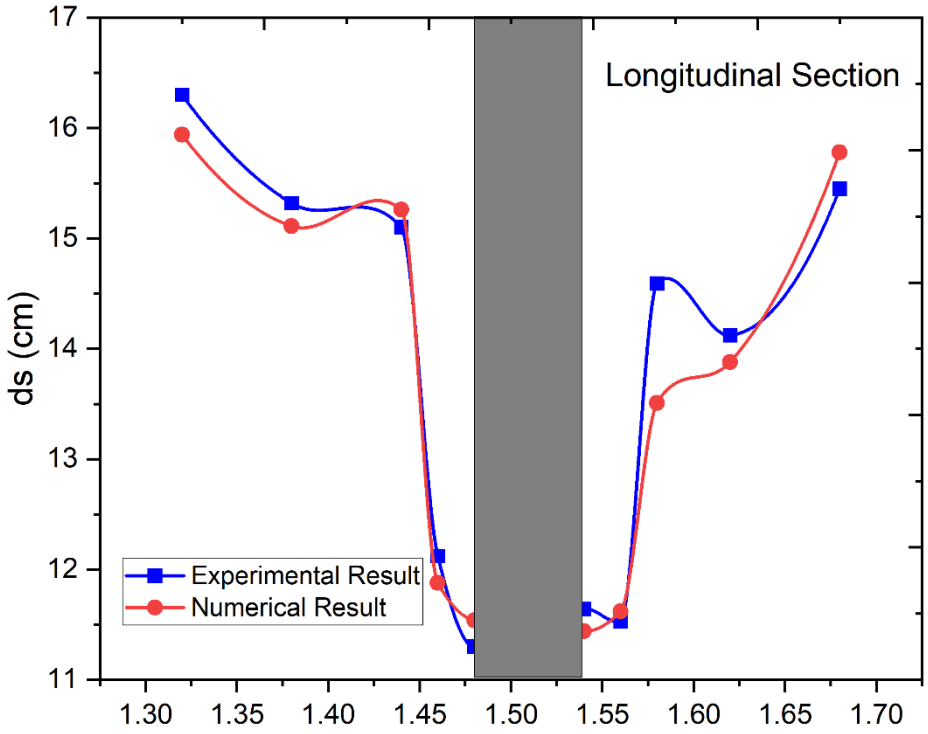


Fig 9. Longitudinal section scour profile.

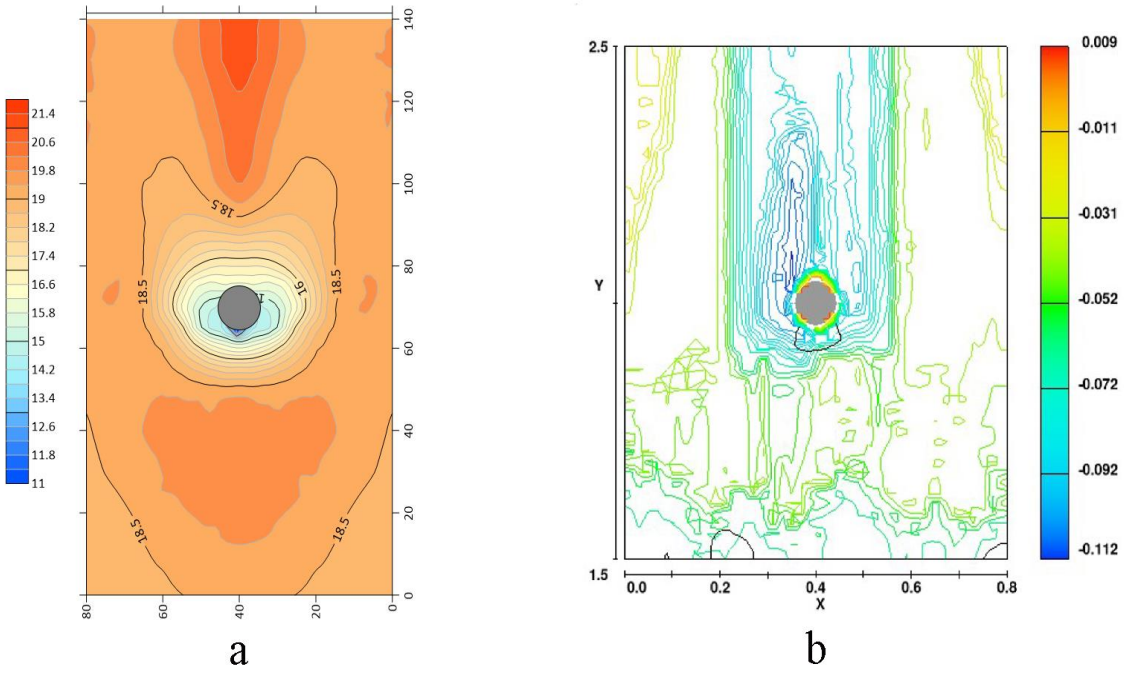


Fig 10. The couture lines of the bed around the bridge pier for (a) Experiment results and (b) CFD.

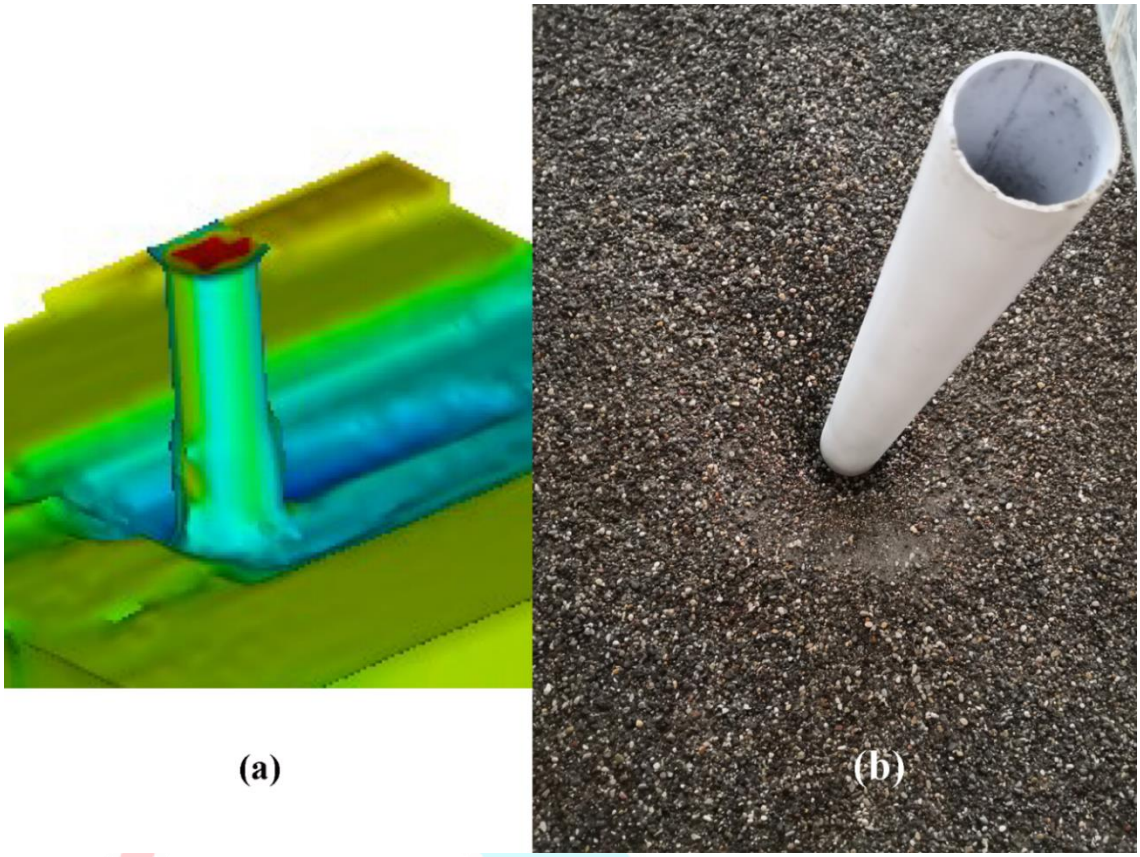


Fig 11. Local scour hole (a) CFD model (b) Experiment model.

5.Conclusion

In conclusion, this study employed both experimental and numerical approaches to investigate local scour phenomenon in non-cohesive bed conditions, specifically sand. Through experimental modeling in live bed flow conditions with shallow depth and narrow width, it was found that water depth is the primary factor influencing local scour depth. High-velocity water exceeding critical velocity can lead to increased scour depth, aligning with pier depth. Moreover, sediment accumulation occurs downstream from the scour hole, with scour development reaching equilibrium quickly. The developed numerical model, Flow-3D, proved efficient in simulating scour depth and flow around bridge piers under similar conditions. However, mesh quality significantly impacts modeling accuracy. Despite some discrepancies between numerical and experimental results, Flow-3D accurately evaluates maximum scour depth, especially for circular piers. The model's ability to simulate scour shape depends on cross-section shape and flow properties, suggesting that refining mesh size can improve accuracy. Overall, this study highlights the potential of Flow-3D as a valuable tool in predicting scour depth and flow patterns around bridge piers.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

Alasta, M. S., Ali, A. S. A., Ebrahimi, S., Ashiq, M. M., Dheyab, A. S., AlMasri, A., Alqatanani, A., & Khorram, M. (2022). Modeling of Local Scour Depth Around Bridge Pier Using FLOW 3D. *CRPASE: TRANSACTIONS OF CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING*, *8*(2), 1-9. https://doi.org/https://doi.org/10.52547/crpase.8.2.2781

Baker, C. J. (1980). The turbulent horseshoe vortex. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *6*(1), 9-23. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-6105(80)90018-5

Baker, R. E. (1986). Local scour at bridge piers in non uniform sediment.

Baykal, C., Sumer, B. M., Fuhrman, D. R., Jacobsen, N. G., & Fredsoe, J. (2015). Numerical investigation of flow and scour around a vertical circular cylinder. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*, *373*(2033). https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0104

Breusers, H., Nicollet, G., & Shen, H. (1977). Local scour around cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Research*, *15*(3), 211-252.

C136-01, A. (2001). Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

Chandrasekaran, S. (2020). Design of marine risers with functionally graded materials. Woodhead Publishing.

Chiew, Y. (1984). Local scour at bridge piers: Report No. 355. *University of Auckland, School of*.

Dargahi, B. (1989). The turbulent flow field around a circular cylinder. *Experiments in Fluids*, *8*(1), 1-12. https://doi.org/10.1007/BF00203058

Dey, S., Bose, S. K., & Sastry, G. L. (1995). Clear water scour at circular piers: a model. *Journal of Hydraulic Engineering*, *121*(12), 869-876. https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:12(869)

Dheyaaldin, M. H., ÖZAKÇA, M., & DHEYAB, A. S. (2017). Effect of stiffeners on structural behavior of steel liquids tank. *The International Journal of Energy and Engineering Sciences*, *2*(3).

Dheyab, A. S., DHEYAALDIN, M. H., & ÖZAKÇA, M. (2017). Numerical investigation of structural behavior of fiber reinforced polymers filled sandwich panels. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, *8*(3), 10-18. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21172/ijiet.83.002

Dheyab, A. S., & Günal, M. (2023). Experimental Investigation on the Effectiveness of Nanosilica for Reducing Local Scour Around Cylindrical Bridge Piers. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-13. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13369-023-08446-9

Ettema, R. (1980). Scour at bridge piers.

Fernando De Falco, R. M. (2002). The monitoring of bridges for scour by sonar and sedimetri. *NDT&E International*, *35(2)*, 117-123.

Gaydarov, N., Zakharov, Y., Ivanov, K., Semenov, K., Lebedev, V., Nudner, I., Belyaev, N., Mishina, A., & Schemelinin, L. (2014). Numerical and experimental studies of soil scour caused by currents near foundations of gravity-type platforms. Proceedings of the 2014 International Conference on Civil Engineering, Energy and Environment (CEEE 2014),

Ismael, A., Gunal, M., & Hussein, H. (2015). Effect of Bridge Pier Position on Scour Reduction According to Flow Direction. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *40*(6), 1579-1590. https://doi.org/10.1007/s13369-015-1625-x

Jalal, H. K., & Hassan, W. H. (2020). Three-dimensional numerical simulation of local scour around circular bridge pier using Flow-3D software. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,

Lagasse, P. F., Zevenbergen, L. W., Spitz, W., & Arneson, L. A. (2012). Stream Stability at Highway Structures, Fourth Edition [Tech Report]. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/42687

Liang, B., Du, S., Pan, X., & Zhang, L. (2020). Local Scour for Vertical Piles in Steady Currents: Review of Mechanisms, Influencing Factors and Empirical Equations. *Journal of Marine Science and Engineering*, *8*(1), 4. https://www.mdpi.com/2077-1312/8/1/4

Lienhard, J. H. (1966). *Synopsis of lift, drag, and vortex frequency data for rigid circular cylinders* (Vol. 300). Technical Extension Service, Washington State University Pullman, WA.

Melville, B., & Sutherland, A. (1988). Design method for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, *114*(10), 1210-1226. https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1988)114:10(1210)

Melville, B. W., & Coleman, S. E. (2000). *Bridge scour*. Water Resources Publication.

Moncada-M, A. T., Aguirre-Pe, J., Bolívar, J. C., & Flores, E. J. (2009). Scour protection of circular bridge piers with collars and slots. *Journal of Hydraulic Research*, *47*(1), 119-126. https://doi.org/10.3826/jhr.2009.3244

Prendergast, L. J., & Gavin, K. (2014). A review of bridge scour monitoring techniques. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, *6*(2), 138-149. https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.01.007

R. Ettema, E. A. M., B. W. Melville, A. A. Yassin. (1998). LOCAL SCOUR AT SKEWED PIERS. *Journal of Hydraulic Engineering*, *124*(7). https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1998)124:7(756)

Raudkivi, A. J., & Ettema, R. (1977). Effect of sediment gradation on clear water scour. *Journal of the Hydraulics Division*, *103*(10), 1209-1213. https://doi.org/https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0004853

Raudkivi, A. J., & Ettema, R. (1983). Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, *109*(3), 338-350. https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:3(338)

Raudkivi, A. J., & Ettema, R. (1985). Scour at cylindrical bridge piers in armored beds. *Journal of Hydraulic Engineering*, *111*(4), 713-731. https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1985)111:4(71

Richardson, E., & Davis, S. (2001). Evaluating scour at bridges: Hydraulic engineering circular No. 18. *Rep. FHwA NHI*, 01-001.

Richardson, E. V., & Davis, S. R. (2001). *Evaluating scour at bridges*.

Richardson, J. E., & Panchang, V. G. (1998). Three-dimensional simulation of scour-inducing flow at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, *124*(5), 530-540.

Roulund, A., Sumer, B. M., Fredsøe, J., & Michelsen, J. (2005). Numerical and experimental investigation of flow and scour around a circular pile. *Journal of Fluid mechanics*, *534*, 351-401. https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0022112005004507

Salaheldin, T. M., Imran, J., & Chaudhry, M. H. (2004). Numerical modeling of three-dimensional flow field around circular piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, *130*(2), 91-100.

Salim, M., & Jones, J. S. (1996). Scour around exposed pile foundations. North American water and environment congress & destructive water,

Schaap, H. S., & Caner, A. (2021). Bridge collapses in Turkey: causes and remedies. *Structure and Infrastructure Engineering*, 1-16. https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1867198

Schlichting, H., & Kestin, J. (1961). *Boundary layer theory* (Vol. 121). Springer.

Shirole AM, H. R. (1991). *PLANNING FOR A COMPREHENSIVE BRIDGE SAFETY ASSURANCE PROGRAM* Bridge Engineering Conference, 3rd, Denver, Colorado, USA.

Wang, C., Yu, X., & Liang, F. (2017). A review of bridge scour: mechanism, estimation, monitoring and countermeasures. *Natural Hazards*, *87*(3), 1881-1906.

Zhao, M., Cheng, L., & Zang, Z. (2010). Experimental and numerical investigation of local scour around a submerged vertical circular cylinder in steady currents. *Coastal Engineering*, *57*(8), 709-721. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2010.03.002

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Hareketlilik Merkezlerinin Faydaları ve Avrupa Şehirlerinden Örnekler

Fatih Kerem BOZ[1]

Özet

Hareketlilik merkezleri, tek ve erişilebilir bir konumda çeşitli ulaşım modları arasında kesintisiz bağlantılar sağlayarak kentsel hareketliliği optimize etmek için tasarlanmış, stratejik olarak entegre ulaşım merkezleridir. Bu merkezler genellikle otobüs, tramvay ve tren gibi toplu taşıma araçlarını bisiklet, elektrikli skuter ve araç paylaşım platformları gibi paylaşımlı hareketlilik hizmetleriyle birleştirir. Ayrıca otopark olanakları, perakende satış mağazaları ve bilgi merkezleri gibi olanaklar da sıklıkla mevcuttur. Hareketlilik merkezlerinin temel faydaları arasında gelişmiş bağlantı, azaltılmış trafik sıkışıklığı ve azaltılmış karbon emisyonları yer almaktadır. Hareketlilik merkezleri, çeşitli ulaşım modları arasında zahmetsiz transferlere olanak sağlayarak, özel araç kullanımı yerine sürdürülebilir seyahat alternatiflerinin benimsenmesini teşvik ederek, daha temiz ve daha verimli kentsel ortamlara katkıda bulunmaktadır. Avrupa şehirleri, hareketlilik merkezlerinin konuşlandırılmasında öncü olmuş ve çeşitli başarılı uygulamalarla faydalarını göstermiştir. Örneğin, Berlin'deki Jelbi mobilite uygulaması, toplu taşımayı paylaşımlı hareketlilik hizmetleriyle birleştirerek kullanıcıların birleşik bir uygulama aracılığıyla elektrikli skuterlara, bisikletlere ve arabalara erişmesine olanak tanıyarak bu entegrasyonun bir örneğini oluşturmaktadır. Bu mobil uygulama, özel araç sahipliğinden daha esnek ve sürdürülebilir bir kentsel ulaşım çerçevesine doğru bir paradigma değişimini desteklemektedir. Dikkate değer bir diğer örnek ise Park Et Devam Et (P+R) sistemleridir. Bu sistemler, işe gidip gelenlerin özel araçlarını şehrin eteklerine park edip toplu taşımaya geçmelerine olanak tanıyarak şehir içi trafiği ve kirliliği azaltmaktadır. Bu çalışma, Hareketlilik Merkezlerinin şehirlerdeki önemini, temel faydalarını ve Avrupa Şehirlerinden örnekleri göstermektedir. Sürdürülebilir kentsel ulaşıma yönelik önemli bir ilerlemeyi temsil eden hareketlilik merkezlerini ve bunların temel faydalarını gösteren bu çalışma aynı zamanda çok modlu ulaşım çözümlerini teşvik eden, kullanıcı rahatlığını artıran, özel araçlara bağımlılığı azaltan ve daha sürdürülebilir ve verimli bir kentsel mobilite ağının geliştirilmesine katkıda bulunan Avrupa şehirlerinden örnekler göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Hareketlilik Merkezleri, Sürdürülebilirlik, Entegrasyon

[1] Öğretim Görevlisi Doktor, Yalova Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0009-0007-1953-7237

ISBN: 978-625-372-170-1

Giriş

Hareketlilik merkezleri, tek ve erişilebilir bir konumda çeşitli ulaşım modları arasında kesintisiz bağlantılar sağlayarak kentsel mobiliteyi optimize etmek için tasarlanmış, stratejik olarak entegre ulaşım merkezleridir. Son yıllarda, kentlerde hareketlilik politikaları ve ulaşım hizmetlerinde önemli ölçüde ilerlemeler kaydedilmiş olup, sürdürülebilir hareketliliğin önemi giderek artmaktadır. Bu çerçevede, kentsel çevrede, altyapılarda, tesislerde ve hizmetlerde birçok değişiklik gözlemlenmektedir. Toplu taşımanın geliştirilmesi ve sürekli olarak iyileştirilmesinin yanı sıra, şehirler aynı zamanda aktif ulaşım modlarının kullanımını teşvik etmektedir. Ayrıca, bireysel araç kullanımını paylaşımlı araçlara dönüştüren hareketlilik türleri artmakta ve kamu-özel ortaklığı girişimleri yaygınlaşmaktadır. Hareketlilik merkezleri genellikle otobüs, tramvay ve tren gibi toplu taşıma araçlarını bisiklet, elektrikli skuter ve araç paylaşım platformları gibi paylaşımlı hareketlilik hizmetleriyle birleştirir. Ayrıca bu merkezlerde otopark olanakları, perakende satış mağazaları ve bilgi merkezleri gibi olanaklar da bulunmaktadır.

Bununla birlikte, hareketlilik merkezleri, yalnızca hareketlilik açısından şehirlerin çevre politikalarını birleştirmeyi değil aynı zamanda sosyal, güvenlik ve ekonomik hedeflere ulaşmayı da amaçlayan daha geniş bir hedefler dizisine ulaşmak için yararlı bir çoklu araç olarak görülmektedir [1, 2].

Hareketlilik Merkezlerinin Faydaları

Hareketlilik merkezleri, toplu taşıma, araç paylaşımı, bisiklet ve elektrikli skuter paylaşımı ve yaya yolları gibi çeşitli ulaşım modlarını entegre ederek, seyahati kolaylaştıran ve özel araçlara bağımlılığı azaltan kesintisiz, birbirine bağlı bir ağ oluşturmaktadır. Bu merkezler, şehir ve sakinleri için hem verimliliği hem de yaşam kalitesini artıran çok sayıda fayda sunmaktadır.

- Mobilite Merkezleri birden fazla ulaşım modunun kusursuz entegrasyonunu sağlayarak, işe gidip gelenlerin bu modlar arasında geçiş yapmasını kolaylaştırmaktadır.
- Toplu taşıma ve aktif seyahat (yürüme ve bisiklet gibi) seçeneklerini teşvik ederek trafik sıkışıklığını azaltmaktadır.
- Özel araçlara bağımlılığı azaltarak sera gazı emisyonlarını ve hava kirliliğini azaltmaktadır.
- Bireyler için ulaşım maliyetlerini şehirler için altyapı maliyetlerini azaltabilir.
- Çeşitli ulaşım hizmetleri için tek noktadan konum sunarak kullanıcı deneyimini geliştirir.
- Özel aracı olmayanlar da dahil olmak üzere tüm topluluk üyelerinin ulaşıma erişimini artırır.
- Bisiklet, yürüyüş ve toplu taşıma gibi çevre dostu ulaşım türlerinin kullanımını ve sürdürülebilir seyahati teşvik etmektedir.
- İşletmeleri ve hizmetleri merkez alana çekerek yerel ekonomileri canlandırabilir ve kentsel canlanmayı teşvik edebilir.
- Seyahati daha erişilebilir ve uygun fiyatlı hale getirerek toplumun birbirine bağlantısını ve sosyal katılımı artırır.

- Daha iyi altyapı ve tasarım yoluyla güvenliğin artırılmasına katkıda bulunabilecek ulaşım hizmetlerini merkezileştirir.

Avrupa Şehirlerinden Örnekler

Hareketlilik Merkezleri, sürdürülebilir kentsel ulaşım stratejilerinin temel bileşenleri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu merkezler, bağlantıyı geliştirmek ve özel araçlara olan bağımlılığı azaltmak için toplu taşıma, paylaşımlı hareketlilik hizmetleri ve kişisel bisiklet dahil olmak üzere çeşitli ulaşım modlarını entegre etmektedir. Birçok Avrupa şehri bu merkezlerin geliştirilmesinde önemli ilerlemeler kaydetmiştir.

Almanya - Bremen

Hareketlilik merkezlerinin uygulamaya konduğu ilk örnek Almanya'nın Bremen şehrinde mobil.punkt olarak adlandırılan merkezlerdir [3]. Başlangıçta hareketlilik merkezleri ortak hareketliliği teşvik ederek park alanı sıkıntısına çözüm bulmanın bir yolu olarak öngörülmüştü. Hareketlilik merkezlerinin ortaya çıkma fikri hem Almanya'da hem de dünyanın diğer şehirlerinde sürdürülebilirlik unsurlarını içerecek ve özel araçları sokaklardan kaldıracak ve ulaşımda kesintisiz bağlantıya izin verecek şekilde daha da geliştirilmiştir. Konum, alan kullanımı ve ulaşım entegrasyonu arasındaki ilişkiyi kabul ederken, çeşitli ulaşım modlarının birbirine bağlanabileceği yerler olarak hareketlik merkezlerinin çok işlevli fikri, çeşitli bölgelerin kendi hareketlilik merkezlerini keşfetmeye başlaması anlamına gelmiştir [4].

Şekil 1'de, Bremen Şehri'nde, otobüs duraklarının yakınındaki merkezi konumlara "mobil.punkt" olarak da adlandırılan araç paylaşım operatörünün aracının bulunduğu 10 büyük mobilite merkezi inşa edilmiştir [5]. Daha küçük olanı mobil.pünktchen olarak bilinen, genellikle iki ila üç araç paylaşımlı aracın yanı sıra bisiklet, park yeri ile merkezi olmayan yerlerde inşa edilmiştir.



Şekil 1 Bremen'deki Hareketlilik Merkezi – mobil.punkt [5]

Almanya - Berlin

Berlin şehri Jelbi olarak bilinen kapsayıcı bir birleşik marka altında hareketlilik kümeleri, hareketlilik merkezleri ve daha küçük olarak hareketlilik noktalarından oluşan bir ağa sahiptir. Şehrin ana toplu taşıma şirketi BVG'deki Jelbi projesi, şehir genelinde

sürdürülebilir hareketlilik seçenekleri sunmak için hem toplu taşımayı hem de özel paylaşımlı hizmetleri bir araya getirerek tek bir uygulamayla hizmet vermektedir

Jelbi mobilite uygulaması, toplu taşımayı paylaşımlı hareketlilik hizmetleriyle birleştirerek kullanıcıların birleşik bir uygulama aracılığıyla elektrikli skuterlara, bisikletlere, motosikletlere ve arabalara erişmesine olanak tanıyarak bu entegrasyonun bir örneğini oluşturmaktadır. Bu mobil uygulama, özel araç sahipliğinden daha esnek ve sürdürülebilir bir kentsel ulaşım çerçevesine doğru bir paradigma değişimini desteklemektedir. Hareketlilik Merkezleri, erişilebilirliği en üst düzeye çıkarmak ve çevre dostu ulaşım türlerinin kullanımını teşvik etmek için stratejik olarak konumlandırılmıştır. Şekil 2'de görülen Jelbi istasyonları, yalnızca otobüsleri değil aynı zamanda kullanıcılar için araç kiralayabileceği veya şarj edebileceği imkanlar ile, bisiklet, elektrikli skuter veya küçük motosiklet dahil çeşitli ulaşım modları sunmaktadır. Ayrıca şehirde bu modları taksi hizmetleriyle entegre etmektedir [6].



Şekil 2 Berlin'deki Hareketlilik Merkezi – Jelbi [6]

Jelbi hareketlilik merkezleri paylaşımlı hareketlilik ve toplu taşımanın entegrasyonu ile fiziksel ve dijital ulaşım hizmeti vermektedir. Jelbi, Hizmet olarak Hareketlilik (Mobility as a Service - MaaS) uygulaması aracılığıyla, kullanıcılar yolculuklarını planlayabilir, rezervasyon yapabilir ve ücretini ödeyebilir.

Avusturya - Viyana

Hareketlilik merkezleri, elektrikli arabalardan elektrikli skuterlara ve kargo bisikletlerine kadar paylaşım modunda çeşitli ulaşım araçları sunmaktadır. Mo.Hub projesi, Viyana'da ikamet eden vatandaşların sokaklarını sürdürülebilir hareketlilik amacıyla dönüştürmelerine olanak sağlamaktadır. Viyana'da, yeni yapıların ve binaların bir parçası olarak hareketlilik merkezlerinin planlanması, park imkanının azaltılmasına olanak tanımakta ve bu da müteahhidlere yönelik maliyeti 70 m2'lik bir daire için yaklaşık %8,5 oranında azalttığı bulunmuştur. Özellikle dolgu ve kısıtlı alanlarda açık alan veya daha yüksek yoğunluktaki binalar için daha fazla araziye yol açabileceği belirtilmiştir [7]. Şekil 3'te Viyana'daki hareketlilik merkezi görülmektedir.



Şekil 3 Viyana'daki Hareketlilik Merkezi [8]

Hollanda - Amsterdam

Amsterdam şehrinde pilot proje olarak yürütülen çalışmada, Amsterdam şehir sakinlerinin toplu taşıma, bisiklet, araba paylaşımı ve taksi ihtiyaçları için kullanabilecekleri seyahat kredisi karşılığında iki ay boyunca arabalarından vazgeçtiği görülmüştür. Katılımcıların %30'unun arabalarını kalıcı olarak elden çıkarmayı tercih ettikleri tespit edilmiştir. Amsterdam'daki bisiklet paylaşım planı erişilebilir ve görünür istasyonların etkisi üzerine araştırma yapmış ve açık bir işarete ve kullanıcı bilgilerine (bir sütun aracılığıyla) sahip istasyonlar, marka veya bilgi içermeyen istasyonlara göre yaklaşık %28 daha fazla kullanıcıya sahip olduğu anlaşılmıştır [7]. Şekil 4'te Amsterdam'daki paylaşımlı hareketlilik istasyonu görülmektedir [9].



Şekil 4 Amsterdam Paylaşımlı Hareketlilik İstasyonu [9]

Norveç - Bergen

Mayıs 2018'de, bir başka SHARE-North ortağı olan Norveç'in Bergen Şehri, ilk mobilpunkt'unun açılışını gerçekleştirmiştir [5]. Bremen'den büyük ölçüde ilham aldıkları ve Bremen'dekinden farkının sadece noktasız olarak tasarlandığı görülmektedir. Park yerlerini belirtmek için Hollanda'da geliştirilen araba paylaşım simgesini kullanarak, her zaman aynı temel unsurları dahil edip çevredeki toplumun ihtiyaçlarını karşılamak için mobilpunkt

planlama yaklaşımını benimsemişlerdir. Kamuya açık sokak alanlarında araç paylaşım hizmetlerinin görünür ve erişilebilir olmasını sağlamışlardır (Şekil 5).



Şekil 5 Bergen'deki Hareketlilik Merkezi – Mobilpunkt [5]

Sonuç

Otobüs, tren, bisiklet ve araç paylaşımı hizmetleri gibi çeşitli ulaşım modlarını entegre eden hareketlilik merkezleri kent içinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu merkezler sadece şehir sakinlerinin günlük yaşamlarını iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda şehir yönetiminin de daha verimli olmasına katkıda bulunmaktadır.

Konut sakinleri için hareketlilik merkezleri önemli faydalar sunar. Ulaşım seçeneklerini merkezileştirerek özel araçlara olan bağımlılığı azaltır, böylece trafik sıkışıklığını hafifletir ve sera gazı emisyonlarını ve hava kirliliğini azaltır. Bu, özellikle verimli ve sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin yaşam kalitesini korumak için hayati önem taşıdığı artan kentleşme bağlamında oldukça önemlidir. İyi tasarlanmış hareketlilik merkezleri işe gidip gelme sürelerini azaltabilir ve özellikle yetersiz hizmet alan nüfus için sağlık ve eğitim gibi temel hizmetlere erişimi iyileştirebilir. Üstelik bu merkezlerde çeşitli ulaşım seçeneklerinin bulunması, insanların kısa yolculuklar için yürümeyi veya bisiklete binmeyi tercih etmesi nedeniyle daha sağlıklı yaşam tarzlarını teşvik edebilir.

Şehir yönetimi açısından bakıldığında, hareketlilik merkezleri daha iyi ulaşım planlaması ve kaynak tahsisi için bir çerçeve sağlar. Şehirler, çeşitli ulaşım hizmetlerini tek bir yerde toplayarak operasyonları ve bakımı kolaylaştırabilir ve potansiyel olarak maliyetleri azaltabilir. Ayrıca bu merkezler, ulaşım kullanım alışkanlıklarına ilişkin gerçek zamanlı veriler sunan akıllı ulaşım sistemleri ile donatılabilir. Bu veriler şehir planlamacıları ve ulaştırma mühendisleri için çok kıymetli olabilir ve daha duyarlı ve uyarlanabilir ulaşım politikalarına olanak sağlayabilir. Örneğin veriler, otobüs güzergahlarının optimize edilmesine veya talebin daha iyi karşılanması için toplu taşıma araçlarının iyileştirilmesine yardımcı olabilir.

Ayrıca, hareketlilik merkezleri yerel ekonomileri canlandırabilir. Bu merkezler, insanların bir araya geldiği canlı ve erişilebilir alanlar yaratarak perakende ve ticari faaliyetleri artırabilir. Bunlara ek olarak, daha yürünebilir ve ekonomik açıdan dinamik mahalleler oluşmasını sağlayabilecek ulaşım düğümleri çevresinde daha yüksek yoğunluklu, karma kullanımlı gelişmeyi teşvik ederek sürdürülebilir kentsel kalkınmayı da destekleyebilir.

Bu çalışmada, hareketlilik merkezlerinin faydalarına değinerek Avrupa şehirlerinden örnekler verilmiştir. Hareketlilik merkezlerinin kent içi hareketliliği geliştirmek, çevresel etkileri azaltmak ve verimli şehir yönetimini desteklemek için önemli ve gerekli olduğu vurgulanmıştır. Çok modlu ulaşımı bütünleştirmenin sadece şehir sakinlerine fayda sağlamakla

kalmadığı, aynı zamanda şehir yönetiminin daha sürdürülebilir ve yaşanabilir kentsel ortamlar yaratmasına da yardımcı olduğu belirtilmiştir.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynakça

[1] Bax & Company. Smart Mobility Guide 2020. https://www.futuremobility.expert/shared-mobility-guide. Erişim Tarihi: 15.05.2024.

[2] Huysmans S, Koelman, R, Fu R, Mertens G. How to choose a governance approach. www.futuremobility.expert 2022. https://www.futuremobility.expert/updates/how-to-choose-a-governance-approach. Erişim Tarihi: 16.05.2024.

[3] Karbaumer R. ve Weltring, W. *Was sind mobil.punkte??* https://mobilpunkt-bremen.de/mobil-punkte/. Erişim tarihi:27.04.2024

[4] Austin J. *Mobility Hub – UK History*. https://www.mobihub.com/mobility-hubs-uk-history. Accessed January 4, 2021.

[5] Projects working with the concept of mobihubs https://www.mobipunt.be/abroad/ Erişim tarihi 20.05.2024

[6] Jelbi Stations. https://www.jelbi.de/en/jelbi-stations/ Erişim tarihi: 17.05.2024

[7] ComoUK (2022). Mobility hub evidence – a dossier compiled by CoMoUK. Erişim tarihi: 20.05.2024

[8] Asher, R. (2018). Pioneers Tests: The Future of Mobility in Vienna. https://pioneers.io/pioneers-tests-future-mobility-vienna/ Erişim tarihi: 14.05.2024

[9] Amsterdam combines bicycle parking with loading and unloading areas. https://bikecity.amsterdam.nl/en/amsterdam-invests-in-shared-mobility/ Erişim tarihi: 22.05.2024

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Determination of Scattering Parameters in Horn Antenna Design Using Machine Learning Algorithm

Ahmet ULUSLU[1]
Gülsüm ARI[2]

Abstract

The horn antenna structure used in wireless communication systems provides data transmission in wide frequency spectrums and achieves high efficiency while doing so. Designing this antenna structure is of great importance in optimizing the performance of the communication system. Scattering parameter, which is an important characteristic feature in antenna design, is one of the important factors that determine the efficiency of the antenna. This study has introduced a machine learning model that can predict the scattering parameter, which largely determines the efficiency of the system during transmission in the horn antenna, by making use of the antenna's features such as radius, cone height, Aperture Radius, Waveguide Height, feed height, feed Width, feed offset and frequency value. The XGBoost model developed for the study is a machine learning algorithm and an ensemble learning method. Due to its structure, the algorithm used is based on the combination of many weak learners to form a strong learning system, thus creating a learning community. Thanks to this model, the efficiency to be achieved in the planned communication system can be determined in advance and the system can be optimized for the best. This model was implemented with the Python programming language via Anaconda's SPYDER IDE and demonstrated the use and benefit of artificial intelligence algorithms in antenna design in the field of communication.

Keywords: XGBoost, machine learning, wireless communication

[1] Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orcıd: 0000-0002-5580-1687
[2] Öğr. Gör., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orcıd: 0009-0001-6051-8018

ISBN: 978-625-372-170-1

1. INTRODUCTION

With the development of wireless communication systems, the need for compact, efficient and high-performance antenna design has increased. Antennas, which are an important part of wireless communication systems, must have certain performance evaluation levels such as gain, radiation diagram, operating band and return loss [(Tirkas & Balanis, n.d.)]. Antennas are generally described in two ways, based on their size. Planar antennas such as patch antennas [(Chen et al., 2023; Fang et al., 2022)] or complex 3D antennas such as 2D and Horn antennas [(Lee et al., 2023; Ren et al., 2021; Trzebiatowski et al., 2022; Wu et al., 2020)]. Antennas in the specified structures have advantages and disadvantages in terms of performance evaluations. Microstrip antennas require less design area and volume, so their production cost is low [(Tirkas & Balanis, n.d.)]. However, it has limited bandwidth and low gain values that can only be improved by array design. Horn antennas require more design volume than microstrip antennas. However, Horn antennas are better in terms of bandwidth, gain values and radiation characteristics [(Yan et al., 2021)]. Horn antenna is preferred in many applications requiring high-performance radiation diagram features and ultra-wideband operating range [(Coburn & McCormick, 2018)].

Antenna design takes scattering parameters into account. Inefficiency at the antenna input significantly reduces the gain and therefore the radiation performance of the antenna, especially in ultra-wideband antennas. However, in ultra-wideband antenna designs, only scattering parameters are required. A design that has the desired scattering parameters may not have the expected radiation performance. Thus, the radiation performance of the design can be evaluated independently of the scattering parameter. Besides these features, other factors such as design size and volume must be taken into account, which limit the potential uses to which the antenna design can be put and directly affect production costs [(Bongard et al., 2020; Jie et al., 2017; Jin et al., 2018; Montalvo et al., 2015)]. As a result, the design of a horn antenna that provides the desired performance criteria is a challenging and complex problem.

To meet these requirements, an accurate electromagnetic (EM) characterization is necessary. For this, design tools capable of performing full-wave electromagnetic analysis (TEM) are required. Although EM simulations provide high-precision measurements, they are at a disadvantage in solving computationally important and complex problems such as tolerance analyzes and optimization.

The machine learning method is an effective solution method to eliminate the disadvantages of full-wave EM modeling, which is computationally inefficient and expensive. It has been proven to be used as a low-cost method in the design procedure of high-frequency devices. This can be used to calculate steps such as scattering parameters [(I. Khan et al., 2018; Mahouti et al., 2022)], reflection phase of reflective array antennas [(T. Khan & De, 2012)], characteristic impedance [(Angiulli, 2009)], and resonance frequency estimation of antenna designs [(Valagiannopoulos & Tsitsas, 2008)].

2. MATERIAL and METHOD

2.1. Dataset

The data set used in the machine learning model consists of 18750 data. These data consist of attributes used in the horn antenna design and forming the performance value of the design. It consists of 8 attributes and 1 label column. The attributes are radius, cone height,

Aperture Radius, Waveguide Height, feed height, feed Width, feed offset and frequency value, respectively. The label value is created by the scattering parameter called S_{11}.

2.2. Machine Learning and XGBoost Model

Machine Learning method is an artificial intelligence method that offers the opportunity to work with many types of data simultaneously, especially numerical and categorical data. All data used in this study are features that determine the performance of horn antenna data and all consist of numerical values. At the same time, the artificial intelligence model created is a regression model, that is, it can produce a numerical output from the values given to it, considering the task required of it. After determining the desired task from the model, the next stage is to determine the model algorithm that will perform and the hyperparameters of this model.

The machine learning model used in this study is the XGBoost algorithm, which is a gradient-based learning algorithm. It works with the logic of decision trees based on the XGBoost algorithm and uses an ensemble learning method. Gradient-based learning algorithms use bagging and boosting methods due to their structure. These two learning pairs extract samples with k elements in the dataset consisting of N_samples data and introduces them to individual trees, thus forming a collective tree learning model. In other words, the XGBoost model is a machine learning algorithm where a collection of weak tutors combine to form a strong final learning model.

The machine learning method is based on statistical information rather than deep learning, which is another popular intelligence method. The error metrics to be used when examining the performance of the models established in this method are determined according to these statistical methods. The performance metrics used in this study are Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE) and R^2, respectively.

To explain briefly, MSE is a measure of the average squared difference between the predicted values and the actual values. The mathematical formula is:

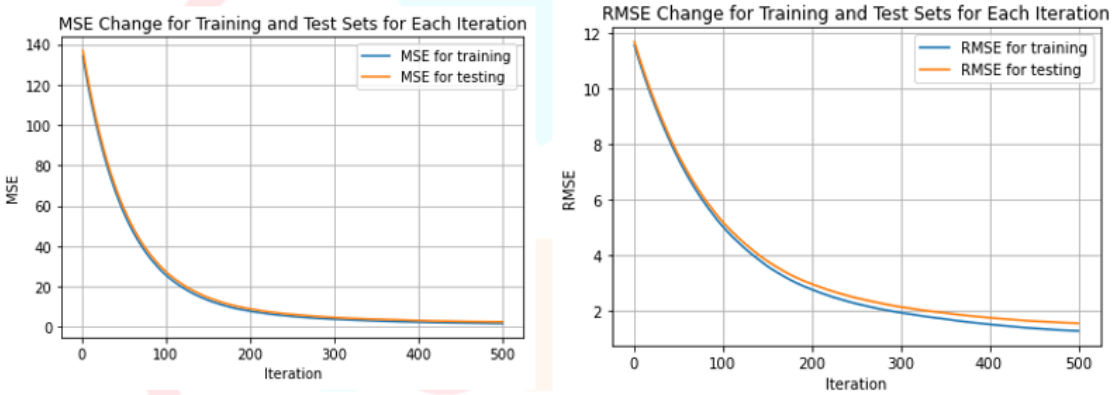
$$\boldsymbol{MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Another performance metric is RMSE. RMSE is the square root of MSE. It provides an estimate of the standard deviation of the prediction errors. If expressed with a mathematical formula, RMSE is:

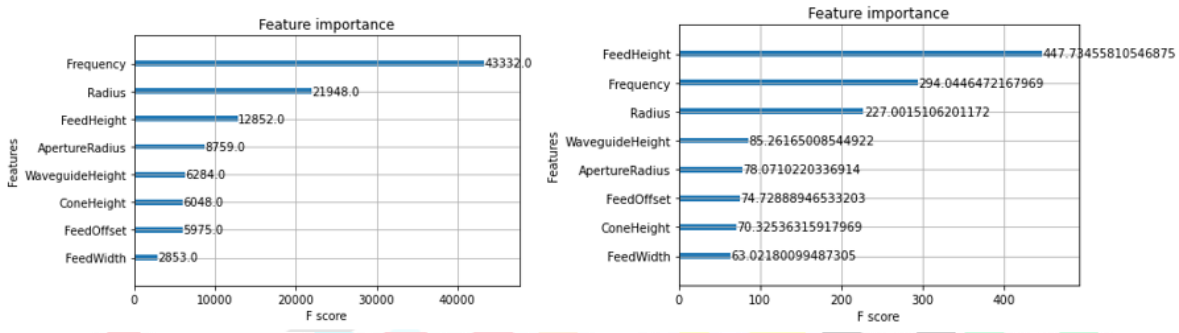
$$\boldsymbol{RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}}$$

And the last performance metric, R2, takes a value between 0 and 1, indicating how close the predictions made by the regression model are to the real predictions.

During modeling, 30% of 18750 pieces of data were separated into training and testing. As a result, 13125 training and 5625 testing data were obtained. XGBoost learned the model with the data allocated for training and evaluated itself with the data allocated for testing. While creating the model architecture, the GridSearchCV method was used without determining the hyperparameter values. Thus, the most appropriate hyperparameter values for the model and dataset were obtained. In addition, with the "n_estimator" parameter, which determines the number of trees in the community, one of these hyperparameters, the change in the performance metric of the model with each tree added to the model can be examined. The specified graphics are below.

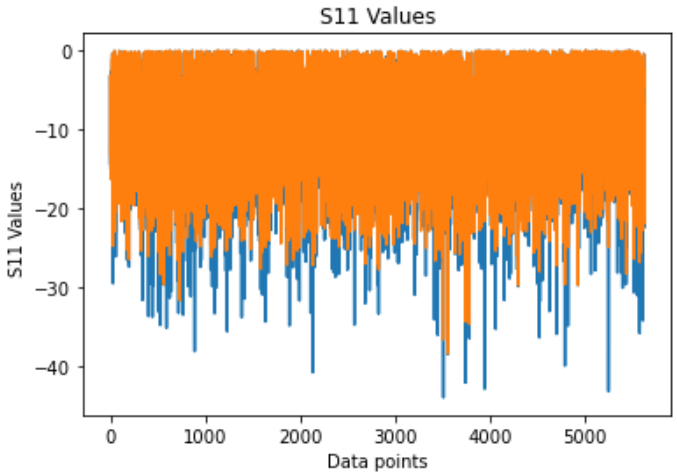


While the model is in the learning phase in the data set, it tries to train itself by establishing relationships between the attributes. In the XGboost model, which performs tree-type learning, the algorithm establishes more relationships between some attributes, that is, it encounters those attributes more often. These attributes are called high-weight labels. Even though he encounters some of them less frequently, he achieves better results and earns profit while obtaining the label value. These attributes are called more profitable attributes. When the study was examined, the graphs below were obtained when the model was asked to compare the weights and gains between the features at the end of the training.



3. CONCLUSIONS

In this study, when this model, which was trained with the training set and tested with the test set, was examined, three performance metric values and performance rates were obtained. In this study, when this model, which was trained with the training set and tested with the test set, was examined, three performance metric values and performance rates were obtained. These values are respectively: accuracy score for training 96%, MSE value 2.429877, RMSE value 1.558806 and R2 value 0.943632. When these results are examined, it can be seen that the scattering parameter predictions made by the model are close to the real values because the MSE and RMSE values are small and the R2 value is close to 1. This result is also seen in the result graph showing the actual values and the predictions made by the model.



Thus, this study demonstrated the advantages of using machine learning algorithms when designing horn antennas, reinforced the importance of using artificial intelligence in the field of communication, and achieved the expected results.

ISBN: 978-625-372-170-1

REFERENCES

Angiulli, G. (2009). Comments on "A Hybrid Method Based on Combining Artificial Neural Network and Fuzzy Inference System for Simultaneous Computation of Resonant Frequencies of Rectangular, Circular, and Triangular Microstrip Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *57*(1), 296–296. https://doi.org/10.1109/TAP.2008.2009786

Bongard, M., Grunert, K., & Aleksic, S. (2020). Techno-Economic Analysis of Deployment Options for Converged 5G Wireless-Optical Access Networks. *2020 43rd International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)*, 401–406. https://doi.org/10.23919/MIPRO48935.2020.9245174

Chen, X., Wang, J., & Chang, L. (2023). Extremely Low-Profile Dual-Band Microstrip Patch Antenna Using Electric Coupling for 5G Mobile Terminal Applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *71*(2), 1895–1900. https://doi.org/10.1109/TAP.2022.3217640

Coburn, W., & McCormick, S. (2018). Ultra-wideband antenna performance comparison. *2018 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES)*, 1–2. https://doi.org/10.23919/ROPACES.2018.8364193

Fang, Y., Tang, M., & Zhang, Y. P. (2022). A Decoupling Structure for Mutual Coupling Suppression in Stacked Microstrip Patch Antenna Array. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, *21*(6), 1110–1114. https://doi.org/10.1109/LAWP.2022.3158420

Jie, G., Jinsong, D., Xing, T., & Rigang, C. (2017). Design of radar antenna based on HFSS. *2017 2nd International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE)*, 460–463. https://doi.org/10.1109/ICRAE.2017.8291430

Jin, Y., Lee, H., & Choi, J. (2018). A Compact, Wideband, Two-Port Substrate-Integrated Waveguide Antenna With a Central, Double-Slotted, Metallic Plate Flanked by Two Paired of Corrugations for Radar Applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *66*(11), 6376–6381. https://doi.org/10.1109/TAP.2018.2863263

Khan, I., Tian, Y.-B., Inamullah, Vllah, H., Rahman, S. U., & Kamal, M. M. (2018). Design Annular Ring Microstrip Antenna Based on Artificial Neural Network. *2018 2nd IEEE Advanced Information Management,Communicates,Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*, 2033–2037. https://doi.org/10.1109/IMCEC.2018.8469582

Khan, T., & De, A. (2012). A generalized neural simulator for computing different parameters of circular/triangular microstrip antennas simultaneously. *2012 IEEE Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE)*, 350–354. https://doi.org/10.1109/APACE.2012.6457692

Lee, N., Im, C., Park, S., & Choo, H. (2023). Design of a Metal 3D Printed Double-Ridged Horn Antenna With Stable Gain and Symmetric Radiation Pattern Over a Wide Frequency Range. *IEEE Access*, *11*, 100565–100572. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3313724

Mahouti, P., Belen, M. A., Calik, N., & Koziel, S. (2022). Computationally Efficient Surrogate-Assisted Design of Pyramidal-Shaped 3-D Reflectarray Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *70*(11), 10777–10786. https://doi.org/10.1109/TAP.2022.3191131

Montalvo, J., Arroyo, M., Torrijos, J. A., Lorca, J., & Berberana, I. (2015). Fixed-mobile convergence and virtualization in 5G optical transport networks. *2015 17th*

International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), 1–4. https://doi.org/10.1109/ICTON.2015.7193560

Ren, Z., Qi, S.-S., Wu, W., & Shen, Z. (2021). Pattern-Reconfigurable Water Horn Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *69*(8), 5084–5089. https://doi.org/10.1109/TAP.2021.3064036

Tirkas, P. A., & Balanis, C. A. (n.d.). Finite-difference time-domain technique for radiation by horn antennas. *Antennas and Propagation Society Symposium 1991 Digest*, 1750–1753. https://doi.org/10.1109/APS.1991.175196

Trzebiatowski, K., Kalista, W., Rzymowski, M., Kulas, L., & Nyka, K. (2022). Multibeam Antenna for Ka-Band CubeSat Connectivity Using 3-D Printed Lens and Antenna Array. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, *21*(11), 2244–2248. https://doi.org/10.1109/LAWP.2022.3189073

Valagiannopoulos, C. A., & Tsitsas, N. L. (2008). Complex resonant frequencies of multi-layered spherical microstrip antennas. *2008 12th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory*, 213–215. https://doi.org/10.1109/MMET.2008.4580943

Wu, L., Wang, C., Peng, S., & Guo, Y. (2020). 3-D Printed Wideband Millimeter-Wave Horn Antenna With Conical Radiation Pattern. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, *19*(3), 453–456. https://doi.org/10.1109/LAWP.2019.2963747

Yan, Y.-M., Kong, Y.-D., & Chu, Q.-X. (2021). A Compact and High Gain SIW H-Plane Horn Antenna With Stepped Hard Boundary Condition. *2021 13th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE)*, 1–3. https://doi.org/10.1109/ISAPE54070.2021.9753634

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Design of A Circularly Polarized Cross Dipole Antenna for S-Band Telemetry

Aysu Başak ALTUĞ [1]
Mehmet ÇİYDEM [2]

Abstract

In satellite communicaitons S band is used for satellite telemetry applications. Circularly polarized antennas are essential part of this telemetry system. In general, they should be small, compact and simple enough for the integration into the airborne platform. . In literature, there are many examples of telemetry antennas in the form of patch, helix, turnstile and cross dipole antennas. Telemetry antennas must meet some technical specifications for the proper operation such as bandwidth (2.06-2.23GHz), impedance matching (S11<-10dB or VSWR <2), axial radio (AR<3dB), 3dB beamwidth (75°-85°), radiation pattern (directional, symmetric). In this study, we present design of a circulary polarized cross dipole antenna to be used in S-band satellite telemetry. The geometry of the antenna consists of 3 parts: cross-dipole, transmission line (feed) and reflector (ground plane). On cross-dipole part, an asymmetric cross-dipole method has been chosen to generate circular polarization. The arms of the cross dipole has been bent with angle (ϕ) in order to tune axail ratio (AR) and radiation pattern.To feed the antenna a coax cable is with a movable structure in order tune the antenna. At the end of the coax cable, a microstrip tranmission line is designed for the excitation. Instead of simple uniform ground plane, a defected ground structure (DGS) has been employed. Proposed antenna has been modelled and simulated in the CST software tool and results which satify targeted technical specifications are presented.

Keywords: cross dipole, antenna, S-band, bandwidth, circular polarization, impedance matching, s-parameters, axial ratio, beamwidth, radiation pattern, reflector, satellite telemetry

[1] MSc Student, Gazi University, Department of Electrical- Electronics Enginnering, Orcıd: 0009-0004-6835-9906
[2] Prof. Dr., Gazi University, Department of Electrical- Electronics Enginnering, Orcıd: 0000-0001-9164-8491

ISBN: 978-625-372-170-1

INTRODUCTION

The main function of the antenna is to transmit and receive data communications over many applications [1]. L, S, C and X band antennas with circular polarization are used for telemetry and communication purposes in communication and GPS/GNSS satellites. Due to space and volume constraints, these antennas must be simple and small. The antenna beam must be wide enough to ensure communication in all possible situations caused by position variability of the satellite relative to the fixed ground station. These antennas; It is generally done with patch [2], quadrifilar helix [3], cross dipole antenna structures [4] or their variations. The cross-dipole is a common type of modern antenna with an RF to mm-wave frequeny range [5]. They can generate isotropic, omnidirectional, dual-polarized (DP) and circulary polarized (CP) radiation [5]. Polarization is a fundamental property of electromagnetic waves.[6] It describes the orientation of the electric field vector relative to the Earth's surface [6]. Circularly polarized (CP) radiation reduces multipath effects and provides flexibility in the orientation angle between transmitting and receiving antennas [7].

Circular polarization in satellite telemetry communication; The circular patch can be created by excitation inputs with a 90° phase difference between them, or by differences in the arm lengths of the cross dipole antenna. In this study, information is given about the cross dipole antenna design for circular polarized S band. Afterwards, simulation and measurement results made with the CST Studio program are presented and evaluations are made.

METHOD

In this paper, the proposed antenna comprises an asymmetric cross-dipole antenna, a coaxial line, a transmision line and a reflector. For circular polarization, the method of adjusting the cross dipole arm lengths (asymmetric cross dipole) is adopted. For ease of design and flexibility, a two-layer soil plane with adjustable heights (h_1, h_2) was used . The distance between dipoles and reflector has a changeable structure. The overall structure is shown in Figure 1. Standard 250-50-FEP RF coaxial cable was used to feed the cross dipole antenna. All of these have been done to shape the antenna radiation pattern and obtain the targeted beam characteristics. Calculations based on the center frequency of the S-band at the beginning After experiments and adjustments, the values were shown on Table 11. The necessary dimensions have been determined as a result of many optimizations and simulations in order to obtain the desired technical performance.

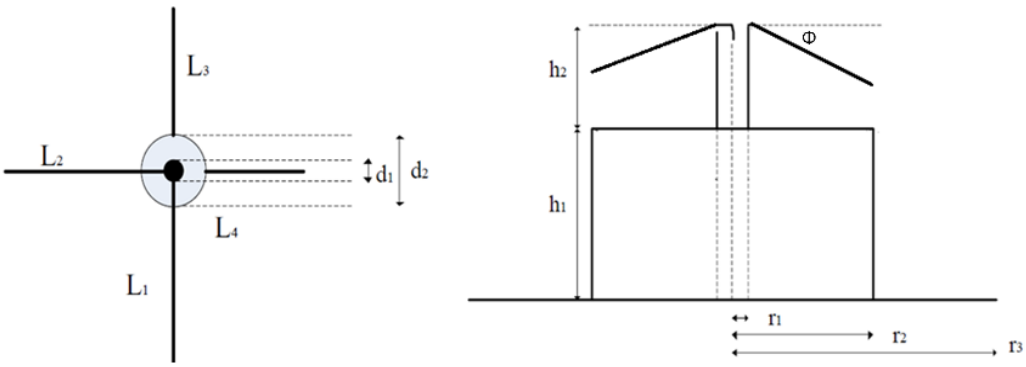


Figure 1 The geometry of antenna

Parameters	*Value (mm)*
L1, L2, L3, L4,	35, 30.5, 26, 20
h1, h2	42, 33.5
d1, d2	1.67, 6.24
r1, r2, r3	3.12, 35, 65
Φ	10 degree

Table 11 parameters of S band antenna

RESULTS AND DISCUSSION

CST Studio Suite is used to perform electromagnetic (EM) simulations. Simulation model is shown in Figure 2.

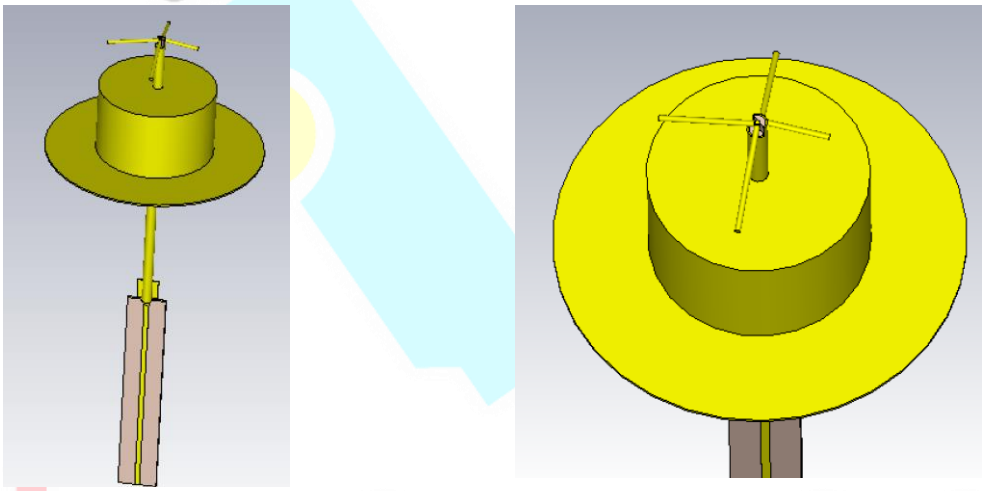


Figure 2 CST model of antenna

Simulation has been conducted between 2-2.5 GHz with 0.01GHz sampling. All frequency range was simulated and evaluated. According to simulation results, S-parameters was calculated as in Figure 3. As shown in the figure, reflection coefficient S11 is approximately below -10dB across the entire band (VSWR <2). S11 is equal to -17.19 dB at 2.145 GHz.

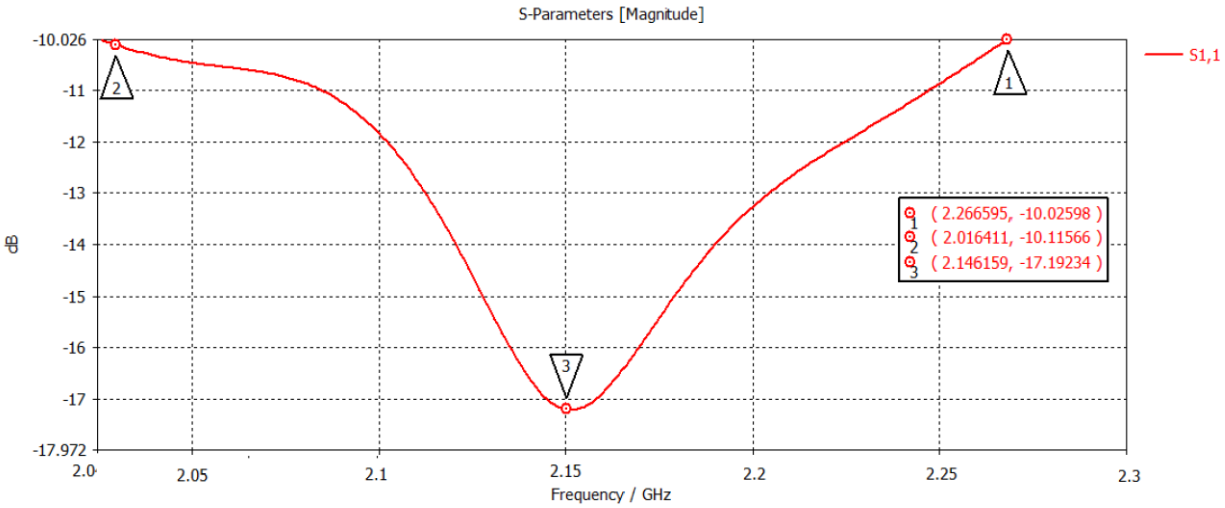


Figure 3 S11 of antenna

Radiation pattern simulations were made at the center frequency of the S band antenna (Figure 4). According to the results, 3dB beamwidths is approximately 81°. In order to obtain a cardioic pattern in the radiation pattern, defected ground structure as in Figure 2 has been employed. Another important parameter axial ratio (AR) which shows the quality of circular polarization is also displayed in Figure 4. AR is less than 3dB within the desired operating bandwidth (2.06-2.23GHz)

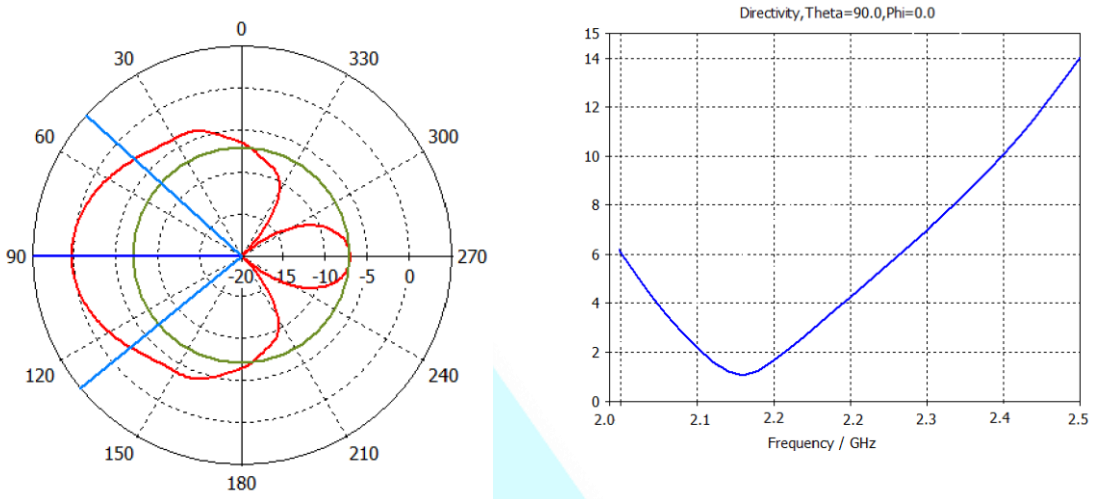


Figure 4 Radiation Pattern and Axial Ratio

CONCLUSUION

In this paper, a circular polarized asymmetric cross dipole antenna has been developed for S band satellite telemetry application. Simulation results show that S11<-10dB, beamwidth 81° (in 75°-85°), stable, symmetric radiation pattern, and axial ratio AR<3dB have been obtained in the desired opearting band (2.06-2.23GHz) in accordance with targeted technical specifications.

ISBN: 978-625-372-170-1

REFERENCES

[1] M. Z. Aihsan, M.F. Hariz, Wan Azani Mustafa, Syed Zulkarnain Syed Idrus, Hasliza A Rahim, Ahmed Alkhayyat, Design and Simulation of 2x1 and 2x2 Array Antenna at 5.8 GHz for Gain and Axial Ratio Enhancement, 2021 International Conference on Advanced Computer Applications, pg. 223-227

[2] H. J. Kim, S. M. Kim, J. M. Son, W. G. Yang, Design and Implementation of Dual Band Circular Polarization Square Patch Antenna, APMC 2005 Proceedings.

[3] R. Narimani, L. Farhoudi, Design of a Self-Phased Quadrifilar Helix Antenna for Satellite Communication, Engineering Technology & Applied Science Research Vol. 7, No. 6, 2017, 2273-2276

[4] S. X. Ta, I. Park, ve R. W. Ziolkowski, Crossed Dipole Antennas - A review. IEEE Antennas & Propagation Magazine, October 2015.

[5] Wei Qiao , Chen Zhou , Wenjie Yin , Mingjie Lv and Zhengyu Zhao, VHF Circularly Polarized Turnstile Antenna with Balun for Meteor Radar, Remote Sens. 2023

[6] Son Xuat Ta, Hosung Choo, Ikmo Park, and RichardW. Ziolkowski, Multi-Band, Wide-Beam, Circularly Polarized, Crossed, Asymmetrically Barbed Dipole Antennas for GPS Applications, IEEE Antennas & Propagation, Vol. 61, No. 11, November 2013

[7] Mehmet Çiydem, Mensur Öztürk, Yasin Yavuz , S ve X-Bant Uydu Antenleri Tasarımı, URSI-Türkiye'2018 IX. Bilimsel Kongresi, 6-8 Eylül 2018,

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Exploring an electrochemical MIP Sensor for the Detection of the Tamoxifen Metabolite: 4-Hydroxytamoxifen.

Aysu YARMAN[1]

Abstract

The analysis of pharmaceuticals and their metabolites is widely recognized for its significant relevance across various areas, including drug development, clinical practice, and environmental monitoring. In drug development, analytical methods play a crucial role in understanding the metabolism of drugs, thereby enhancing their efficiency and safety profiles. Additionally, these methods contribute to achieving optimal therapeutic outcomes in clinical settings. Consequently, various analytical methods have been developed. Electrochemical methods offer a promising alternative to traditional techniques due to their cost-effectiveness, ease of use, and lower detection limits.

Here, an electrochemical MIP sensor for the metabolite of the anticancer drug tamoxifen (TAM), 4-Hydroxytamoxifen (HTAM), is described. The sensor is prepared through electropolymerization of an o-phenylenediamine-resorcinol mixture in the presence of the template molecule directly on the surface of a glassy carbon electrode. All steps of MIP synthesis and rebinding were analyzed using cyclic voltammetry, which evaluates the permeation of the redox marker ferricyanide through the MIP film to the electrode. The biomimetic sensor exhibited a linear response in the concentration range of 0.05 nM to 1 nM. Furthermore, it demonstrated a 2-fold higher affinity for rebinding of HTAM (the template) compared to the drug tamoxifen. The MIP sensor covers the relevant concentration range for HTAM after the intake of the typical doses of TAM in breast cancer treatment, after a 1:10 dilution of the serum samples. The concentration dependence for HTAM by the One-Site Binding Model gives a value for the dissociation constant K_D of 0.4 nM. This Kd-value and the measuring range are considerably lower than for the analogous MIP sensor using TAM as the template and the same functional monomers.

Keywords: Molecularly Imprinted Polymers, Biomimetic Sensors, Tamoxifen Metabolites, 4-Hydroxytamoxifen, Breast Cancer

[1] Assoc. Prof. Dr., Turkish-German University, Faculty of Science, Molecular Biotechnology, Orcid: 0000-0002-1465-9848, yarman@tau.edu.tr

ISBN: 978-625-372-170-1

INTRODUCTION

Pharmaceutical analysis conventionally relies on techniques such as chromatography, mass spectrometry, spectrophotometry, and fluorometry (Yarman et al., 2018: 4007-4019). Nonetheless, electrochemical analysis provides valuable insights into the pathways of drugs within the body, helping to elucidate important metabolites and side products.

The majority of pharmaceuticals function as enzyme inhibitors, chemoreceptor antagonists, or nucleic acid binders. To mimick this molecular recognition, researchers have developed artificial binders or catalysts, notably aptamers and molecularly imprinted polymers (MIPs) (Yarman et al., 2018: 4007–4019). Molecular imprinting involves creating synthetic polymers with selective recognition sites for target analytes (templates). They are formed through polymerization of the functional monomer(s) with or without cross-linkers in the presence of target analyte (or dummy templates) and subsequent removal of the template molecules. The remaining sites have molecular memory mirroring size, shape and the functionaity of the template molecules.

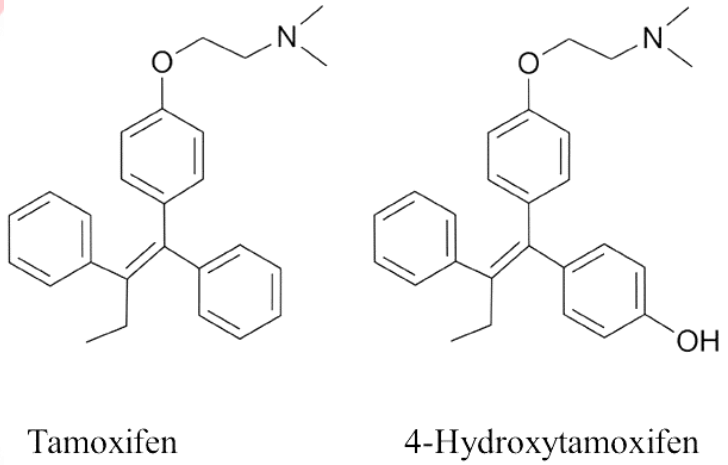
To ensure optimal analytical performance of the sensor, immediate placement of the MIP on the electrode surface is crucial. Various methods for preparing MIP sensors have been documented in literature, with distinct advantages and limitations (Yarman and Scheller, 2020: 2677). In the first approach, MIPs are synthesized separately and then immobilized onto the transducer surface. Traditionally, bulk polymerization was commonly used, resulting in monolithic materials that are subsequently ground into smaller particles. However, this method often leads to poor accessibility and homogeneity of the binding pockets, prolonging template removal time and slowing rebinding kinetics. To address these issues, alternative forms of MIPs such as micro- or nanobeads, nanoparticles, or nanospheres have been developed. For integrating MIPs into the sensor body, various techniques have been employed including drop coating, spin coating, spray coating, and grafting. Additionally, MIPs can be incorporated using composite membranes or layer-by-layer assembly. In the second approach, the MIP-based recognition layer is directly formed on the transducer surface. Electropolymerization emerges as a straightforward method to prepare MIPs directly on conductive surfaces. This technique allows for precise control of film thickness by adjusting the charge passed during polymerization. The choice of solvent, supporting electrolyte, and potential application regime influence the morphology of the polymer layer. Potential pulses can be applied to remove the template after MIP synthesis.

In literature there are only a few papers describing MIPs for tamoxifen and its metabolites (Claude et al., 2008: 81–88; Martin et al., 2001: 757–759; Nie et al., 2005: 315–320; Ray et al., 2016: 1855–1861; Yarman and Scheller, 2014: 7647–7654). A bulk polymer - MIP based on methacrylic acid derivatives as functional monomers copolymerized with styrene showed an enhanced affinity by the π-π interaction with the aromatic rings of tamoxifen. The grounded bulk polymers were packed in chromatography columns and applied for solid phase extraction before HPLC-UV analysis of tamoxifen containing urine samples. An imprinting factor for 4-hydroxytamoxifen of 7.1 in an AC/acetic acid mixture was determined. Interestingly, a propranolol-imprinted polymer showed stronger binding for tamoxifen than the MIP using TAM as the target (Martin et al., 2001: 757–759; Rashid et al., 1997: 303–306). Evaluating the Mn(IV) catalyzed oxidation of tamoxifen brought about a measuring range between 0.1 and 6 mg/L (Nie et al., 2005: 315–320).

We presented an electrochemical MIP sensor for TAM, which is based on the electropolymerization of an o-phenylenediamine-resorcinol mixture in the presence of the template molecule directly onto the electrode surface (Yarman and Scheller, 2014: 7647–7654). The MIP electrode exhibited a linear response to TAM concentrations ranging from 1 nM to 100 nM, with a 2.3-fold greater recognition of the template molecule compared to its primary metabolite, 4-hydroxytamoxifen (HTAM).

In this study, an electrochemical MIP sensor specifically designed for the detection of the metabolite 4-hydroxytamoxifen, derived from the widely prescribed drug tamoxifen, was developed (Fig 1). TAM is a well-established treatment for breast cancer, functioning as a selective estrogen receptor modulator. Its primary mechanism involves inhibiting estrogen binding to estrogen receptors, thereby impeding tumor growth in cases of hormone receptor-positive breast cancer (Jordan, 2006: S269–S276; Peng et al., 2009: 481-499). Despite its efficacy, TAM undergoes extensive metabolism in the body, resulting in various metabolites, among which HTAM is prominent (Cardoso, 2002: 485-495; Desta et al., 2004: 1062–1075). Studies have demonstrated that HTAM exhibits a stronger affinity for estrogen receptors and greater anti-proliferative effects on breast cancer cells 135-1(Cardoso, 2002: 485-495; Maximov et al., 2013: 135-155), comparable to 4-hydroxy-N-desmethyl-tamoxifen (endoxifen). Hence, the measurement of tamoxifen and its metabolites (in the bloodstream) is a widely employed method for assessing treatment efficacy (Heath et al., 2014: 33-39)

Figure 1 – Chemical structures of TAM and HTAM



The HTAM-MIP was synthesized through electropolymerization of an o-phenylenediamine-resorcinol mixture in the presence of the template molecule directly on the surface of a glassy carbon electrode, following a similar methodology employed in our previous study for TAM-MIP preparation (Yarman and Scheller, 2014: 7647–7654). All steps of MIP synthesis and rebinding were analyzed using cyclic voltammetry, which evaluates the permeation of the redox marker ferricyanide through the MIP film to the electrode.

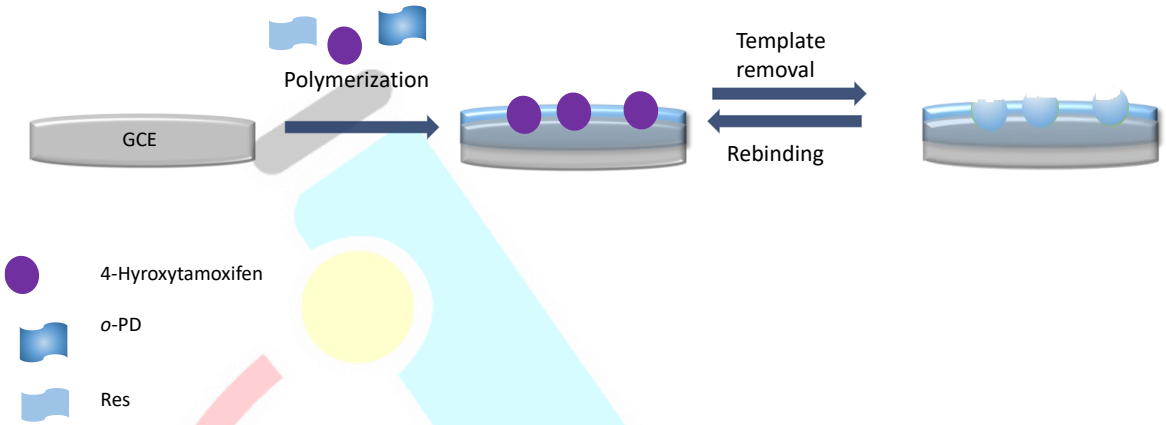
MATERIALS AND METHODS

The chemicals used in this study, including *o*-phenylenediamine dihydrochloride (*o*-PD), resorcinol (Res), 4-hydroxytamoxifen, and tamoxifen, were purchased from Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany) and Molekula (Germany), while ferricyanide and ferrocyanide were obtained from Merck (Germany). All reagents were of analytical grade and utilized without further purification.

Glassy carbon disk electrodes (GCE) (3 mm in diameter) were employed for the voltammetric measurements. Prior to electropolymerization, electrodes were cleaned with ethanol treatment, followed by immersion in 60% nitric acid for 15 minutes. Subsequently, mechanical cleaning was performed using alumina slurry with decreasing particle sizes of 1.0, 0.3, and 0.05 µm and rinsing with Millipore water (Type 1) via sonication.

HTAM-imprinted GCEs were prepared by cyclic voltammetry in a 5 mM o-PD:5 mM resorcinol mixture (20% methanol containing 80 mM acetate buffer, pH 5.2) containing 0.4 mM HTAM. Cyclic voltammetry was utilized for the MIP syntheses, sweeping between 0 V and 0.8 V (20 scans) at a scan rate of 50 mV/s. Non-imprinted electrodes were prepared similarly, excluding the template. Template removal was achieved by treating the electrodes with a mixture of methanol, water, and 1 M NaOH (2:1:1, v/v/v) at 60°C for 1 hour with stirring at 300 rpm (Scheme 1).

Scheme 1 *– Workflow of the HTAM-MIP Preparation.*



Electrochemical measurements were performed in a stirred electrochemical cell with a three-electrode configuration using PalmSENS potentiostate (Netherlands). A glassy carbon disk electrode (GCE) with a diameter of 3 mm was used as the working electrode, an Ag/AgCl (in 3 M KCl solution) electrode was the reference electrode, and a platinum wire served as the counter electrode.

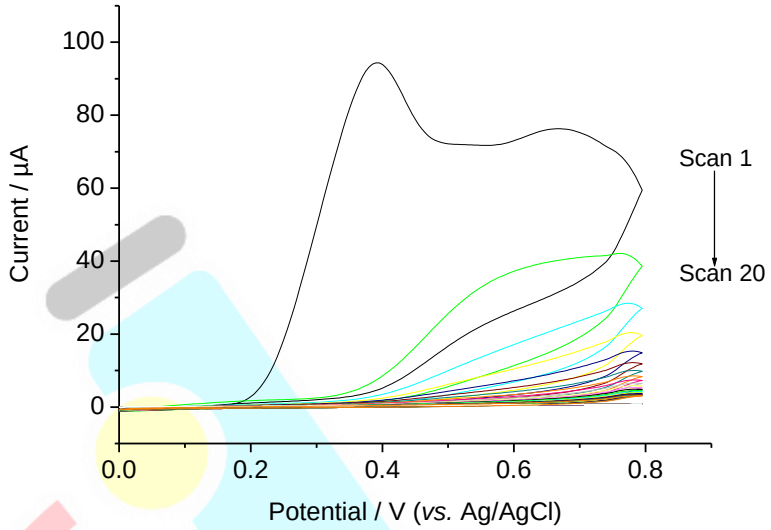
HTAM rebinding studies were performed in 10 mM ferricyanide solution (in 100 mM KCl) sweeping between -0.2 V and 0.8 V (3 scans) at a scan rate of 50 mV/s.

All the experiments were carried out at room temperature.

RESULTS AND DISSCUSSION

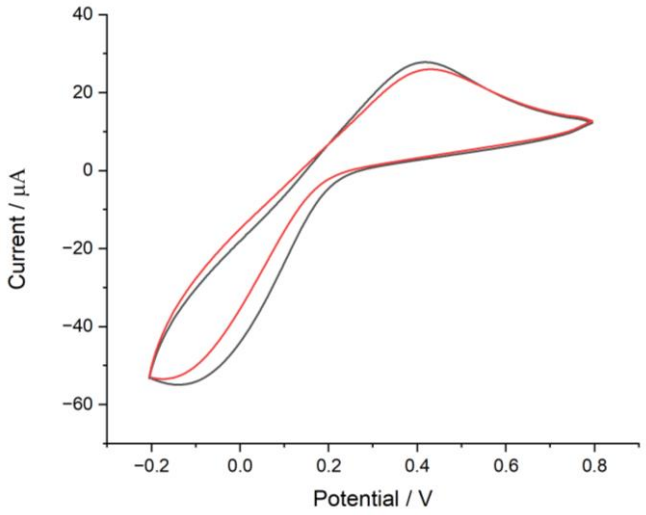
Figure 1 illustrates the initial stage of creating the HTAM-imprinted electrode, employing cyclic voltammetry for electropolymerization. A 5 mM o-PD:Res mixture was utilized on a glassy carbon electrode in the presence of 0.4 mM HTAM. In the first scan, an irreversible peak between 350 mV and 400 mV was observed, followed by a decrease in current in subsequent sweeps, indicating the formation of a non-conducting film on the electrode surface. Since HTAM is not electroactive within this potential range, similar cyclic voltammograms were obtained in the presence and absence of HTAM.

Figure 2 *– CVs showing formation of HTAM MIP on GCE by using 5 scans, cycling between 0 V and 0.8 V with a scan rate of 50 mV/s in in mixture of 5 mM o-PD:Res containing 0.4 mM HTAM*



All the steps of MIP preparation was monitored using the redox marker ferricyanide. Figure 3 demonstrates the CVs after template removal (black) and incubation in 0.05 nM HTAM solution (red) indicative of cavity filling by target binding.

Figure 3 *– Overlay of CVs of MIP electrode after HTAM removal (black) and after 0.05 nM HTAM rebinding (red) in 10 mM ferricyanide at a scan rate of 50 mV/s.*

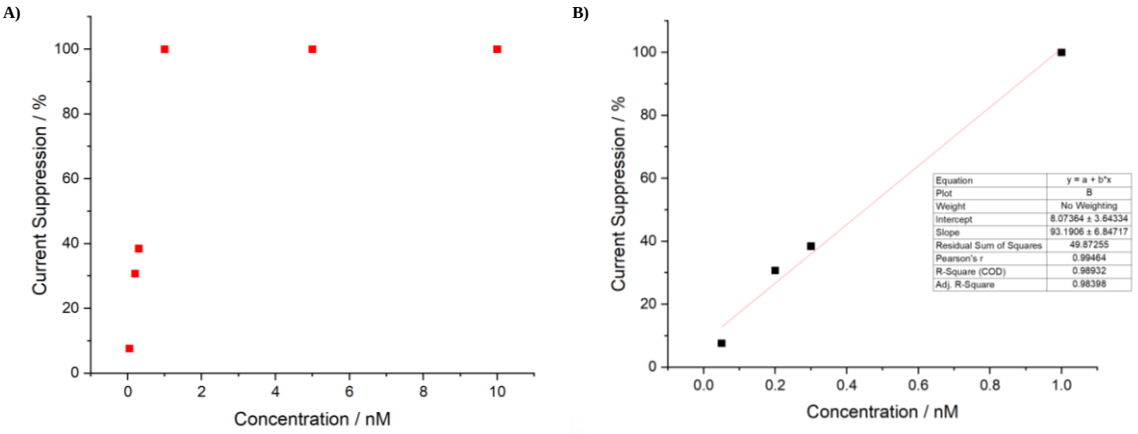


Incubation of the MIP-covered GCE electrode in HTAM containing solution brings about a decrease of the ferricyanide peak current linearly with increasing concentration from 0.05 nM and 1nM (R^2=0.98932) saturation thereafter (Fig. 4). This range is considerably lower than MIP sensor for TAM (1 nM to 100 nM) (Yarman and Scheller, 2014: 7647–7654). After the typical 20 mg doses in breast cancer treatment are taken, the TAM concentration in serum is between 50 and 300 nM, and the concentration of HTAM—the main metabolite—should reach 5 -100 nM. Thus, the MIP sensor covers the relevant concentration range for HTAM even after a 1:10 dilution of the serum samples.

Evaluation of the concentration dependence for HTAM by the One Site Binding Model gives a die dissociation constant K_D value of 0.4 nM. This K_D-value and the measuring range

in the sub-nanomolar range can be considered rather competitive, given that the K_D-values of MIPs for low-molecular targets are generally in the µM to nM range. Markedly, the K_D-value is considerably lower than for the analogous MIP sensor using TAM as the template and the identical functional monomers

Figure 4 – ***A)*** *and* ***B)*** *Concentration dependence of relative current decrease for HTAM binding on MIP-GCE based on CV*



In contrast, the addition of HTAM had negligible effects on ferricyanide peaks in the non-imprinted polymer, rendering the calculation of an "imprinting factor" meaningless. Cross-reactivity studies revealed that TAM binding at HTAM-MIP was approximately 2.0 times smaller than for HTAM, affirming the preferential recognition of the template molecule by the HTAM-imprinted electrode.

CONCLUSIONS

The developed HTAM sensors cover the relevant concentration range for HTAM during the established TAM treatment of breast cancer patients in 1:10 diluted serum samples. The concentration dependence for HTAM by the One Site Binding Model gives a value for K_D of 0.4 nM. This K_D-value and the measuring range are considerably lower than the analogous MIP sensor using TAM as the template and the same functional monomers. For this TAM-MIP, the measuring range for TAM extends from 1nM to 100 nM of TAM, resulting in a K_D of 64.1 nM. The finding of an almost 150-fold difference in the affinity for very similar targets -HTAM and TAM- for MIPs using the same building blocks. However, the respective template in the electrosynthesis may be explained by the “shape selectivity” of the imprinted polymer.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks her Doktorvater, Prof. Frieder W. Scheller, for his continuous support since her PhD.

ISBN: 978-625-372-170-1

REFERENCES

Cardoso, C. (2002). 4-Hydroxytamoxifen is a potent inhibitor of the mitochondrial permeability transition. *Mitochondrion*, *1*(6), 485–495. https://doi.org/10.1016/S1567-7249(02)00034-X

Claude, B., Morin, P., Bayoudh, S., & de Ceaurriz, J. (2008). Interest of molecularly imprinted polymers in the fight against doping. *Journal of Chromatography A*, *1196–1197*, 81–88. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.05.022

Desta, Z., Ward, B. A., Soukhova, N. V., & Flockhart, D. A. (2004). Comprehensive Evaluation of Tamoxifen Sequential Biotransformation by the Human Cytochrome P450 System in Vitro: Prominent Roles for CYP3A and CYP2D6. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, *310*(3), 1062–1075. https://doi.org/10.1124/jpet.104.065607

Heath, D. D., Flatt, S. W., Wu, A. H. B., Pruitt, M. A., & Rock, C. L. (2014). Evaluation of Tamoxifen and Metabolites by LC-MS/MS and HPLC Methods. *British Journal of Biomedical Science*, *71*(1), 33–39. https://doi.org/10.1080/09674845.2014.11669960

Jordan, V. C. (2006). Tamoxifen (ICI46,474) as a targeted therapy to treat and prevent breast cancer. *British Journal of Pharmacology*, *147*(S1). https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0706399

Martin, P. D., Wilson, T. D., Wilson, I. D., & Jones, G. R. (2001). An unexpected selectivity of a propranolol-derived molecular imprint for tamoxifen. *The Analyst*, *126*(6), 757–759. https://doi.org/10.1039/b102424h

Nie, F., Lu, J., He, Y., & Du, J. (2005). Use of molecule imprinting–chemiluminescence method for the determination of tamoxifen in breast cancer sufferers' urine. *Luminescence*, *20*(4–5), 315–320. https://doi.org/10.1002/bio.837

Peng, J., Sengupta, S., & Jordan, V. C. (2009). Potential of Selective Estrogen Receptor Modulators as Treatments and Preventives of Breast Cancer. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, *9*(5), 481–499. https://doi.org/10.2174/187152009788451833

Rashid, B. A., Briggs, R. J., Hay, J. N., & Stevenson, D. (1997). Preliminary Evaluation of a Molecular Imprinted Polymer for Solid-phase Extraction of Tamoxifen. *Analytical Communications*, *34*(10), 303–306. https://doi.org/10.1039/a705884e

Ray, J. V., Mirata, F., Pérollier, C., Arotcarena, M., Bayoudh, S., & Resmini, M. (2016). Smart coumarin-tagged imprinted polymers for the rapid detection of tamoxifen. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *408*(7), 1855–1861. https://doi.org/10.1007/s00216-015-9296-8

Y. Maximov, P., M. Lee, T., & Craig Jordan, V. (2013). The Discovery and Development of Selective Estrogen Receptor Modulators (SERMs) for Clinical Practice. *Current Clinical Pharmacology*, *8*(2), 135–155. https://doi.org/10.2174/1574884711308020006

Yarman, A., Kurbanoglu, S., Jetzschmann, K. J., Ozkan, S. A., Wollenberger, U., Scheller, F. W. (2018). Electrochemical MIP-Sensors for Drugs. *Current Medicinal Chemistry*, *25*(33), 4007–4019. https://doi.org/10.2174/0929867324666171005103712

Yarman, A., & Scheller, F. W. (2014). The first electrochemical MIP sensor for tamoxifen. *Sensors (Switzerland)*, *14*(5), 7647–7654. https://doi.org/10.3390/s140507647

Yarman, A., & Scheller, F. W. (2020). How reliable is the electrochemical readout of MIP sensors? *Sensors (Switzerland)*, *20*(9). https://doi.org/10.3390/s20092677

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING and NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Hayvan Deneylerinde OpenCV Tabanlı Hareket Süreç Analizi

Baranalp ÖZTÜRK[1]
Emre GÜNGÖR[2]
Serel ÖZMEN AKYOL[3]

Özet

Günümüzde, hayvan davranışlarının incelenmesi, nörobilimden etolojiye kadar pek çok disiplinde önemli bir araştırma alanı olarak kabul edilmektedir. Bu alandaki araştırmalar, hayvanların çevreleriyle etkileşimlerini anlamak, doğal davranışlarını gözlemlemek ve nörolojik mekanizmalarını keşfetmek için geniş bir yelpazede yapılmaktadır. Ancak bu tür deneylerde, hayvan davranışlarının takibi ve izlenmesi oldukça karmaşıktır. Geleneksel yöntemlerde araştırmacılar deney süresince gözlemleyerek aldıkları notlara göre analizleri gerçekleştirmektedirler. Bu durum süreç içerisinde hatalara, zaman kayıplarına ve yanıltıcı sonuçlara yol açmaktadır. Bu noktadan hareketle çalışmada görüntü işleme ve örüntü tanıma yöntemleri ile, Python programlama dili ve OpenCV kütüphanesi kullanılarak bir video takip uygulaması geliştirilmiştir. Hayvan davranış deneylerinin analiz edilmesi amacıyla tasarlanan bu uygulama sayesinde araştırmacıların deney hayvanlarının belirli bir bölgedeki hareketini takip etmeleri, detaylı analizleri kolaylıkla yapmaları sağlanmaktadır. Çalışmada OpenCV kütüphanesinin video işleme fonksiyonları kullanılarak, uygulama içerisinde deney platformuna göre deney alanının belirlenmesi, başlangıç, bitiş, ilgi bölgesi (Region of Interest - ROI) gibi önemli noktaların tespit edilmesi, seçilen bir bölgedeki hayvanın hareket süresi, hızı, koordinatları, gittikleri güzergâh ve diğer istatistiksel bilgilerin de elde edilmesi sağlanmaktadır. Çalışma ile kullanıcı müdahalesi olmadan deney alanı ve deney hayvanını başarıyla tespit edip konumlandıran, çalışma süresini önemli ölçüde azaltıp, mesafe, zaman, hız ve ivme parametrelerine ilişkin sonuçlar sağlayan bir uygulamanın literatüre ve araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: OpenCV, Hareket Tespiti, Görüntü İşleme, Video İşleme, Kontur Tespiti

[1] Lisans Öğrencisi, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Orcıd:
[2] Dr. Öğretim Üyesi, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Orcıd: 0000-0003-4278-6294
[3] Dr. Öğretim Üyesi, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Orcıd: 0000-0002-5344-4065

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Literatürde davranışın nörobiyolojik temellerini anlamak için yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların odak noktası, öğrenme-bellek, otizm, depresyon gibi psikiyatrik hastalıkların altında yatan nörobiyolojik mekanizmaları açığa çıkarmaktır. Bu kapsamda, araştırmacılar tarafından deney hayvanlarında bu hastalıkların modellenebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Güneş, 2021). Bu araştırmalar, psikiyatrik hastalıkların temelinde yatan mekanizmaları daha iyi anlamamıza ve daha etkili tedavi stratejileri geliştirmemize yardımcı olmaktadır (Catarinucci vd., 2014). Nöropsikiyatrik hastalıkların hayvan modelleri, genellikle sosyal davranışlardaki anormalliklerle tanımlanmaktadır. Bu aktarım nedeniyle, kemirgenlerde sosyal davranışların değerlendirilmesi, bu tür araştırmalarda son derece öneme sahiptir (Değirmenci ve Çalışkan, 2023).

Kemirgenlerle ilgili davranışsal araştırma deneylerinde canlıların videolarını kaydetmek ve sonrasında bu kayıtlardan hayvanların davranışlarını insan gözüyle takip etmek hala yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Buna karşın bu yöntem, bireysel yorum farklılıkları, dikkatsizlik veya yanlılık gibi nedenlerle analizlerde hatalara yol açabilmekte ve analiz sonuçlarında sapmalara neden olabilmektedir (Güneş, 2021). Otomatik takip sistemlerinin tercih edilmesinin temel nedeni takip edilen hayvanların bulgularının geleneksel yöntemlerle gözlemlenmesine göre daha az hata payı içermesidir. Bu noktadan hareketle çalışmada otomatik takip sistemini içeren bir uygulama geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Literatürde hayvan davranış analizleri için tasarlanmış ticari ve akademik yazılımlar mevcuttur (Lim vd., 2023); (Yamanaka ve Takeuchi, 2018); (Rodriguez vd., 2018). Kendi hazırladıkları platformlara özgü takip özellikleri kullanan bu yazılımlar oldukça maliyetlidir. Çalışmada hazırlanan uygulama ise diğer akademik ve ticari çalışmalardan farklı olarak, platforma uygun ROI belirleme çeşitliliği sağlamaktadır. Bu sayede araştırmacılar istedikleri platforma uygun şekilde hayvan takip sistemini eş zamanlı uyarlama imkanı bulabilmektedirler. Böylece gözleme dayalı yapılan analiz süreçleri dijitalleştirilerek zaman ve iş gücünden tasarruf sağlanmakta, hata payı azaltılmaktadır (Güneş, 2021). Sonraki çalışmalarda takip sonucu elde edilecek olan bulguların bulutta depolanması ve veri havuzundaki verilerle makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanması hedeflenmekte, böylelikle donanımsal kısıtların bertaraf edilmesi ve deney analizlerinden anlamlı öğrenme örüntülerinin çıkartılması amaçlanmaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın temel amacı doğrultusunda geliştirilen uygulamada lisanslı ticari bir yazılım olan ANY-maze (*Any Maze*, 2024) uygulaması referans alınmıştır. Yazılım incelenerek, avantaj ve dezavantajları yazılımı deneylerinde kullanan araştırmacılar tarafından belirlenmiş ve gelen taleplere göre eklemeler yapılmıştır. Özellikle akademiye yönelik, maliyet yükü bulunmayacak, yerli, kullanımı kolay, modüler ve yapay zeka gibi güncel teknolojileri destekleyecek olan bu uygulama son yıllarda güçlü kütüphaneleri ile birçok akademik çalışmada da yer bulan Python programlama dili ile geliştirilmiştir (Python Software Foundation, 2020). OpenCV(cv2), Time, Os, Numpy(np), Datetime kütüphaneleri kullanılarak uygulamanın bir modülü oluşturulmuştur.

Gerçek deney görüntüleri kullanılarak hazırlanan yazılımda, hayvan deneyleri video görüntülerine arka plan çıkarımı, histogram eşitleme, çerçeve farkı alma (frame difference) ve

kontur bulma işlemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerin genel problemi, deney hayvanının hareketsiz kaldığı durumlarda tespit edilememesi iken zamanlayıcı koyularak zaman sayacının deneğin son tespit edildiği noktada yeni bir hareket algılayana kadar devam etmesi sağlanarak çözüm sağlanmıştır.

İzleme Alanının Belirlenmesi

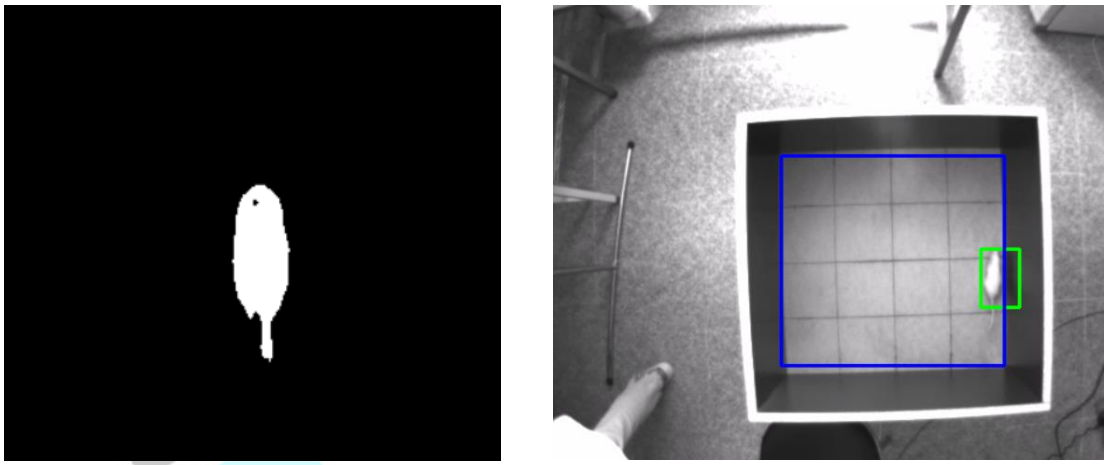
Çalışmada öncelikle izleme alanı belirlenmektedir. Araştırmacılar deney platformuna göre istedikleri yerleri belirlemek için platforma uygun araçları seçer ve buna göre bir ROI belirlerler. Uygulamada araştırmacılar için klavyenin 1,2,3,4,5 tuşlarına ROI'nin farklı şekilleri tanımlanmıştır. 1 tuşunda daire şekli, 2 tuşunda çizgi şekli, 3 tuşunda dört alana bölünmüş daire şekli, 4 tuşunda dikdörtgen ve 5 tuşunda bir önceki işlemi geri alma aracı bulunmaktadır. Tuşlara ilk basıldığında değişkenler doğru (true) olarak atanmakta ve ROI için şekil seçilmektedir. Tuşlara ikinci kez basıldığında değişkenler yanlış (false) değerini alarak seçimin pasif duruma geçmesi sağlanmaktadır. Değişkenler aktif durumdayken kullanıcının işaretlediği ROI'nin başlangıç noktası x,y koordinatlarına göre i_x, i_y değişkenlerine atanarak ROI'nin son belirlendiği alandaki koordinatlar da f_x, f_y değişkenlerine aktarılmaktadır. Böylelikle araştırmacılar gözlemlemek istedikleri bölgeyi işaretlemiş olmaktadırlar. Bu şekilde belirlenen ROI içerisindeki deney hayvanı takip edilmektedir.



Şekil 1. ROI belirleme için kullanılabilecek araçlar

Hareket Algılama

Hareket algılama aşamasında ilk olarak deney sırasında elde edilen renkli görüntüler gri tonlara dönüştürülmektedir. Ardından bu görüntülere bir görüntüdeki renk değerlerinin belirli bir değer aralığı içerisinde kümelenmesinden kaynaklı renk bozukluğunu gidermek için kullanılan bir yöntem olan histogram eşitleme işlemi uygulanmaktadır (Ghosh vd., 2016). Bu işlemden sonra daha önce araştırmacılar tarafından belirlenmiş olan ROI doğrultusunda görüntülerin arka plan çıkarım işlemi yapılmaktadır (Şekil 2.a). Arka plan çıkarımı, bir görüntüdeki istenmeyen arka plan kısmını otomatik olarak veya yarı-otomatik yöntemlerle ayıklama işlemidir. Bu işlem sayesinde, görüntünün temel konusu daha belirgin hale getirilerek, farklı arka planlarla birleştirilebilmekte veya şeffaf bir arka plan elde edilebilmektedir (Yasir ve Ali, 2021). Arka plan çıkarımı yapılan görüntünün üzerinde oluşan gürültülerin giderilmesi için morfolojik işlemler yapılmaktadır. Ardından geliştirilen uygulamada kontürün o an bulunduğu x,y koordinatları, yükseklik ve genişlik değerleri x,y,w,h değişkenlerine atanmaktadır. Eğer $i_x < x < f_x$ ve $i_y < y < f_y$ ise denek dikdörtgen içerisine alınmaktadır (Şekil 2.b).



(a) (b)

Şekil 2. a) Çerçeve farkı ve arka plan çıkarımı uygulanmış görüntü

b) Tespit edilmiş deney hayvanının görüntüsü

Gerçek Zamanlı Takip

Gerçek zamanlı takip aşamasında düzenekte hareket algılanması ve hareketin sona ermesi arasında geçen süre hesaplanmaktadır. Toplam hareket süresi ve hareketin başlangıç noktası koordinatları kaydedilmektedir. Bu sayede deney düzeneğinin belirli bölgelerinde hayvanın geçirdiği süre ve bu süre ile ilişkili öğrenme ve davranış durumları kolaylıkla analiz edilebilmektedir.

Görsel ve Sayısal Çıktılar

Uygulamada araştırmacı tarafından belirlenmiş olan ROI ve hareket algılama yöntemi kullanılarak deney hayvanlarının hareket ettiği yerlerin koordinatları elde edilerek, yolların izlenmesi sağlanmaktadır. Elde edilen iz, koordinatlar ve ROI içerisinde geçirilen süre gibi hesaplanan değerler analizlerde kullanılmak üzere bir dosyaya yazdırılmaktadır.

Hız Tespiti

Deney hayvanının bölgesel olarak hızının tespiti için, öncelikle kayıt alınan görüntü cihazının piksel boyutu, santimetre cinsinden yüksekliği, yatay ve dikey çözünürlüğü ve görüş açısı gibi parametreler belirlenerek değişkenlere atanmaktadır. Bu parametreler, görüntü kayıt cihazının fiziksel özelliklerini ve çevresel koşullarını temsil etmekte ve analizlerde kullanılacak değerlerin hesaplanmasında önem teşkil etmektedir.

Deney ortamına ait fiziksel parametrelere göre değişkenler şu şekildedir:

```
pixel_size_micrometers = 6
camera_height_cm = 132
diameter_cm = 130
camera_resolution_x = 640
camera_resolution_y = 480
camera_angle_degrees = 90
```

Bir sonraki adımda, kameranın yüksekliği ve yarıçapı gibi büyüklükler metre cinsinden ifade edilmektedir. Bunun yanı sıra, kameranın açı derecesi radyan ve görüş alanının yüksekliği de metre birimine çevrilir. Son adım olarak belirtilen parametreler kullanılarak bir ortalama hız hesabı yapılmaktadır. Ortalama hız hesabı dört ayrı hesaplamadan oluşmaktadır. Metreye düşen piksel sayısı, hareket algılanan alanların işaretlenmesi, toplam işaretlenen piksel sayısı

ve toplam geçen süre hesaplanıp elde edilen veriler kullanılarak hareketin metre/saniye cinsinden hızı aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır.

pixels_per_meter = camera_resolution_y / camera_view_height_meters
total_motion_duration_seconds = total_motion_duration
total_motion_pixels = np.count_nonzero(motion_overlay[:, :, 2])
motion_speed_meters_per_second = total_motion_pixels / (pixels_per_meter * video_duration)

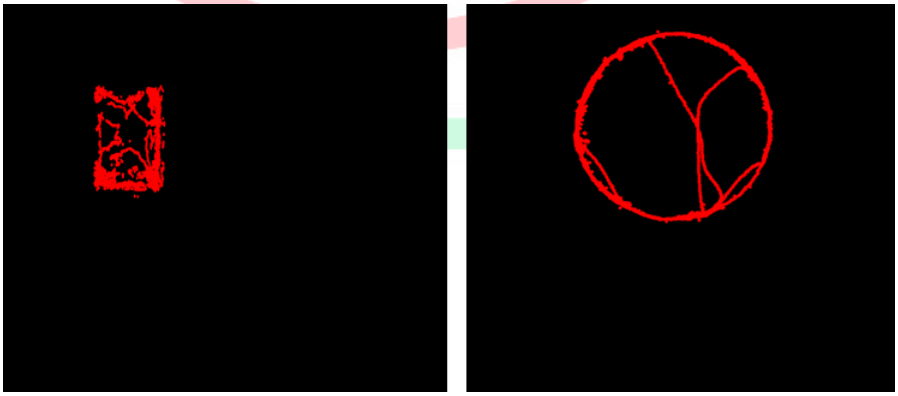
BULGULAR

Deney hayvanlarının görüntülerinin işlenmesi sonucunda istenilen bölgedeki deneklerden elde edilen koordinatlar, güzergâh çizimleri, ortalama hız bilgileri analizlerde kullanılmıştır.

Tablo 1. Deney hayvanının izlediği koordinatlar ve geçirdiği süreler

Çerçeve	Koordinatlar	Süre
1605	(299, 200)- (396, 294)	2,06 saniye
3650	(323, 266)- (411, 329)	1,09 saniye
5014	(165, 53)- (338, 232)	0,56 saniye
5346	(111, 37)- (111, 20)	0,53 saniye
5830	(299, 200)- (306, 294)	1,54 saniye
7036	(323, 266)- (411, 329)	0,62 saniye
7251	(149, 47)- (337, 244)	1,20 saniye
8040	(165, 53)- (338, 232)	0,23 saniye
8048	(165, 53)- (338, 232)	0,04 saniye
8323	(149, 50)- (338, 232)	2,81 saniye
8411	(159, 61)- (335, 229)	0,54 saniye
8456	(159, 61)- (337, 228)	2,12 saniye
Toplam Belirtilen Alanda Hareket Süresi: 13,34 saniye		

Tabloda yer alan *Çerçeve* bilgisi, deney hayvanının ilk tespit edildiği anlık görüntü karesini, *Koordinatlar* bulunduğu alanı; *Süre* ise görüntü karesinde ve bulunduğu koordinatlarda geçirdiği süreyi ifade etmektedir. Buna göre çerçeve kolonunda deney hayvanının ilk olarak 1605. karede son olarak 8456. karede tespit edildiği gözlemlenmektedir. Koordinatlarda ise ilk veri olan 1605. karede deneğin belirlenmiş olan (299, 200) - (396, 294) alanında bulunduğu sonucuna varılmıştır. Bu çerçevede deneğin toplamda 2,06 saniye geçirdiği bulunmuştur. Bu şekilde verilen Çerçeve, Koordinatlar ve Süre verileri çerçevelere göre değişkenlik göstermekte olup toplam belirtilen alanda hareket süresinin 13,34 saniye olduğu hesaplanmıştır.



(a) *(b)*

Şekil 3. a) Dikdörtgen platformda deney hayvanının gittiği yol

b) Dairesel platformda deney hayvanının gittiği yol

SONUÇLAR

Araştırmacıların ROI kullanarak belirttikleri alan içerisindeki denekler tespit edilmekte ve koordinatları kullanılarak numpy.zeros fonksiyonu ile oluşturulan siyah görüntü üzerinde iz oluşturulmaktadır (Şekil 3). Buna göre görüntü analizi yapılan deney hayvanlarının iz haritaları çıkartılmaktadır. Analiz sonuçlarına göre araştırmacılar, deney alanlarında belirledikleri bölgelerdeki farelerin hareketlerini tespit etmiş ve bu hareketlerin piksel boyutunu hesaplayarak çekilen kameranın teknik özelliklerini de kullanarak ortalama hızı hesaplamışlardır. Ortalama hız değerlerini incelenerek araştırmacılar deney hayvanlarının davranışları hakkında çeşitli yorumlarda bulunabilirler. Bu çalışma sonucunda deney hayvanları ile herhangi bir platformda hayvan davranışlarını takip edebilecek ve deney analizlerine veri sağlayabilecek bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım, deney hayvanlarının bulunduğu koordinatları, toplam aldıkları mesafeyi, izledikleri rotayı, belirli bir alanda ne kadar süre kaldıklarını ve ortalama hızlarını eş zamanlı olarak belirleyebilmektedir. Geliştirilen yazılım, araştırmacıların deneylerini geleneksel yöntemlerle inceleme gerekliliğini, dikkatsizlik ve yanlılık gibi sorunları ortadan kaldırarak zaman ve emek tasarrufu sağlamakta, aynı zamanda analiz verilerine daha kolay ve hızlı bir şekilde erişmelerini mümkün kılmaktadır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKLAR

Any Maze. (2024).

Catarinucci, L., Colella, R., Mainetti, L., Patrono, L., Pieretti, S., Secco, A., & Sergi, I. (2014). An animal tracking system for behavior analysis using radio frequency identification. *Nature, Lab Animal*, *43*(9), 321–327. https://doi.org/10.1038/laban.547

Değirmenci, M. D., & Çalışkan, H. (2023). Hayvan Modellerinde Depresyon ve Hipotiroidi. *Eskisehir Medical Journal*, *4*(1), 67–70. https://doi.org/10.48176/esmj.2023.106

Python Software Foundation, (2020). *Python 3.9.1rc1*.

Ghosh, S., Hazra, S., Maity, S. P., & Rahaman, H. (2016). A new algorithm for grayscale image histogram computation. *12th IEEE International Conference Electronics, Energy, Environment, Communication, Computer, Control: (E3-C3), INDICON 2015*, 1–6. https://doi.org/10.1109/INDICON.2015.7443463

Güneş, H. (2021). Gerçek Zamanlı Fare Takip ve Analiz Yazılımı Geliştirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *37*(3), 423–433.

Lim, C. J. M., Platt, B., Janhunen, S. K., & Riedel, G. (2023). Comparison of automated video tracking systems in the open field test: ANY-Maze versus EthoVision XT. *Journal of Neuroscience Methods*, *397*(August), 109940. https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2023.109940

Rodriguez, A., Zhang, H., Klaminder, J., Brodin, T., Andersson, P. L., & Andersson, M. (2018). ToxTrac: A fast and robust software for tracking organisms. *Methods in Ecology and Evolution*, *9*(3), 460–464. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12874

Yamanaka, O., & Takeuchi, R. (2018). UMATracker: An intuitive image-based tracking platform. *Journal of Experimental Biology*, *221*(16), 1–5. https://doi.org/10.1242/jeb.182469

Yasir, M. A., & Ali, Y. H. (2021). Review on Real Time Background Extraction: Models, Applications, Environments, Challenges and Evaluation Approaches. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, *17*(2), 37–68. https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i02.18013

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING and NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Fındık Kabuğundan Karbon Kuantum Noktalarının Formik Asit ve Asetik Asit ile Mikrodalga Yöntemiyle Üretimi ve Polifenol Oksidaz (PPO) Enzim Aktivitesinin İncelemesi

Berfin TEKİN[1]
Durukan KOÇ[2]
Erdem ELİBOL[3]
Tuna DEMİRCİ[4]
Mine Nazan KERİMAK ÖNER[5]
Mustafa Oğuzhan KAYA

Abstract

Polyphenol oxidase (PPO) is an enzyme responsible for enzymatic browning. This enzyme oxidises polyphenols found in fruits and vegetables, resulting in the formation of brown pigments. Controlling the activity of PPO is important to extend the shelf life of foods and prevent discolouration. Carbon quantum dot (QD) has become an important area of interest in nanotechnology in recent years. Carbon quantum dots are carbon-based nanomaterials, 0-10 nm in size, which have a wide range of potential applications. The biological activities of carbon quantum dots have been demonstrated in many studies such as antioxidant and antimicrobial properties. In this study, it was aimed to synthesis carbon quantum dots from hazelnut membrane by microwave synthesis method in an environment containing formic acid and acetic acid and to investigate their *in vitro* effects on PPO enzyme. It was investigated whether carbon quantum dots can inhibit PPO activity.

Keywords: Polyphenol oxidase (PPO), Carbon quantum dot (QD), Nanotechnology, Carboxylic Acids

[1] Kocaeli Üniversite, Kimya, Orcıd: 0009-0008-9449-5898
[2] Dr., Bolu Abant İzzet Baysal Üniversite, Kimya, Orcıd: 0000-0001-8183-8646
[3] Doç. Dr., Düzce Üniversite, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Orcıd: 0000-0003-0328-5534
[4] Öğr. Gör. Dr., Düzce Üniversite Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi, Orcıd: 0000-0001-8933-4944
[5] Öğr.Gör.Dr. Kocaeli Üniversite, Kimya, Orcıd: 0000-0003-2286-6289

ISBN: 978-625-372-170-1

1. 1.GİRİŞ

Polifenol oksidaz (PPO), meyve ve sebzelerde bulunan polifenolleri oksitleyerek kahverengi pigmentlerin oluşmasına neden olan bir enzimdir (Gandhi et al., 2018). Bu enzimatik kahverengileşme, gıdaların besin değerini ve görünümünü olumsuz etkileyerek raf ömrünü kısaltmaktadır. PPO'nun aktivitesini kontrol etmek, gıda kalitesini korumak ve gıdaların raf ömrünü uzatmak için önemlidir (Nogales-Delgado, 2021). Karbon kuantum noktaları (KKN'ler), benzersiz optik ve elektronik çözümler sayesinde umut verici bir malzeme olarak ortaya çıkmıştır. Küçük boyutlu ve yüksek yüzey alanları, bunları kataliz dahil çeşitli uygulamalar için ideal aday haline getirir (Yuan et al., 2019). Polifenol oksidaz (PPO), fenolik yapıların değişimini katalize etmede önemli bir rol oynar (S. Zhang, 2023).

KKN'ler benzersiz optik ve elektronik özelliklere sahip, nano boyutlu karbon temelli bileşiklerdir (Dutta et al., 2022). Yüksek yüzey alanına sahiptirler ve biyokütle, kömür ve grafen oksit gibi çeşitli karbon kaynaklarından kolayca sentezlenebilirler. KKN'ler ve enzim aktivite çalışmalarında, enzimlerin katalitik ürünlerini arttırdığı ve fenolik bitkilerin oksidasyonunu artışına sebep olduğu bilinmektedir. Fakat gelişmenin ardındaki mekanizma hala tam olarak anlaşılamamıştır. Ancak KKN'ler elektron donörleri olarak hareket ederek elektronların fenolik yapılardan enzim aktarımının kolaylaştırıldığına inanılmaktadır (Choi & Yoon, 2023).

Karbon bazlı nanoteknolojik ürünlerin enzim sistemlerinin çeşitli alanlarda potansiyel uygulamaları vardır. En umut verici uygulamalardan biri, atık sudan fenolik ürünlerin uzaklaştırılması için biyoremediasyon süreçleridir (El Yagoubi et al., 2023). Fenolik bileşiklerin endüstriyel atık sularda yaygın bir şekilde bulunması ve bunların uzaklaştırılması, çevrenin korunması için önemlidir. Karbon bazlı nanoteknolojik ürünler-PPO sistemi, PPO'nun katalitik boyutu için kullanılabilir ve bu da fenolik depoların daha verimli bir şekilde uzaklaştırılmasına yol açabilir. Bir başka potansiyel uygulama ise gıda işlemede olumsuz karakteristik özellikleridir. Fenolik görünümün antioksidan özellikleriyle bilinen ve KKN-PPO sistemi, bu yapının büyütülmesini sağlamak için kullanılabilir ve bu da antioksidan aktivitenin artmasına yol açar. Son olarak polifenol oksidaz bazlı elektrokimyasal biyosensörler sistemi fenolik detayların belirlenmesi için biyosensörlerde mevcuttur (Raymundo-Pereira et al., 2020). PPO'nun karbon bazlı nanoteknolojik ürünler performansı artırılmış katalitik faaliyeti, fenolik detayların ayrıntıları için daha hassas ve seçici biyosensörler yetiştirmek için kullanılabilir.

Karbon bazlı nanoteknolojik ürünler-PPO sisteminin potansiyeline rağmen hala ele alınması gereken çeşitli zorluklar ve geleceğe yönelik yönler bulunmaktadır. Ana zorluklardan biri karbon bazlı nanoteknolojik ürünler-PPO sisteminin aralığının genişliğidir. Karbon bazlı nanoteknolojik ürünlerin devamlılığı PPO'nun katalitik parçalarının ardındaki kesin mekanizmayı aydınlatmak için daha ileri çalışmalara ihtiyaç vardır (Ruckthong et al., 2022). Diğer bir zorluk ise sistemin farklı uygulamaların optimize edilmesidir. Karbon bazlı nanoteknolojik ürünler-PPO sisteminin değişimi en üst düzeydeki çıkarmak için farklı yüzeyler ve reaksiyon koşulları için optimize edilmesi gerekir. Son olarak, karbon bazlı nanoteknolojik ürünler ve PPO'ların üretimi için uygun destek ve modellenebilir yöntemlerin geliştirilmesi, bu sistemin ticarileştirilmesi için esastır.

Bu araştırma ile fındık zarından mikrodalga sentez yöntemi kullanılarak KKN sentezlenmiş ve KKN'lerin PPO enzimi üzerine *in vitro* etkileri araştırılmıştır. Sentezlenen KKN'lerin karakterizasyonu X-ışını kırınımı (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi

spektroskopisi (FT-IR), UV ve PL gibi tekniklerle yapılmıştır. KKN'lerin PPO enzimi üzerine *in vitro* etkisi, spektrofotometrik yöntemlerle tayin edilmiştir.

2.MADDE VE MALZEMELER

Kızılötesi spektrumlar, zayıflatılmış toplam yansıtma (ATR) aksesuarı ile donatılmış bir SHIMADZU Prestige-21 spektrometresinden 32 tarama üzerinden elde edilmiştir. UV-vis olarak Biotek otomatik kayıt spektrofotometresi kullanılmıştır. Fotolüminesans analizleri Horiba FluoroMax+ cihazı üzerinde 365 nm dalga boyu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deiyonize su Thermo Scientific saflaştırma sistemi (≥18 MΩ,) ile özel olarak üretilmiştir. Tüm reaktifler Sigma-Aldrcih ve Merck gibi ticari tedarikçilerden satın alınmıştır.

2.1. Karbon Kuantum Nokta Sentezi

Bu süreç, fındık zarlarının özenli bir şekilde işlenmesi ve KKN üretimi için temel adımları içerir. Fındık zarı öğütülerek toz haline getirildikten sonra, öğütülmüş fındık zarı 0,10 g üzerinde 0,50 mL asit (formik asit veya asetik asit) ile 30 mL deiyonize saf su oranında karıştırılarak tamamlanır. Bu karışım ilk olarak 20 dakika boyunca ultrasonik banyoda tutulur daha sonra mikrodalga fırında (Milestone Start D) 800 W gücünde on dakika boyunca üç sıcaklıkta (150°C, 175°C, 200°C) işlenir. İşlemin ardından karışım soğutulur ve filtre edilir. Filtre edilmiş çözelti daha sonra santrifüjlenir ve bir gece boyunca diyaliz ünitesinde bekletilir. KKN'ler, distile su ile tamamlanıp kullanıma hazır hale getirilir.

	IC50	Ki
TEB-7	0,584±0,003	Ki=0,0812
TEB-15	0,071±0,001	Ki=0,0687
TEB-23	0,667±0,017	Ki=0,0591
TEB-4	0,386±0,004	Ki=0,0645
TEB-12	0,090±0,0004	Ki=0,00453
TEB-20	0,488±0,010	Ki=0,0977

2.2. PPO'nun Saflaştırılması

Tüm saflaştırma prosedürleri 25°C'de gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işlemi Wesche-Ebeling ve Montgomery'den uyarlanmıştır (Wesche-Ebeling & Montgomery, 1990). Muzlar üç kez distile su ile yıkanmıştır. Ardından, 50 g muz hızla ince dilimler halinde dilimlenmiş ve %5 poli(etilen glikol) ve 10 mM askorbik asit içeren pH 7.3'te 100 mL 0.1 M fosfat tamponu ile 2 dakika boyunca bir Waring blenderinde homojenize edilmiştir. Homojenat muslinden süzülmüş ve süpernatantı elde etmek için 15.000 g'de 30 dakika santrifüjlenmiştir. Ham proteinler %80 doygunluğa kadar $(NH_4)_2SO_4$ eklenerek çöktürülmüştür. Çökelti minimum hacimde 5 mM fosfat tamponu içinde yeniden süspanse edilmiş ve aynı tampona karşı bir gece boyunca diyaliz edilmiştir. Enzim çözeltisi daha sonra pH 5.0'da 5 mM fosfat tamponu ile önceden dengelenmiş olan bir Sepharose 4B-tirozin-p-aminobenzoik asit afinite kolonuna uygulanmıştır (Arslan et al., 2004) . Afinite jeli, PPO pH 7.0'da 1 M NaCl, 5 mM fosfat ile elüe edilmeden önce aynı tamponla iyice yıkanmıştır.

2.3. PPO Aktivitesi

PPO aktivitesi substrat olarak katekol kullanılarak daha önce tarif edildiği gibi Biotek spektrofotometresinde 420 nm'de absorbans artışı ölçülerek değerlendirilmiştir (Chilaka et al., 2002). Aktivite, absorbans eğrisinin doğrusal bölgesinden hesaplanmıştır. Bir birim PPO aktivitesinin tanımı, bildirilen yöntemle tutarlı olarak 25°C'de 1 mL enzim başına 0,001

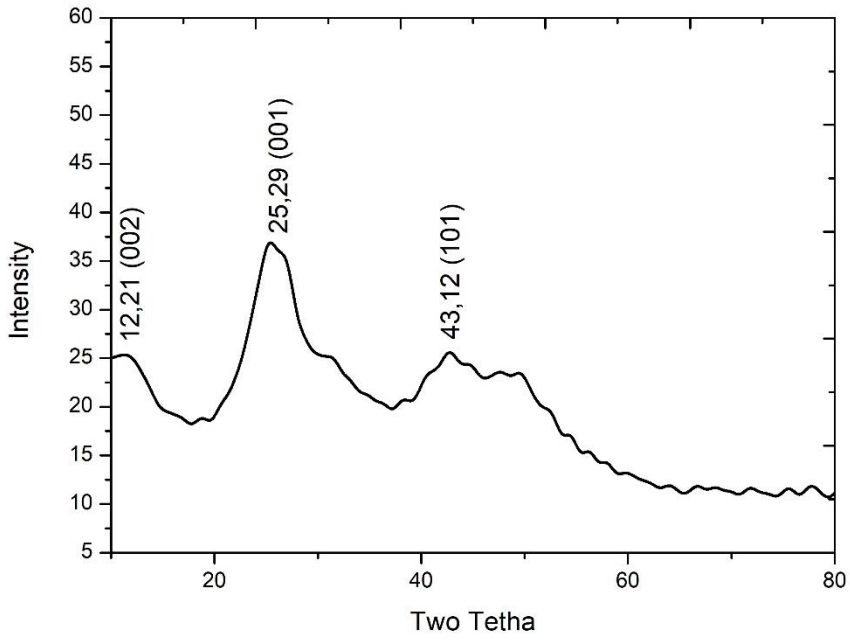
birim/dak absorbans artışına neden olan enzim miktarı olarak kabul edilmiştir (Arslan et al., 2004; Kaya, 2017).

2.3. PPO İnhibisyonu

PPO inhibisyonunu araştırmak için, sentezlenen altı adet karbon kuantum noktalarının farklı konsantrasyonları enzim reaksiyon karışımına eklenmiştir. Sentezlenen KKN'larının bulunmadığı, sadece enzim, substrat ve tampon çözelti karışımından oluşan reaksiyon ortamında belirlenen PPO aktivitesi %100 olarak tanımlanmıştır. Regresyon analizi, her bir karbon kuantum nokta bileşiğinin farklı konsantrasyonları için PPO'nun yüzde aktivitesi hesaplanmıştır. IC_{50} değerleri (enzim hızını %50 oranında inhibe eden inhibitör konsantrasyonu) daha önce açıklandığı gibi Lineweaver-Burk grafiklerinden hesaplanarak tespit edilmiştir (Lineweaver & Burk, 1934).

3.TARTIŞMA

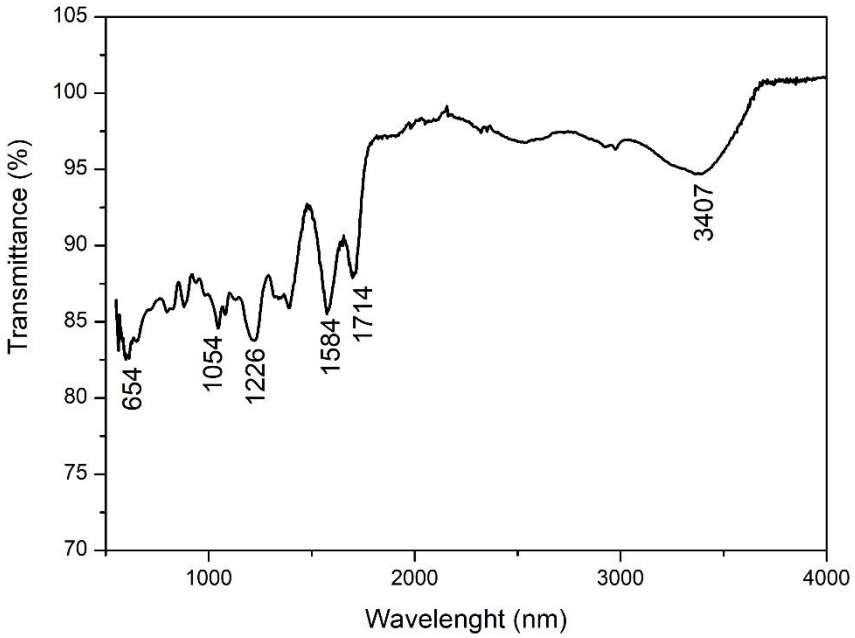
KKN'nin X-ışını kırınım (XRD) modellerini Şekil 1 temsil etmektedir. 25,29°'de merkezlenen güçlü bir tepe ile 43,12°'de merkezlenen bir omuz göstermiştir. Bu pikler, daha fazla sayıda oksijen içeren grubu temsil eden {001}, {101} düzlemlerine olarak literatürde bilinmektedir (Huang et al., 2019). (001) piki ise KKN'lerin katmanlarının kalınlığını temsil etmektedir. Pik yoğunluğu fazlalaştıkça, KKN tabakaları daha incedir. (101) ise KKN'lerin in-plane boyutunu temsil eder (C. Zhang et al., 2016). Pik yoğunluğu arttıkça, KKN'ler boyut olarak daha küçüktür. (002), KKN'lerin katmanları arasındaki mesafeyi temsil eder ve pik konumu arttıkça, KKN katmanları arasındaki mesafe artar. KKN'lerin katmanları arasındaki mesafe arttıkça, bant aralığı (enerji seviyeleri arasındaki boşluk) daralabilir. Bu durum, KKN'lerin yaydığı ışık dalga boyunun uzamasına ve renginin kırmızıya kaymasına neden olabilir. Genel olarak ise KKN genellikle amorftur ve bu tip polikristalin organizasyona sahip KKN literatürde bilinmektedir (Eskalen, 2020; Eskalen et al., 2020; Genc et al., 2017).



Şekil 6. *Karbon kuantum noktasının XRD spektrumu*

Şekil 2'de karbon kuantum noktalarının FT-IR geçirgenlik spektrumunu göstermektedir. 3407 cm^{-1} piki dış yapılarında bulunan CO**OH** yapısının OH gerilmelerini temsil eder ve 1714 cm^{-1} ise C=O yapısına atfedilir, Yine C-O gerilmeleri 1584 cm^{-1} ve 1226

cm^{-1}'de C-O-C gruplarının temsil eden bulunan pikler bulunmaktadır. Ayrıca, 1389 cm^{-1}, 1054 cm^{-1} ve 654 cm^{-1} 'de gözlenen pikler, sırasıyla, metilen simetrik eğilme titreşimlerine olarak bilinmektedir.



Şekil 7. *Karbon kuantum noktasının FTIR spektrumu*

Karbon kuantum noktalarının (KKN) fotolüminesans (PL) spektrumu, nanobilim ve nanoteknolojinin önemli bir alanında büyük ilgi gören bir konudur. Bu alandaki araştırmalar, KKN'lerin optik özellikleri ve emisyon spektrumları arasındaki ilişkileri anlamak için önemli bir zemin oluşturmaktadır.

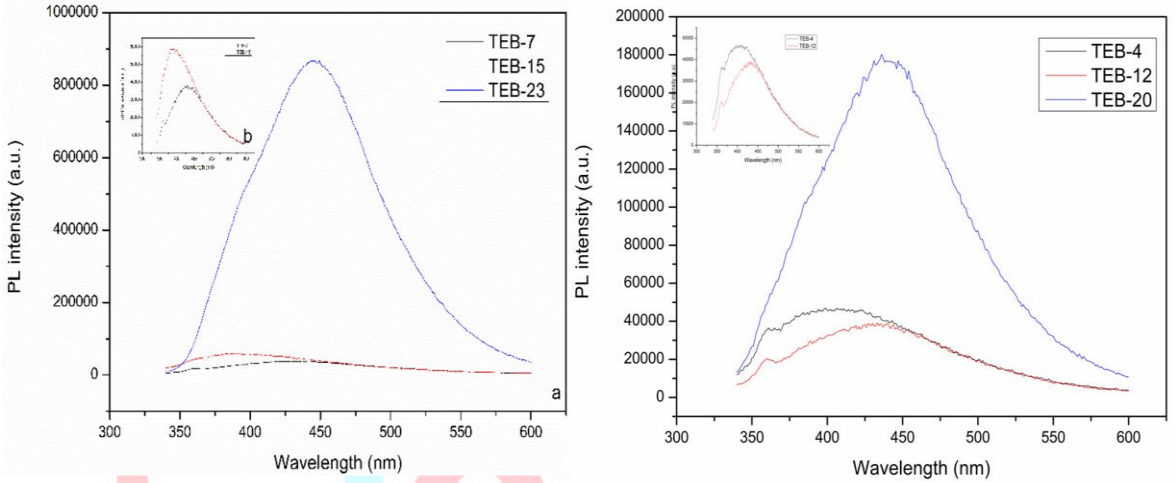
Verilerdeki Yo (emisyon dalga boyu), Xc1 (merkezi dalga boyu), W1 (tam genişlik yarı maksimum), A1 (emisyon pikinin yüksekliği), Sigma1 (emisyon pikinin genişliği) ve FWHM1 (tam genişlik yarı maksimum genişliği) gibi özellikler, farklı KKN türlerinin karakterizasyonunda kullanılan temel parametrelerdir (Righetto et al., 2017) . Xc1 değerleri bu pikin merkezini gösterir (Mohammad-Jafarieh et al., 2021). TEB-23 gibi büyük boyutlu KKN'lerin Yo değerleri oldukça yüksek (40178,31 nm) iken, TEB-4 gibi daha küçük boyutlu KKN'lerin Yo değerleri daha düşüktür (5727,61 nm). Bu, KKN'lerin boyutlarına göre emisyon spektrumlarının nasıl değiştiğini gösterir.

W1 değerleri, emisyon spektrumunun genişliği ile ilgilidir (Yoshikawa, 2023). TEB-4 için W1 değeri 110,60 nm iken, TEB-23 için 90,30 nm'dir. Daha geniş bir W1 değeri, genellikle daha fazla dalga boyunu içeren bir emisyon spektrumuna işaret eder. A1 değerleri, emisyon pikinin yüksekliğini temsil eder ve TEB-23 gibi büyük boyutlu KKN'ler için yüksek A1 değerleri (örneğin 91830205 a.u.) yoğun bir emisyon sinyali olduğunu göstermektedir.

Sigma1 ve FWHM1 değerleri ise emisyon pikinin genişliği ile ilgilidir (Gholampour et al., 2023). TEB-4 için Sigma1 değeri 55,30 nm ve FWHM1 değeri 130,22 nm'dir. Bu değerler, KKN'lerin emisyon spektrumlarının genişliği ve netliği hakkında bilgi verir. Daha yüksek Sigma1 değerleri, genellikle daha geniş bir emisyon spektrumuna işaret ederken, daha yüksek FWHM1 değerleri genellikle daha belirgin bir emisyon pikine sahip olduğunu gösterir. KKN'lerin farklı boyutlara ve yapısal özelliklere sahip olduğunu gösteren bu analiz, nano ölçekteki materyallerin özelliklerini anlamak ve uygulamalarını geliştirmek için önemli bir adımdır.

Tablo 1. *Fotolüminesans Spektrumunda Hesaplanan Teorik Veriler*

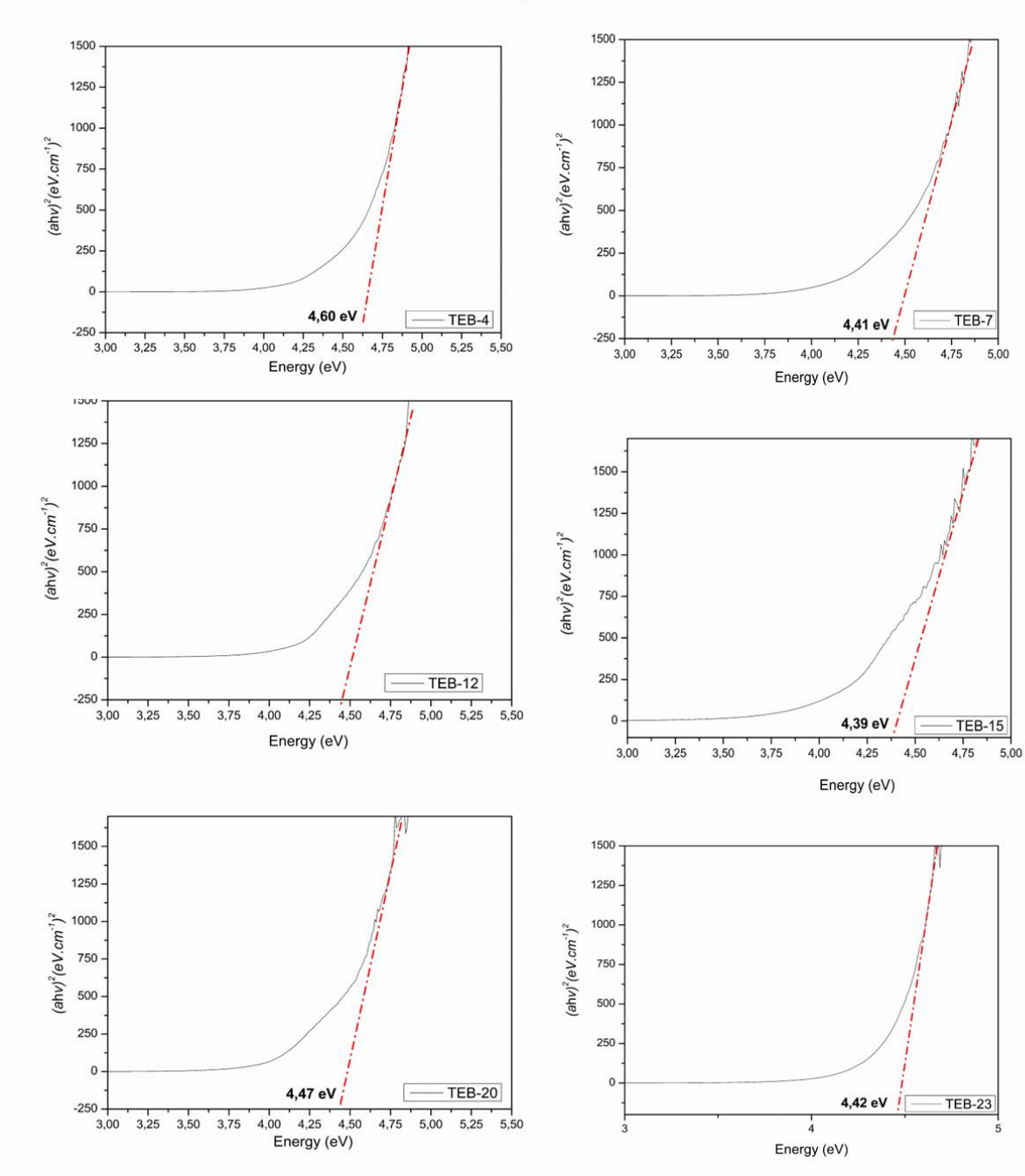
Özellik	TEB-7	TEB-15	TEB-23	TEB-4	TEB-12	TEB-20
Yo (nm)	5537,69	8440,11	40178,31	5727,61	4409,28	15302,22
Xc1 (nm)	437,41	425,29	446,82	414,04	432,94	440,40
W1 (nm)	103,03	103,69	90,302	110,60	104,50	94,23
A1 (a.u.)	4036818	6174244	91830205	5606085	4348737	18701861
Sigma1 (nm)	51,51	51,84	45,15	55,30	52,25	47,11
FWHM1 (nm)	121,31	122,08	106,32	130,22	123,04	110,94
Height1 (a.u.)	31259,79	47509,43	811387,3	40440,95	33202,04	158355,30



Şekil 8. *Karbon Kuantum Noktaların Fotolüminesans Spektrumları*

Tauc metodu, yarı iletken ve yalıtkan malzemelerin bandgap enerjisini UV-vis absorbanstan hesaplamak için kullanılan bir optik yöntemdir (Tauc, 1968). KKN'lerde bandgap değeri, KKN'nin boyutuna, şekline, yüzey fonksiyonel gruplarına ve sentez yöntemine bağlı olarak değişir. Band aralığı, bir malzemenin en yüksek dolu moleküler orbital (HOMO) ile en düşük dolmamış moleküler orbital (LUMO) arasındaki enerji farkını temsil eder. Genel olarak, Tauc yöntemi ile absorbanstan hesaplanan KKN'nin bandgap değerleri 1 eV ila 6 eV arasında değişebilir (Nizam et al., 2023; Nugraha et al., 2021). Çalışmamızda sentezlene karbon kuantum noktalarında (KKN) 4,39-4,60 eV bandgap değeri, orta derecede yüksek olarak kabul edilir. 4,39- 4,60 eV bandgap aralığına sahip KKN, mavi ışık bölgesinde (yaklaşık 400-450 nm dalga boyu) fotolüminesans (ışık emisyonu) gösterebilir.

Bandgap değeri, bir malzemenin iletkenlik ve yarı iletkenlik özelliklerini belirleyen önemli bir parametredir. Yüksek bandgap değerleri, malzemenin daha az iletken ve daha fazla yarı iletken olduğunu gösterir (Huo et al., 2024). Tauc grafiği doğrudan biyolojik aktivasyon veya inhibisyon mekanizmalarını incelemek için kullanılmaz. Fakat Bandgap enerjisi, moleküller arasında elektron transferini etkileyebilir. Bu durumda daha yüksek bandgap enerjisine sahip KKN, PPO'dan elektronları kabul ederek enzimin işlevini bozabilir veya PPO'nun kataliz ettiği redoks reaksiyonlarında rol oynayarak enzim aktivitesini engelleyebilir. Bandgap enerjisi, moleküller arasındaki diğer etkileşim türlerini de etkileyebilir.



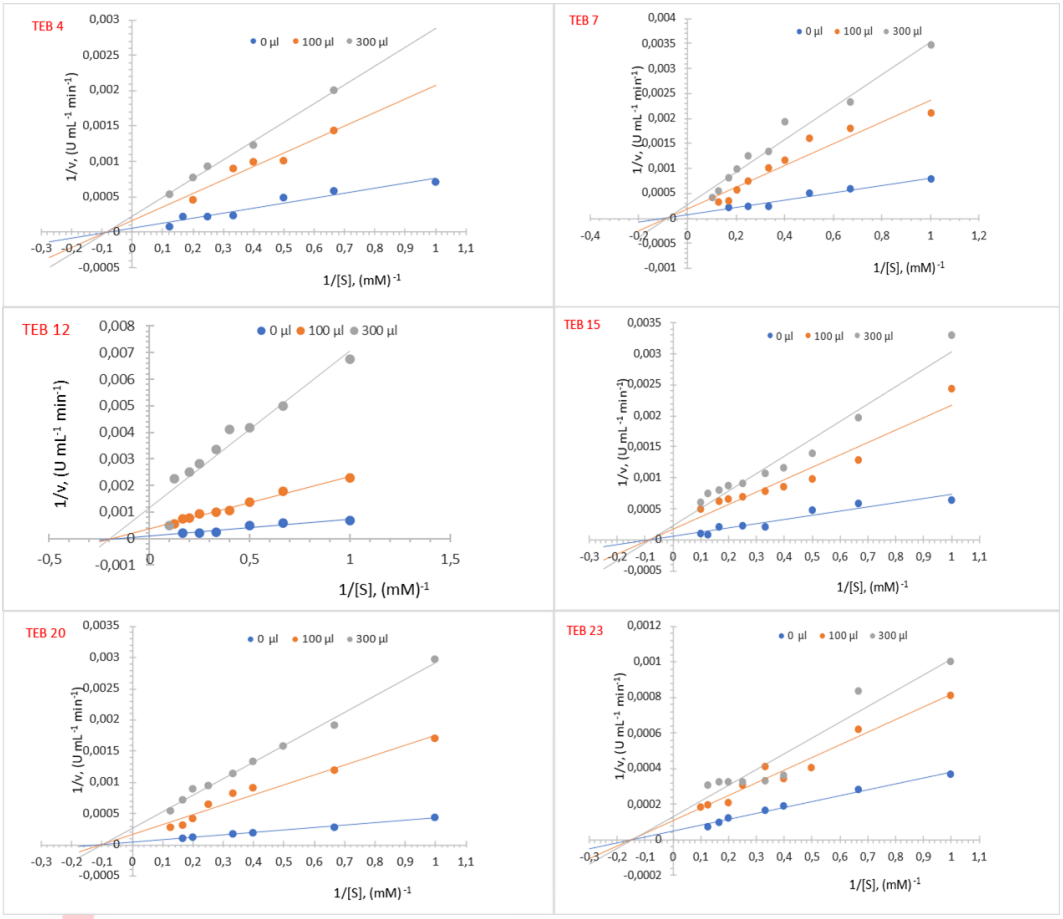
Şekil 9. *Karbon Kuantum Noktaların Tauc Grafikleri*

Polifenol oksidaz (PPO), fenolik bileşiklerin kinonlara oksidasyonunu katalize eden bir enzimdir. Bu enzim bitkiler, mantarlar ve böcekler de dahil olmak üzere çeşitli organizmalarda bulunur ve meyve ve sebzelerin kahverengileşmesi gibi süreçlerde önemli bir rol oynar (Aksoy, 2020; Araji et al., 2014; S. Zhang, 2023). Bazı KKN türlerinin kofaktör olarak hareket ederek enzimin aktivitesini artırması, diğerlerinin ise aktif bölgeye bağlanarak veya enzimin konformasyonunu değiştirerek inhibe etmesi mümkündür (Sheng et al., 2024; Yang et al., 2024). Bu kapsamda, karbon kuantum noktalarının polifenol oksidaz aktivitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek üzere bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, saflaştırılmış polifenol oksidaz enzimi ve kateşol gibi bir substrat içeren bir çözelti hazırlanmıştır. Daha sonra çözeltiye değişen konsantrasyonlarda karbon kuantum noktaları eklenmiştir ve spektrofotometrik analizler kullanarak zaman içinde substrat oksidasyon oranını üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Karbon kuantum noktaların (KKN'lerin) bitkisel kökenli peroksidaz enzimi (PPO) üzerindeki inhibisyon etkisini açıkça göstermektedir. IC_{50} ve Ki değerleri,

KKN'lerin PPO'ya olan inhibisyon gücünü ölçerken kullanılan önemli parametrelerdir. IC_{50} değerleri, bir maddenin bir enzimi inhibe etme yeteneğini ifade ederken, Ki değerleri ise bu inhibisyonun doğasını ve mekanizmasını daha ayrıntılı bir şekilde belirler. Tablodaki verilere göre, TEB-4, IC_{50} değeri 0,14 ± 0,01 µg/L ve Ki değeri 0,14 mg/L olan bir KKN'dir. Bu değerler, TEB-4'ün PPO üzerinde güçlü bir inhibisyon etkisine sahip olduğunu ve bu etkinin nonkompetitif bir mekanizma ile gerçekleştiğini göstermektedir. Benzer şekilde, diğer KKN'ler de benzer nonkompetitif inhibisyon tipine sahiptir, ancak farklı IC_{50} ve Ki değerlerine sahiptirler. TEB-12 daha düşük IC_{50} (0,04 ± 0,001 µg/L) ve Ki (0,022 mg/L) değerlerine sahipken, TEB-20 daha yüksek IC_{50} (0,33 ± 0,01 µg/L) ve Ki (0,168 mg/L) değerlerine sahiptir.

Tablo 2. *Karbon kuantum noktaların IC_{50} ve Ki değerleri*

Özellik	Yoğunluk	Yüzey Alanı	IC_{50}	Ki	İnhibisyon Türü
Birim	(a.u./nm^3)	(nm^2)	(µgr/L)	(mg/L)	
TEB-7	1386,81	6.741.063	0,13 ± 0,002	0,577	Rekabetçi Olmayan
TEB-15	1390,53	15.687.167	0,02 ± 0,001	0,120	Rekabetçi Olmayan
TEB-23	4005,22	519.120.737	0,38 ± 0,040	0,020	Rekabetçi Olmayan
TEB-4	1826,23	6.925.332	0,14 ± 0,010	0,140	Rekabetçi Olmayan
TEB-12	1796,42	5.743.434	0,04 ± 0,001	0,022	Rekabetçi Olmayan
TEB-20	2380,04	189.039.184	0,33 ± 0,010	0,168	Rekabetçi Olmayan



***Şekil 10**. Karbon Kuantum Noktaların Ki Grafikleri*

Polifenol Oksidaz (PPO) inhibisyonu verileri ile yoğunluk ve yüzey alanı arasındaki ilişkiyi incelenmiştir. TEB-23, yoğunluk değeri açısından diğer inhibitörlerden belirgin şekilde yüksektir ve IC_{50} değeri de diğerlerine göre daha yüksektir (0,38 ± 0,040 µg/L). Bu, TEB-23'ün daha düşük inhibisyon etkinliğine sahip olduğunu gösterebilir. Ancak, TEB-23'ün yüzey alanı değeri diğerlerine göre daha düşüktür, bu da yoğunluk ve yüzey alanı arasında doğrudan bir korelasyon olmadığını gösterir. Diğer yandan, TEB-15 ve TEB-20 gibi düşük yoğunluk değerlerine sahip inhibitörlerin IC_{50} değerleri oldukça düşüktür (sırasıyla 0,02 ± 0,001 µg/L ve 0,33 ± 0,010 µg/L). Bu da bu inhibitörlerin yüksek inhibisyon etkinliğine sahip olduğunu gösterir. Ancak, bu inhibitörlerin yüzey alanı değerleri oldukça yüksektir, bu da yoğunluk ve yüzey alanı arasında ters bir ilişkinin olabileceğini düşündürmektedir. TEB-12 ve TEB-4 gibi orta düzeyde yoğunluk değerlerine sahip inhibitörlerin IC_{50} değerleri ise orta seviyede ve birbirine yakındır (sırasıyla 0,04 ± 0,001 µg/L ve 0,14 ± 0,010 µg/L). Bu inhibitörlerin yüzey alanı değerleri de orta seviyededir, bu da yoğunluk yüzey alanı değerleri arasında doğrudan bir ilişki olmadığını gösterir. Sonuç olarak, yoğunluk ve yüzey alanı değerleri, inhibitörlerin PPO inhibisyon etkinliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahip değildir. Bununla birlikte, IC_{50} ve Ki gibi inhibisyon parametreleri ile yoğunluk ve yüzey alanı arasında dolaylı bir ilişki olabilir, ancak bu ilişkinin karmaşıklığı ve diğer moleküler faktörlerin etkisi göz önüne alındığında kesin bir bağlantı çıkarmak bu çalışma kapsamında gerçekleşmemiştir. Fakat ortalama boyut ve ortalama şekil, PPO inhibisyon aktivitesi ile doğrudan korele olmasa da TEB-15 ve TEB-12'ün diğer örneklerden farklı boyut ve şekil profilleri, bu örneklerin yüksek inhibisyon aktivitesine katkıda bulunmuş olabilir.

Nonkompetitif inhibisyon, bir enzimin aktif bölgesine bağlanarak enzim-substrat kompleksinin oluşmasını engelleyen bir inhibisyon türüdür (Blat, 2010). İnhibitör, substrat ile aynı aktif bölgeye bağlanmaz, ancak aktif bölgeye bağlanarak substratın bağlanmasını

zorlaştırır. Bu, enzimatik reaksiyon hızının azalmasına neden olur. Karbon kuantum noktaları (KKN'ler), boyutları çok küçük küçük olan ve elektronik özelliklere sahip yeni bir nanomalzeme sınıfıdır (Molaei, 2020). KKN'lerin inhibisyon mekanizması tam olarak anlaşılamamış olsa da bazı araştırmalar KKN'lerin nonkompetitif inhibisyona neden olabileceğini göstermiştir (Barros et al., 2021; Lu et al., 2019; Yu et al., 2023). Bunun nedeni ise, Karbon kuantum noktaların (KKN'ler), enzimlerin aktif bölgesine bağlanarak substratın bağlanmasını zorlaştırabilir ve enzim konformasyonunu değiştirerek enzimatik aktiviteyi azaltabilir (Panwar et al., 2019). Çalışmamızda KKN'ler nonkompetitif inhibisyon tipi göstermektedir. Bu, KKN'lerin substrat ile aynı aktif bölgeye bağlanmadıkları, ancak enzimin aktif bölgesini allosterik olarak bloke ederek veya enzim konformasyonunu değiştirerek inhibe ettikleri anlamına gelir.

4.SONUÇLAR

Karboksilik asitler, biyobozunur olabilir ve çevreye duyarlı bileşiklerdir ve KKN sentez yöntemleri için kullanılabilir. Bizde fındık zarı kullanılarak formik asit ve asetik asit ile KKN'lerin başarıyla sentezlendiği gösterilmiştir. Sentezlenen KKN'ler iyi tanımlanmış bir boyuta ve iyi emisyon bandına sahiptir. Bu sonuçlar, fındık zarının KKN sentezi için umut verici bir hammadde kaynağı olduğunu göstermektedir. Karbon kuantum noktaları ve enzimler arasındaki etkileşimin ilk anlayışına dayanarak iyi bir şekilde formüle edilmiştir. Veriler, KKN'lerin PPO enzimini nonkompetitif olarak inhibe ettiğini ve inhibisyon etkinliğinin KKN konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermektedir. En düşük IC_{50} ve K_i değerlerine sahip KKN, PPO enzimini en etkili şekilde inhibe eden KKN'dir. IC_{50}, enzim aktivitesini %50 oranında inhibe etmek için gereken KKN konsantrasyonudur (Kaya et al., 2023). Bu IC_{50} değerleri 0,02 µgr/L ile 0,38 µgr/L arasında değişmektedir. En düşük IC_{50} değeri 0,02 µgr/L'ye sahip olan KKN, PPO enzimini en etkili şekilde inhibe eden KKN olan TEB-15 dir. Ki değeri, enzim-inhibitör kompleksinin disosiasyon sabitidir. Bu tabloda K_i değerleri 0,022 mg/L ile 0,577 mg/L arasında değişmektedir. En düşük K_i değerine sahip olan KKN olan TEB 23 ve TEB 12 (Ki=0,022 ve 0,020 mg/L), PPO enzimi ile en yüksek bağlanma afinitesine sahiptir. Farklı boyut, şekil, yoğunluk ve yüzey alanına sahip daha fazla KKNleri incelemek, PPO inhibisyon aktivitesi ile bu özelliklerin ilişkisini anlaşılması amacıyla öncül bir çalışma olmuştur. KKN'lerin PPO enzimi üzerinde etkili bir nonkompetitif inhibisyon sağlayabildiğini ve bu etkinin KKN'lerin farklı yapılarına ve moleküler özelliklerine bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, KKN'lerin potansiyel olarak enzimatik aktiviteleri modüle etmek için kullanılabileceğin, gıda uygulamalarında, ilaç geliştirmekte veya biyolojik uygulamalar gibi alanlarda önemli bir rol oynayabileceğini konusunda başlangıç fikirlerini sunmaktadır.

Acknowledgements

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2023-3128 nolu proje ile desteklenmiş ve "Orjinal Sentez Karbon Kuantum Noktalarının Polifenol Oksidaz (PPO) Enzimi Üzerine *In Vitro* Etkilerinin Araştırılması" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Yazar katkıları

Bu çalışmada Mustafa Oğuzhan KAYA ve Tuna DEMİRCİ çalışmayı tasarlamıştır. Mustafa Oğuzhan KAYA, Tuna DEMİRCİ, Berfin Buket TEKİN, Erdem ELİBOL ve Durukan KOÇ tüm sentez deneyleri/analizleri, enzimatik çalışmaları gerçekleştirmiştir. Tüm yazarlar sonuçları değerlendirdi ve makaleyi hazırlamıştır.

Çıkar Çatışması

Tüm yazarlar finansal/ticari çıkar çatışmalarını beyan etmişlerdir.

REFERANSLAR

Aksoy, M. (2020). Bazı Doğal Bileşikler ve Benzentiyol ile Polifenol Oksidaz İnhibisyonu Yoluyla Enzimatik Kararmanın Önlenmesi. *European Journal of Science and Technology*. https://doi.org/10.31590/ejosat.755734

Araji, S., Grammer, T. A., Gertzen, R., Anderson, S. D., Mikulic-Petkovsek, M., Veberic, R., Phu, M. L., Solar, A., Leslie, C. A., Dandekar, A. M., & Escobar, M. A. (2014). Novel Roles for the Polyphenol Oxidase Enzyme in Secondary Metabolism and the Regulation of Cell Death in Walnut . *Plant Physiology*, *164*(3), 1191–1203. https://doi.org/10.1104/pp.113.228593

Arslan, O., Erzengin, M., Sinan, S., & Ozensoy, O. (2004). Purification of mulberry (Morus alba L.) polyphenol oxidase by affinity chromatography and investigation of its kinetic and electrophoretic properties. *Food Chemistry*, *88*(3), 479–484. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.005

Barros, M. R., da Silva, L. P., Menezes, T. M., Garcia, Y. S., & Neves, J. L. (2021). Efficient tyrosinase nano-inhibitor based on carbon dots behaving as a gathering of hydrophobic cores and key chemical group. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *207*, 112006. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2021.112006

Blat, Y. (2010). Non-Competitive Inhibition by Active Site Binders. *Chemical Biology & Drug Design*, *75*(6), 535–540. https://doi.org/10.1111/j.1747-0285.2010.00972.x

Chilaka, F. C., Eze, S., Anyadiegwu, C., & Uvere, P. O. (2002). Browning in processed yams: peroxidase or polyphenol oxidase? *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *82*(8), 899–903. https://doi.org/10.1002/jsfa.1119

Choi, H. K., & Yoon, J. (2023). Enzymatic Electrochemical/Fluorescent Nanobiosensor for Detection of Small Chemicals. *Biosensors*, *13*(4), 492. https://doi.org/10.3390/bios13040492

Dutta, V., Verma, R., Gopalkrishnan, C., Yuan, M.-H., Batoo, K. M., Jayavel, R., Chauhan, A., Lin, K.-Y. A., Balasubramani, R., & Ghotekar, S. (2022). Bio-Inspired Synthesis of Carbon-Based Nanomaterials and Their Potential Environmental Applications: A State-of-the-Art Review. *Inorganics*, *10*(10), 169. https://doi.org/10.3390/inorganics10100169

El Yagoubi, Y., Lemieux, B., Segura, P. A., & Cabana, H. (2023). Characterization of laccases from Trametes hirsuta in the context of bioremediation of wastewater treatment plant effluent. *Enzyme and Microbial Technology*, *171*, 110308. https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2023.110308

Eskalen, H. (2020). Influence of carbon quantum dots on electro–optical performance of nematic liquid crystal. *Applied Physics A*, *126*(9), 708. https://doi.org/10.1007/s00339-020-03906-7

Eskalen, H., Uruş, S., Cömertpay, S., Kurt, A. H., & Özgan, Ş. (2020). Microwave-assisted ultra-fast synthesis of carbon quantum dots from linter: Fluorescence cancer imaging and human cell growth inhibition properties. *Industrial Crops and Products*, *147*, 112209. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112209

Gandhi, K. D., Faldu, P. R., Patel, K. G., Solanki, V. H., Kansara, R. V, Singh, S., & Vyas, T. K. (2018). Plant Polyphenol Oxidase: Biochemical Properties and Browning of Fruits and Vegetables. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, *31*(1), 1. https://doi.org/10.5958/0974-4479.2018.00001.1

Genc, R., Alas, M. O., Harputlu, E., Repp, S., Kremer, N., Castellano, M., Colak, S. G., Ocakoglu, K., & Erdem, E. (2017). High-Capacitance Hybrid Supercapacitor Based on Multi-Colored Fluorescent Carbon-Dots. *Scientific Reports*, *7*(1), 11222. https://doi.org/10.1038/s41598-017-11347-1

Gholampour, M., Mansoursamaei, M., Malakzadeh, A., & Mansoursamaei, F. (2023). Comparison of FWHM and peak power techniques for simultaneous measurement of strain and temperature in FBG sensors. *Optical and Quantum Electronics*, *55*(2), 117. https://doi.org/10.1007/s11082-022-04177-7

Huang, H., Ouyang, H., Han, T., Wang, H., & Zheng, X. (2019). Construction of carbon quantum dots/single crystal TiO $_2$ nanosheets with exposed {001} and {101} facets and their visible light driven catalytic activity. *RSC Advances*, *9*(7), 3532–3541. https://doi.org/10.1039/C8RA10311A

Huo, S., Zhang, S., Wu, Q., & Zhang, X. (2024). Feature-Assisted Machine Learning for Predicting Band Gaps of Binary Semiconductors. *Nanomaterials*, *14*(5), 445. https://doi.org/10.3390/nano14050445

Kaya, M. O. (2017). Out-of-mind Inhibitors Of Human Serum Paraoxonase 1 (PON1): An In Vitro study. *Middle East Journal of Science*, *3*(1), 59–77. https://doi.org/10.23884/mejs.2017.3.1.07

Kaya, M. O., Demirci, T., Ozdemir, O., Calisir, U., Sonmez, F., & Arslan, M. (2023). Synthesis, inhibition effects, molecular docking and theoretical studies as Paraoxonase 1 (PON1) inhibitors of novel 1,4-dihydropyridine substituted sulfonamide derivatives. *Medicinal Chemistry Research*, *32*(5), 841–855. https://doi.org/10.1007/s00044-023-03029-7

Lineweaver, H., & Burk, D. (1934). The Determination of Enzyme Dissociation Constants. *Journal of the American Chemical Society*, *56*(3), 658–666. https://doi.org/10.1021/ja01318a036

Lu, F., Zhang, Y., Cheng, J., Zhang, M., Luo, J., Qu, H., Zhao, Y., & Wang, Q. (2019). Maltase and sucrase inhibitory activities and hypoglycemic effects of carbon dots derived from charred *Fructus crataegi*. *Materials Research Express*, *6*(12), 125005. https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab4fd8

Mohammad-Jafarieh, P., Akbarzadeh, A., Salamat-Ahangari, R., Pourhassan-Moghaddam, M., & Jamshidi-Ghaleh, K. (2021). Solvent effect on the absorption and emission spectra of carbon dots: evaluation of ground and excited state dipole moment. *BMC Chemistry*, *15*(1), 53. https://doi.org/10.1186/s13065-021-00779-6

Molaei, M. J. (2020). The optical properties and solar energy conversion applications of carbon quantum dots: A review. *Solar Energy*, *196*, 549–566. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.12.036

Nizam, N. U. M., Hanafiah, M. M., Mahmoudi, E., & Mohammad, A. W. (2023). Synthesis of highly fluorescent carbon quantum dots from rubber seed shells for the adsorption and photocatalytic degradation of dyes. *Scientific Reports*, *13*(1), 12777. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40069-w

Nogales-Delgado, S. (2021). Polyphenoloxidase (PPO): Effect, Current Determination and Inhibition Treatments in Fresh-Cut Produce. *Applied Sciences*, *11*(17), 7813. https://doi.org/10.3390/app11177813

Nugraha, M. W., Zainal Abidin, N. H., Supandi, & Sambudi, N. S. (2021). Synthesis of tungsten oxide/ amino-functionalized sugarcane bagasse derived-carbon quantum dots (WO3/N-KKN) composites for methylene blue removal. *Chemosphere*, *277*, 130300. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130300

Panwar, N., Soehartono, A. M., Chan, K. K., Zeng, S., Xu, G., Qu, J., Coquet, P., Yong, K.-T., & Chen, X. (2019). Nanocarbons for Biology and Medicine: Sensing, Imaging, and Drug Delivery. *Chemical Reviews*, *119*(16), 9559–9656. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00099

Raymundo-Pereira, P. A., Silva, T. A., Caetano, F. R., Ribovski, L., Zapp, E., Brondani, D., Bergamini, M. F., Marcolino, L. H., Banks, C. E., Oliveira, O. N., Janegitz, B. C., & Fatibello-Filho, O. (2020). Polyphenol oxidase-based electrochemical biosensors: A review. *Analytica Chimica Acta*, *1139*, 198–221. https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.07.055

Righetto, M., Privitera, A., Fortunati, I., Mosconi, D., Zerbetto, M., Curri, M. L., Corricelli, M., Moretto, A., Agnoli, S., Franco, L., Bozio, R., & Ferrante, C. (2017). Spectroscopic Insights into Carbon Dot Systems. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, *8*(10), 2236–2242. https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.7b00794

Ruckthong, L., Pretzler, M., Kampatsikas, I., & Rompel, A. (2022). Biochemical characterization of Dimocarpus longan polyphenol oxidase provides insights into its catalytic efficiency. *Scientific Reports*, *12*(1), 20322. https://doi.org/10.1038/s41598-022-20616-7

Sheng, J., Wu, Y., Ding, H., Feng, K., Shen, Y., Zhang, Y., & Gu, N. (2024). Multienzyme-Like Nanozymes: Regulation, Rational Design, and Application. *Advanced Materials*, *36*(10). https://doi.org/10.1002/adma.202211210

Tauc, J. (1968). Optical properties and electronic structure of amorphous Ge and Si. *Materials Research Bulletin*, *3*(1), 37–46. https://doi.org/10.1016/0025-5408(68)90023-8

Wesche-Ebeling, P. , & Montgomery, M. W. (1990). Strawberry Polyphenoloxidase: Extraction and Partial Characterization. *Journal of Food Science*, *55*(5), 1320–1324. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb03925.x

Yang, L., Dong, S., Gai, S., Yang, D., Ding, H., Feng, L., Yang, G., Rehman, Z., & Yang, P. (2024). Deep Insight of Design, Mechanism, and Cancer Theranostic Strategy of Nanozymes. *Nano-Micro Letters*, *16*(1), 28. https://doi.org/10.1007/s40820-023-01224-0

Yoshikawa, M. (2023). Photoluminescence (PL) Spectroscopy. In *Advanced Optical Spectroscopy Techniques for Semiconductors* (pp. 27–32). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19722-2_3

Yu, Y.-Q., Chen, W.-Q., Li, X.-H., Liu, M., He, X.-H., Liu, Y., & Jiang, F.-L. (2023). Quantum Dots Meet Enzymes: Hydrophobicity of Surface Ligands and Size Do Matter. *Langmuir*, *39*(11), 3967–3978. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.2c03283

Yuan, T., Meng, T., He, P., Shi, Y., Li, Y., Li, X., Fan, L., & Yang, S. (2019). Carbon quantum dots: an emerging material for optoelectronic applications. *Journal of Materials Chemistry C*, *7*(23), 6820–6835. https://doi.org/10.1039/C9TC01730E

Zhang, C., Cui, Y., Song, L., Liu, X., & Hu, Z. (2016). Microwave assisted one-pot synthesis of graphene quantum dots as highly sensitive fluorescent probes for detection of iron ions and pH value. *Talanta*, *150*, 54–60. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.12.015

Zhang, S. (2023). Recent Advances of Polyphenol Oxidases in Plants. *Molecules*, *28*(5), 2158. https://doi.org/10.3390/molecules28052158

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Simulation and Optimization of the Active Suspension System of a 6x6 Vehicle

Berk AYDOĞAN [1]
Ahmet YILDIZ [2]

Abstract

Vehicle suspension systems are one of the factors determining the load-bearing capacity and performance of a vehicle. The loads between the vehicle body and the road significantly affect passenger health and vehicle comfort, as well as vehicle usability, road holding capability and safety factors. Some research indicates that accident rates are related to the quality of suspension systems. This study focuses on the non-linear active suspension system of a 6x6 in-wheel engine electric vehicle, as well as passive suspension, active suspension, and multi-objective optimization. The free body model of the system has been developed and its equations have been formulated. Mathematical modeling and simulations of the wheel, vehicle body, seat, and tire-mounted electric motors have been carried out. The simulation includes passive suspension, active suspension, and is performed by comparing the results for three different scenarios with multi-optimization outcomes. The design variables of the optimization problem are selected as the stiffness and damping coefficients of the suspension for the wheel, the variables of the active suspension controllers, the stiffness and damping coefficients of the suspension for the seat, and the stiffness and damping coefficients of the wheel-mounted motors' suspension. The optimization results achieved with active suspension have shown better improvement compared to simulations performed with passive suspension.

Keywords: Electric vehicle, in-wheel motor, Simulation, genetic algorithm optimization

[1] Doç.Dr. AHMET YILDIZ, Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Görükle Campus- BURSA/Turkey
ORCID: 0000-0001-5434-4368
[2] Berk Aydoğan, Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, Department of Automotive Engineering, Görükle Campus-BURSA/Turkey
ORCID: 0000-0002-6096-1554

ISBN: 978-625-372-170-1

Introduction:

Vehicle suspension systems are the most important factors for the force load-bearing capacity and performance of a vehicle. The loads between the vehicle body and the road significantly affect passenger health and vehicle comfort (Hrovat 1997), as well as vehicle usability, road holding capability and safety factors (Cao et al., 2011). Some research indicates that accident rates are related to the quality of suspension systems.

Vehicle suspensions can generally be classified as passive, semi-active, and active suspension systems (Chen et al., 2017; Hrovat 1997).Suspension system design is equally important in electric vehicles (EVs) as it is in internal combustion engine (ICE) vehicles. The position of the motor in electric vehicles is also important. Even though in-wheel motor (IWM) vehicles have the advantage of placing the motor inside the wheels, this design can lead to some challenges for the suspension system. Various research have focused on optimizing EVs and in-wheel motor configurations. (Huang et al., 2020; Tan et al., 2018; Toksoy and Yildiz 2020; Wang et al. 2020, 2021; Yildiz and ¨ Ozel 2021; Zhang et al., 2020;) The active suspension system of the electric vehicle and its controllers are optimized to achieve International Organization for Standardization 2631-1 ride comfort and health criteria.(Bingül, Ö., & Yıldız, A. 2023.)

This study focuses on the non-linear active suspension system of a 6x6 in-wheel engine electric vehicle, as well as passive suspension, active suspension, and multi-objective optimization. The free body model of the system has been developed and its equations have been formulated. The wheel, vehicle body, seat, and tire-mounted electric motors have been simulated by using mathematical model. The simulation includes passive suspension, active suspension, and is performed by comparing the results for three different scenarios with multi-optimization outcomes.

Method and Modeling:

System description:

Full-car models 6x6 vehicle, a model with 16 degrees of freedom is used, which provides a higher accuracy compared to half and quarter models. For the human model, a system with 5 degrees of freedom has been employed. Full vehicle system can't disregard pitch and roll motion of the sprung mass.

Full vehicle models consists of sprung mass body of the vehicle, and 6 unsprung masses connected to each other on body, which are wheels. Sprung mass free for vertical, pitch and roll motion. Unsprung masses only restricted for vertical moment. Un sprung masses are connected to the sprung mass with spring and damper elements, and their connection to the road is only with spring elements, without a damper.

In Figure 1, M, Ix, and Iy . Z, Θ, and Φ represent in order mass of body, moment of inertia for roll and pitch, vertical, angle motions of body.mx, ksi, csi, Fsi, madmi, kadmi, cadmi ve kwi represent mass of the wheels and IWMs, spring, damper, and actuator elements connecting unsprung masses to the sprung mass, 'admi' represent in wheels motor's elements, and suspension elements connecting unsprung masses to road, respectively zwi and zadmi represent the vertical displacements of the wheels and IWMs. a, b, c, d, g, h, f, represent the distances between the center of gravity (CG) of sprung mass and unsprung masses and seats.

kwinl and ksinl represent nonlinear spring elements of wheel and suspensionsystem. Subscript i = r1, r2,r3, l1, l2, l3 position of vehicle.

System Modeling:

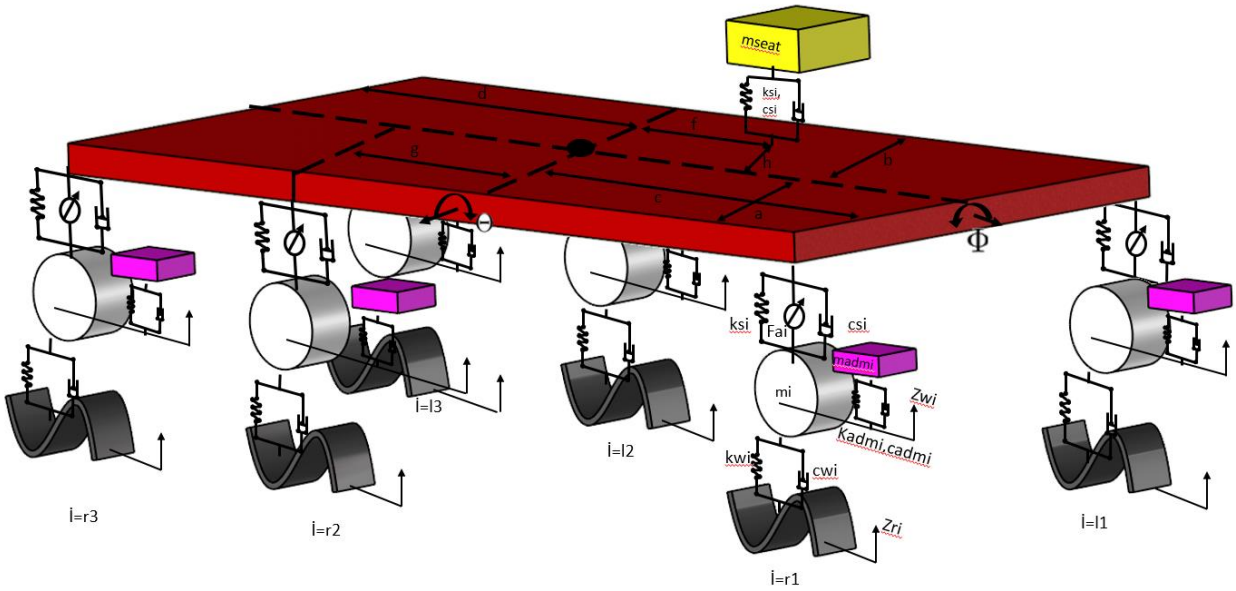


Figure 5 6x6 electric vehicle model

Equation of full model 6x6 vehicle systems defined on fallowing equation. Equation (1) to (6) shows the forces acting on the suspension system.

$$F_{sr1} = k_{sr1} * (Z - c * \theta - a * \varphi - Z_{sr1}) + c_{sr1} * (\dot{Z} - c * \dot{\theta} - a * \dot{\varphi} - \dot{Z_{sr1}}) \quad (1)$$

$$F_{sr2} = k_{sr2} * (Z + g * \theta - a * \varphi - Z_{sr2}) + c_{sr2} * (\dot{Z} + g * \dot{\theta} - a * \dot{\varphi} - \dot{Z_{sr2}}) \quad (2)$$

$$F_{sr3} = k_{sr3} * (Z + d * \theta - a * \varphi - Z_{sr3}) + c_{sr3} * (\dot{Z} + d * \dot{\theta} - a * \dot{\varphi} - \dot{Z_{sr3}}) \quad (3)$$

$$F_{sl1} = k_{sl1} * (Z - c * \theta + b * \varphi - Z_{sl1}) + c_{sl1} * (\dot{Z} - c * \dot{\theta} + b * \dot{\varphi} - \dot{Z_{sl1}}) \quad (4)$$

$$F_{sl2} = k_{sl2} * (Z + g * \theta + b * \varphi - Z_{sl2}) + c_{sl2} * (\dot{Z} + g * \dot{\theta} + b * \dot{\varphi} - \dot{Z_{sl2}}) \quad (5)$$

$$F_{sl3} = k_{sl3} * (Z + d * \theta + b * \varphi - Z_{sl3}) + c_{sl3} * (\dot{Z} + d * \dot{\theta} + b * \dot{\varphi} - \dot{Z_{sl3}}) \quad (6)$$

Equation (7) to (12) shows the forces acting between road ad wheel.

$$F_{wr1} = k_{wr1} * (Z_{wr1} - Z_{rr1}) + c_{wr1} * (\dot{Z_{wr1}} - \dot{Z_{rr1}}) \quad (7)$$

$$F_{wr2} = k_{wr2} * (Z_{wr2} - Z_{rr2}) + c_{wr2} * (\dot{Z_{wr2}} - \dot{Z_{rr2}}) \quad (8)$$

$$F_{wr3} = k_{wr3} * (Z_{wr3} - Z_{rr3}) + c_{wr3} * (\dot{Z_{wr3}} - \dot{Z_{rr3}}) \quad (9)$$

$$F_{wl1} = k_{wl1} * (Z_{wl1} - Z_{rl1}) + c_{wl1} * (\dot{Z_{wl1}} - \dot{Z_{rl1}}) \quad (10)$$

$$F_{wl2} = k_{wl2} * (Z_{wl2} - Z_{rl2}) + c_{wl2} * (\dot{Z_{wl2}} - \dot{Z_{rl2}}) \quad (11)$$

$$F_{wl3} = k_{wl3} * (Z_{wl3} - Z_{rl3}) + c_{wl3} * (\dot{Z_{wl3}} - \dot{Z_{rl3}}) \quad (12)$$

Equation (13) to (18) shows the forces acting between wheels and IWMs.

$$F_{admr1} = k_{admr1} * (Z_{admr1} - Z_{wr1}) + c_{admr1} * (\dot{Z_{admr1}} - \dot{Z_{wr1}}) \quad (13)$$

$$F_{admr2} = k_{admr2} * (Z_{admr2} - Z_{wr2}) + c_{admr2} * (\dot{Z_{admr2}} - \dot{Z_{wr2}}) \quad (14)$$

$$F_{admr3} = k_{admr3} * (Z_{admr3} - Z_{wr3}) + c_{admr3} * (\dot{Z_{admr3}} - \dot{Z_{wr3}}) \quad (15)$$

$$F_{adml1} = k_{adml1} * (Z_{adml1} - Z_{wl1}) + c_{adml1} * (\dot{Z_{adml1}} - \dot{Z_{wl1}}) \quad (16)$$

$$F_{adml2} = k_{adml2} * (Z_{adml2} - Z_{wl2}) + c_{adml2} * (\dot{Z_{admr2}} - \dot{Z_{wl2}}) \quad (17)$$

$$F_{adml3} = k_{adml3} * (Z_{adml3} - Z_{wl3}) + c_{adml3} * (\dot{Z_{adml3}} - \dot{Z_{wl3}}) \quad (18)$$

Equation (19) to (21) calculate the body of vehicle motion with three DOF, which are vertical, pitch, and roll motions

$$M\ddot{Z} = (-F_{sr1} - F_{sr2} - F_{sr3} - F_{sl1} - F_{sl2} - F_{sl3} - F_{ar1} - F_{ar2} - F_{ar3} - F_{al1} - F_{al2} - F_{al3} + F_{seat}) \quad (19)$$

$$I_y\ddot{\theta} = ((F_{sr1} + + F_{sl1} + F_{ar1} + F_{al1}) * c - (F_{sr2} + F_{sl2} + F_{ar2} + F_{al2}) * g - (F_{sr3} + F_{sl3} + F_{ar3} + F_{al3}) * d - F_{seat} * f) \quad (20)$$

$$I_x\ddot{\varphi} = ((F_{sr1} + F_{sr2} + F_{sr3} + F_{ar1} + F_{ar2} + F_{ar3}) * a - (F_{sl1}+F_{sl2} + F_{sl3} + F_{al1} + F_{al2} + F_{al3}) * b + F_{seat} * h) \quad (21)$$

Equation (21) to (26) are the equation of motion of the wheels

$$M_{wr1}\ddot{Z_{wr1}} = (F_{sr1} - F_{wr1} + F_{admr1} + F_{ar1}) \quad (21)$$

$$M_{wr2}\ddot{Z_{wr2}} = (F_{sr2} - F_{wr2} + F_{admr2} + F_{ar2}) \quad (22)$$

$$M_{wr3}\ddot{Z_{wr3}} = (F_{sr3} - F_{wr3} + F_{admr3} + F_{ar3}) \quad (23)$$

$$M_{wl1}\ddot{Z_{wl1}} = (F_{sl1} - F_{wl1} + F_{adml1} + F_{al1}) \quad (24)$$

$$M_{wl2}\ddot{Z_{wl2}} = (F_{sl2} - F_{wl2} + F_{adml2} + F_{al2}) \quad (25)$$

$$M_{wl3}\ddot{Z_{wlr3}} = (F_{sl3} - F_{wl3} + F_{adml3} + F_{al3}) \quad (26)$$

Equation (26) to (32) are the equation of IWMs

$$M_{admr1}\ddot{Z_{admr1}} = -F_{admr1} \quad (27)$$

$$M_{admr2}\ddot{Z_{admr2}} = -F_{admr2} \quad (28)$$

$$M_{admr3}\ddot{Z_{admr3}} = -F_{admr3} \quad (29)$$

$$M_{adml1}\ddot{Z_{adml1}} = -F_{adml1} \quad (30)$$

$$M_{adml2}\ddot{Z_{adml2}} = -F_{adml2} \quad (31)$$

$$M_{adml3}\ddot{Z_{adml3}} = -F_{adml3} \quad (32)$$

Equation (33) to (34) shows force and motion for seat

$$F_{seat} = k_{seat} * (Z_{seat} - (Z - f * \theta + h * \varphi)) + c_{adml3} * \left(\dot{Z_{seat}} - (\dot{Z} - f * \dot{\theta} + h * \dot{\varphi})\right) \quad (33)$$

$$M_{seat}\ddot{Z_{Seat}} = -F_{seat} \quad (34)$$

Inputs for Analysis

Table 1 shows unsprung masses systems constant input for calculation on equations.

Table 12 Constants for Vehicle, wheels, IWMS

Parameter	Value	Unit
A	1.4	m
B	1.6	m
C	1.5	m
D	2,5	m
G	1	m
H	0.7	m
F	0.5	m
Ix	4000	kgm^2
Iy	950	kgm^2
M	1200	kg
Mwr1,Mwr2,Mwr3,Mwl1,Mwl2,Mwl3	40	kg
Madmr1,Madmr2,Madmr3,Madml1,Madml2,Madml3	100	kg
Mseat	20	kg

Table 2 shows human model systems standard parameter for calculation on equations.

Table 13 Constants for Human Model

Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit
Mp	4.17	kg	**k1**	166900	N/m
Mlt	15	kg	**k2**	10000	N/m
Mut	5.5	kg	**k3**	144000	N/m
Mh	36	kg	**k4**	20000	N/m
			k5	49500	N/m
			c1	310	N/(m/s)
			c2	200	N/(m/s)
			c3	909.1	N/(m/s)
			c4	330	N/(m/s)
			c5	2475	N/(m/s)

Table 3 shows suspension systems constant values for passive and active suspension analysis.

Table 14 Constant values for passive and active suspension analysis

Parameter	**Value**	**Unit**
Kseat	1250	N/m
Cseat	750	N/(m/s)
Ksr1,Ksr2,Ksr3, Ksl1,Ksl2,Ksl3	2000	N/m
Csr1,Csr2,Csr3, Csl1,Csl2,Csl3	1200	N/(m/s)
Kadmr1,Kadmr2,Kadmr3,Kadml1,adml2,Kadml3	10000	N/m
Cadmr1,Cadmr2,Cadmr3,Cadml1,**Cadm**l2, C**admr**l3	2000	N/(m/s)
Kwr1,Kwr2,Kwr3,K**wl1,Kwl2,Kwl3,**	18000	N/m
Cwr1,Cwr2,Cwr3,C**wl1,Cwl2,Cwl3**	10	N/(m/s)
Zrr1,Zrl1,Zrr2,	0.05	m
Zrl2,Zrr3,Zrl3		
Zrr1n,Zrl1n,Zrr2n, Zrl2n,Zrr3n,Zrl3n	0	m/s
Kp	6000	
Kd	600	

Method

In the mathematical model, the equations of motions and parameters are defined according to the 6x6 electrical vehicle model which described in chapter 2.2. System function solved by using 4th order Runge Kutta Method. In the optimization algorithm, GA (Genetic Algorithms) are used which is one of the best known optimization method.

The design variables of the optimization problem of 6x6 electrical vehicle are selected as the stiffness and damping coefficients of the suspension for the wheel, the variables of the active suspension controllers, the stiffness and damping coefficients of the suspension for the seat, and the stiffness and damping coefficients of the wheel-mounted motors' suspension. Those design veriables limits defined in Table 4.

Table 15 Limit values of the coefficients of suspension system(i represents the wheels positions)

	Ksi	**Csi**	**Kadmi**	**Cadmi**	**kp**	**kd**	**Kseat**	**Cseat**
upper limit	30000	1800	60000	1500	60000	6000	3750	2250
Bottom limit	10000	600	20000	500	0	0	1250	750

Table 16 Values of Coefficients After the Optimization

Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit
Ksr1	11664.12	N/m	Kadmr1	58614.73	N/(m/s)	Kseat	2190.516	N/m
Ksr2	11643.3	N/m	Kadmr2	22183.55	N/(m/s)	Cseat	1172.685	N/(m/s)
Ksr3	10205.82	N/m	Kadmr3	23180.12	N/(m/s)	kp	5999.983908	
Ksl1	10693.9	N/m	Kadml1	38740.47	N/(m/s)	kd	1749.646481	
Ksl2	10813.39	N/m	Kadml2	57755.51	N/(m/s)			
Ksl3	10000	N/m	Kadml3	52896.54	N/(m/s)			
Csr1	1799.936	N/m	Cadmr1	894.3594	N/(m/s)			
Csr2	600.1821	N/m	Cadmr2	839.1357	N/(m/s)			
Csr3	600.2236	N/m	Cadmr3	1441.644	N/(m/s)			
Csl1	1799.711	N/m	Cadml1	1045.26	N/(m/s)			
Csl2	1799.79	N/m	Cadml2	682.7071	N/(m/s)			
Csl3	1727.092	N/m	Cadml3	991.6217	N/(m/s)			

Results and Discussion

Simulation completed based on three conditions. Those conditions are Passive system, Active system and according to result of optimization the simulation repeated. Figure (3) to (6) shows the result of the simulations.

Figure 3 shows motion of wheels. According to result which is based optimization result stability of harmonic motion faster stabilization achieved.

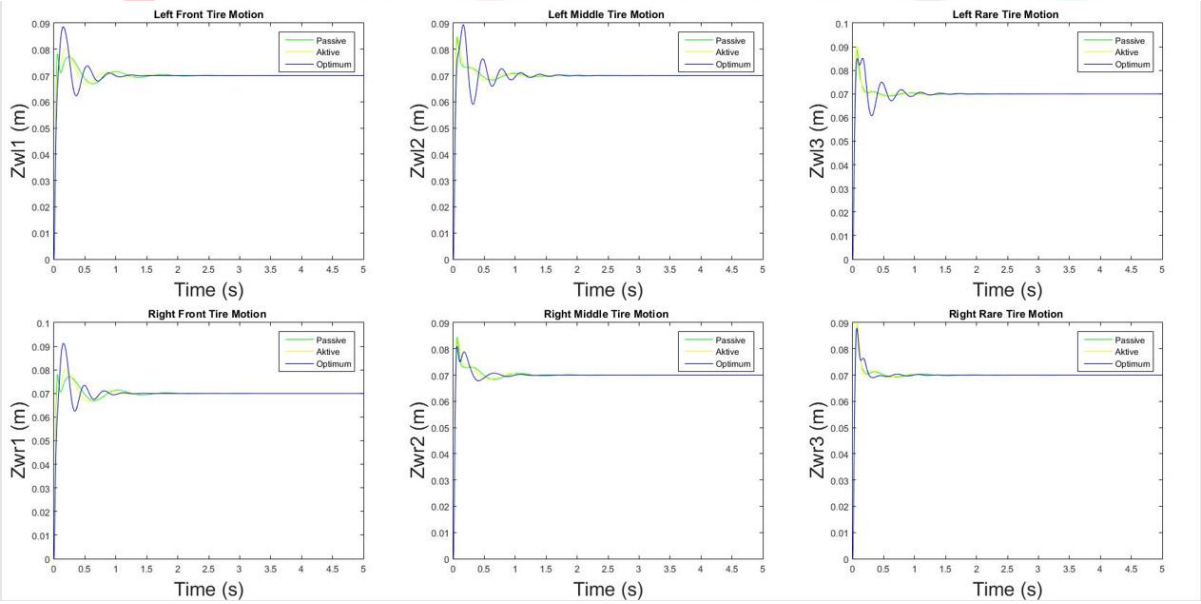


Figure 6 Motion of Wheels

Figure 4 shows motion of wheels. Active suspension systems' result are more sustain than other simulations.

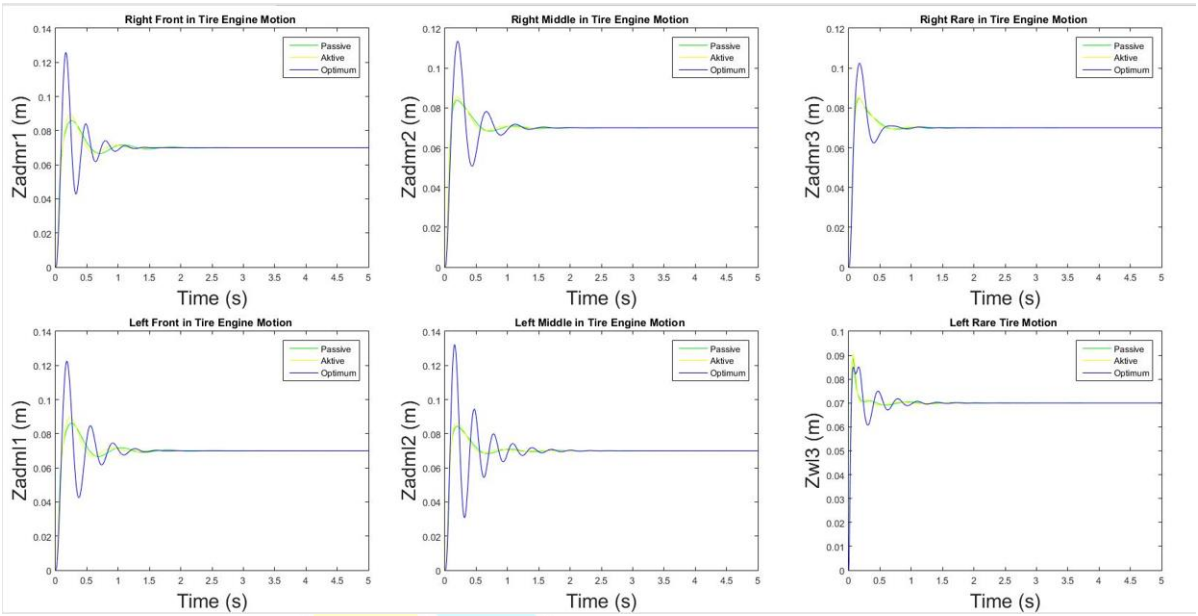


Figure 7 Motion of IWMs

Figure 5 shows motion of body. According to result result which is based optimization result Vertical displacement on body best performance achived and pich and roll moment vehicle body faster stabilization achieved. Also Pitch motion side best performance achieved. According to motion of the seat result Motion is lower than other simulation and faster stabilization achieved.

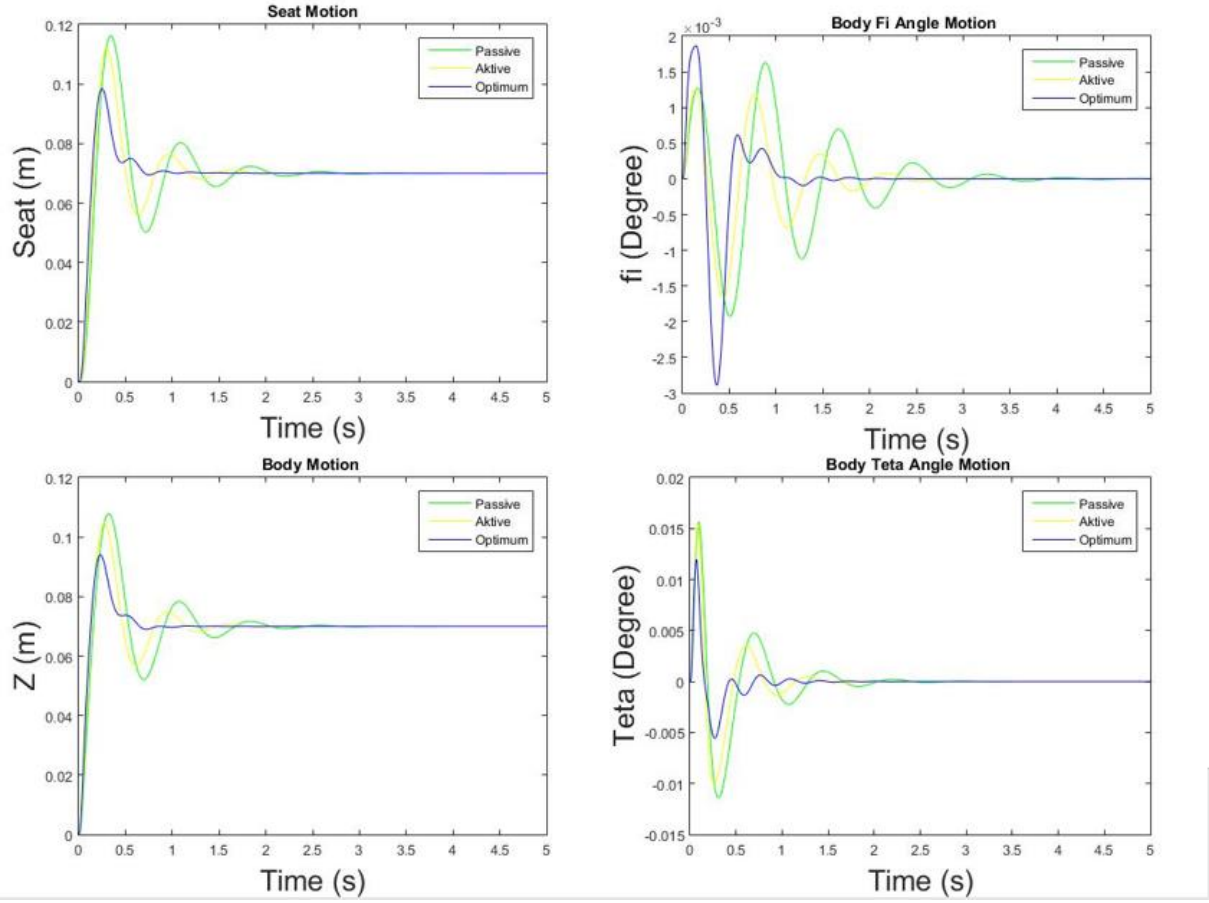


Figure 8 Motion of vehicle Body and Seat

Table 6 explain the improvement with the value. According to solutions which are obtained from simulations efficiency will be increase with optimization.Resul of the angle motion efficiency seems bad but there pitch and roll system faster stabilization achieved.

Table 17 Comparison of 3 situations

	Vehicle body motion(cm)	**Vehicle body motion teta (degree)**	**Vehicle body motion teta (degree)**	**Seat motion(cm)**
Passive	10.7885024	1.563974337	0.162823107	11.61986975
Aktive	10.4650962	1.540782519	0.126299526	11.1994525
After Optimization	9.404025138	1.197328018	0.186464252	9.846325227
	Comparision			
Passive-Aktive	3%	1%	22%	4%
Optimization - Pasive	13%	23%	-15%	15%
Optimization -Aktive	10%	22%	-48%	12%

In conclusion, according to the results of the simulation shown in Table 6, vehicle usability and road-holding capabilities are better with the optimization results. This improvement is due to faster stabilization of rolling and pitch motions. The most important consideration is the health and comfort of the driver and passengers. By examining the results of the graphs, and table 6 we can be assured that the optimization results are superior to both active and passive systems. If this technology continues to improve, the health and comfort of vehicle passengers and drivers will increase.

ISBN: 978-625-372-170-1

Referances

Bingül, Ö., & Yıldız, A. (2023). Fuzzy logic and proportional integral derivative based multi-objective optimization of active suspension system of a 4×4 in-wheel motor driven electrical vehicle. *Journal of Vibration and Control*, *29*(5-6), 1366-1386. https://doi.org/10.1177/10775463211062691

Hrovat, D. (1997). Survey of advanced suspension developments and related optimal control Applications11This paper was not presented at any IFAC meeting. This paper was recommended for publication in revised form by editor Karl Johan Åström.,22Simple, mostly LQ-based optimal control concepts gave useful insight about performance potentials, bandwidth requirements, and optimal structure of advanced vehicle suspensions. The present paper reviews these optimal control applications and related practical developments. *Automatica*, *33*(10), 1781-1817. https://doi.org/10.1016/s0005-1098(97)00101-5

Huang, H. B., Wu, J. H., Huang, X. R., Ding, W. P., & Yang, M. L. (2020). A novel interval analysis method to identify and reduce pure electric vehicle structure-borne noise. *Journal of Sound and Vibration*, *475*, 115258. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2020.115258

Tan, D., Song, F., & Wang, Q. (2017). Design and optimization of the in-wheel motor driving electric vehicle based on the vibration energy transmission. *Journal of Vibration and Control*, 107754631774525. https://doi.org/10.1177/1077546317745255

TOKSOY, M. T., & YILDIZ, A. (2020). Tekerlek İÇİ MOTORLU ELEKTRİKLİ BİR aracin AKTİF SÜSPANSİYON SİSTEMİNİN pid ve BULANIK MANTIK TABANLI KONTROLÜ. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 1373-1390. https://doi.org/10.17482/uumfd.789019

Yildiz, A. (2021). Parametric synthesis of two different trunk lid mechanisms for Sedan vehicles using population-based optimisation algorithms. *Mechanism and Machine Theory*, *156*, 104130. https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.104130

Zhang, J., Yang, Y., Zhou, Y., Yang, Z., & Fu, C. (2020). Parameter closed-loop optimization for pure electric vehicles: Unified design of power system and control parameters. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, *42*(5). https://doi.org/10.1007/s40430-020-2212-y

Abbas, W., Abouelatta, O. B., El-Azab, M., Elsaidy, M., & Megahed, A. A. (2010). Optimization of biodynamic seated human models using genetic algorithms. *Engineering, 02(09), 710-719*. https://doi.org/10.4236/eng.2010.29092

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Optimal Roll Motion Control with Active Fins Based on Force Superposition Method

Berkehan DEMİREL[1]
Ferdi ÇAKICI[2]

Abstract

Marine vessels are designed to ensure sufficient reliability with the most suitable economic values. Controlling the ship's motion is essential to achieve this design goal. In this study, the ship motion component to be controlled is selected as roll motion. A model ship is created based on the gulet type vessel, with the data acquired using this model ship, a single-degree-of-freedom nonlinear equation of motion model is developed according to the force superposition method. The white noise of the wave spectrum, roll motion of the ship is caused by the wave moment, is passed through a linear filter to obtain frequency, damping ratio, and power spectral density. The damping components of the system are calculated by solving the convolution integral with the Cummins equation. Subsequently, an LQR controller is designed to operate two active fin stabilizers that were located at starboard and port amidship to control roll motion, velocity, and acceleration. By solving both uncontrolled and controlled systems, roll motion and velocity values are obtained and a comparison is made to assess the performance of the system. In addition, the responses of the system for different fin stabilizer constraints were examined. Throughout the simulation, it is assumed that the ship's forward speed is constant, and the analyses are performed in the time domain.

Keywords: Roll Motion, Force Superposition Model, LQR Controller, Fin Stabilizers, Wave Spectrum

[1] Yüksek Lisans Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, e-posta: berkehan.demirel@std.yildiz.edu.tr
[2] Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, e-posta: fcakici@yildiz.edu.tr, Orcid: 0000-0001-9752-1125

ISBN: 978-625-372-170-1

1. Giriş

Deniz araçları, yeterli güvenilirliği en uygun ekonomik değerler ile sağlayacak şekilde tasarlanır. Bu tasarım hedefini gerçekleştirmek için gemi hareketlerini kontrol etmek esastır. Gemi deniz ortamında altı serbestlik derecesinde ileri ötelenme, yanal ötelenme, dalıp-çıkma, baş-kıç vurma, savrulma ve yalpa hareketlerini gerçekleştirir.

Hareket enine ivmeleri, gemi mürettebatı tarafından gerçekleştirilen görevlerde kesintilere ve gecikmelere, kargo hasar ve kayıplarına neden olabilir. Hareket dikey ivmeleri, özellikle geminin merkez hattından uzaktaki yerlerde, mürettebatta ve yolcularda konforu azaltarak performansı ve rahatı etkiler, deniz tutmasının gelişmesine katkıda bulunur. Büyük hareket açıları, gemideki ekipmanların kullanılma kabiliyetlerini ve gerçekleştirilen operasyonların etkinliklerini sınırlar. Bunlara örnek olarak ana tahrik sistemi, kurtarma sistemleri, silah operasyonları, füze ateşlemeleri ve sonar taramaları verilebilir. Bu etkiler en fazla yalpa hareketinde gözlendiğinden dolayı, bu çalışmada odak noktası yalpa hareketinin kontrolü ve kontrol yüzeyi olarak fin dengeleyicileri olarak seçilmiştir.

Yalpa hareketi, sönümü artırarak, eylemsizlik momentini artırarak (doğal yalpa frekansını düşürerek dalga frekansı ile rezonansa girmeyi engeller), uyarıcı moment değerlerini düşürerek azaltılabilir (Weinblum & Denis, 1950).

Gemi yalpa hareketinin sönümlemesinin ilk adımı uygun tekne tasarımı ve düzgün yük dağılımı ile başlar. Froude (Abell vd., 1955a; Abelli Westcott Stile vd., 1955) çalışmasında, bir geminin yalpa hareketini tetikleyen şeyin dalgaların yüksekliği değil, dikliği (eğimi) olduğu göstermiştir. Ayrıca, kısa dalgaların uzun dalgalardan daha dik eğimleri olduğu için, geminin doğal yalpa periyodunu azaltmaya çalışmanın hiçbir avantajı olmadığı yorumunu yapmıştır. Bunun yerine, dalga uyarıcı frekansı ile senkronizasyonu önlemek için bu sürenin mümkün olduğu kadar uzatılması gerektiğini söylemiştir. Geminin doğal yalpa periyodu süresinin uzatılması (Froude, 1861) sadece eylemsizlik momentinin artırılması ve enine stabilitenin azaltılması ile sağlanabilir. Doğal yalpa periyodu süresi tamamen gemideki yükün dağılımı ile ilgiliyken, eylemsizlik momenti aynı zamanda teknenin şekli ile de ilgilidir (Abell vd., 1955b). Küçük bir sintine yarıçapına sahip tekneler tasarlanarak ve uzantı ağırlıkları gemi ağırlık merkezinden mümkün olduğunca uzağa yerleştirilerek sönümlemede önemli bir artış elde edilebilir (Graham, 1987).

Geminin doğal periyodunu uzatmak için gösterilen iyi çabalara rağmen, bazı seyir koşullarında dalga etkilerinin yalpa hareketini tetiklemesi kaçınılmazdır. Ek olarak, gövdenin sönümlemesi, yalpa hareketini istenen seviyelere indirmek için yeterli olmayabilir. Bu sebeplerden dolayı gemiler genellikle yalpa hareketi azaltıcı sistemler ile donatılır. Chadwick (Chadwick, 1955) tüm sönümleme sistemlerinin kütle hareketine bağlı olduğu gözlemini yapar. Bu sistemler jiroskop, yalpa omurgası, dümen, yalpa sönümleme tankı ve fin olarak verilebilir, üç temel özelliğe göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmalar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. *Yalpa Sönümleme Sistemlerinin Sınıflandırılması (Chadwick, 1955)*

Hareket Tipine Göre	
A – İvme	Düşürücü moment kütle ivmelenmesi nedeniyle oluşur.
D – Deplasman	Düşürücü moment yeri değişen kütleye yer çekimi ivmesinin etki etmesiyle oluşur.
Pozisyona Göre	
I – Dahili	Geminin dahili ağırlığı.
E – Harici	Geminin harici ağırlığı
Ağırlık Tipine Göre	
S – Katı	Katı ağırlık
F – Sıvı	Sıvı ağırlık

Bu verilen tiplerin kombinasyonları kullanılarak farklı yöntem ve sistemler elde edilebilir. Bu sistemler çalışma prensipleri ile Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. *Çalışma Prensiplerine Göre Yalpa Sönüm Sistemleri (Chadwick, 1955)*

Çalışma Prensibi	**Yalpa Sönüm Sistemi**
AIS (Dahili katı ağırlık ivmesi)	Jiroskop
AEF (Harici sıvı ağırlık ivmesi)	Yalpa omurgası, Fin, Dümen
DIS (Dahili katı ağırlık deplasmanı)	Ağırlık hareketleri
DIF (Dahili sıvı ağırlık deplasmanı)	Yalpa sönümleyici tanklar

Aktif fin tipi dengeleyiciler, genellikle gemi vasat sintine pozisyonlarında bosa üzerine monte edilmiş bir çift hidrofilden oluşur. Gemi yalpa hareketi jiroskoplar aracılığıyla tespit edilir ve aktüatöre finlerin mekanik açısını değiştirmesi için komut veren kontrol sistemine geri besleme yapılır. Su akışı ve fin arasında açı oluştuğunda, hidrodinamik kaldırma kuvveti ortaya çıkar. Bu kuvvetin büyüklüğü ve finin gövde üzerindeki konumundan dolayı yalpa hareketinin tersi yönünde dengeleyici bir moment elde edilmiş olur. Bu momentin değeri gemi hızına bağlıdır. 10-15 knot'tan daha yüksek hızlarda, aktif fin dengeleyicileri en etkili yalpa sönüm sistemleridir.

Fin dengeleyicilerinin başlıca avantajları, yüksek performanslarıdır. Normal şartlarda yalpa hareketinin RMS (karekök ortalamaları) değerini %60 ila %90 oranlarında azaltır (Sellars & Martin, 1992). Nispeten kolay kontrol sistemi tasarımları ile işlevlerini yerine getirebilirler.

Başlıca dezavantajları ise şunlardır: Düşük gemi hızlarında etkisizlerdir. Bakımları maliyetli ve zordur. Kontrol sistemlerine ve güçlü hidrolik aktüatörlere ihtiyaç duyarlar. Sığ su ortamında hasar görebilirler ve karaya oturma riskini yüksektirler. Yüksek genişlikli fin dengeleyiciler özellikle geri çekilebilir değillerse gövde direncinin artmasına neden olurlar. Bu nedenle, yaygın olarak kullanılan fin dengeleyiciler düşük en-boy oranına sahiptirler. Ancak bu tip fin dengeleyicilerden sebep oldukları direnç artışına kıyasla küçük dengeleyici moment elde edilebilir. Fin dengeleyicilerden dolayı kabaca %10'luk bir hız kaybı oluşur (van Amerongen & Cappelle, 1981a, 1981b). Fin dengeleyicilerinin sonar sistemlerini etkileyen su altı gürültüsünü oluşturma ve artırma olasılığı vardır. Diğer dengeleyici tiplerinden daha pahalıdır. Şiddetli deniz koşullarında çalışırken yüksek oranda doğrusal olmayan hidrodinamik etkiler ortaya çıkabilir (Gaillarde, 2002). Bu, yüksek performans elde etmek için daha gelişmiş kontrol sistemleri kullanılmasını gerektirebilir.

Bhattacharyya (Bhattacharyya, 1978) yazısında aktif fin dengeleyicilerinin önemli ölçüde benimsenmesinin İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra başladığını söylemiştir. Fin dengeleyicileri ile yalpa sönümleme fikri savaş öncesinde ortaya çıkmasına rağmen gelişmesi ve uygulanması savaş sonrasında, İngiltere'deki Denny ve Brown Brothers şirketlerinin ortak çalışmasının bir ürünüdür. Fin dengeleyicileri için ilk fikir önerisi, 1923 yılında Japonya'daki Mitsubishi Nagasaki Tersanesi'nden S. Motora tarafından yapılmış (Chalmers, 1931) ve sonrasında patentini 1925 yılında ABD'de almıştır. 1930'a gelindiğinde, bu sistem bir yolcu gemisine, bir vapura ve bir mayın tarama gemisine başarılı şekilde uygulanmıştır. Bu sistemde finler jiroskop kullanan bir cihaz ile etkinleştirilen standart dümen makineleri vasıtasıyla kumanda ediliyordu. Bu ilk fin dengeleyici örneklerinin maksimum çalışma açısı on sekiz derece ve bu açıya ulaşmak için gereken süre yarım saniyeydi. Açıları kademeli olarak kontrol etmek için hiçbir girişimde bulunulmadı; fin dengeleyicileri aktif edilmesinden hemen sonra maksimum açıya ulaşıyordu (Chalmers, 1931). Bundan otuz dokuz yıl sonra yapılan Conolly'nin 1969'daki çalışması (Conolly, 1969), belirli bir yalpa sönüm değeri elde etmek için gereken kanat sayısını ve kontrol kazançlarının değerini belirlemek için bir yöntem sağladı. 1970'lerde, Lloyd (Lloyd, 1972), ve Carley ve Duberley (Carley & Duberley, 1975), fin dengeleyicilerinin performansı ve tasarımının daha iyi bir şekilde anlaşılmasına katkıda bulundular.

1999 yılında Wu ve arkadaşları fin dengeleyicilerinin aktif kontrolünün PID kontrolcüsü ile sağlandığı bir çalışma yayınlamışlardır. Bu çalışmada fin dengeleyicilerinin yalpa hareketi sönümüne katkısının yanında baş-kıç vurma hareketinde de azalma sağladığı yapılan deneyler ile tekrar gözlenmiştir. Perez (Perez, 2005) çalışmasında fin dengeleyicileri kaynaklı ortaya çıkan doğrusal olmayan etkilerden kaçınmak için model öngörülü kontrolcü kullanmıştır. Kim (Kim & Kim, 2011) çalışmasında yalpa ve baş-kıç vurma hareketlerinin her ikisini de sönümlemek amacıyla hem PID hem de LQG kontrolcülerini kullanmış ve PID kontrolcüsünün bir serbestlik dereceli hareketin yalpa hareketini sönümlemekte, LQG kontrolcüsünün ise iki serbestlik dereceli yalpa ve baş-kıç hareketlerini sönümlemekte başarılı olduklarını tespit etmişlerdir. Çakıcı (Cakici, 2021) çalışmasında üç serbestlik dereceli hareketin sönümü için bir kontrolcü tasarlamış, yaptığı simülasyon sonuçlarında gemi baş tarafına yerleştirilen finlerin yine hem yalpa hem de baş-kıç vurma hareketi sönümlerinde çok iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı, farklı mekanik hareket sınırlandırmalarına sahip aktif fin dengeleyicileri için kontrol sistemi tasarlanması ve yalpa hareketinin sönümündeki değişikliklerin incelenmesidir.

2. Modellemesi Yapılan Sistemin Özellikleri

Gulet tipi bir tekneden yola çıkılarak model gemisi oluşturulmuştur. Gemi üzerinde vasat sintine dönümünde iki adet yalpa fin dengeleyici konumlandırılmıştır. Geminin ana boyutları Tablo 3'te verilmiştir. Yalpa hareketini üreten düzensiz dalga zorlayıcısının karşılaşma açısı, en fazla yalpa hareketi oluşturacak açı olan 90° olarak seçilmiştir. Ayrıca bu karşılaşma açısı diğer açılara kıyasla daha az savrulma, baş-kıç vurma, dalıp-çıkma ve yanal öteleme hareketlerine sebep olur. Bu sayede yalpa hareketi izole bir şekilde incelenebilir.

Bilindiği üzere fin dengeleyicileri tarafından üretilen momentler yalpa hareketine neden olan dalga momentinin tersi yönünde etki etmektedir. Ayrıca fin dengeleyicilerinin hareketinin baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketleri üzerindeki etkisi yok sayılabilecek büyüklüktedir. Fin ile ilgili gerekli büyüklükler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. *Model Gemi Ana Boyutları*

Nicelik	**Sembol**	**Değer (Tam Yük Durumu)**	**Birim**
Dikmeler arası mesafe	L_{pp}	3	m
Nominal hız	U	2,91576674	kt
$L_{pp}/2$ noktasında draft (su çekimi)	T	0,125	m
Su hattı genişliği	B_{WL}	0,64	m
Deplasman	Δ	0,1179	ton
Deplasman hacmi	∇	0,115	m^3
Dikey ağırlık merkezi	VCG	0,315	m
Dikey kal. kuv. merkezi	VCB	0,08	m
Enine metacentre yüksekliği	GMt	0,093	m
Enine kal. kuv. merkezi - metacentre	BMt	0,328	m
Yalpa eylemsizlik yarıçapı (CG'den)	k_4	0,2240	m
Yalpa eylemsizliği(CG'den)	I_{44}	0,0059	$tonm^2$
Doğal yalpa frekansı	ω_ϕ	3,8926	rad/s
Doğal yalpa periyodu	T_ϕ	1,614	s

Tablo 4. *Fin Büyüklükleri*

Nicelik	**Sembol**	**Değer**	**Birim**
Alan	A_R	2 x 0,0078	m^2
Moment kolu (CG'ye göre)	r_f	0,41	m

2.1. Yalpa Hareket Modelinin Elde Edilmesi

Yalpa hareketinin matematiksel temsili bir serbestlik dereceli kuvvet süperpozisyon modeli ile yapılmıştır. Doğrusal olmayan sönüm ve doğrultma terimlerinin etkileri 15-20° yalpa hareketi açılarından önce yok sayılabilecek kadar küçük olmalarından dolayı doğrusal bir model üzerinde çalışma yapılmıştır. Kullanılan model aşağıdaki şekildedir:

$$\dot{\phi} = p$$
$$\dot{p} = M_h + M_{dalga} + M_{fin} \quad (1)$$

ϕ yalpa hareket açısını, p yalpa hızını, I_{44} kütle atalet momentini, A_{44} ek kütle momentini, M_h hidrostatik ve hidrodinamik momentleri, M_{dalga} dalga kaynaklı momentleri ve M_{fin} fin kaynaklı momentleri temsil etmektedir.

$$M_h = -\frac{Convo}{\left(I_{44} + A_{44}\right)} - \frac{C_{44}}{\left(I_{44} + A_{44}\right)} \tag{2}$$

$$C_{44} = GM \cdot \Delta \tag{3}$$

$$GM = KB + BM - KG \quad ve \quad \Delta = \nabla \cdot \varrho \cdot g \tag{4}$$

Convo cummins denklemi ile çözülen convolution integralinden elde edilen sönüm terimini, C_{44} yer çekimi ve kaldırma kuvveti kaynaklı doğrusal doğrultma terimini, *GM* enine metasentır yüksekliğini, *KB* kaldırma kuvveti merkezi yüksekliğini, *KG* ağırlık merkezi yüksekliğini, Δ ise geminin deplasman kuvvetini, ∇ deplasman hacmini, g ise yer çekimi ivmesini ifade etmektedir.

M_{dalga} moment değeri kuvvet RAO'sunun bir dalga spektrum ile birleştirilmesiyle elde edilmiştir.

M_{fin} moment değerinin hesabı aşağıdaki kısımda anlatılmıştır.

M_{fin}

2.2.Fin Dinamiği

Deneysel çalışmalar fin dengeleyicilerinin zorlu deniz koşullarında ortaya çıkan yüksek doğrusal olmayan etkiler yüzünden performanslarının düştüğünü ortaya çıkarmıştır (Perez, 2005). Ancak sakin deniz durumlarında finlerin statik karakteristikleri dengeleyici davranışı tanımlamak için kullanılabilir. Bu yüzden finlerin sürekli olmayan davranışları görmezden gelinerek finler tarafından oluşturulan yalpa momenti aşağıda gösterildiği şekildedir.

$$M_{fin} = 0.5 \cdot \varrho \cdot r_{fin} \cdot U \cdot A_{fin} \cdot C_L \cdot \left(\alpha_e\right) \tag{5}$$

Burada ϱ deniz suyu yoğunluğunu, r_{fin} fin moment kolunu (gemi ağırlık merkezine olan dikey mesafe), U akış ile fin arasındaki göreli hızı (genelde gemi ilerini hızı olarak alınır), A_{fin} fin yüzey alanını, C_L kaldırma katsayısını ve α_e finin efektif atak açısını göstermektedir.

Kaldırma kuvveti belli bir değerine kadar efektif atak açısı ile doğrusal arttığından dolayı aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$C_L \cdot \left(\alpha_e\right) \approx \tilde{C}_L \cdot \alpha_e \quad ve \quad \tilde{C}_L \approx \frac{\partial C_L}{\partial \alpha_e}, \; \alpha_e = 0 \tag{6}$$

$$\alpha_e = -\alpha_{akış} - \alpha_m, \quad \alpha_{akış} = arc\tan\left(\frac{v_{yalpa}}{U}\right) = arc\tan\left(\frac{r_{fin} \cdot p}{U}\right) \approx \frac{r_{fin}}{U} \cdot p \tag{7}$$

Burada $\alpha_{akış}$ gemi ileri hızı ve yalpa hızı nedeniyle oluşan akış açısını ve α_m finlerin mekanik açısını temsil etmektedir.

Son durumda finler tarafından oluşturulan toplam moment değeri şu şekilde yazılır.

$$M_{fin} = M_{fin,iskele} + M_{fin,sancak} = K_{fin} \cdot \left(-\frac{r_{fin} \cdot p}{U} - \alpha_{m,iskele} \right) + K_{fin} \cdot \left(-\frac{r_{fin} \cdot p}{U} - \alpha_{m,sancak} \right) \quad (8)$$

$$K_{fin} = 0.5 \cdot \varrho \cdot r_{fin} \cdot U \cdot A_{fin} \cdot C_L \quad (9)$$

3. Durum-Uzay Modeli

Sistemin durum uzay modeli alttaki denklemlerde verilmiştir.

$$\ddot{x} = A \cdot x + B_{fin} \cdot \alpha_m + B_{dalga} \cdot M_{dalga} + B_{convo} \cdot Convo \quad (10)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-C_{44}}{\left(I_{44} + A_{44}\right)} & \frac{-2 \cdot K_{fin} \cdot r_{fin}}{U \cdot \left(I_{44} + A_{44}\right)} \end{bmatrix} \quad ve \quad x = \begin{bmatrix} \phi \\ p \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$B_{fin} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{K_{fin}}{\left(I_{44} + A_{44}\right)} & -\frac{K_{fin}}{\left(I_{44} + A_{44}\right)} \end{bmatrix} \quad ve \quad \alpha_{fin} = \begin{bmatrix} \alpha_{m,sancak} \\ \alpha_{m,iskele} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$B_{dalga} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{\left(I_{44} + A_{44}\right)} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$B_{convo} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{\left(I_{44} + A_{44}\right)} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Sistemi harekete zorlayan dalga, 5 cm spesifik dalga yüksekliğine ve 1,6 saniye periyoda sahiptir.

4. LQR Kontrolcüsü Kazancının Hesaplanması

Sistemin yalpa hareketinin kontrolü LQR yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kontrol bileşeni olarak finler mekanik açısı seçilmiş ve K_{LQR} kontrolcü kazancı ile çarpılarak sisteme geri beslemesi yapılmıştır. Kontrol edilmeyen model için bu açı değeri sıfır olarak alınmıştır.

Kontrolcü kazancının hesabı şu şekildedir.

$$K_{LQR} = -R^{-1} \cdot B_{fin}^T \cdot P \quad (15)$$

$$A^T \cdot P + P \cdot A - P \cdot B_{fin} \cdot R^{-1} \cdot B^T \cdot P + Q = 0 \quad (16)$$

P pozitif sonlu matrisi göstermektedir ve cebirsel Riccati denkleminin çözülmesi ile bulunur. Burada Q ve R matrisleri sistemin performansını belirleyen pozitif sonlu matrislerdir. Simülasyon sonucunda elde edilen yalpa hareketi RMS değeri optimum hale gelecek şekilde seçilirler. Bu matrislerin ve kontrolcü kazancının değeri şu şekildedir.

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad ve \quad R = \begin{bmatrix} 0.08 & 0 \\ 0 & 0.08 \end{bmatrix} \quad \rightarrow \quad K_{LQR} = \begin{bmatrix} 0.5373 & 2.3186 \\ -0.5373 & -2.3186 \end{bmatrix} \quad (17)$$

5. Simülasyon Sonuçları

Matematiksel modelin çözümü MATLAB Simulink kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyonun zaman adımı 0,01 saniye ve toplam süresi 100 saniyedir. Gemi ileri hızının hareket boyunca sabit bir değer olduğu kabulü yapılmıştır.

Aşağıdaki bölümde fin dengeleyicilerinin maksimum mekanik açısının 25 (°) ve maksimum dönüş hızının 50 (°/s) olduğu model için elde edilen veri grafikleri verilmiştir. Kontrol edilmeyen ve kontrol edilen değerler arasındaki sönüm farkı RMS değerleri karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Farklı sınırlamalar ile bulunan değerler sonuç kısmında tartışılmıştır. Farklı fin sınırlandırmaları ile elde edilmiş sönüm oranları Tablo 5'te verilmiştir.

Fin hareketinin mekanik açısının 25 (°) ve dönüş hızının 50 (°/s) ile sınırlandırıldığı durumda,

Kontrol edilmeyen model için,

Yalpa hareketi tepe değeri 7,252745 (°) ve RMS Değeri 2,769592, yalpa hızı tepe değeri 30,43066 (°/s) ve RMS değeri 10,93465 bulunmuştur.

Kontrol edilen model için,

Yalpa hareketi tepe değeri 5,312082 (°) ve RMS Değeri 1,426552, yalpa hızı tepe değeri 22,94563 (°/s) ve RMS değeri 6,381585 bulunmuştur.

Fin hareketi tepe değeri 25 (°) ve 12,41122 RMS Değeri, fin hızı tepe değeri 50 (°/s) ve RMS değeri 36,56380 bulunmuştur.

Fin hareketinin mekanik açısının 25 (°) ve dönüş hızının 25 (°/s) ile sınırlandırıldığı durumda,

Kontrol edilmeyen model için değerler değişmeyecektir.

Kontrol edilen model için,

Yalpa hareketi tepe değeri 6,835639 (°) ve RMS Değeri 2,176068, yalpa hızı tepe değeri 28,72402 (°/s) ve RMS değeri 9,274046 bulunmuştur.

Fin hareketi tepe değeri 25 (°) ve 15,98457 RMS Değeri, fin hızı tepe değeri 25 (°/s) ve RMS değeri 23,18391 bulunmuştur.

Fin hareketinin mekanik açısının 25 (°) ve dönüş hızının 12,5 (°/s) ile sınırlandırıldığı durumda,

Kontrol edilmeyen model için değerler değişmeyecektir.

Kontrol edilen model için,

Yalpa hareketi tepe değeri 7,093364 (°) ve RMS Değeri 2,601628, yalpa hızı tepe değeri 29,69467 (°/s) ve RMS değeri 10,62856 bulunmuştur.

Fin hareketi tepe değeri 25 (°) ve 17,85722 RMS Değeri , fin hızı tepe değeri 12,5 (°/s) ve RMS değeri 12,41022 bulunmuştur.

Fin hareketinin mekanik açısının 50 (°) ve dönüş hızının 25 (°/s) ile sınırlandırıldığı durumda,

Kontrol edilmeyen model için değerler değişmeyecektir.

Kontrol edilen model için,

Yalpa hareketi tepe değeri 6,835639 (°) ve RMS Değeri 2,176068, yalpa hızı tepe değeri 28,72402 (°/s) ve RMS değeri 9,274046 bulunmuştur.

Fin hareketi tepe değeri 50 (°) ve 21,00922 RMS Değeri , fin hızı tepe değeri 25 (°/s) ve RMS değeri 23,18391 bulunmuştur.

Fin hareketinin mekanik açısının 12,5 (°) ve dönüş hızının 25 (°/s) ile sınırlandırıldığı durumda,

Kontrol edilmeyen model için değerler değişmeyecektir.

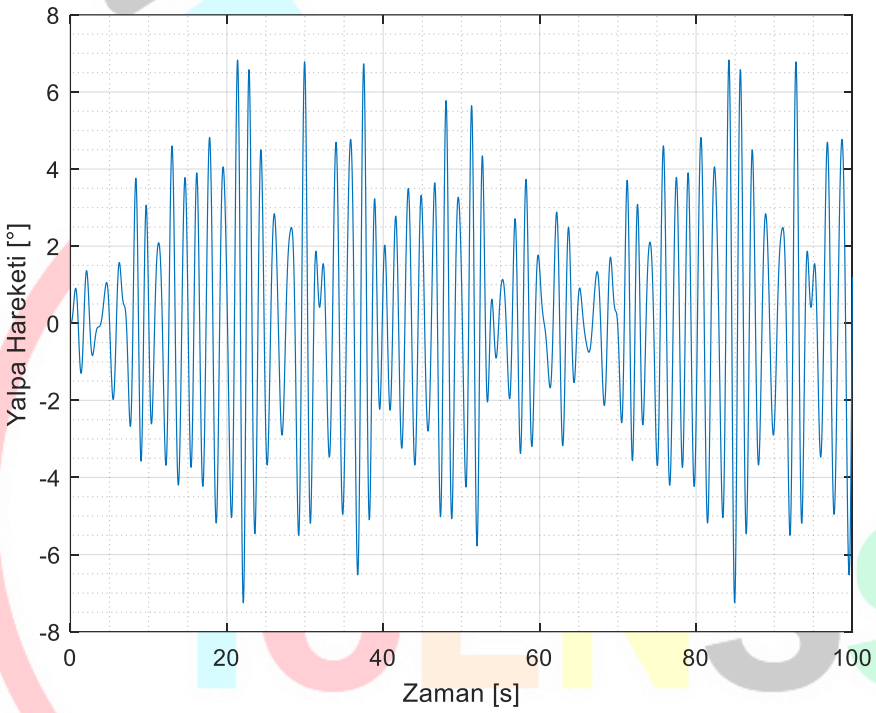
Kontrol edilen model için,

Yalpa hareketi tepe değeri 6,736711 (°) ve RMS Değeri 2,161768, yalpa hızı tepe değeri 28,55433 (°/s) ve RMS değeri 9,225615 bulunmuştur.

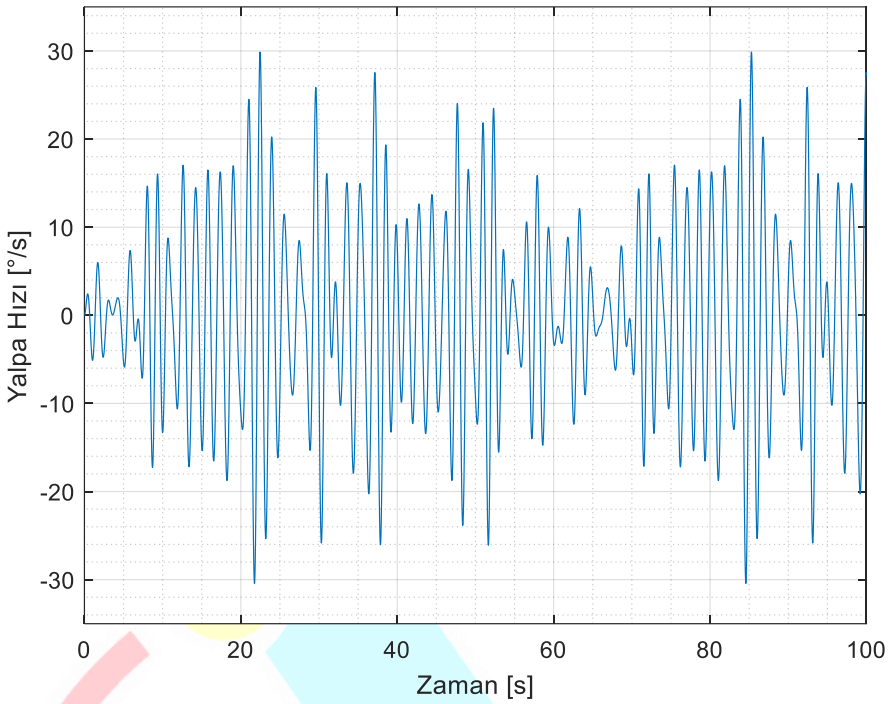
Fin hareketi tepe değeri 12,5 (°) ve 9,842607 RMS Değeri , fin hızı tepe değeri 25 (°/s) ve RMS değeri 23,08294 bulunmuştur.

Tablo 5. *Farklı fin sınırlamaları için elde edilen sönüm oranları*

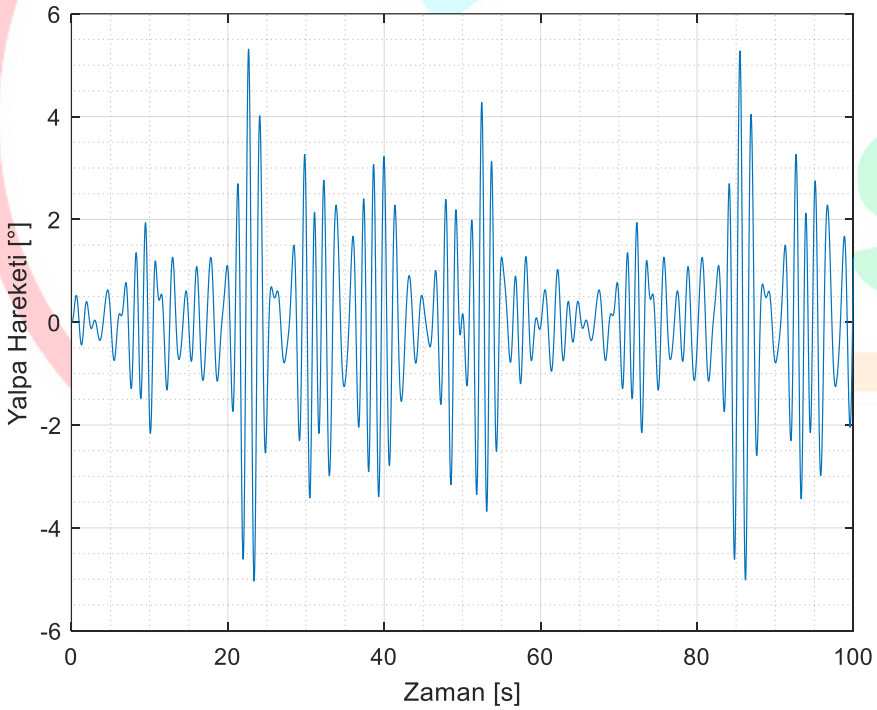
		Sönüm Oranı (%)	
Fin Sınırlamaları		Yalpa Hareketi (°)	Yalpa Hızı (°/s)
(°) - Mekanik Açı (°/s) - Dönüş Hızı	25 - 25	21,430	15,187
	25 - 50	48,492	41,639
	25 - 12,5	6,065	2,799
	50 - 25	21,430	15,187
	12,5 - 25	21,946	15,630



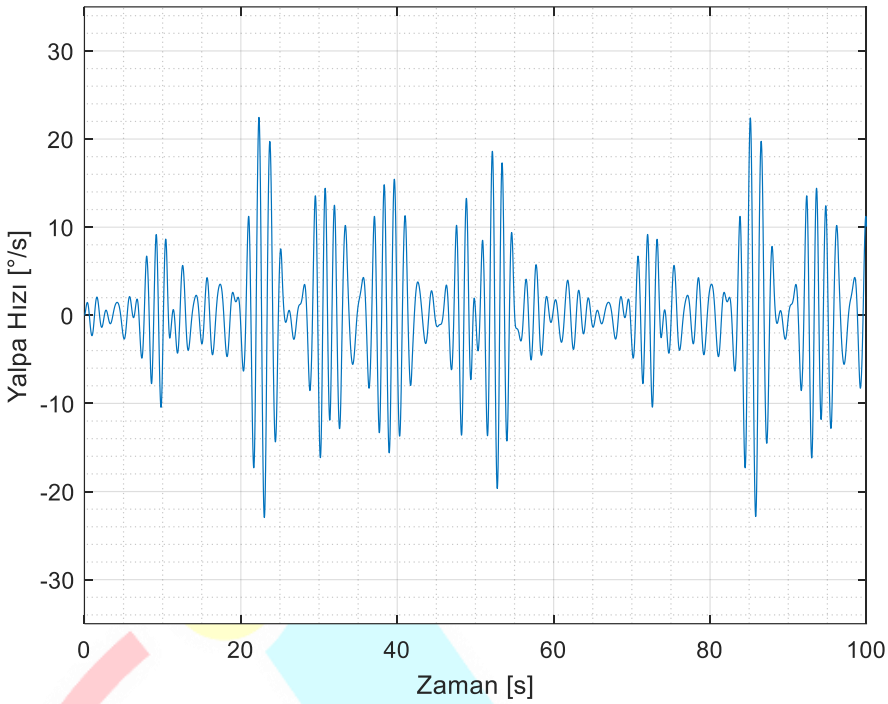
Şekil 1. *Kontrol edilmeyen model yalpa hareketi*



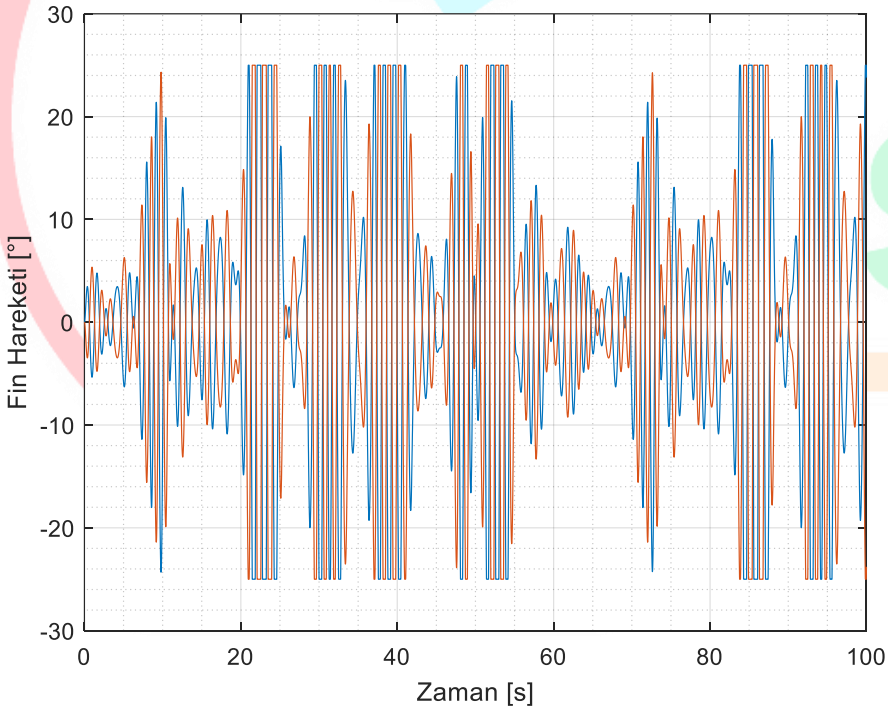
Şekil 2. *Kontrol edilmeyen model yalpa hızı*



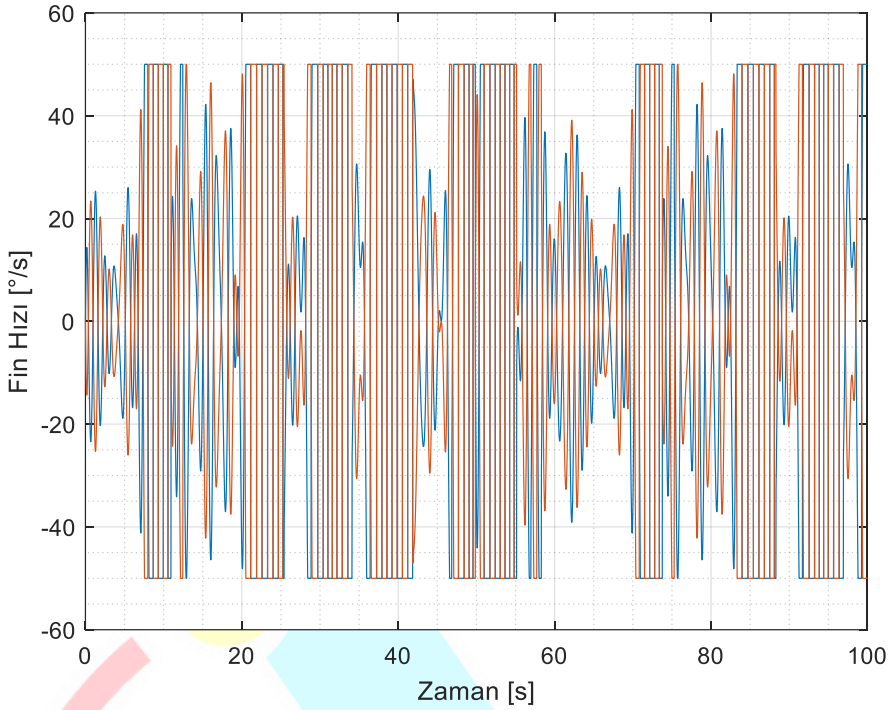
Şekil 3. *Kontrol edilen model yalpa hareketi*



Şekil 4. *Kontrol edilen model yalpa hızı*



Şekil 5. *Kontrol edilen model fin hareketi*



Şekil 6. *Kontrol edilen model fin hızı*

6. Sonuç

Bu çalışmada bir gulet gemi modelinin dalga etkisi altında yaptığı yalpa hareketinin modeli kuvvet süperpozisyon metodu ile kullanılarak oluşturulmuş, hareketin doğrusal olduğu kabulü yapılmıştır. Daha sonrasında bu modelin farklı mekanik sınırlandırmalara sahip fin dengeleyicileri ile kontrol edilmediği ve edildiği durumlar için sayısal hesaplamaları simüle edilerek gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırılan sistemler arasında en optimum yalpa sönüm sonuçlarının 25 (°) ve 50 (°/s) sınırlamaları olan fin dengeleyici sistemi ile sağlandığı görülmüştür. Fin dengeleyici mekanik açı sınırlama değerinin yalpa hareketi sönümüne olan etkisinin hız sınırlamasına nazaran çok daha az olduğu tespit edilmiştir. Yani anlık yalpa hareketi değişimine fin dengeleyicilerinin verdiği tepki süresinin azalması daha iyi sönümleme sağlamıştır. Yalpa hareketinin derecesinin aşırı olmadığı durumlarda fin dengeleyicilerinin maksimum mekanik açı sınırlamasının bir anlam ifade etmediği değerlendirilmiştir. Burada fin dengeleyicileri için mekanik açı sınırlama değeri seçilirken gemi direncine olan etkisinin ve akış kaynaklı oluşacak kuvvetten dolayı kırılma tehlikesinin göz önünde bulundurulması gerektiğini söylemekte fayda vardır. Benzer şekilde hız sınırlaması için kullanılacak olan aktüatör gücü ve dayanımı, maliyeti dikkat edilecek parametreler arasında olmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 123M482 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynakça

Abell, W. S., Froude, W., & Gawn, R. W. L. (1955a). The Papers of William Froude, 1810-1879: With a Memoir by Sir Westcott Abell and an Evaluation of William Froude's Work by R.W.L. Gawn : Collected Into One Volume. Institution of Naval Architects.

Abell, W. S., Froude, W., & Gawn, R. W. L. (1955b). The Papers of William Froude, 1810-1879: With a Memoir by Sir Westcott Abell and an Evaluation of William Froude's Work by R.W.L. Gawn : Collected Into One Volume. Institution of Naval Architects.

Abelli Westcott Stile, Froude, W., & Gawn, R. W. L. (1955). The Papers of William Froude, 1810-1879: With a Memoir by Sir Westcott Abell and an Evaluation of William Froude's Work by R.W.L. Gawn : Collected Into One Volume. Institution of Naval Architects.

Bhattacharyya, R. (1978). Dynamics of Marine Vehicles. Ocean Engineering.

Cakici, F. (2021). Vertical acceleration control using LQG approach for a passenger ship. Ocean Engineering, 241. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110040

Carley, J. B., & Duberley, A. (1975). Design considerations for optimum ship motion.

Chadwick, J. H. (1955). On the stabilization of roll.

Chalmers, T. W. (1931). The Automatic Stabilisation of Ships. Chapman & Hall.

Conolly, J. E. (1969). Rolling and its stabilization by fins.

Froude, W. (1861). On the rolling of Ships.

Gaillarde, G. (2002). Dynamic behaviour and operational limits of stabiliser fins.

Graham, R. (1987). The Effects Of Hull Form Variations On The Roll Damping Of Warships. Naval Engineers Journal, 99(5), 55-61. https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.1987.tb01415.x

Kim, J.-H., & Kim, Y.-H. (2011). Motion control of a cruise ship by using active stabilizing fins. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 225(4), 311-324. https://doi.org/10.1177/1475090211421268

Lloyd, A. R. M. J. (1972). Design considerations for optimum ship motion.

Perez, T. (2005). Ship Motion Control: Course Keeping and Roll Stabilisation Using Rudder and Fins. Springer Science & Business Media.

Sellars, F. H., & Martin, J. P. (1992). Selection and Evaluation of Ship Roll Stabilization Systems. Marine Technology and SNAME News, 29(02), 84-101. https://doi.org/10.5957/mt1.1992.29.2.84

van Amerongen, J., & Cappelle, J. (1981a). Mathematical Modelling for Rudder Roll Stabilizition. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:106665342

van Amerongen, J., & Cappelle, J. (1981b). Mathematical Modelling for Rudder Roll Stabilizition. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:106665342

Weinblum, G., & Denis, M. St. (1950). On the motions of ships at sea.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Akustik Emisyonun Ib-Değer Analizi ile Betondaki Hasar Ölçeğinin Belirlenmesi

Burak GÜLŞEN[1]
Özgen ACET[2]
Omair INDERYAS[3]
Sena TAYFUR[4]
Ninel ALVER[5]

Abstract

Damage assessment is a critical and complex issue for the safety of structures. Most of the techniques used for this purpose usually examine the existing damaged state of the structure and need sampling in the process. However, it is very important to determine the current condition and safety of the structure before the damage becomes visible. In this context, the Acoustic Emission (AE) method, one of the non-destructive methods, overcomes this problem and enables real-time monitoring of even micro damages. With the AE method, the time, location, type, orientation and scale of damage can be determined by detailed analysis of AE parameters. The advantages of the AE method include real-time monitoring and early detection of damage. This plays an important role especially in the long life and safe use of structures. With these features, the AE method stands out as an important tool in the monitoring and management of structural health.

This study investigates the effectiveness of the AE method in determining the damage scale in concrete structures. For this purpose, concrete specimens subjected to compressive testing under laboratory conditions were monitored by AE and the AE parameters obtained together with the improved b-value (Ib value) analysis, which is known as an effective method in seismology, were analyzed. The AE method detects the elastic waves generated during the propagation of microcracks in the material and these data are used for damage characterization. The results of the study enable the scaling of the intensity distribution of AE activities under stress, facilitating the monitoring and prediction of damage occurrence. This improves the safety of structures and makes it possible to detect possible major damages in advance and take necessary measures.

Keywords: Acoustic Emission (AE), Ib-value, damage scale, damage monitoring

[1] MSc Student, Ege University, Civil Engineering, Orcıd: 0009-0001-4262-7720
[2] MSc Student, Ege University, Civil Engineering, Orcıd: 0009-0000-2247-8679
[3] PhD Student, Ege University, Civil Engineering, Orcıd: 0000-0003-1819-2744
[4] Res. Asst. Dr., Ege University, Civil Engineering, Orcıd: 0000-0003-3445-824X
[5] Prof. Dr., Ege University, Civil Engineering, Orcıd: 0000-0002-7095-944X

ISBN: 978-625-372-170-1

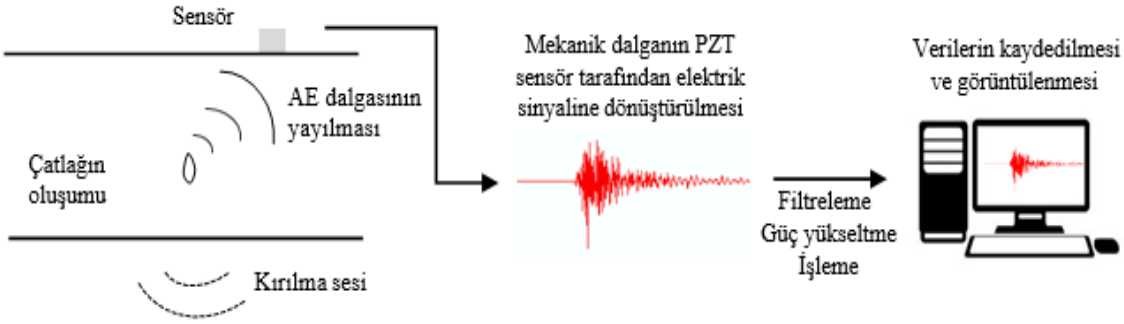
1.Giriş

Aktif fay hareketlerinin bulunduğu ülkemiz birinci derece deprem bölgesindedir. Mevcut yapı stoğumuz her deprem sonrasında zarar görmekte ve ileride gerçekleşeceği öngörülen depremlerin etkisi altında bu yapıların göstereceği davranışlar bilinmezliğini korumaktadır. Kritik öneme sahip viyadük, köprü, baraj ve nükleer enerji santrali gibi yapılarda hasar oluşması durumunda elektrik kesintileri, ölümler, ulaşım sıkıntıları ve su kesintileri gibi çok büyük ekonomik ve sosyal hayatı etkileyen problemler yaşanabilmektedir. Bu problemlerin yaşanmasını engellemek için inşa edilen yapıların durumunu belirlemek hayati bir önem taşımaktadır. Ülkemizde bir yapının durumu uzman tarafından subjektif bir şekilde gözle muayene sonucunda veya karot alınarak belirlenmektedir (Boduroğlu, 2002). Bu muayeneler sonucunda yapının iç kesimlerinde oluşan kritik sorunlar belirlenememekte ve güvenilir bir şekilde test yapılamamaktadır. Hasarların yerlerini saptamak, büyüklüğünü belirlemek ve yapının performansı hakkında bilgi sahibi olmak için tahribatsız test etme (NonDestructive Testing, NDT) yöntemleri etkin yöntemlerdir. Akustik Emisyon (AE) da bu yöntemlerden biri olup, gerilme altındaki bir malzemede oluşan hasardan salınan enerjinin dalgalar halinde yayılması, sensörler tarafından algılanması, işlenmesi ve analiz edilmesine dayanmaktadır (Tayfur vd., 2018; Ebrahimkhanlou vd., 2019; Suwansin & Phasukkit, 2021). Elde edilen veriler çeşitli AE analiz yöntemleri ile anlamlı hale getirilebilmektedir. Yapıya herhangi bir zarar vermeden durumunu inceleme ve yorumlama fırsatını bizlere sunmaktadır. Bu çalışma, beton yapılarda hasar ölçeğinin belirlenmesinde AE yönteminin etkinliğini araştırmaktadır. Bu amaçla, laboratuvar koşullarında basınç testine tabi tutulan beton numuneler AE ile izlenmiş ve sismolojide etkin bir yöntem olarak bilinen geliştirilmiş b-değeri (Ib değeri) analizi ile birlikte elde edilen AE parametreleri analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, gerilme altındaki AE aktivitelerinin yoğunluk dağılımının ölçeklendirilmesini sağlayarak hasar oluşumunun izlenmesini ve tahmin edilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu da yapıların güvenliğini artırmakta ve olası büyük hasarların önceden tespit edilerek gerekli önlemlerin alınmasını mümkün kılmaktadır.

2.Yöntem

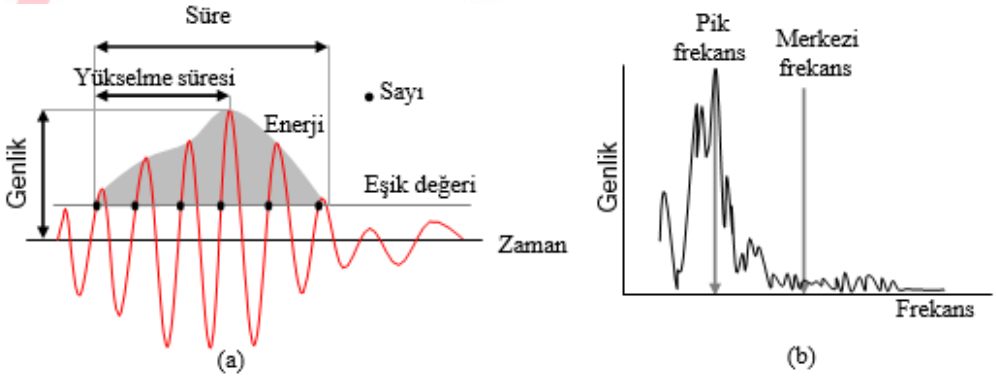
2.1.Akustik Emisyon Tekniği

AE, yükleme altında malzemede oluşan bir hasardan salınan enerjinin ortam içerisinde yaydığı elastik dalgalar olarak tanımlanır (ASTM E 1316). Hasarın başladığı noktada bir enerji açığa çıkar ve yayılan bu elastik dalgaların yüzeyde yarattıkları titreşimler sensörler tarafından algılanır. Bu piezoelektrik sensörler algıladıkları mekanik dalgayı elektrik sinyaline çevirirler ve voltaj-zaman grafiği işlenmeye başlar (Şekil 1). Sinyal ardından sırasıyla ön yükselteç, süzgeç, güç yükseltici, sayıcılar, sinyal değiştirme ve işleme katı ve veri kayıt ile gösterim araçlarına ilerler. Oluşan bu sinyal formuna AE sinyali denir ve bu sinyal işlenip analiz edilerek hasar hakkında çeşitli bilgiler elde edilebilir. AE yöntemi ile beton, metal, polimer, ahşap gibi çok farklı malzemelerde mikro seviyedeki hasarların (çatlama, dislokasyon, delaminasyon, korozyon vb.) dahi gelişimleri izlenebilir.



***Şekil 1**. AE olayının oluşumu, elastik dalganın PZT sensör tarafından algılanması ve sinyale dönüştürülmesi*

Yük altındaki bir elemanda hasarın büyüklüğü, türü ve gelişimi gibi önemli bilgileri elde etmek için Şekil 2'de verilen AE parametreleri analiz edilmektedir. Temel AE parametreleri genlik, süre, sayı, enerji ve yükselme zamanıdır. Genlik, sinyalde ölçülen en büyük voltaj değeridir. Muayene sırasında ortamdaki mevcut gürültünün ayıklanması için bir genlik değeri belirlenir ve sadece bu değerin üzerindeki verilerin alınması sağlanır. Bu değere "eşik değeri" denir. Süre, eşik değerini geçen ilk ve son vuruşlar arasındaki zaman farkıdır. Sayı, eşik seviyesini geçen vuruş sayısıdır. Enerji, sinyalin eşik değerini geçen bölgesi altında kalan alandır (Grosse ve Ohtsu, 2008). Yükselme zamanı, eşik değerini geçen ilk vuruş ile pik vuruş arasındaki zaman farkıdır ve hasarın türüyle ilişkilidir. Genlik ve enerji ise hasarın büyüklüğü ile ilişkili parametrelerdir. Yüksek enerji ve genlikli AE sinyalleri, daha güçlü ve yüksek enerji salan hasarları temsil etmektedir. Bunlar genellikle dağılımın hareketli ortalamasında sıçramalara sebep olmaktadır.



***Şekil 2.** AE parametreleri: a) dalga formu, b) frekans spektrumu*

2.2.Ib Değeri (Ib Value)

Deprem bilimi olarak da bilinen sismolojide, önemli bir parametre olan b değeri, bir kırılmanın kümülatif frekans-genlik dağılımının eğimi olarak tanımlanır ve bu kırılmanın büyüklüğü ile ilişkilendirilebilir (Gutenberg vd., 1954). b değerinin hesaplanmasında, eşitlik 1'de yer alan "Gutenberg-Richter Formülü" kullanılmaktadır.

$$\log N = a - bM \tag{1}$$

Bu denklemde, a bir ampirik sabiti, M aktivitenin Richter ölçeğindeki şiddetini ve N ise M'den büyük şiddetli aktivite sayısını temsil eder. Deprem bilimi kapsamında tanımlanan bu değerin AE'ye uygulanabilmesi için, maksimum AE genlik değerinin Gutenberg-Richter Formülü'nde kullanılmasıyla elde edilen eşitlik 2'de gösterilmiştir.

$$\log N = a - b(A_{dB}/20) \tag{2}$$

Burada, A_{dB} AE vuruşunun desibel cinsinden maksimum genliğini, N ise $A_{dB}/20$'den büyük genlikli AE vuruşlarının sayısını ifade eder. Hesaplanan b değeri, düşük genlikli aktivitelerin büyük genlikli aktivitelere göre oranını yüzde olarak gösterir (Zhang vd., 2017). Başka bir deyişle, yüksek b değeri, küçük genlikli çok sayıda AE aktivitesinin; düşük b değeri ise, büyük genlikli az sayıda AE aktivitesinin varlığına işaret eder (Proverbio vd., 2009). Ancak, deprem ve AE aktivitelerinin yükleme boyunca genlik dağılımlarının çeşitliliği nedeniyle b değerinin uygulanmasında çeşitli sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, AE genlik dağılımının ortalama (μ) ve standart sapma (σ) gibi istatistiksel değerlerini dikkate alarak hesaplanan Ib (İyileştirilmiş b-değeri) geliştirilmiştir (Shiotani vd., 1994; Shiotani vd., 2001). Ib-değeri analizi, gerilme altındaki malzemede oluşan AE aktivitelerinin şiddet dağılımını ölçeklendirmek için kullanılır (Rao vd., 2005). Bu yöntem, çok sayıda küçük AE aktivitesini yeni veya yavaş çatlak oluşumu, az sayıda büyük AE aktivitesini ise hızlı çatlak oluşumu olarak tanımlamayı mümkün kılar. Zamana bağlı olarak elde edilen Ib değerlerindeki değişiklikler hasarla ilişkilendirilebilir. Bir genlik dağılımında hesaplanan Ib değeri 3 numaralı eşitlikte gösterilmiştir.

$$Ib = 20(\log N_1 - logN_2)(a_2 - a_1) \quad (3)$$

Burada a_1, (μ-σ)'den küçük en büyük genlik değerini, a_2, μ'den büyük en küçük genlik değerini, N_1, a_1'den büyük genliğe sahip AE vuruş sayısını, N_2 ise a_2'den büyük genliğe sahip AE vuruş sayısını ifade etmektedir. Daha yüksek Ib değerleri daha düşük genliğe sahip daha fazla aktiviteyi (mikro aktiviteler) gösterirken, daha düşük Ib değerleri daha yüksek genliğe sahip daha az aktiviteyi (makro aktiviteler) gösterir.

2.3.Deney Düzeneği

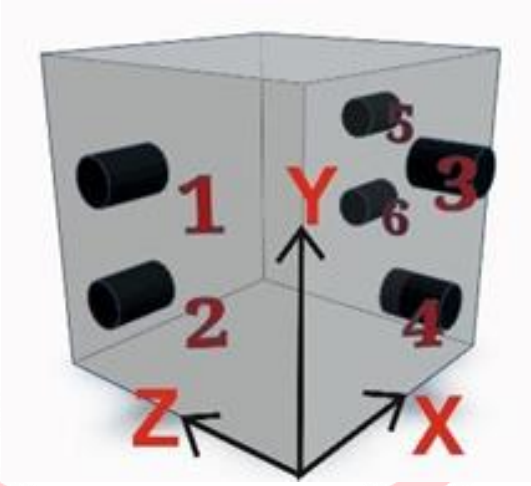
Bu çalışmada, standart küp (150mm*150mm*150mm) beton basınç dayanım sınıfı C20-C40-C50 olan 3 adet numune üretilmiştir. Farklı sınıflarda numune üretilmesinin sebebi dayanım sınıflarının etkisinin de incelenmesidir. Deney süresince yükleme cihazı olarak Besmak marka otomatik beton pres makinesi kullanılmıştır. Cihazın dahili olarak barındırdığı yazılım ve ekran sayesinde anlık olarak yük durumu ve deney sonunda malzemenin dayanımı elde edilebilmektedir. Yükleme hızı, küp numunedeki gerçekleşecek olan akustik emisyon aktivitelerinin daha iyi gözlemlenmesi amacıyla yaklaşık olarak 1,16 kN/sn olarak ayarlanmıştır. Deney başlangıcından deney sonuna kadar yükleme durumu video kamera ile kayıt altına alınmış; sonrasında manuel olarak yük-zaman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 3). AE sistemi için kullanılan sensörler, küpün her yüzünde 2 adet olacak şekilde 3 yan yüzeyine montajı yapılmıştır. Sensörlerin koordinatları Tablo 1' de ve sensörlerin küp numune üzerindeki yerleşimi Şekil 4'te verilmiştir.

***Tablo 1**. Sensör koordinatları*

Sensörler	Sensör Koordinatları (m)		
	x	y	z
1	0	0,1	0,075
2	0	0,05	0,075
3	0,075	0,1	0
4	0,075	0,05	0
5	0,15	0,1	0,075
6	0,15	0,05	0,075



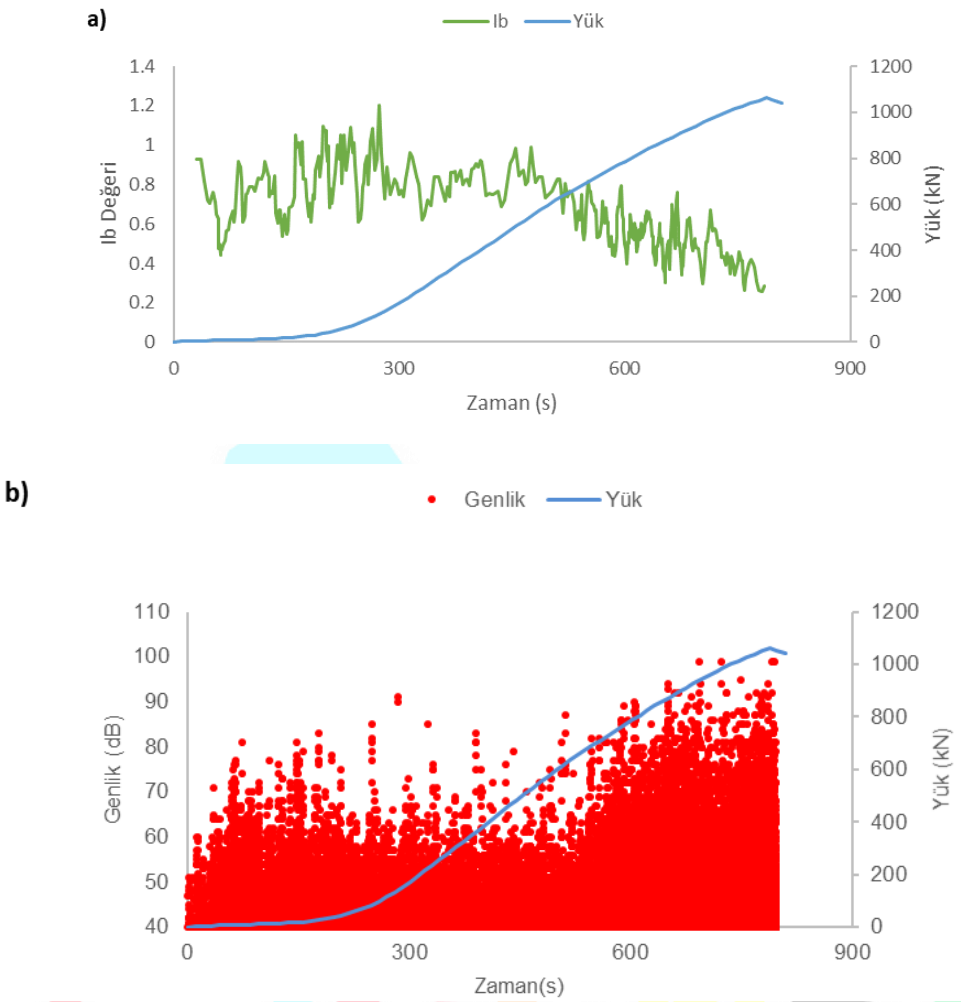
Şekil 3. *Beton küp numune basınç deneyi düzeneği*



Şekil 4*. Sensörlerin numune üzerine yerleşimi*

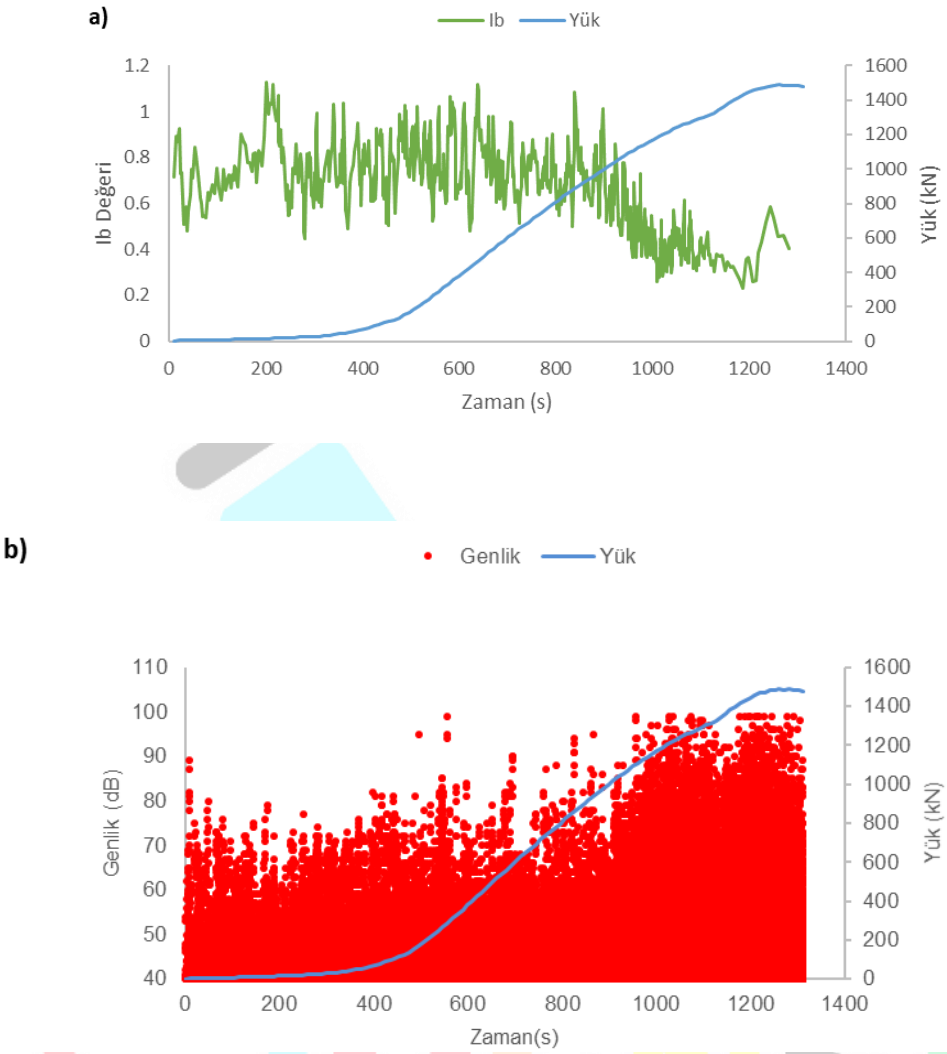
3.Bulgular

Deneyler tamamlandıktan sonra her bir numune için AE pararmetreleri gerekli filtre işlemleri uygulanarak gürültülerden arındırılmıştır. Kamera yardımı ile kaydedilen yük verileri zamana bağlı olarak elde edilmiştir. Sonrasında üç numune için Ib değerleri hesaplanmıştır. Ib analizinin doğru yorumlanabilmesi için hem genlik-yük-zaman hem de Ib değeri-yük-zaman grafikleri elde edilmiştir. C20 numunesine ait Ib değeri analizi ve genlik dağılımı sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5.a'daki Ib değeri analizine bakıldığında 250. saniye yakınlarında Ib değerleri yüksek seviyede iken aynı saniyelerde Şekil 5.b'deki genlik değerleri tüm deney süresi baz alındığında daha düşük seviyelerde gözlenmiştir. Ib değerleri deneyin ikinci yarısında azalırken, genlik değerleri yükün artışı ile artış göstermiştir. Ib değerlerin azalışı makro çatlakların oluştuğunu söylerken Ib değerinin artışı mikro çatlakların oluştuğunu göstermektedir. Numunenin göçmesine yakın zamanda makro çatlakların oluşması beklenen bir durum olduğundan Ib değeri analizi de bunu doğrular niteliktedir.



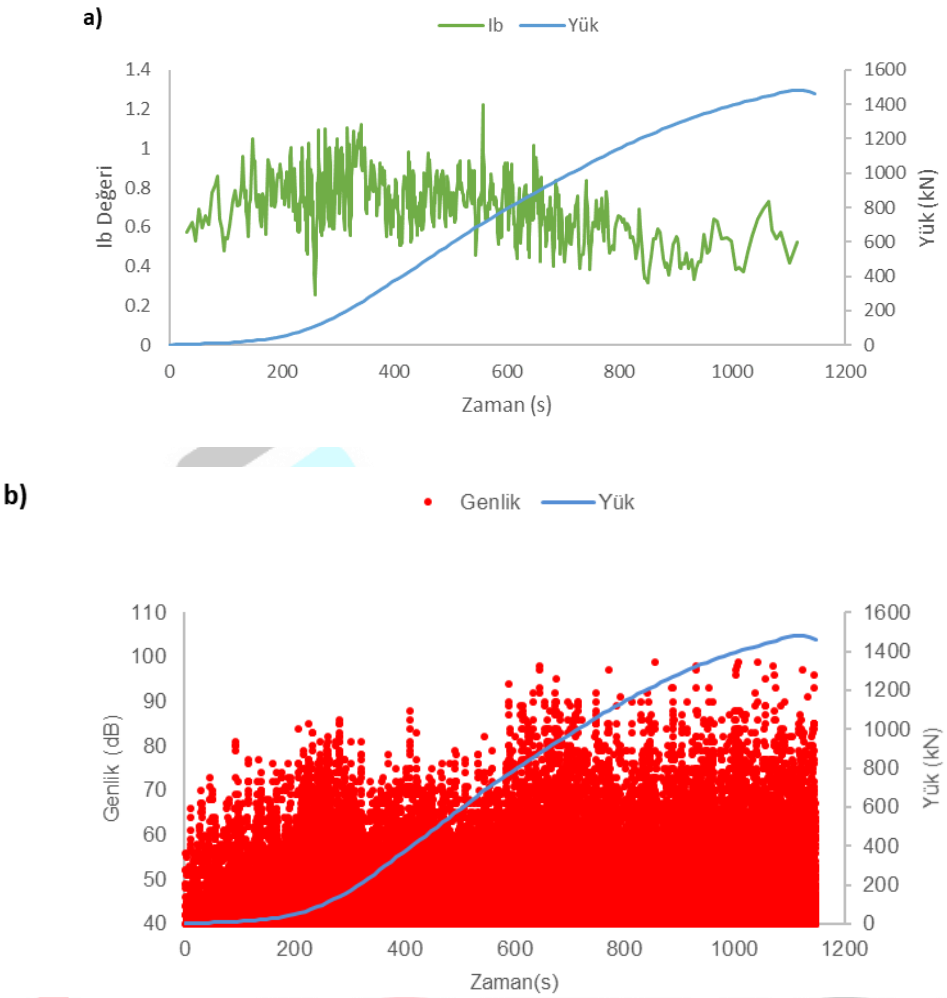
Şekil 5. *B3C20 numunesine ait zamana bağlı a) Ib değeri analizi, b) Genlik dağılımı sonuçları*

C40 numunesine ait Ib değeri analizi ve genlik dağılımı sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6.a'daki Ib değerleri 900. saniyeye kadar yüksek değerlerde seyretmiştir. Şekil 6.b'deki genlik değerleri ise 900. saniyeye kadar 80 dB seviyesindeyken bu saniyeden sonra göçme anına doğru giderken artış göstermiş ve 100 dB'e kadar ulaşmıştır. 900. saniyeden sonra genlik değerlerinin bu artışından dolayı ciddi bir azalma göstermiştir. Ib değeri analizi sayesinde 900. saniyeden söne mikro çatlakların hakim olduğunu fakat 900. saniyeden sonra makro çatlakların daha dominant olduğunu Ib değerinin azalışından anlaşılmaktadır.



Şekil 6. *C40 numunesine ait zamana bağlı a) Ib değeri analizi, b) Genlik dağılımı sonuçları*

B3C50 numunesine ait Ib değeri analizi ve genlik dağılımı sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7.a'daki Ib değerlerine bakıldığında ilk 600 saniyede yüksek Ib değerleri okunurken son 600 saniyede bu değerler göçme anına 115 kadar düşüş göstermiştir. Şekil 7.b'deki genlik değerleri ise ilk 600 saniyede 80 dB seviyesindeyken son 600 saniyede 100 dB'e kadar çıkmıştır. Bunun sebebi deneyin ilk yarısında daha çok mikro çatlaklar oluşurken ikinci yarısında makro çatlaklar oluşmasıdır. Ib değeri analizi mikro ve makro çatlakların hangi yük seviyesinde ve ne zaman oluştuğunu açıklayabilmektedir. Genlik değerinin yüksek olduğu yerlerde Ib değeri düşük, genlik değerinin düşük olduğu yerlerde Ib değeri yüksek olmaktadır.



Şekil 7. *C50 numunesine ait zamana bağlı a) Ib değeri analizi, b) Genlik dağılımı sonuçları*

4.Sonuç

Genlik değerinin yüksek olduğu yerlerde Ib değeri düşük, genlik değerinin düşük olduğu yerlerde Ib değeri yüksek olmaktadır. Genliği yüksek olan çatlak makro düzeyde olurken genliği düşük olan çatlak mikro düzeyde olmaktadır. Ib değeri genlik değeri ve kaç tane genliğin o değerde olduğu bilgisini birlikte içerdiğinden Ib değeri analizi AE tekniği sonucunda elde edilen genlik değerlerinin daha detaylı yorumlanmasını sağlamaktadır. Bu sayede beton numunelerde Ib analizinin yapılması hasar tespiti ve derecelendirmesinin yapılabileceğine dair ileride yapılacak çalışmalar için ışık tutabileceği gösterilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Tübitak 1001 projesi kapsamında 122m593 numaralı proje adı altında desteklenmiştir. Bu desteğinden dolayı Tübitak'a teşekkür ederiz.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynaklar

Bakir, P. G., Boduroğlu, H. M. (2002). A new design equation for predicting the joint shear strength of monotonically loaded exterior beam-column joints. In Engineering Structures (Vol. 24).

Suwansin, W., & Phasukkit, P. (2021). Deep learning-based acoustic emission scheme for nondestructive localization of cracks in train rails under a load. Sensors (Switzerland), 21(1), 1–19.

Tayfur, S., Alver, N., Abdi, S., Saatcı, S., Ghiami, A. 2018. Characterization of concrete matrix/steel fiber de-bonding in an SFRC beam: Principal component analysis and k-mean algorithm for clustering AE data. Engineering Fracture Mechanics, 194, 73–85.

Ebrahimkhanlou, A., Dubuc, B., Salamone, S. (2019). A generalizable deep learning framework for localizing and characterizing acoustic emission sources in riveted metallic panels. Mechanical Systems and Signal Processing, 130, 248–272.

ASTM E 1316, 2002, Standard Terminology for NDT

Gutenberg B. ve Richter C. F. (1954), In Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Princeton University Press, Princeton, NJ, A.B.D.

Zhang, Q., & Zhang, X. P. (2017). A numerical study on cracking processes in limestone by the b-value analysis of acoustic emissions. Computers and Geotechnics, 92, 1-10.

Proverbio, E., Venturi, V., & Campanella, G. (2009). Damage assessment in post-tensioned concrete viaduct by b-and Ib-value analysis of AE signal. Actes des journées scientifiques du LCPC, 909-915.

Rao, M. V. M. S., & Lakshmi, K. P. (2005). Analysis of b-value and improved b-value of acoustic emissions accompanying rock fracture. Current science, 1577-1582.

Shiotani, T. (2001). Application of the AE improved b-value to quantiative evaluation of fracture process in concrete-materials. Journal of acoustic emission, 19, 118-133.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Işık Kirliliğinin Kente Olumsuz Etkileri ve Çözüm Önerileri

Çiğdem SAKICI [1]
Büşra KAHRAMAN ERTÜRK [2]
Güftenur YEŞİL [3]

Özet

Yapay aydınlatma kaynaklarının yanlış miktarlarda kullanılması, doğru olmayan türlerden tercih edilmesi, yanlış yönlerde ve yanlış zaman dilimlerinde kullanılması ışık kirliliğini oluşturmaktadır. Işık kirliliği önemli bir çevre sorunu olup mutlaka önlenmesi gerekir. Günümüzde ışık kirliliğinin, canlı yaşamı üzerindeki etkileri bilimsel çalışmalar ile araştırılmıştır. Bilimsel çalışmalara bakıldığında ışık kirliliğinin insan, bitki, hayvan vb. canlılar üzerinde birçok olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Örneğin ışık kirliliğinin insan üzerindeki en önemli olumsuz etkisi melatonin hormonunu etkiyip salgılanmasını azaltmasıdır. Melatonin hormonu uyku dengesini sağlayan hormondur ve aydınlık ortamda yeterince salgılanamaz. Bitkilerde ise önemli olumsuz etkisi bitki gelişimini ve çiçek kalitesini etkilemesidir. Aynı zamanda astronomik olayların gözlemlenebilmesini de güçleştirmektedir. Bu etkilerin yanında, enerji tüketiminin de büyük bir kısmı hatalı ve bilinçsiz aydınlatma uygulamalarından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada; Işık kirliliğinin kente olumsuz etkileri ve çözüm önerileri araştırılmış, ışık kirliliği ile mücadele eden öncü ülkelerin izledikleri politikalar incelenmiştir. Ülkemizde ışık kirliliğinin olumsuz etkilerine karşı alınan önlemlerin yeterliliği sorgulanmıştır. Türkiye'de ışık kirliliği konusundaki bilinç zamanla artmış ve geçmiş yıllara oranla aydınlatma konusundaki duyarlılığın arttığı görülmektedir. Alınan önemlerden birisi de Karanlık Gökyüzü Parklarıdır. Ülkemizde de örnekleri oluşturulmaya başlanmıştır. Türkiye'deki yönetmelik ve uygulama kararları kağıt üzerinde kalmış, denetim ve yaptırımın yeterli olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle ışık kirliliğine karşı alınan önlemlerin hedeflenen sonuca ulaşmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Işık kirliliği, çevre sorunları, karanlık gökyüzü parkları, aydınlatma, kamaşma

[1] Doçent Doktor., Kastamonu Üniversite, Peyzaj MimarlığıBölümü, Orcıd: 0000-0001-5369-4876
[2] Öğrenci, Kastamonu Üniversite, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı
[3] Öğrenci, Kastamonu Üniversite, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

ISBN: 978-625-372-170-1

Giriş

Gelişen tasarım ve estetik algısıyla birlikte günümüzde aydınlatma ve ışık kavramı önem kazanmıştır. Ancak yapay aydınlatma kaynaklarının yanlış miktarlarda kullanılması, doğru olmayan türlerden tercih edilmesi, yanlış yönlerde ve yanlış zaman dilimlerinde kullanılması ışık kirliliğine neden olmaktadır. Işık kirliliğine kamaşan ışık, dikine ışık, ışık taşması, aşırı miktarda ışıklandırma ve kusurlu aydınlatma türleri neden olmaktadır (Özarabacı, 2017). Işık Kirliliği 3 temel bileşenden oluşmaktadır. Birincisi gökyüzü parlaklığına sebep olan kaçan ışık, ikincisi doğrudan gökyüzüne yönlendirilmiş ışıkların havada tutunması ve atmosferde bulunan toz ve gaz molekülleri ile etkileşimleri sonucu ortaya çıkan gök aydınlanması ve üçüncüsü de gökyüzüne doğrudan değil de yansıma sonucu yönlenen ışığın atmosfere saçılarak parlak bir fon yaratması ile meydana gelen alan aurasıdır. Kaçan ışık (Gökyüzü parlaklığı) doğal ve yapay kaynaklardan meydana gelmektedir. Doğal kaynakları ay ve yeryüzünden yansıyan güneş ışınları, atmosferin üst tabakalarındaki alçak seviyeli hava parlaklıkları, gezegenler arasındaki toz bulutundan yansıyan güneş ışıkları, atmosferde yayılan yıldız ışıkları, silik, henüz oluşmamış yıldızlar ve nebulanın oluşturduğu fon ışıkları oluşturur. Yapay kaynakları **ise; ş**apkasız aydınlatma armatürü kullanımları, ışığın aydınlatılmak istenilen yere değil, doğrudan gökyüzüne yönlendirilmesi ve yeryüzünden yansıyan kaçak ışıkların gökyüzü parlaklığını artırması oluşturur.

Sosyal yaşamın gece de aktif olmasıyla aydınlatma ihtiyacı hız kazanmıştır. Aydınlatmanın amacına ve özelliğine bakılmaksızın, güvenliği sağlamak için aydınlık miktarının artırılması aşırı aydınlatma problemini ortaya çıkarmıştır. Işık kaynağının gerekli olan aydınlatma miktarından daha fazla olması halinde saçılan ışığa aşırı aydınlatma denilmektedir. Yansıma ile gökyüzüne yönelmiş ışıkların atmosferde bulunan gaz molekülleri ve tozlarla atmosfere yayılarak parlak fon yaratması aşırı aydınlatma ile olur. Işık kirliliğine sebep olan aşırı aydınlatma kamaşmaya neden olur.

Kamaşma; yatayda yayılan ışığın neden olduğu ışık kirliliği bileşenidir. Yatay doğrultuda yayılan ışık yere yakın ve havanın yoğun olduğu yerlerde, toz parçaları ile hava moleküllerinin etkisiyle ışığın saçılmasına sebep olarak havayı aydınlatmaktadır. Üç farklı kamaşma çeşidi vardır. İlki ışık kaynağından hafif parıltı şeklinde yayılan konforsuzluk kamaşması, ikincisi ışık kaynağında güçlü parıltı şeklinde algılanan yetersizlik kamaşması ve üçüncüsü de genellikle trafikte seyir halindeyken, alçak aydınlatma ve şapkasız aydınlatma araçlarının parlaklığının fazla olması ya da direkt yola yönlendirilmesiyle trafik seyri esnasında geçici körlüğe ve kazalara neden olan Köreltici Kamaşmadır.

Bu çalışma yardımıyla kente, kentliye ve kent ekosistemine ışık kirliliğinin olumsuz etkileri ortaya konulmuş, çözüm önerileri araştırılmış, ışık kirliliği ile mücadele eden öncü ülkelerin izledikleri politikalar incelenmiştir. Ülkemizde ışık kirliliğinin olumsuz etkilerine karşı alınan önlemlerin yeterliliği sorgulanmıştır.

Işık Kirliliğinin Etkileri

Aydınlatmanın amacına ve aydınlatma kriterlerine uygun olmayan yanlış armatür ve lamba tercihleri, gereğinden fazla yüksek voltaj kullanımları, aydınlatılmak istenen bölgenin haricinde taşma oluşacak şekilde yapılan yanlış montaj ve ışığın yanlış alanlara yönlendirilmesi ve gereksiz ışık kullanımları ışık kirliliğine neden olmaktadır. Bu yanlış dış mekan aydınlatma uygulamaları bir çok olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bu etkiler dört ana başlık altında toplanabilir.

Kültür Yozlaşması; yoğun kentleşme sonucunda insanların dış mekanları gece de yoğun bir şekilde kullanma ihtiyacı ortaya çıkmış ve dış mekanda gerçekleştirilen yanlış aydınlatma sonucunda, gökyüzünün büyük oranda algılanamayacak kadar belirsizleşmesi, kültürümüzün bir parçası olan gökyüzünü seyretmekten uzaklaşılmasına sebep olmuştur.

Astronomi; Işığın yanlış kullanımı gece gök parlamasına neden olur ve gökyüzünde oluşan ışık kümeleri, ihtiyaç duyulan karanlık ortamı bozar. Gece galaksi ve yıldızları görebilmemiz için uygun bir karanlığa ihtiyaç duyarız. Yanlış seçilen aydınlatma ürünlerinden saçılan kontrolsüz ışık atmosfer olaylarının daha zor algılanmasına, fotoğrafların net çıkmamasına, gökcisimlerinin parlaklık ölçümlerinin istenilen doğrulukta olmamasına ve böylece astronomik gözlemlerin sağlıklı yapılamamasına sebep olmaktadır.

İnsan Üzerindeki Etkisi; Yanlış aydınlatmalar sonucunda oluşan ışık kirliliğinin insan üzerindeki en önemli olumsuz etkisi melatonin hormonunu etkiyip salgılanmasını azaltmasıdır. Melatonin hormonu aydınlık ortamda yeterince salgılanamaz. Geceleri aydınlık ortamlarda bulunan kişilerde melatonin salgısı azalır ve zamanla hücrelerde kalıcı hasarlara yol açar (Karimi, 2013). Yapılan çalışmalar, ışık kirliliğinin cilt üzerinde kanser oluşmasına, cilt renginde değişikliklere ve lekelenmelere, vücudun biyolojik dengesinin bozulmasına, stres hormonunun artmasına, bağışıklık sisteminin zayıflamasına, zihin gücünün zayıflamasına, göz kusurlarına, şeker, yüksek tansiyon gibi hastalıklara yol açabildiğini ortaya koymaktadır (Hami ve Portnov, 2013). Güney Kore'de yapılan bir çalışmada yoğun ışık miktarı ile uyku ilacı satışları arasında güçlü bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (Tenikler, 2023). Harward Üniversitesi'nde 2013'te 110 bin kadın katılımcı ile yapılan araştırmada, yoğun aydınlatmaya maruz kalan kadınlarda meme kanseri oluşma riskinin daha az ışığa maruz kalan bölgelerde yaşayan kadınlara oranla %14 oranında arttığı gözlemlenmiştir (Caraveo, 2020).

Bitkiler Üzerindeki Etkisi; Fazla ışığa maruz kalan bitkilerde bitki sapında kalınlaşma, boğum aralarında kısalma, dallanma miktarında artma, hücre çeperinde kalınlaşma, klorofil miktarında azalma, Osmatik basınç ve tuz oranında artma, erken çiçeklenme özelliklerinde farklılıklar meydana geldiği ortaya çıkmıştır. (Demircioğlu ve Yılmaz, 2005). Işığın miktarı, etki ettiği süre ve şiddeti bitkinin gelişimini ve çiçek kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle bitki türü ve bitkinin bulunduğu yer ve mevsim bitki aydınlatılması yapılırken dikkate alınmalı ve yapılacak aydınlatmalarda ışığın dalga boyuna ve intensitesine doğru karar verilmelidir.

Işık Kirliliğini Önlemek Amacıyla Oluşturulan Kamusal Politikalar

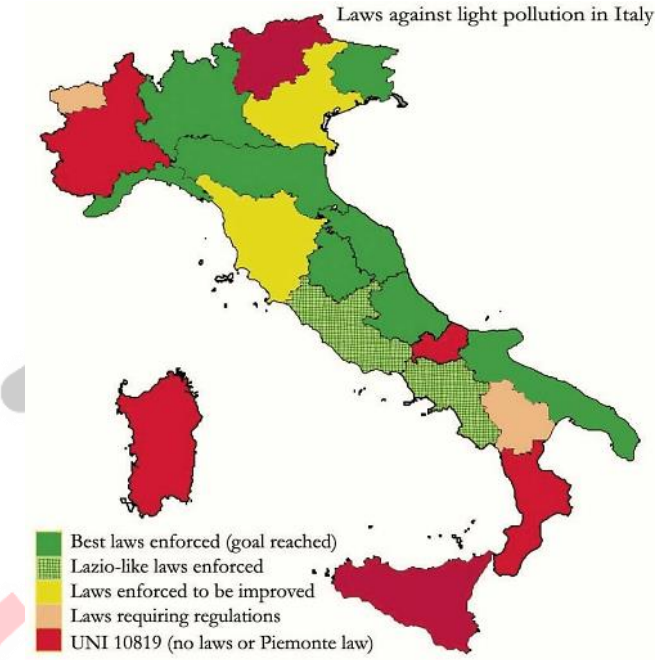
Işık kirliliğini önlemeyi amaçlayan ilk ülkeler İtalya, Çek Cumhuriyeti ve ABD'dir. Bu konuyla alakalı olarak uluslararası ilk kongre 1995 senesinde İtalya'da düzenlenmiştir. ABD'de ise ışık kirliliği ile mücadele etmek amacıyla 1988 yılında Uluslararası Karanlık Gökyüzü Birliği kurulmuştur. Bu kuruluş amacı çevreyi gece de korumak, doğru ve kaliteli dış mekân aydınlatması yapmak ve karanlık gökyüzünü gelecek nesillere miras bırakmaktır. Günümüzde 70'den fazla ülkede çalışmalar yapmaktadır.

Işık kirliliğine karşı bilinçli ülkeler incelendiğinde yönetim anlayışları arasında halkın sağlığı ve güvenliğini artırma aynı amanda enerji tasarrufu sağlama, kamuoyu memnuniyeti gibi faktörler etkili olmaktadır (Özarabacı, 2017). Bu bağlamda ışık kirliliği ile ilgili kamu politikaları oluşturmuş öncü ülkeler diğer ülkelere de örnek olmaktadır (Özarabacı, 2017).

İtalya'da Işık Kirliliğine Karşı Alınan Önlemler

İtalya ışık kirliliğine karşı mücadelede lider ülkedir ve ışık kirliliğini önleyici yasalar farklı bölgelerde uygulanmaktadır (Laws Aganist Light Pollution in Italy, 2000). Bunun en önemli nedeni İtalya'nın Cittaslow Hareketi'nin merkezi olmasıdır. Cittaslow ünvanlı kentlerin aydınlatma seviyeleri kontrol edilmektedir (Özarabacı, 2017). Işık kirliliği ile başarılı bir şekilde mücadele için gerekli olan kriterler İtalya'nın birçok bölgesinde bulunan yasalar ile düzgün şekilde uygulanmaktadır (Laws Aganist Light Pollution in Italy, 2000). Şekil 1 de de görüldüğü gibi ışık kirliliğine karşı yasaların iyi uygulandığı yeşil renkli alanlar yoğunluktadır.

Yasaların geliştirilmesi gereken sarı renkli alanlar sadece iki bölgede olup kırmızı renkte görünen alanlarda henüz bir yasal müdahale bulunmamaktadır.



Şekil-1 İtalya'nın ışık kirliliğine karşı aldığı yasaların uygulanma durumunu gösteren bölge haritası. (http://www.lightpollution.it/)

İtalya'da ışık kirliliği ile mücadele için ilk kanunu 1997 yılında çıkarmıştır. Bu kanun Regione Veneto yasasıdır ve bu yasa herkes için eşit olarak uygulanmaktadır (Özarabacı,2017). İtalya'nın ışık kirliliğini önlemeye yönelik aldığı tedbirlerden bazıları (Özarabacı, 2017):

- Armatürler için standartlar getirilmesi
- Aydınlatılmış yüzeylerden yansıyan ışık kaynaklı kirlilik, fazla ışık kullanımı, gökyüzüne doğrudan ulaşan aydınlatma şekilleri gibi hatalı aydınlatmaların kullanımının yasaklanması
- Güvenlik zafiyeti oluşturmayacak şekilde aydınlatma seviyelerinin minimum değerlerinin belirlenmesi
- Yapı ve anıt aydınlatmalarında sadece istenilen alanların aydınlatılması ve armatürlerin diğer alanları aydınlatmayacak biçimde seçilmesi

Fransa'da Işık Kirliliğine Karşı Alınan Önlemler

Fransa'da ışık kirliliğine karşı ilk mevzuat 2009'da oluşturulmuş (Özarabacı, 2017) ve yasa 36 maddeden oluşmaktadır (Dark Skies Awareness, 2009). The Guardian tarafından 2013 yılında bu önlemler alınırsa Fransa'nın bir yılda 250.000 tondan daha az karbondioksit salınımı yapacağı ve 750.000 hane halkına yetecek kadar da enerji tasarrufu sağlanabileceği ön görülmüştür. Fransa'nın ışık kirliliğini önlemek için aldığı önlemlerden bazıları (Özarabacı, 2017):

- Yerel yönetimlerin bütçe yükünü hafifletmek için güvenlik problemlerine sebep olmayacak, yeterli aydınlığı sağlayacak aydınlatma biçimleri
- Enerji tasarrufu sağlamak için verimliliği yüksek olan armatürlerin tercih edilmesi
- Doğru aydınlatma yapılabilmesi için aydınlatma tasarım uzmanlarının çalıştırılması
- Mağazalara ve ofislere gece boyunca ışıklarını kapatma zorunluluğu
- Mağazaların vitrin aydınlatmalarının gece yarısından sonra, işyerleri ve diğer konut haricindeki binaların iç mekan aydınlatmalarının ise son çalışan çıktıktan sonra kapatılması

Türkiye'de Işık Kirliliğine Karşı Mücadele Yöntemleri

Türkiye'de kentlerdeki aydınlatma sistemlerinin nasıl olması gerektiği Genel Dış Aydınlatma Yönetmeliği ile belirlenmiştir. "Yönetmeliğin amacı, genel aydınlatma yükümlülüğüne ilişkin görev ve sorumlulukların belirlenmesidir. Kapsamı ise; genel aydınlatma tüketimlerinin ölçülmesine ilişkin teknik esaslar ile ödemeye, kesinti yapılmasına, uygulamaya, denetime ve aydınlatma komisyonunun oluşturulması ve çalışmasına ilişkin usul ve esasları kapsamaktadır" (Genel Dış Aydınlatma Yönetmeliği). Mevzuatta ışık kirliliğinin tanımı ve önlenmesi ile ilgili yaptırımlar olmadığından belirtilen standartların insan ve çevre sağlığını korumaya yetmediği görülmektedir. Büyükşehirlerin, il belediyelerinin ve 10.000'den fazla nüfusa sahip olan belediyelerin aydınlatma çalışmalarını yapabileceği veya yaptırabileceği yasa ile belirtilmiştir(Avcu, 2021). Belediye meclisi kararı ile uygun görülen binaların cephelerinde özel aydınlatma ile çevre düzenlemesi yapılabileceği ifade edilmektedir (TBMM, 2005). 5393 sayılı kanununda kentsel alanların aydınlatılması konusunda belediyelerin yetkili olduğu görülmektedir (Avcu, 2021).

Binalarda da enerji performans sınıflandırmaları mevcuttur. A seviyeden G seviyeye kadar sınıflandırma yapılır. A seviyesi verimliliği en yüksek seviyeyken, G seviyesi verimliliği en düşük seviyeyi belirtir. Binaların enerji sınıfını belirtmek için düzenlenen belgeye Enerji Kimlik Belgesi(EKB) denilmektedir. Yeni yapılmış veya yapımı devam eden binaların enerji verimliliği sınıfı en düşük C seviyesinde olmalıdır. C sınıfından daha düşük seviyede çıkan yeni yapılacak binalar yasal olarak oturum izni alamazlar.

Üklemizde bu tarz önlemler alınmış olmasına rağmen denetim çok sıkı olmadığı için binalarda iskan ruhsatı alabilmek amacıyla binanın EKB değerleri değiştirilip enerji sınıfı daha yüksek çıkarılabilir. İskan ruhsatı için yapılan kontrollerde enerji kimlik belgesinde kullanılan ölçütler idarece kontrol edilmemektedir. İskan sonrasında da yine enerji kullanımı ile ilgili idarece bir denetim ve gereksiz enerji kullanımına dair bir yaptırım söz konusu değildir. Ülkemizde yönetmelik ve uygulama kararları kağıt üzerinde kalmakta, denetim ve yaptırım yeterli olmadığı için hayata maalesef geçememektedir. Bu nedenle ışık kirliliğine karşı alınan önlemlerin hedeflenen sonuca ulaşmadığı görülmektedir.

Karanlık Gökyüzü Parkları

Işık kirliliği ile mücadelede aydınlatma ile ilgili yasal önlemler alınmalıdır ancak bu önlemlerin alınması tek başına yeterli değildir. İnsanların karanlık alanlara ulaşabileceği mevcutta var olan alanların da korunması gerekmektedir. Gece gökyüzü ve gece ortamı doğal, kültürel ve tarihsel olarak korunmaya değer önemli kaynaklardır. Uluslararası Astronomi Birliği'ne göre, bütün insanlar yıldızlı gökyüzü manzarasından faydalanma hakkına sahip olup ve bu haklarının korunması gerektiği ve bunun için uygun sayıda Karanlık Gökyüzü parklarının kurması gerektiği ve bu kurulan parkların ulusal ve yerel yönetimler tarafından hatalı aydınlatmadan korunması gerektiği vurgulanmıştır.

Uluslararası Karanlık Gökyüzü Birliği (IDA) bazı gözlem evlerini çevresiyle birlikte koruma altına almıştır. Bu amaçla 1993 yılında ilk olarak Michigan'da bir alan geçici olarak gece karanlık gökyüzü parkı olarak belirlenmiştir. 2001 yılından bu yana Arizona'da 200'den fazla alan bu amaçla sertifikalandırılmıştır. Şu anda 6 kıtada 22 ülkede 160.000 kilometrekareden fazla korunan gece gökyüzü parkı bulunmakta olup, yeni yerler sertifika almaya hak kazandıkça liste her yıl daha da büyümektedir.

Dünya'daki Bazı Karanlık Gökyüzü Parkları Örnekleri;

AeHai Kalahari Miras Parkı: Güney Afrika hükümetiyle yapılan tarihi anlaşmada, Kgalagadi Sınır Ötesi Parkı'nın güneyinde yaklaşık 35.000 hektar alanda yer alan ve park içerisinde yaklaşık 60.000 hektarlık alanın restore edilmesine yol açan bir alandır. Khomani San ve Mier toplulukları ile Güney Afrika Ulusal Parklarının temsilcilerinden oluşan ortak bir yönetim kurulu tarafından bu miras park yönetilmektedir. Yönetim bu alanda yerli

toplulukların kültürel ve geleneksel bilgilerini korumayı ve aynı zamanda sürdürülebilir bir geçim kaynağı kazanma fırsatları geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Aenos Milli Parkı: Yunanistan'ın en küçük Milli Parkı olan bu alan adını Yunanistan'ın İyon Adası Kefalonya'daki Aenos dağından almıştır. Oldukça farklı tür çeşitliliği gösteren flora ve faunaya ev sahipliği yapan bu alan Kefalonia-Ithaca UNESCO Küresel Jeoparkının bir parçasıdır. Parktaki televizyon ve telefon iletim sahasındaki iyileştirmeler ve yumurtlayan kaplumbağa popülasyonlarına ev sahipliği yapan plaj alanlarındaki iyileştirmeler önemli eylemleri arasında yer almaktadır. Aenos Milli Parkı, aydınlatma iyileştirmeleri yoluyla ışık kirliliğini azaltmanın yanı sıra, ziyaretçilerin yıldızlı gökyüzünü deneyimlemeleri için halka açık programlar da sunmaktadır. Ziyaretçiler teleskoplar ve yeşil lazerlerle bulutsuları, kümeleri ve diğer gece gökyüzü nesnelerini gözlemleyebilir, tur atabilir ve takımyıldızlar hakkında bilgi edinebilme şansına sahip olabilmektedirler.

Albanya: Katalonya'nın Girona kentinde bir belediye olan Albanyà'nın kırsal ortamı ve Fransa sınırına yakın coğrafi izolasyonu, nispeten karanlık gece gökyüzünün korunmasına yardımcı olmaktadır. Turistler Katalonya'nın dört bir yanından ve ötesinden, özellikle Bassegoda Park'ta sunulan yıldız izleme ve resmi gece yorumlama programlarına katılmak için yoğun talep göstermektedir. Bundan dolayı son yıllarda yerel halk, bölgede astroturizme teşvik edilmeye başlanmıştır. 2015 yılında Starlight Vakfı tarafından Bassegoda, karanlık gökyüzünü koruma çabaları nedeniyle akreditasyon aldı ve bu durum tamamlayıcı IDA sertifikası almasına yardımcı oldu.

Niue Karanlık Gökyüzü Ülkesi: Niue Büyük Okyanus'un güneyinde yer alan, yaklaşık 2 bin nüfusa sahip bağımsız bir okyanus ülkesidir. Karanlık Gökyüzü Parkı ülkesi olarak tescil edilen ilk ülkedir. 2020 yılında tescillenmiştir.

Türkiye'nin ışık kirliliği konusundaki bilinci zamanla artmıştır. Geçmiş yıllara oranla aydınlatma konusunda duyarlılık önemli ölçüde değişmiştir. Ülkemizde de Karanlık Gökyüzü Parkları oluşturulmaya başlanmış, yerel yönetimler, TÜBİTAK, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Kalkınma Ajansları ve Tarım ve Orman Bakanlığı gibi kurumlarla birlikte çalışmalar yeni yeni yürütülmeye başlanmıştır. Türkiye'de ilk olarak Bursa ve Ankara'da Karanlık Gökyüzü Parkları yapılmasına karar verilmiştir. Bursa'da 2015 yılında çalışmalara başlanmıştır. Ankara'da belirlenen alanlarda ışık ölçümleri yapılmış ve 2024 yılı içerisinde ilk Karanlık Gökyüzü Parkının hizmete girmesi planlanmıştır.

Ankara Karanlık Gökyüzü Parkı: Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda Ankara'nın Kuzeybatı bölgesinde, Beypazarı'na yakın bir alanda kurulmasına karar verilmiştir. IDSA'nın kriterlerine sahip, sosyal donatıları olan tesislere ziyaretçiler de katılabilecektir. Ankara Karanlık Gökyüzü Parkı'nın açılışı 18 Mart'ta hedeflenmiş ancak 6 Şubat 2023 depreminden sonra ertelenmiştir.

Bursa Karanlık Gökyüzü Parkı: Bursa İnegöl ilçesi Başalan Yaylası içinde yer alır. Park alanındaki sosyal donatıları ve tesisleri amatör astronomlar, araştırmacılar ve vatandaşlar kullanabilecektir. Parkın faaliyete geçmesi ile akreditasyon tamamlanacak ve IDSA' ya üyeliğimiz daimî olacaktır.

Sonuçlar ve Öneriler

Gece dış mekanların kullanımının artmasıyla birlikte dış mekan aydınlatma kullanımı yoğun bir şekilde artmıştır. Bilinçsiz, uzmanı olmayan kişiler tarafından aydınlatma tasarım kurallarına uyulmadan yapılan aydınlatmalar ışık kirliliğine neden olmuştur. Aydınlatmanın amacına ve aydınlatma kriterlerine uygun olmayan yanlış armatür ve lamba tercihleri, gereğinden fazla yüksek voltaj kullanımları, aydınlatılmak istenen bölgenin haricinde taşma oluşacak şekilde yapılan yanlış montaj ve ışığın yanlış alanlara yönlendirilmesi ve gereksiz ışık kullanımları ışık kirliliğinin en önemli nedenlerini oluşturmaktadır. Işık kirliliği günümüzde en önemli çevre sorunlarından biridir. Gerek insan üzerinde gerek hayvanlar, bitkiler, gökyüzü üzerinde birçok olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bu yüzden mutlaka önlemler alınması gerekmektedir.

Çalışmada ışık kirliliği ile mücadelede rol model olan ülkeler incelenmiş, ülkemizdeki durum değerlendirilmiştir. Maalesef ülkemizde yönetmelik ve uygulama kararları kağıt üzerinde kalmakta, denetim ve yaptırım yeterli olmadığı için hayata geçememektedir. Bu nedenle ışık kirliliğine karşı alınan önlemlerin hedeflenen sonuca ulaşmadığı görülmektedir. Ülkemizde aydınlatma tasarımlarının ve uygulamalarının uzman kişiler tarafından amaca en uygun ve çevreci çözümlemelerle yapılması gerekmektedir. Yönetmelik ve uygulamaların biran önce hayata geçirilmesinin sağlanması hem ekonomik, hem çevreci hem de sürdürülebilirlik açısından son derece önemlidir.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynakça

Avcu, T. (2021). Kentlerin Aydınlatılması Bağlamında Işık Kirliliği Sorunsalı ve İzmir Büyükşehir ve İlçe Belediyelerinin Yaklaşımları. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(2), 72-80.

Demircioğlu, N., Yılmaz, H. (2005) Işık Kirliliği, Ortaya Çıkardığı Sorunlar ve Çözüm Önerileri. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg*. 36 (1), 117-123.

The Guardian (2013). *Lights Out France Shops Offices*, https://www.theguardian.com/world/2013/jan/30/lights-out-france-shops-offices// 15. 02. 2017

Hami, A., Portnov, B. (2013) Light Pollution as a New Risk Factorfor Human Breastand Prostate Cancers. 167.

Light Pollution in Italy. (2000). http://www.lightpollution.it/cinzano/en/page95en.html// 15. 02. 2017.

Özarabacı, Ö. (2017). *Türkiye'de Işık Kirliliği Politikaları*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi.

Tenikler, G. (2023). Işık Kirliliği ile Mücadele Kapsamında Uluslararası ve Ulusal Düzeyde Gerçekleştirilen Çalışmalara İlişkin Bir Değerlendirme. *Akademik İzdüşüm Dergisi*, 8(1), 120-154. https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.5627.pdf

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Otomobil Hava Filtrelerinin Üretiminde Kullanılan Kağıtların Uzamasına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi

Büşra TURHAN[1]
Ersin BAHÇECİ[2]

Özet

Hava filtresi, atmosferde bulunan havanın motorun içine geçmeden önce toz, partikül, zerrecik gibi maddelerin silindirler içerisine girmesini engelleyerek, tüm çalışma koşullarında motora gerekli olan havayı istenilen bir şekilde süzerek iletmek ve motora nefes aldırmakla görevlidir. Filtreleme yapılan ortamının ana görevini süzücü eleman kâğıt yapmaktadır. Karmaşık yapıya sahip malzemelerdir. Lifler arasındaki bağlar ve dolgu maddeleri kâğıdın genel yapısını oluşturur. Hem ortam şartlarından hem de kendi odunsu ve higroskopik (su çeken) bir yapıya sahip olmasından kaynaklı oldukça hassastır. Bu odunsu yapı çevrede bulunan nemi bünyesine alır bu da kâğıtların kararlı yapısının etkilenmesine neden olur. Üç farklı yapıya sahip hava filtre kâğıtları gramaj deneyi, geçirgenlik deneyi, filtre kâğıdı patlatma mukavemeti deneyi, filtre kâğıdı gözenek çapı deneyi, nem tespiti deneyi, hava filtresi basınç deneyi ölçümleri ile zamana ve ortam şartlarına bağlı filtre kağıdının nem ve uzunluk değişimi testleri uygulanmıştır. Hava filtresi kağıtlarına; ambalaj açıldıktan sonra, 0, 24, 48 ve 144.saat esas alınarak, sabit ve değişken ortam koşullarında bekletilerek deney parametreleri uygulanmıştır. Kağıtların yapısından kaynaklı ortamda bulunan nemi içerisine kabul etmesi, yani ıslak olan liflerin daha fazla uzadığını göstermektedir. Bu uzama miktarının değişken sıcaklık ve nem miktarına sahip ortam koşullarında bekletilen kağıt numunelerinde daha hızlı ve yüksek miktarda gerçekleştiği, sabit ortam şartlarında bekletilen kağıtlarda ise aksi olduğu tespit edilmiştir. Kağıdın bulunduğu çevreden bu kadar fazla etkilenmesi, kağıdın bulunduğu ortam koşulları hem kağıt üreticileri hem de kağıdı ham madde olarak kullanan ikincil üreticiler için son derece önemli bilgiler elde edilmiştir.

Anahtar: Filtre, Kağıt, Süzen Kağıt, Hava Filtresi

[1] Büşra TURHAN, Şampiyon Filtre Pazarlama Sanayi ve Ticaret A.Ş Ar-Ge Merkezi , Hatay, Turkey, b.t.turhan.busra@gmail.com
[2] Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ, İskenderun Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Hatay, Turkey, ersin.bahceci@iste.edu.tr, Orcid:0000-0002-7719-6051

ISBN: 978-625-372-170-1

1. GİRİŞ

Filtreler, özellikle günümüzde insanların ihtiyaçları için vazgeçilmez hale gelen taşıtlarda, fabrikalarda ve genel kullanımlarda büyük önem arz etmektedir. Motora hareket veren enerji olarak kullandığımız yakıt sisteminin süzülmesinde kullanılan yakıt filtreleri, motor sisteminde aşınma etkisini ve yüzeyin sıcaklığını azaltmak için kullandığımız motor yağlarını arıtan yağ filtreleri, taşıtlarda motor sistemine giren kirli havayı ve parçacıkları temizleyen hava filtreleri, görev ve işlevleri sayesinde motor verimine, motor performansına katkı sağlayan ve çalışma sistemini düzenleyen önemli parçalar olarak değerlendirilmektedir [1]. Hava filtreleri, hava kalitesinin önemli olduğu uygulamalarda, özellikle bina havalandırma sistemlerinde ve motorlarda kullanılır. Hava filtresinden beklenilen özellikler; filtre hava akımına karşı yaratılan direnç, filtre değiştirilmeden önce bu filtrenin tutmuş olduğu toz miktarı (toz tutma kapasitesi) ve filtrenin verimidir. (Burada kirletici genellikle tozdur ve belirli bir boyut dikkate alınır.)

Filtrelerin, bu özelliklere göre en iyi performansı göstermek üzere tasarlanıp üretilebilmesi açısından en çok önem teşkil eden ana hammadde kağıttır. Kâğıt ise genellikle odun, keten veya pamuk gibi selülozik özelliğe sahip malzemelerden elde edilen doğal polimer kompozit bir malzeme olarak tanımlanır. Kâğıt ve kartonu oluşturan lif (selüloz) ağı birbirinin üzerinde ve iç içe geçerek birbirleri ile kuvvetli bağlar oluşturur. Her lif iyi tanımlanmış katmanlı bir mikro yapıya sahiptir. Bu nedenle, kâğıt ve karton, mühendislik malzemelerinin en karmaşıklarından biri olarak tanımlanır [2].

Filtre kâğıdının çeşitli özellikleri vardır. Önemli parametreler ıslak mukavemet, gözeneklilik, partikül tutma, hacimsel akış hızı, uyumluluk, süneklilik, verimlilik ve kapasitedir Hava filtre kâğıtlarının sünekliği, üretim malzemesi ve tekniğiyle ilgilidir. Kağıdın sünekliği, filtre içinden geçen hava akışına karşı gösterdiği direnci etkileyecektir. Sentetik lifler, doğal liflerden daha yüksek süneklik sağlar. Ayrıca kalın ve yoğun kâğıt yapısı da sünekliği artırmaktadır. Sünekliği yüksek olan hava filtre kağıtları, filtrenin hava akışına karşı direnç vermeden uzun süre kullanılabilmesini sağlar. Bu da motor performansı ve yakıt verimliliği açısından önemlidir. Hava filtre kâğıdının sünekliği, filtrenin uzun ömürlü ve verimli çalışması için kritik bir özelliktir. Kağıdın sünekliği (esnekliği) şu özellikleri kapsamaktadır; esneklik, mukavemet ve gözenekliliktir. Hava filtre kağıdı, hava akışına karşı direncini kaybetmeden belli bir oranda esnemeli ve deforme olabilmelidir. Bu, filtrenin uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır. Kağıdın mukavemetli olması, motor bölmesinde yer alan titreşim, basınç dalgalanmaları ve mekanik zorlanmalar gibi etkenlere karşı yeterli mekanik dirence sahip olmasını belirleyecektir. Gözenekliliği ise; kağıt yapısının, motor havasının en az dirençle geçebilmesine izin verecek derecede gözeneğe sahip olması şeklinde açıklayabiliriz. Kâğıdın ıslak mukavemeti, kâğıdı bir arada tutan elyaf ağının, kâğıt ıslandığında kopma kuvvetine ne kadar iyi direnç gösterebileceğinin bir ölçüsüdür. Islak mukavemet rutin olarak kopma anındaki ıslak çekme kuvvetinin kuru çekme kuvvetine oranı olarak ifade edilir [3].

Bu çalışma ile mevcut hava filtrelerinin üretimi aşamasında kullanılan, farklı tedarikçi ve farklı parti koduna sahip akrilik hava filtre kâğıtlarının nem ve uzama miktarı tespit edilerek, bu uzamaya sebebiyet veren parametrelerin araştırılması ve önlenmesi araştırılacaktır.

2.YÖNTEM

Filtre kâğıtları Süzücü 1 (SZC1), Süzücü 2 (SZC2), Süzücü (SZC3) şeklinde sınıflandırılmıştır. Süzücü 1 Shıjıazhuang Chentaı Fılter Paper Co LTD. firmasından, Süzücü 2 Xınjı Huaruı Non-Woven Technology Co. Ltd. Firmasından, Süzücü 3 ise Shıjıazhuang Chentaı Fılter Paper Co LTD. Firmasından temin edilmiştir.

Hava filtre kâğıtları Süzücü 1, Süzücü 2, Süzücü 3 şeklinde sınıflandırılarak 6 farklı parametre uygulanmıştır. Hava filtresi kâğıtlarına; ambalaj açıldıktan sonra, 0, 24, 48 ve 144.saat esas alınarak, sabit ve değişken ortam koşullarında bekletilip sırası ile gramaj deneyi, geçirgenlik deneyi, filtre kâğıdı patlatma mukavemeti deneyi, filtre kâğıdı gözenek çapı deneyi, nem tespiti deneyi, hava filtresi basınç deneyi ölçümleri ile zamana ve ortam şartlarına bağlı filtre kâğıdının nem ve uzunluk değişimi incelenmiştir.

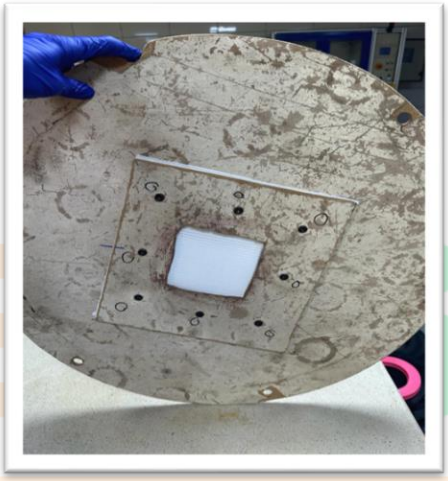
2.1. Basınç Farkı Deneyi

Belirlenen kâğıtlar ambalaj açıldıktan hemen sonra 0,24,48 ve 144. Saatlere ait değişken ortam koşullarında olmak üzere 4 adet SZC1 ve sabit ortam koşullarına ait 4 adet SZC1 10x10 cm boyutunda kare kupon Şekil 1'deki gibi kesilmiştir.

Şampiyon Filtre laboratuvarında bulunan Şekil 2' de gösterildiği gibi "Hava filtresi basınç düşüşü deneyi" düzeneğine uygun çerçeve oluşturulmuş ve TS 932, ISO 4548-12, ISO 19438, ISO 16889 standartlarına göre test yapılmıştır [5-8].

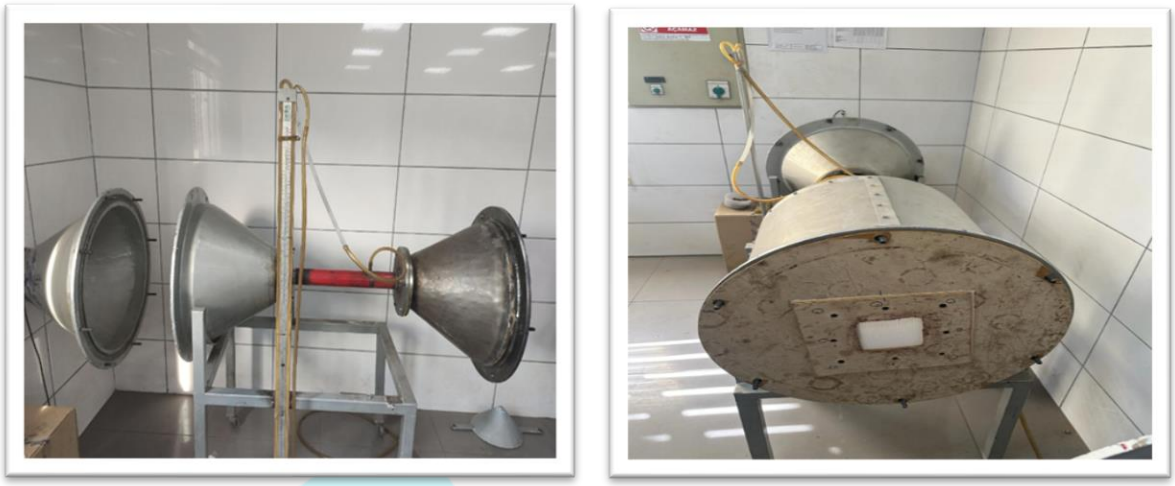


Şekil 1. SZC1 hava filtresi kâğıdının düzeneğe yerleştirilmesi



Şekil 2. SZC1 hava filtresi kâğıdının oluşturulan deney düzeneğine yerleştirilmesi

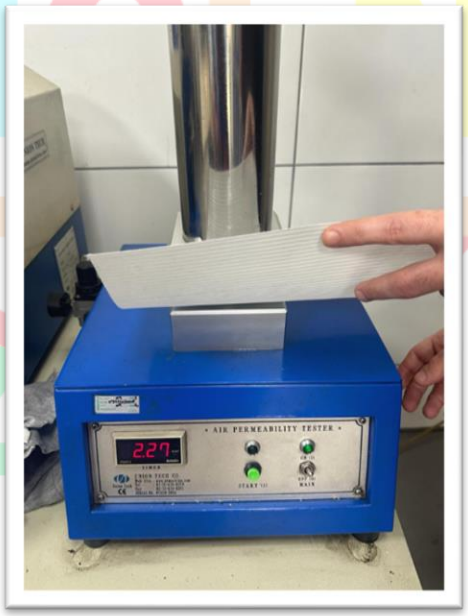
Filtrenin süzme alanına göre debisi hesaplanmıştır. Ortam sıcaklığına, nemine ve basıncına dikkat edilerek deney tamamlanmıştır. Şekil 3'te yer alan basınç farkı deney cihazına ait fan motorunun şalteri açılarak, cihaza yerleştirilen filtre kağıdı için, motorun devir hızı ayarlanır ve böylece deney başlatılır. Hesaplanan basınç değerlerine karşılık (mmSS), debi değerleri (m^3/h) grafiğe alınarak sonuçlar alınmıştır.



Şekil 3. Basınç farkı *deney cihazı ve SZC1 hava filtresi kâğıdının deney cihazına yerleştirilmesi*

2.2 Hava Geçirgenlik Testi

Geçirgenlik, filtre tarafından sunulan akışa karşı direncin karşılığıdır. Dolayısıyla, yüksek geçirgenlik düşük bir direnci temsil eder veya bunun tersidir. Geçirgenlik akış hızı, akışkan viskozitesi, filtre kalınlığı filtre alanının ve sıvı yoğunluğunun çarpımı ile ters orantılıdır. Belirli bir akış hızı için filtre alanındaki artış, basınç düşüşünü azaltmaktadır çünkü filtreleme alanı birimi başına düşen akışkan akış miktarı azalır (basınç düşümü filtre alanı ile ters orantılıdır). Süzücüye boyutlandırma yapabilmek için akış hızının dolayısıyla hava geçirgenlik katsayının belirlenmesi gereklidir. Basınç düşmesinin ortam olarak filtreleme süresi ile artacağına dikkat edilmelidir dolayısıyla süzücünün geçirgenlik katsayısı hesabı yapılmıştır.



Şekil 4. SZC1 hava filtresi kâğıdının test cihazındaki görüntüsü

Şekil 4' teki gibi A4 Kâğıdı boyutunda hazırlanan temiz filtre kâğıdı deney standına yerleştirilmiştir. Start butonundan işlem başlatılmıştır. Kâğıdın 5 farklı bölgesinden cihaz üzerinde bulunan göstergeden geçiş zamanı kayıt edilmiştir ve deneye dayalı olarak hesaplanan kâğıt geçirgenlik değeri aslında geçirgenlik katsayısı değeri grafiğinden okunan değer

belirlenmiştir.Bu deneyde hiç kirletilmemiş, filtre kâğıtlarının hava geçirgenlikleri JIS P 8117 standardına göre test edildi [9].

2.3 Gözenek Çapı Tayini

Bu test yöntemi, süzücünün ne kadar büyüklükte kirletici partikülün filtrasyon yapacağı hakkında bilgi edinmek amacıyla yapılmaktadır. Şekil 5 'te gösterildiği gibi uygulanan testler "Union Tech." markalı "Pore Size Tester" cihazı ile yapılmaktadır.

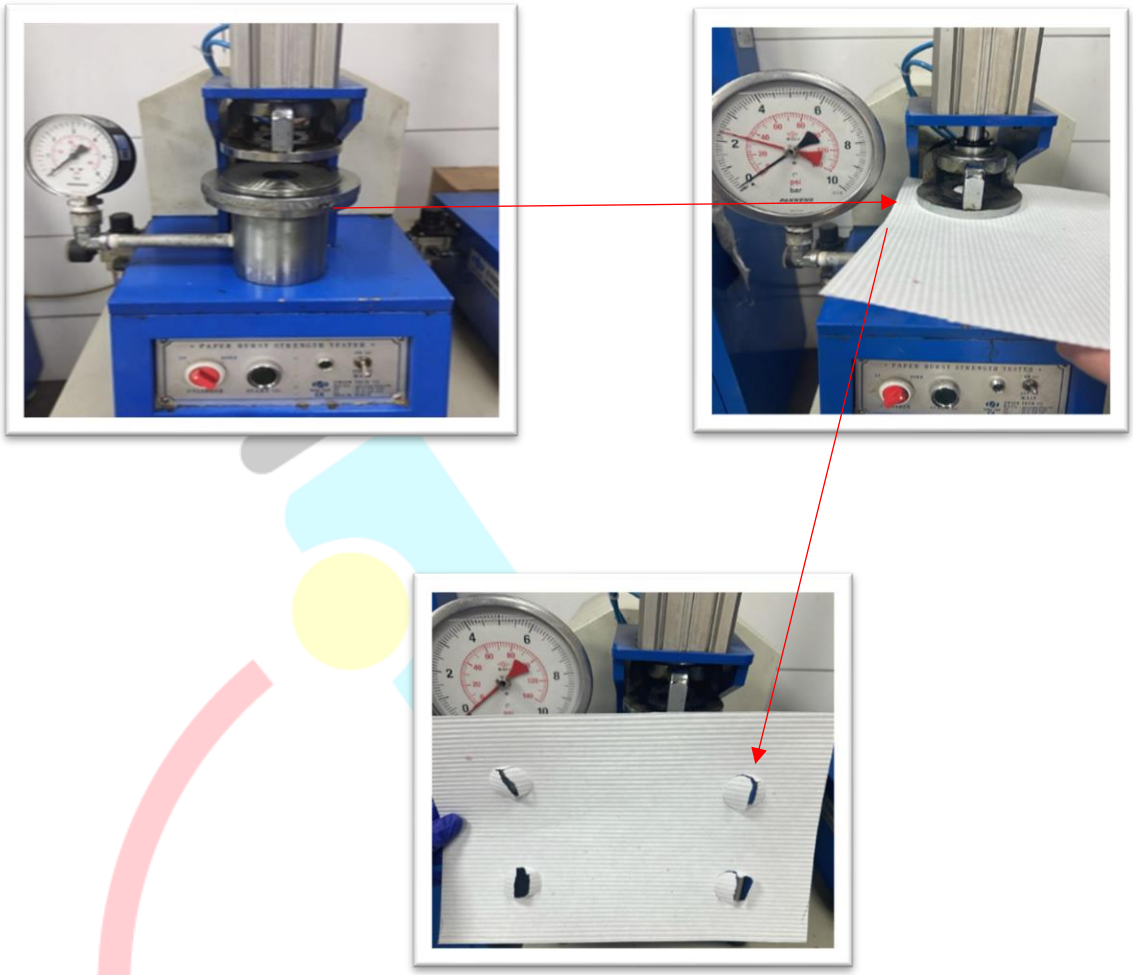


Şekil 5. Ø 25 mm ölçülerinde, gözenek çapı tayin cihazı standına yerleştirilmiş SZC1 hava filtresi kâğıdı

Şekil 5'teki gibi Ø 25 mm ölçülerinde kâğıt kesil ve deney standına yerleştirilmiştir. Şekil 5'e gösterildiği gibi deney standında yer alan kâğıdın sıvı haznesine methanol doldurulmuştur. Sisteme yavaş yavaş artırarak hava verilmiştir. Kâğıttan ilk hava kabarcığı görüldüğü anda manometredeki basınç değeri alınmıştır. Okunan basınç değerine karşılık grafikten gözenek çapı değeri bulunmuştur. Aynı basınç değerine karşılık diğer grafikten max gözenek çapının değeri elde edilmiştir.

2.4 Patlatma Mukavemeti Testi

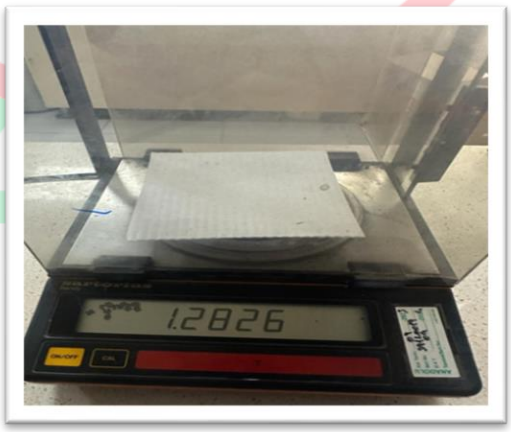
Patlatma mukavemeti testinde, test edilecek kağıt Şekil 6'deki Union Tech markalı paper burst strength tester cihazına yerleştirildi. Şekil 6' da gösterildiği gibi cihaza yerleştirilen kağıdın üst kısmına hazne indirildi, başlatma tuşu ile beraber cihaz içindeki balon şişmeye başladı ve kağıt deforme olduğunda test bittiği anda manometredeki değer KPa cinsinden kaydedilmiştir.. Filtre kağıtlarının patlatma mukavemeti TS EN ISO 2758- ISO 2758 standartlarına göre test edildi [10-11]. Şekil 6'da teste tabi tutulan kağıdın dört farklı bölgesinde yer alan deformasyon gösterilmektedir.



Şekil 6. Patlatma mukavemeti test cihazına yerleştirilmiş SZC1 kâğıdı

2.5 Filtre Kâğıdı Gramaj Testi

Gramaj, bir kâğıt veya kartonun belirli bir alan üzerine düşen kütlesini ifade eder ve gram cinsinden ölçülür. 100 gram/metre^2 (g/m^2) gramaj, 1 metrekarelik bir alan üzerine düşen kâğıdın 100 gram ağırlığında olduğunu gösterir.



Şekil 7. Sartorius marka terazide ölçüm yapılan SZC1 hava filtresi kâğıdı

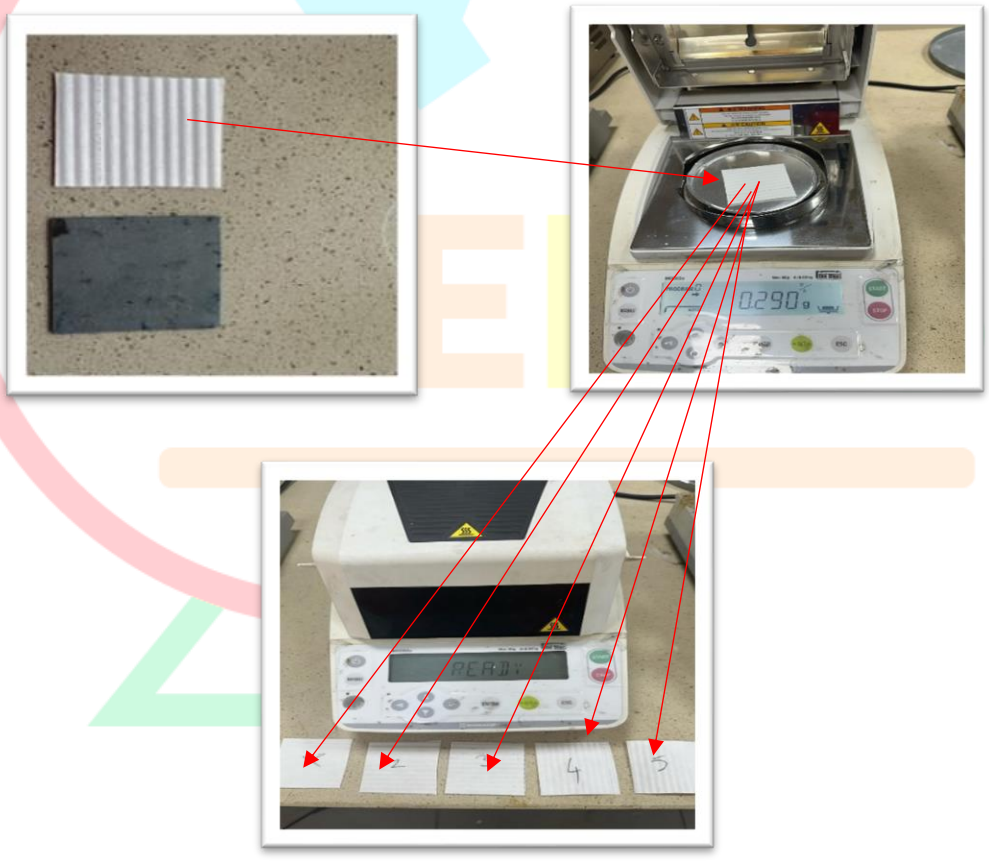
Bobinden alınan numuneler, kâğıt enine yönünde olacak şekilde sabit ölçümlü el aletleriyle 10X10 kesilmiştir ve Şekil 7'deki gibi Sartorius marka hassas teraziye yerleştirilip

tartıldı, çıkan sonuçların ortalama gramajları nihai gramaj olarak kabul edilmiştir. ISO 536 standartlarına göre test edildi [12].

2.6 Filtre Kâğıdı Nem Tespiti Deneyi

Katı veya sıvılar ısıtıldıklarında buharlaşan suya bağlı olarak maddenin ağırlığı azalır ve en nihayetinde buharlaşmanın sona ermesiyle (maddenin içindeki suyun tamamen ayrışması) ağırlıkta her hangi bir değişikliğin meydana gelmemesi ile son bulur. Isıtma yoluyla nem tayini yapan bu Shımadzu marka cihazda halojen lamba kullanılmış olup ağırlık değişimini cihaza entegre çok yüksek kalite bir hassas terazi kontrol eder.

Hava filtre kâğıdı 5 farklı bölgeden Şekil 8 ‘deki gibi 5X5 mm ölçülerinde 5 adet kesilmiştir. Alüminyum kabın darasını alınmıştır ve numune cihazın içine bırakılarak kapağı kapatılmıştır. Alüminyum numune kabının içine konulan ürün önce tartılmıştır ve hafızaya aldıktan sonra halojen lambası ile ürüne göre ayarlanmış olan sıcaklığa getirilerek ürün kurutulmuştur, ürünün kuruduğu terazideki değerlerin değişmemesinden görülmüştür ve ısıtma cihaz tarafından durdurulmuştur. Şekil 8 ‘de görüldüğü gibi nemli miktar ile kuru miktarı cihaz kaydettiği için aradaki farkı hassas bir şekilde % nem olarak ekrana getirmiştir. Şekil 16’daki gibi her filtre kağıdı için toplamda beş adet numune test edilmiştir. Ölçüm süresi değişkendir, üründen ürüne değişebildiği gibi, çok nemli ürün ile az nemli ürün arasında sonuç süresi farkı kaçınılmazdır.



Şekil 8. 5X5 mm ölçülerinde hazırlanmış 5 adet SZC1 hava filtresi kâğıdının Shımadzu marka cihazda test edilmesi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı tedarikçilerden temin edilen hava filtresi kâğıtları; Süzücü 1 (SZC1), Süzücü 2 (SZC2) ve Süzücü (SZC3) yüzey yapıları, gözenek büyüklükleri, kalınlıkları ve içyapılarındaki kimyasal özellikleri birbirinden farklı olduğundan parametre ve uygulama sonuçları arasındaki değerlendirmelerde bu yüzden değişiklik göstermektedir. Filtre kâğıtlarına yapılan test sonuçları, sabit ve değişken ortam şartlarına, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre birbirleri ile uzunluk miktarı açısından kıyaslanmıştır. Kâğıt uzunluk miktarının tayini esnasında; ortamın sıcaklığı, ambalajın açılmasından sonraki geçen süreler, nem miktarı ve farklı tedarikçilerden temin edilen üç farklı süzücünün incelenmesi gibi birçok parametre bulunmaktadır. Bu çalışmada çok küçük değişiklikler (tolerans aralığında) göz ardı edilmiştir. Filtre kağıtlarının kimyasal içeriklerinden ve fiziksel yapılarından kaynaklı olarak birleştirme yöntemlerinde de farklılıklar ortaya çıktığını literatür çalışmalarında belirtmiştir. Kağıtların özelliklerin de birbirinden çok farklı teknik verilere sahip olduğu ve bu nedenle filtre kağıtları ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda farklı değerler ve sonuçların ortaya çıktığını belirtilmiştir [13].

Filtreye ait en önemli hammaddenin süzen(filtre) kağıtlar olduğunu belirtmiştir ve filtreleme sisteminde süzen kağıtların yüzey alanlarının süzme performansı ile doğrudan ilişkili olduğunu gözlemlemiştir. [14]. Filtrenin kullanım ömrünün, aracın çalışma ortamı ile doğrudan ilgili olup kirli olan hava ile temasta bulunan filtrelerin kullanım ömrünün kısalmakta olduğunu gözlemlemiştir ve kullanım ömrünü tamamlamış hava filtrelerinin gözeneklerinde bulunan partiküllerin mekanik ve kimyasal yollarla temizlenerek filtrenin tekrar kullanılabilirliğini kanıtlamışlardır [15].

SZC1 kağıdının ambalajı açılıp, değişken sıcaklık ve nem şartlarına sahip ortamdaki uzunluk miktarının artışı ile nem miktarı artışının doğru oranda olduğu görülmüştür (Çizelge 1). Kâğıdın, bulunduğu ortam şartları ile bir denge durumuna ulaşma çabası içinde olduğu tespit edilmiştir. Benzer durum literatürde, kâğıt ve kartonların, çevresi ile bir denge durumuna ulaşma çabası içinde olduğunu belirtilmiştir [4].

Boyutunu, dayanımını, kırılganlığını ve iletkenliğini etkileyebilecek faktörlerden biri olan nemi bünyesine aldığı görülmüştür. Uzunluk ve nem miktarındaki bu artışın filtre kâğıdı gramajına da aynı doğrultuda etkisi olduğu belirlenmiştir. Fakat basınç farkı ve patlatma mukavemeti değerlerine etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Geçirgenlik ve gözenek çapı değerlerinde de artış olduğu gözlemlenmektedir. Hava geçirgenliği ve gözenek büyüklüğü test sonuçlarında standardın kabul edilebilir sınırları içerisinde olduğu belirlenmiştir. Bu test sonucunda standardın ± 10 %'luk kısmında kabul edilir sınırlarıdır. (TS ISO 5636-3 :2015).

SZC1 kağıdının ambalajı açılıp, sabit sıcaklık ve nem şartlarına sahip ortamda bekletilen uzunluk miktarındaki artışı, değişken ortamda bekletilen SZC1 kâğıdına göre daha yavaş gerçekleştiği görüldü (Çizelge 2). Toplam uzama miktarı sabit ortamdaki süzücüde 0,2 mm iken değişken ortamdaki değerin 1,50 mm olduğu görüldü. Uzama miktarına bağlı olarak yine kâğıdın yapısında bulunan nem miktarı artışının da daha düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bu minimum seviyede artışın filtre kâğıdı gramajına, filtre kâğıdı basınç farkı ve patlatma mukavemeti değerine etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 1. SZC1 Değişken Şartlara Ait Test Sonuçları

Kağıt Türü	Ortam	Yapılan Testler	0	24	48	144
SZC1	Değişken Şartlar	Filtre Kağıdı Uzunluğu (mm)	408	408,2	408,8	409,5
		Filtre Kağıdı Gramaj Deneyi (g/m²)	1,28	1,29	1,31	1,31
		Filtre Kağıdı Geçirgenlik Deneyi (l/m²s)	375	370,7	369,4	367,2
		Filtre Kağıdı Patlama Mukavemeti Deneyi (kPa)	250	250	250	253
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (max)	63,5	61,8	61,8	62
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (ortalama)	55,7	57,1	57,1	57,5
		Filtre Kağıdı Nem Tespiti Deneyi (%)	6,35	6,74	6,96	6,99
		Hava Filtresi Basınç Farkı Deneyi (mm/ss)	395	405	400	400
		Ortam Sıcaklık (°C)	17,3	20,3	21,6	20,4
		Ortam Nem (%)	41	36	37	45

Çizelge 2. SZC1 Sabit Şartlara Ait Test Sonuçları

Kağıt Türü	Ortam	Yapılan Testler	0	24	48	144
SZC1	Sabit Ortam Şartları	Filtre Kağıdı Uzunluğu (mm)	408	408	408,1	408,2
		Filtre Kağıdı Gramaj Deneyi (g/m²)	1,28	1,28	1,282	1,285
		Filtre Kağıdı Geçirgenlik Deneyi (l/m²s)	375	381,8	386,7	388
		Filtre Kağıdı Patlama Mukavemeti Deneyi (kPa)	250	253	250	256
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (max)	63,5	65,3	65,2	65,3
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (ortalama)	55,7	58,6	58,6	57,1
		Filtre Kağıdı Nem Tespiti Deneyi (%)	6,35	6,72	6,73	6,73
		Hava Filtresi Basınç Farkı Deneyi (mm/ss)	395	390	390	390
		Ortam Sıcaklık (°C)	17,5	17,5	17,5	17,5
		Ortam Nem (%)	60	60	60	60

Tutak, 2019'da yapmış olduğu çalışmada, içerisine nem alan liflerin kopma sırasında daha az güce ihtiyaç duyarak, kopma mesafesinin, yani lifin uzama mesafesinin arttığını belirterek bu da nem alan, yani ıslak olan liflerin daha fazla uzadığını gözlemlemiştir [4]. Benzer durum, SZC2 kağıdının ambalajı açılıp, değişken sıcaklık ve nem şartlarına sahip ortamdaki uzunluk miktarının artışı ile nem miktarı artışının doğru oranda olduğu görülmüştür (Çizelge 3). Değişken sıcaklık ve şartlarında SZC1'deki doğru orantıya benzer sonuçlar alındığı görülmüştür.

SZC2 kağıdının ambalajı açılıp, sabit sıcaklık ve nem şartlarına sahip ortamda bekletilen uzunluk miktarındaki artışı ise, değişken ortamda bekletilen SZC2 kâğıdına göre daha az ve oldukça yavaş gerçekleştiği görüldü (Çizelge 4). Fakat sabit ortam şartlarına sahip olan SZC1 kağıdına göre ise; uzunluk artışının daha hızlı ve artış eğiliminde olduğu görülmüştür.

Çizelge 3. SZC2 Değişken Şartlara Ait Test Sonuçları

Kağıt Türü	Ortam	Yapılan Testler	0	24	48	144
SZC2	Değişken Şartlar	Filtre Kağıdı Uzunluğu (mm)	444	445	446	446,5
		Filtre Kağıdı Gramaj Deneyi (g/m²)	1,22	1,23	1,24	1,25
		Filtre Kağıdı Geçirgenlik Deneyi (l/m²s)	598,9	595,6	589,7	580,8
		Filtre Kağıdı Patlama Mukavemeti Deneyi (kPa)	226	206	205	203
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (max)	108,8	114,3	114,3	108,8
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (ortalama)	95,2	99,3	95,2	95,2
		Filtre Kağıdı Nem Tespiti Deneyi (%)	5,60	6,05	6,63	6,73
		Hava Filtresi Basınç Farkı Deneyi (mm/ss)	230	230	240	245
		Ortam Sıcaklık (°C)	20,9	20,5	20,1	18,1
		Ortam Nem (%)	50	57	50	43

Çizelge 4. SZC2 Sabit Şartlara Ait Test Sonuçlar

Kağıt Türü	Ortam	Yapılan Testler	0	24	48	144
SZC2	Sabit Ortam	Filtre Kağıdı Uzunluğu (mm)	444	444,5	444,6	444,65
		Filtre Kağıdı Gramaj Deneyi (g/m²)	1,22	1,221	1,221	1,222
		Filtre Kağıdı Geçirgenlik Deneyi (l/m²s)	598,9	599,2	603,2	614,6
		Filtre Kağıdı Patlama Mukavemeti Deneyi (kPa)	226	226	206	206
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (max)	108,8	114,3	114,3	114,3
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (ortalama)	95,2	95,2	99,3	99,3
		Filtre Kağıdı Nem Tespiti Deneyi (%)	5,60	5,84	5,94	5,95
		Hava Filtresi Basınç Farkı Deneyi (mm/ss)	230	230	230	230
		Ortam Sıcaklık (°C)	17,5	17,5	17,5	17,5
		Ortam Nem (%)	60	60	60	60

SZC3 kağıdının ambalajı açılıp, değişken sıcaklık ve nem şartlarına sahip ortamdaki uzunluk miktarının artışının da nem miktarı artışı ile doğru oranda olduğu tespit edilmiştir, fakat değişken ortamda bekletilen SZC1 ve SZC2 filtre kağıtlarına kıyas ile çok daha küçük değerlerde uzama gerçekleşmiştir. (Çizelge 5).

SZC3 kağıdının ambalajı açılıp, sabit sıcaklık ve nem şartlarına sahip ortamda bekletilen uzunluk miktarındaki artışı ise, incelenen tüm kağıtlar içerisindeki en küçük değere sahiptir.

Çizelge 5. SZC3 Değişken Şartlara Ait Test Sonuçları

Kağıt Türü	Ortam	Yapılan Testler	0	24	48	144
SZC3	Değişken Şartlar	Filtre Kağıdı Uzunluğu (mm)	199,9	200,2	200,5	200,8
		Filtre Kağıdı Gramaj Deneyi (g/m²)	1,20	1,21	1,22	1,23
		Filtre Kağıdı Geçirgenlik Deneyi (l/m²s)	654,8	666	660	650
		Filtre Kağıdı Patlama Mukavemeti Deneyi (kPa)	240	270	260	250
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (max)	108,8	107,1	106,8	106
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (ortalama)	95,2	95,7	96,1	96,4
		Filtre Kağıdı Nem Tespiti Deneyi (%)	5,24	6,08	6,36	6,75
		Hava Filtresi Basınç Farkı Deneyi (mm/ss)	150	150	150	150
		Ortam Sıcaklık (°C)	28,5	30,6	30,2	29,5
		Ortam Nem (%)	28	28	30	32

Çizelge 6. SZC3 Sabit Şartlara Ait Test Sonuçları

Kağıt Türü	Ortam	Yapılan Testler	0	24	48	144
SZC3	Sabit Şartlar	Filtre Kağıdı Uzunluğu (mm)	199,9	200	200	200
		Filtre Kağıdı Gramaj Deneyi (g/m²)	1,20	1,20	1,203	1,205
		Filtre Kağıdı Geçirgenlik Deneyi (l/m²s)	654,8	657,3	660,4	662,3
		Filtre Kağıdı Patlama Mukavemeti Deneyi (kPa)	240	245	245	240
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (max)	108,8	110,2	110,2	110,2
		Filtre Kağıdı Gözenek Çapı Deneyi (ortalama)	95,2	95,2	97,1	97,1
		Filtre Kağıdı Nem Tespiti Deneyi (%)	5,24	5,50	5,60	5,65
		Hava Filtresi Basınç Farkı Deneyi (mm/ss)	150	150	150	150
		Ortam Sıcaklık (°C)	17,5	17,5	17,5	17,5
		Ortam Nem (%)	60	60	60	60

Tüm parametre ve uygulama sonuçları arasındaki değerlendirmelerde; aşağıdaki çizelgede görüldüğü üzere uzama miktarı SZC2 DO>SZC1 DO>SZC3 DO>SZC2 SO>SZC1 SO>SZC3 SO şeklindedir. Optimum ortam şartlarının sağlanması gereken süzücünün; değişken şartlarda bekletilen ve en yüksek uzama miktarına sahip Xınjı Huarui Non-Woven Technology Co. Ltd. firmasından, temin edilen SZC2 olduğu tespit edildi (Çizelge 7).

Çizelge 7. Süzücü 1 (SZC1), Süzücü 2 (SZC2), Süzücü (SZC3) e ait değişken ve sabit ortam şartlarına ait toplam uzama miktarlarına ait sonuçlar

Kâğıt Türü	0	24 Saat	48 Saat	144 Saat	Toplam Uzama (mm)
SZC1 DO	408	408,2	408,8	409,5	1,5
SZC1 SO	408	408	408,1	408,2	0,2
SZC2 DO	444	445	446	446,5	2,5
SZC2 SO	444	444,5	444,6	444,65	0,65
SZC3 DO	199,94	200,2	200,5	200,8	0,86
SZC3 SO	199,94	200	200	200	0,06

4.SONUÇLAR

Hava filtresi üretiminde etkin bir role sahip olan kâğıdın; proses parametrelerine göre dizayn aşamasında doğru materyal seçimi ile belirlenmesi gereklidir. Çünkü otomobil motoruna alınan hava, filtre sayesinde zararlı parçacıklardan büyük oranda arındırılmaktadır. Böylece silindirler başta olmak üzere motorun işlevini sağlıklı bir biçimde yerine getirmesi için hayati değere sahip parçalar büyük oranda korunmaktadır. Motorun işlevine etkisi dışında, filtrenin imalat aşamasında yapılan süzücülerin kesimi esnasında oluşan fire oranın artması, filtre bitmiş ürün haline getirildikten sonraki aşamada iken süzücü-kapak birleştirilmesi esnasında boşluklar oluşabilmesi, otomobile montaj edilebilirliğin zorlaşması veya kağıdın S şeklini alması gibi görsel, fiziksel ve ömür dayanımını gibi ciddi etkileri söz konusudur. Bu uygunsuzlukların kaynağında ve yerinde kontrol altına alınabilmesi açısından ciddi önem arz etmektedir, çünkü kullanıcılar filtrenin, belirlenen ömrü boyunca aynı kalite ve performansı göstermesini beklemektedir.

Yapılan testler incelendiğinde; hava filtre kâğıtlarının karmaşık yapıya sahip malzemeler olduğu görülmüştür. Lifler arasındaki bağların ve dolgu maddelerinin kâğıdın genel yapısını oluşturduğu ve bu yapının hem ortam şartlarından hem de kendi içsel yapısından dolayı oldukça hassas olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile; kâğıtların yapısından kaynaklı ortamda bulunan nemi içerisine kabul etmesi, yani ıslak olan liflerin daha fazla uzadığı kanıtlanmıştır. Bu uzama miktarı değişken sıcaklık ve nem miktarına sahip ortam koşullarında

bekletilen SZC2 kâğıt numunelerinde daha yüksek oranda ve daha hızlı gerçekleşmektedir. Hava filtresi üreticilerinin beklentisi olan en az uzama miktarına sahip numunenin ise sabit ortam şartlarındaki Shıjıazhuang Chentaı Fılter Paper Co LTD. Firmasından temin edilen, SZC3 olduğu kanıtlanmıştır.

Kâğıt gramajlarına genel anlamda baktığımızda ise, bünyesine hapsettiği nem oranı arttıkça, gramajın doğru orantıda arttığı tespit edilmiştir. Optimum şartların sağlanmış olduğu sabit ortamda bekletilen filtre kağıtlarındaki uzunluk, nem miktarı ve gramaj miktarındaki minimum artışın ise diğer parametrelere (patlatma mukavemeti, geçirgenlik, gözenek çapı ve basınç farkı) tolerans aralığında etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Kâğıdın bulunduğu çevreden bu kadar fazla etkilenmesi, saklama koşullarına ciddi önem kazandırmaktadır ve ortam sıcaklığının 17,5 (°C) ortam nem oranının ise 60 (%) olduğu şartlarda saklanılması gerektiği kâğıdın bulunduğu ortam koşullarının hem kâğıt üreticileri, kâğıdı ham madde olarak kullanan ikincil üreticiler ve son kullanıcı içinde son derece dikkat edilmesi gereken bir unsur olduğu kanıtlanmıştır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

[1] Kaya, M. (2008). Motor Yağı Filtreleri, Testleri ve Değişim Süreçlerinin Araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

[2] Haslach Jr, HW (2000). The Moisture and Rate-Dependent Mechanical Properties of Paper: A Review. September, Mechanics of Time-Dependent Materials 4(3):169-210.

[3] ed. (1999). "13". Kağıt Yapımı Kimyası. Kağıt Yapımı Bilimi ve Teknolojisi. Cilt 4. Helsinki, Finlandiya: Fapet OY. s. 289–301. ISBN 952-5216-04-7.

[4] TUTAK, D. (2019). Farklı Kalınlık ve Gramajdaki Ambalaj Kartonlarının Neme Karşı Dayanım Parametrelerinin incelenmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 21(2), 369-376.

[5] TS 932, 2002, Hava filtre elemanları- İçten yanmalı motorlar ve kompresörler için

[6] ISO 4548-12, 2017, Methods of test for full-flow lubricating oil filters for internal combustion engines Part 12: Filtration efficiency using particle counting and contaminant retention capacity

[7] ISO 19438, 2023, Diesel fuel and petrol filters for internal combustion engines — Filtration efficiency using particle counting and contaminant retention capacity

[8] ISO 16889, 2022, Hidrolik sıvı gücü - Filtreler - Bir filtre elemanının filtreleme performansını değerlendirmek için çok geçişli yöntem

[9] JIS P 8117, 2009, Paper and board – Determination of air permeance and air resistance (medium range) – Gurley method

[10] TS EN ISO 2758, 2014, Kâğıt - Patlama dayanımı tayini

[11] ISO 2758,2014, Paper — Determination of bursting strength

[12] ISO 536,2019, Paper and board — Determination of grammage

[13] Özdemirden, H. (2019). Gözenekli ve süzen (filtre) kağıtların birleştirme yöntemlerine göre yapışma performansları (Master's thesis, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü).

[14] Tapanyiğit E.B., Özdemir M., Canımoğlu H. (2023) "Hava filtrelerinde kullanılan süzen kağıtlara form verme seçeneklerinin araştırılması ve toz tutma verimliliğinin incelenmesi*" 6. Uluslararası Mühendislik Bilimleri Ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi.*

[15] Tapanyiğit E.B., Özdemir M. (2023) ''Toz tutma kapasitesi dolmuş hava filtrelerinin tekrar kullanılabilirliğinin araştırılması'' *6. Uluslararası Mühendislik Bilimleri Ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi.*

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Otomotiv Tekstillerinde Kullanılan Doğal ve Geri Dönüştürülmüş Elyafların Akustik Performansa Etkisinin İncelenmesi

Nuray KIZIL[1]
Can BİLİR[2]

Abstract

This research aims to evaluate sound insulation and absorption capabilities to improve driving comfort in the automotive industry. Mixtures of recycled cotton, kapok and hemp fibers in certain proportions were tested. Sound absorption coefficients of the materials were measured using alpha cabin tests and the results were analyzed. Findings show that different material combinations affect sound insulation performance. This study aims to contribute to the identification of more effective and sustainable material options for the automotive industry.

Keywords: Kapok Fiber, Hemp Fiber, Felt Materials, Alpha Cabin Test

[1]TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., İstanbul Cad. No: 574, 16110, Türkiye, Bursa Orcıd: 0009-0000-6527-5986
[2] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., İstanbul Cad. No: 574, 16110, Türkiye, Bursa Orcıd:

ISBN: 978-625-372-170-1

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla ilerlemesi ve müşteri taleplerinin artması, otomotiv endüstrisinde sürüş konforuyla ilgili çalışmaları daha da önemli hale getirmektedir. Bu çalışmalarda, sürüş konforunu etkileyen temel faktörlerden biri olan akustik konfor büyük bir önem taşır. Araçların tasarım aşamalarından başlayarak, sürücülerin, yolcuların ve dışarıdaki kişilerin algıladığı rahatsız edici sesler ve titreşimler NVH (Noise, Vibration, Harshness) departmanları tarafından değerlendirilerek çözümler aranmaktadır[1].

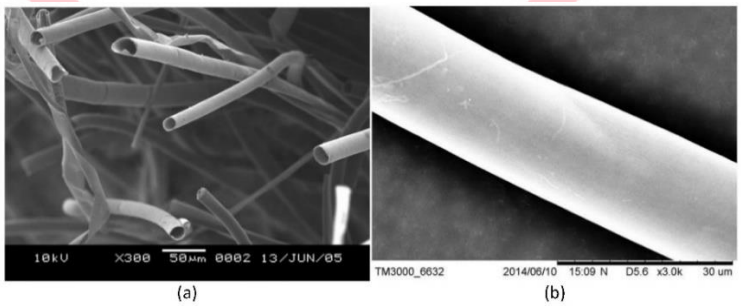
Özellikle motor ve güç aktarma organları, lastikler ve aerodinamik yapı gibi ses kaynaklarının neden olduğu gürültü ve titreşimlerin azaltılması büyük önem taşımaktadır[2]. Bu amaçla, özel olarak tasarlanmış parçaların kullanılması yaygın bir yöntemdir. Ancak, otomotiv endüstrisinde kullanılan izolasyon malzemelerinin yüksek akustik performansının yanı sıra çevre dostu, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir olmaları da önemlidir.

Bu nedenle, doğal ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımına olan talep giderek artmakta. Geri dönüştürülmüş tekstil elyaflarından üretilmiş keçe malzemeler, çeşitli parçalarda tercih edilmekte, örneğin; ön göğüs izolatörü, bagaj taban halısında kullanılabilmektedir. Tercih edilmelerindeki en önemli faktör ise otomotiv üreticilerine kullanım kolaylığı sağlayarak farklı yoğunluk ve kalınlıklarda üretilebilmeleridir.

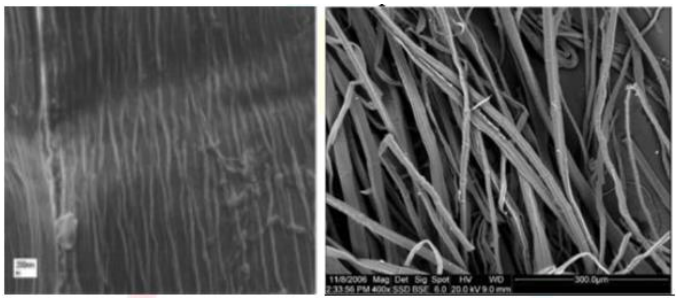
Araştırmalar, malzeme kalınlığının akustik özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini ve aynı şekilde hava akış direncinin de akustik özellikler üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, Zhu ve ekibinin çalışmaları[3], pamuk içeriği yüksek numunelerin daha iyi bir ses yutum özelliği gösterdiğini bulmuştur. Fakat pamuk liflerini doğal bir kaynak olarak korumak ve üretim sırasında kullanılan enerji/suyu azaltmak için, tüketim sonrası pamuk atıklarının da kullanımını desteklemek gerekmektedir.

Doğal liflerin gözenekli yapısı ve doğal olarak daha düzensiz yüzey dokusu nedeniyle ses dalgalarını daha iyi emebilmelerinden kaynaklı akustik özellikleri genellikle daha iyi olarak kabul edilir[4]. Örneğin kapok elyafı, doğal ve içi büyük boş yapısı sebebiyle yağ veya ses emici olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. [5]

Dong ve arkadaşları[6], yaptıkları çalışmada kapok lifinin morfolojik yapısını SEM görüntüleme ile incelemiştir ve dış çapı 20 μm olarak ölçülmüştür . Şekil 1'de görüldüğü gibi pamuk elyafından farklı olarak kapok elyafı, herhangi bir dalgalanma olmaksızın oldukça pürüzsüz bir yüzeye sahip silindirik içi boş lümen yapısı ile dikkat çekmiştir. Bu da yapılacak çalışmada etkili bir sonuç alınabileceğini desteklemektedir.



Şekil 11 Kapok lifinin SEM görüntüleri: (a) kesit ve (b) boyuna kesit[6]



Şekil 12 Kenevir lifinin SEM görüntüleri [9,10]

Öte yandan kenevir liflerinin enine kesiti, uzunluğu boyunca sabit olmayan düzensiz bir şekle ve çok katmanlı kalın hücre duvarlarına sahiptir [7]. Lifler 5 mm ila 100 mm arasında bir uzunluğa ulaşabilir ve keten liflerinden farklı olarak kenevir, 15-40 µm arasında değişebilen lif çaplarında büyük farklılıklar gösterir [8].

Berardi ve arkadaşları [9], doğal elyafların ses emilimi uygulamaları için akustik karakterizasyonunu incelemiştir. Şekil 2'de verilen SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntülerine ait 5 cm kalınlığındaki kenevir yüzeyine kunt tüpü ile ses emme katsayısı incelenmiş ve soğurma değerlerini 500 Hz'de 0,4'ün, 1000 Hz'de 0,75'in ve 2000 Hz'de 0,95'in üzerinde bulmuşlardır. Bu bağlamda çalışmamızdan elde edilecek sonuçlar için bir değer aralığı sağlamıştır.

Bu özellikleri nedeniyle, doğal lifler genellikle ses yalıtımı ve absorpsiyonunda tercih edilen bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Yapılacak çalışmada, doğal liflerin özelliklerinden yola çıkarak geri dönüştürülmüş pamuk lifine %20 oranında kenevir ve kapok lifi eklenecek ve alfa kabin cihazında gerçekleştirilecek testlerle her iki malzemenin akustik performansı detaylı bir şekilde incelenecektir.

Bu sayede, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan farklı lif bileşimlerine sahip keçe malzemelerin ses yalıtımı ve absorpsiyon yeteneklerini karşılaştırarak, daha etkili ve sürdürülebilir malzeme seçenekleri belirlenecektir. Bu yöntemlerin kullanılması, endüstride daha iyileştirilmiş ses yalıtımı ve absorpsiyon çözümlerinin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1.Materyal

Bu araştırma kapsamında, test numuneleri oluşturmak için geri dönüştürülmüş pamuk elyafının %50'si ile kapok ve kenevir elyaflarının her birinin %20'si, sırasıyla 1200 g/m² ve 1400 g/m² yoğunluklarda düşük erime sıcaklığına sahip polyester(PES) ile harmanlanarak test numuneleri oluşturulmuştur. İlgili numuneler, Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 3 Numune kalınlık ve yoğunlukları

Numune Bileşimi	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/m^2)	Numuneler
%50 Geri Dönüştürülmüş Pamuk, %20 Kenevir Elyafı, %30 düşük erimeye sahip PES	10 mm	1200 g/m2	H10-1
		1400 g/m2	H10-2
	25 mm	1200 g/m2	H25-1
		1400 g/m2	H25-2
%50 Geri Dönüştürülmüş Pamuk %20 Kapok Elyafı, %30 düşük erimeye sahip PES	10 mm	1200 g/m2	K10-1
		1400 g/m2	K10-2
	25 mm	1200 g/m2	K25-1
		1400 g/m2	K25-2

2.2. Yöntem

Otomotiv endüstrisinde ses yutma performansı sıklıkla "alfa kabin" ses yutma katsayısına göre değerlendirilir.

Alfa kabin testi, otomotiv endüstrisinde kullanılan keçe malzemelerin akustik performansını değerlendirmek amacıyla yapılmaktadır[11].Bu test, keçe malzemenin bir otomobilin içinde veya dışındaki ses seviyesini tam olarak ne kadar düşürdüğünü ve gürültüyü en aza indirmek için kullanılabilecek önlemlerin neler olduğunu belirlemek için gerçekleştirilir.

Alfa kabini[11], kapalı bir muhafaza, donanım, hareketli mikrofonlar ve çeşitli ses kaynaklarından oluşur. Asimetrik duvarlara sahip olan kabin, ses dalgalarının üst üste binmesini en aza indirerek doğru ölçümler alınmasını sağlar. Bu yöntemde, numuneler fikstüre yerleştirilir ve ses kaynakları aracılığıyla yayılan ses dalgaları mikrofonlar tarafından kaydedilir. Mikrofonların değişen konumlarıyla tekrarlanan test ve kayıt işlemi, ses yutma katsayısının oluşmasına izin verir. Gerekirse, ek mikrofonlarla birkaç kez deney tekrarlanabilir.

Ses yutma katsayısı yankılanma süresi aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenir:

$$T_{60} = 0{,}049\frac{V}{S\bar{\alpha}} \quad [12]$$

Bu denklemde T_{60}, kaynak tarafından yayılan sesin 60 dB'lik soğurulması için gereken süreye karşılık gelir. S çevredeki yüzeylerin toplam alanıdır. $\bar{\alpha}$ ses yutma katsayısının ortalamasıdır.

Enpedans tüp yerine alfa kabini kullanılmasının temel nedeni, alfa kabini testlerinin daha geniş bir frekans aralığında gerçekleştirilebilmesi ve daha hassas sonuçlar elde edilmesidir[13]. Alfa kabini, daha kapsamlı ve çeşitli testler için uygun bir ortam sağlar ve özellikle otomotiv endüstrisinde ses emilim özelliklerinin değerlendirilmesi için yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 13 Reverberation Test Kabini [14]

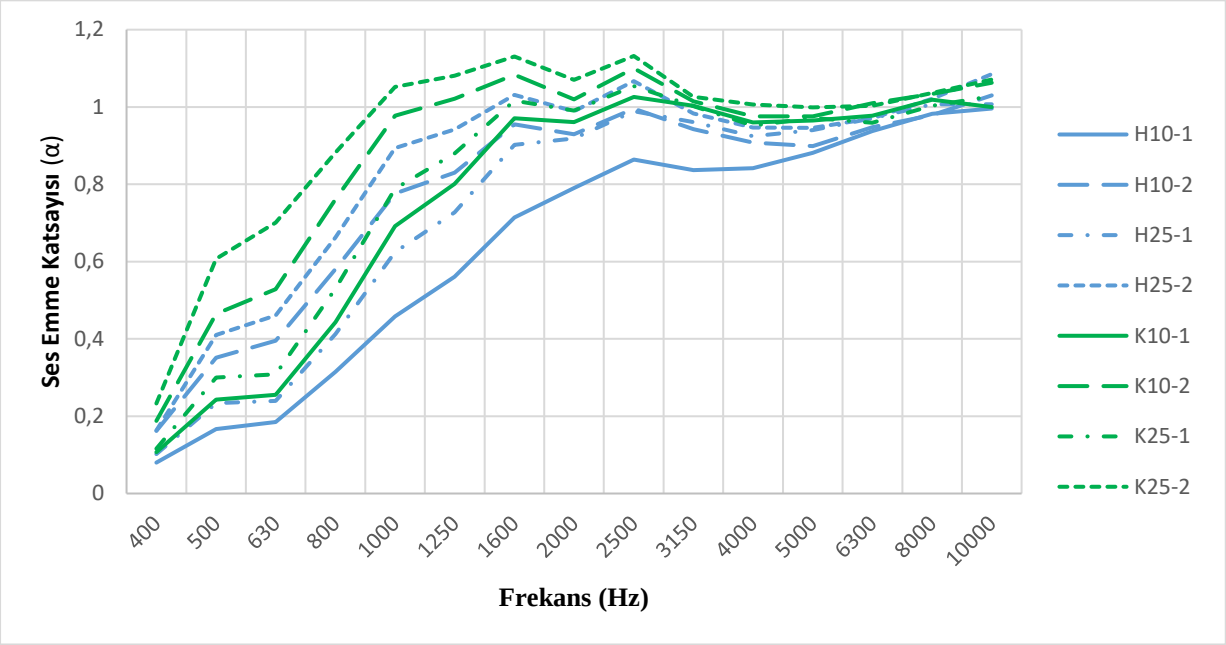
Şekil 3'te Tofaş akustik test laboratuarında kullanılan Autoneum marka 400-10000 Hz aralığında test ölçümü yapılabilen alfa kabini görülmektedir. Buna göre, malzemelerin ses yutma katsayıları ISO 354 test standartına göre alfa kabini kullanılarak ölçülmüştür[12].

3. BULGULAR Ve TARTIŞMA

Çalışılan her malzeme için alfa kabin testleri yapılmıştır ve ses kaynağı her 1/3 oktav merkez frekansında sesler yaymıştır. Ölçülen yankılanma süreleri, National Instruments NI-9233 yazılımı ile ses absorpsiyon katsayısı hesaplanmıştır ve alfa kabin testlerinin sonuçları Grafik 1'de verilmiştir.

Değerler incelendiğinde kapok lifi katkılı geri dönüştürülmüş pamuk keçesindeki 4 numuneyi incelediğimizde 2500Hz frekansta en iyi sonuçları elde ettiğimizi; 1000Hz frekansa çıkıldığında emme katsayısında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, 25 mm kalınlığa sahip olan keçelerde elde edilen kat sayıların (K25-1: 0,881 ve K25-2: 0,935) 10mm kalınlıktaki keçelerden daha yüksek olduğu, özellikle 1000Hz altındaki değerlerde bu farkın belirginleştiği söylenebilir.

Geri dönüştürülmüş pamuğun %20 kenevir katkılı keçe versiyonunda da kalınlık ve yoğunluğun etkin bir faktör olmasından kaynaklı en iyi ses emme değerlerine H25-1(25 mm kalınlık; 1200 g/m2 yoğunluk) ve H25-2(25 mm kalınlık; 1400 g/m2 yoğunluk) numunelerinde; sırasıyla 0,77 ve 0,83 olarak ulaşılmıştır. Kapok katkılı keçelerde 1200 Hz frekansta en iyi ses emme sonuçlarını alırken; kenevir katkılı keçelerde ise bu değer 10000Hz frekansta yakalanabilmiştir.



Grafik 1 Alpha Kabin ile Elde Edilen Ses Yutma Katsayıları (α) Grafiği

Frekans (Hz)	K10-1	K25-1	K10-2	K25-2	H10-1	H25-1	H10-2	H25-2
400	0,107	0,188	0,116	0,233	0,08	0,162	0,102	0,163
500	0,243	0,465	0,3	0,607	0,167	0,351	0,234	0,41
630	0,255	0,529	0,308	0,701	0,185	0,395	0,24	0,461
800	0,443	0,761	0,53	0,882	0,315	0,581	0,413	0,663
1000	0,692	0,977	0,789	1,052	0,458	0,776	0,625	0,894
1250	0,801	1,021	0,88	1,081	0,561	0,83	0,727	0,942
1600	0,971	1,083	1,016	1,131	0,714	0,955	0,902	1,031
2000	0,961	1,02	0,991	1,07	0,79	0,929	0,919	0,989
2500	**1,026**	**1,1**	**1,054**	**1,132**	0,864	0,996	0,989	1,067
3150	1,003	1,015	1,002	1,026	0,837	0,943	0,961	0,983
4000	0,96	0,976	0,952	1,006	0,842	0,908	0,924	0,947
5000	0,965	0,976	0,972	0,999	0,881	0,899	0,94	0,946
6300	0,977	1,01	0,959	1,003	0,938	0,948	0,971	0,971
8000	1,019	1,034	1,003	1,036	0,982	0,979	1,007	1,021
10000	1	1,063	1,028	1,071	**0,996**	**1,03**	**1,007**	**1,085**
$\bar{\alpha}$	**0,761**	**0,881**	**0,793**	**0,935**	**0,640**	**0,778**	**0,730**	**0,838**

Genel olarak, 1200g/m3 ve 1400g/m3 yoğunluğa sahip kapok ve kenevir lif içerikli keçeler arasında ses absorplama özelliği, genellikle 1400g/m3 yoğunluğa sahip keçelerde daha yüksek olarak bir sonuç ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni, daha yüksek yoğunluğa sahip keçenin daha fazla lif içermesi ve dolayısıyla daha fazla ses enerjisinin absorbe edilmesine olanak tanımasıdır. Yani, daha yoğun bir keçe, ses dalgalarının daha etkin bir şekilde emilmesini sağlar çünkü daha fazla lif, daha büyük bir yüzey alanı demektir ve bu da ses dalgalarının keçeye çarpması ve emilmesi için daha fazla fırsat sunar.

Sonuçlar değerlendirildiğinde yoğunluk artışının tüm harman çeşitlerinde ses yutum performansında iyileşme gösterdiği görülmüştür. Fakat, kapok elyaf içerikli keçe boşluklu yapısı ile diğer alternatiflere göre daha yüksek performans göstermiştir.

Sonuç olarak, 1400g/m3 yoğunluğa ve 25 mm kalınlığa sahip kapok lifi içerikli keçe(K25-2) en iyi ses absorplama özelliklerini sergilemiştir.

4. SONUÇLAR

Endüstriyel pamuk atıklarının geri dönüştürülerek kullanılabilir hale getirilmesi ve istenilen özellikleri desteklemek amacıyla diğer doğal liflerle karıştırılarak özelliklerinin incelenmesi üzerine yapılan bu çalışma, keçe performansını belirleyen faktörlerin karmaşıklığını vurgulamaktadır. Araştırma sonuçları, keçelerin akustik yalıtım performansını etkileyen ana parametrelerin alan yoğunluğu ve sıkıştırılmış keçe kalınlığı olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, malzeme seçimi ve tasarımı açısından otomotiv endüstrisindeki gelecekteki uygulamalar için önemli bir referans noktası sağlayacaktır.

Kapok lifi, doğal ve çevre dostu bir materyal olması nedeniyle otomotiv endüstrisinde kullanım potansiyeline sahiptir. Yapılan çalışma, kapok elyafın boşluklu yapısının, ses emiliminde önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu özelliği sayesinde, kapok lifi otomobil iç mekanlarında ses yalıtımını artırabilir ve sürücü konforunu iyileştirebilir. Ayrıca, kapok lifinin hafif yapısı, araçların ağırlığını azaltarak yakıt verimliliğini artırabilir ve çevresel etkiyi azaltabilir. Bu nedenle, kapok lifinin otomotiv endüstrisinde kullanımı, hem ses performansı hem de sürdürülebilirlik açısından önemli bir potansiyele sahip olarak görülmüştür.

TEŞEKKÜRLER

FIAT-Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.'ye, Ölçüm Merkezi Müdürlüğü'ne ve Şiteks Şişmanlar Tekstil San. ve Tic. A.Ş Firmasına teşekkür ederiz.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKLAR

[1] Chang, K. J., Rocha de Melo Filho, N. G., Van Belle, L., Claeys, C., & Desmet, W. (2019, September). A study on the application of locally resonant acoustic metamaterial for reducing a vehicle's engine noise. In INTER-NOISE and NOISE-CON congress and conference proceedings (Vol. 259, No. 9, pp. 102-113). Institute of Noise Control Engineering.

[2] Gelen M (2016) Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Akustik Malzemeler ve Malzeme Özelliklerinin Akustik Parametrelere Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi

[3] Zent,A., John, T.L., (2007) Automotive Sound Absorbing Material Survey Results. Noise and Vibration Conference and Exhibition, St Charles, Illionis May 15-17.

[4] Boyer, A., Casulli, J., Horak, J., Khan, H., & Berdine, M. D. (2007). ECoustics--Vehicle Sound Package Inspired by Environmental Design (No. 2007-01-2405). SAE Technical Paper.

[5] Ganesan, P.; Karthik, T. Development of acoustic nonwoven materials from kapok and milkweed fibres. J. Text. Inst. 2016, 107, 477–482.

[6] Dong, T., Xu, G., & Wang, F. (2015). Adsorption and adhesiveness of kapok fiber to different oils. Journal of Hazardous Materials, 296, 101-111.

[7] Kabir, MM; Wang, H.; Lau, KT; Cardona, F. Kompozitler için Takviye Olarak Kimyasal Olarak İşlenmiş Kenevir Liflerinin Çekme Özellikleri. Kompostolar. Bölüm B Müh. 2013 , 53 , 362–368.

[8] Marrot, L., Lefeuvre, A., Pontoire, B., Bourmaud, A., & Baley, C. (2013). Analysis of the hemp fiber mechanical properties and their scattering (Fedora 17). Industrial Crops and Products, 51, 317-327.

[9] Berardi, U., & Iannace, G. (2015). Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. Building and Environment, 94, 840-852.

[10] Arenas, J. P., & Crocker, M. J. (2010). Recent trends in porous sound-absorbing materials. Sound & vibration, 44(7), 12-18.

[11] del Rey, R., Alba, J., Bertó, L., & Gregori, A. (2017). Small-sized reverberation chamber for the measurement of sound absorption. Materiales De Construcción, 67(328), e139.

[12] Němeček, P. (2023). Sound Absorption Measurement: Alpha Cabin and Impedance Tube. In Denoising-New Insights. IntechOpen.

[13] Kierzkowski M., Law H., Cotterill J., Benefits of Reduced-size Reverberation Room Testing, Proceedings of ACOUSTICS 2017, Perth, Australia, 19-22 November, 2017.

[14] URL 1: Autoneum (2021), Alpha Cabin – Worldwide Standard for Absorbtion Measurements. https://www.autoneum.com/wp-content/uploads/2017/09/Alpha_Cabin_Flyer.pdf, 23.03.2021.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Obtaining Raw Material For Use in Biodiesel Production From Waste Animal Fats: First Step To Biodiesel

Cemre YILMAZ[1]

Abstract

In recent years, research into biodiesel, a fuel derived from animal and vegetable fats, has accelerated. This surge in interest stems from the pressing need to address global pollution and reduce exhaust emissions, a challenge that has driven the adoption of alternative fuels. Additionally, the continuous rise in petroleum prices has fueled the search for viable alternatives.The escalating energy demand and over-reliance on fossil fuels have triggered a cascade of environmental concerns, including pollution and resource depletion. Consequently, the transition towards sustainable alternative energy sources has become imperative. Biodiesel emerges as a frontrunner solution in this endeavor. Derived from animal and vegetable oils, biodiesel offers a renewable and sustainable fuel option, holding the potential to reduce fossil fuel dependency and mitigate environmental degradation.Animal waste fats, a substantial byproduct of the food processing industry, are typically disposed of through conventional methods, leading to environmental contamination. However, utilizing these waste fats as feedstock for biodiesel production presents a compelling opportunity to transform waste into a valuable resource. Nevertheless, animal waste fats harbor solid wastes and residues arising from process outputs and environmental conditions. Therefore, feedstock pretreatment is essential prior to biodiesel production. This pretreatment step entails the removal of solid wastes and residues from the animal waste fats, ensuring feedstock quality.The utilization of animal waste fats for biodiesel production represents a significant leap towards sustainability. This process transforms a waste product into a valuable energy source, simultaneously mitigating environmental pollution.

Keywords: Biodiesel, waste animal fat, pretreatment for biodesel, fat separation

[1] Yüksek Çevre Mühendisi, Konya Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Orcıd: 0000-0003-0643-6991

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtlara olan bağımlılık, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunlara çözüm bulmak için sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmek hayati önem taşımaktadır. Biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen bir biyoyakıt türü olarak bu alanda umut vadeden bir seçenek sunmaktadır.

Hayvansal yağdan biyodizel üretimi, transesterifikasyon adı verilen bir kimyasal işlemle gerçekleştirilebilmektedir. Bu işlemde, hayvansal yağlar metanol veya etanol gibi bir alkol ve bir katalizör ile karıştırılır. Katalizörün etkisiyle yağ molekülleri parçalanır ve metil esterler ve gliserol oluşur. Metil esterler biyodizeli oluştururken, gliserol yan ürün olarak elde edilir.

Hayvansal yağdan biyodizel üretmek için, yağın önce bazı kirleticilerden arındırılması gerekir. Bu işlem, ön arıtma olarak adlandırılır ve biyodizelin kalitesini ve üretimini önemli ölçüde etkileyebilir. Hayvansal yağdan biyodizel üretimi, sürdürülebilir enerjiye geçişte önemli bir rol oynayabilecek potansiyele sahiptir. Yenilenebilir olması, sera gazı emisyonlarını azaltması ve atık yönetimine katkıda bulunması gibi birçok avantajı bulunmaktadır.

Hayvansal yağların biyodizel üretiminde kullanılmadan önce ön arıtılması gerekir. Bu ön arıtımın bazı önemli faydaları; **kirleticilerin giderilmesi, yağ asidi bileşiminin düzeltilmesi, su içeriğinin düşürülmesi, asit düzeyinin düşürülmesi, renk ve koku giderimidir.**

Hayvansal yağlar, proteinler, mineraller ve diğer kirleticiler gibi çeşitli safsızlıklar içerebilir. Bu safsızlıklar, biyodizel üretimini zorlaştırabilir ve ürünün kalitesini düşürebilir. Ön arıtma işlemi sırasında bu kirleticiler yağdan uzaklaştırılır. Hayvansal yağlar, bitkisel yağlara göre daha yüksek bir doymuş yağ asidi içeriğine sahiptir. Yüksek doymuş yağ asidi içeriği de biyodizelin oksidasyonuna ve bozulmasına neden olabilir. Ön arıtma işlemi sırasında yağ asidi bileşimi ayarlanarak bu sorun önlenebilir. Hayvansal yağlar, belirli bir miktarda su içerebilir. Bu su, biyodizel üretimini zorlaştırabilir ve ürünün kalitesini düşürebilir. Ön arıtma işlemi sırasında su yağdan uzaklaştırılır. Hayvansal yağlar, serbest yağ asitleri içerebilir. Bu serbest yağ asitleri, biyodizel üretimini zorlaştırabilir ve ürünün kalitesini düşürebilir. Ön arıtma işlemi sırasında serbest yağ asitleri yağdan uzaklaştırılır veya nötralize edilir. Hayvansal yağlar, istenmeyen renk ve kokulara sahip olabilir. Ön arıtma işlemi sırasında bu renk ve kokular yağdan uzaklaştırılır. Hayvansal yağların biyodizel üretiminde kullanılmadan önce ön arıtılması, bu yağların potansiyelini tam olarak gerçekleştirmelerini sağlar. Ön arıtma işlemi sayesinde, hayvansal yağlar daha yüksek kalitede ve daha istikrarlı biyodizel üretiminde kullanılabilir.

Ancak, ham madde temini, arazi kullanımı ve maliyet gibi bazı potansiyel zorluklar da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için araştırma ve geliştirmeye yatırım yapmak ve sürdürülebilir üretim uygulamalarını teşvik etmek önemlidir.

YÖNTEM

Biyokütle organik maddelerden oluşmaktadır ve enerji üretmekten daha fazlası için kullanılabilmektedir. Biyokütleden uygun teknikler uygulanarak katı, sıvı ve gaz yakıt elde edilebilmektedir. Elde edilebilen biyoyakıtların haricinde hidrojen ve gübre gibi verimli yan ürünler elde edilebilmektedir (Şen, 2012).

Biyokütlenin oksijen ile gerçekleştirdiği reaksiyon sonucunda ısı açığa çıktığı için 'biyoyakıt' olarak da tanımlanabilmektedir. Biyokütlenin çürümesi sonucu normal çevre

sıcaklıklarında temel elementler ve ısı açığa çıkar. Açığa çıkan enerji yenilenebilir enerji kaynağı olup çevre kirliliği oluşturmamaktadır (Koç, 2011).

Dizel motorun tarım ve karayolu taşıtlarında, elektrik jeneratörlerinde kullanılmasının artmasıyla birlikte yakıt tüketimide artmaktadır. Bununla birlikte artan emisyonların azaltılması için alternatif teknoloji ve yakıt kullanımı zorunlu kılınmaktadır. Dizel motorlarda partikül filtresi ve katalitik konvertör kullanımı azot oksit (NO_x) ve partikül maddeyi (PM) azaltmasının yanısıra motorun performansını ve yakıtın ekonomik durumunu negatif yönde etkilemektedir. Dizel motorun emisyonunu azaltıp performansını arttırmanın bir yolu ise gıda olarak tüketilme durumu olmayan yağlardan elde edilen biyodizelin kullanımıdır (Murugesan et al., 2009). Ağır yük taşıma ve toplu taşıma vasıtalarında dizel motorlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple dizel motorların neden olduğu emisyonların azaltılması oldukça önemlidir (Haşimoğlu et al., 2002)

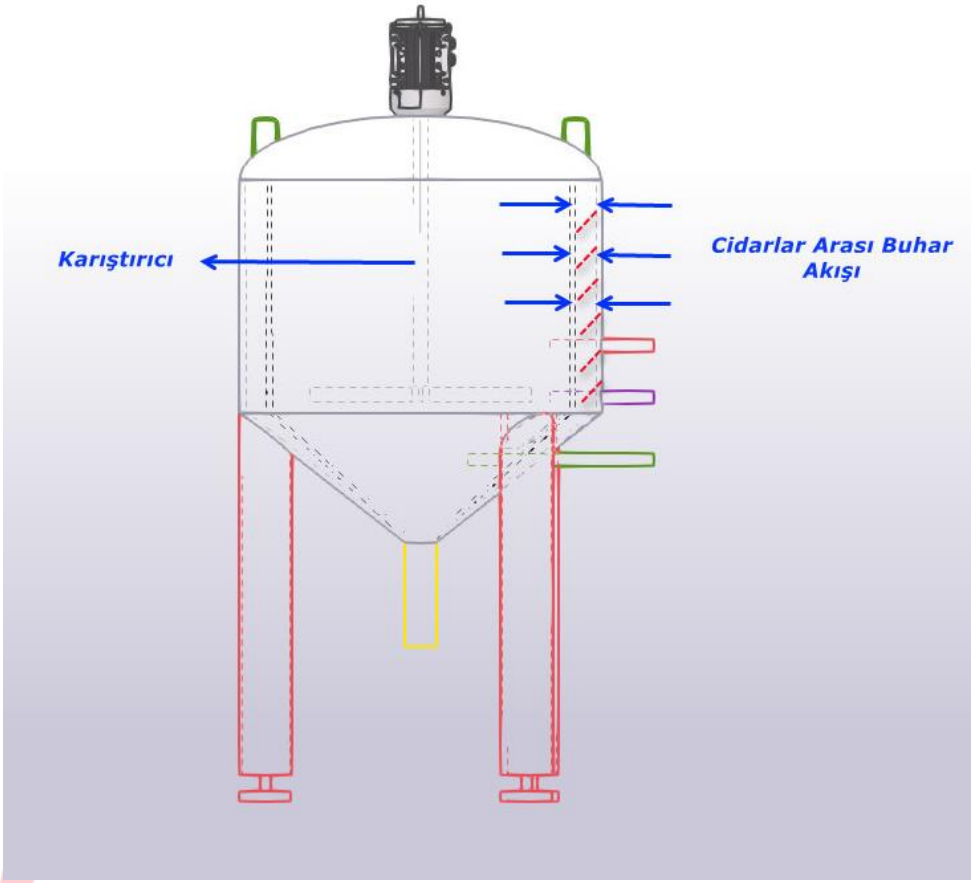
Petrol kaynaklı dizelin alternif yakıtı olan biyodizel, yağların alkol ve katalizör ile reaksiyona sokulmasıyla elde edilir. Elde edilen biyodizel fiziksel ve kimyasal özellikleri ile dizel yakıtlara benzemektedir. Dizel motorlarda, biyodizel direkt olarak kullanılabiliceği gibi dizel yakıt ile karışım yapılarakta kullanılabilmektedir. Saf biyodizel B100 iken, B20 %80 dizel %20 biyodizel karışımını göstermektedir (Alptekin, 2013).

Uzun zincirli yağ asitlerinden oluşan mono-alkil esterler sıvı veya katı yağlardan elde edilerek biyodizeli oluşturur. Biyodizel eldesinde bitkisel yağın kullanılması maliyetli olduğu için alternatif olan hayvansal yağların kullanımı yapılmaktadır (Toldrá-Reig et al., 2020).

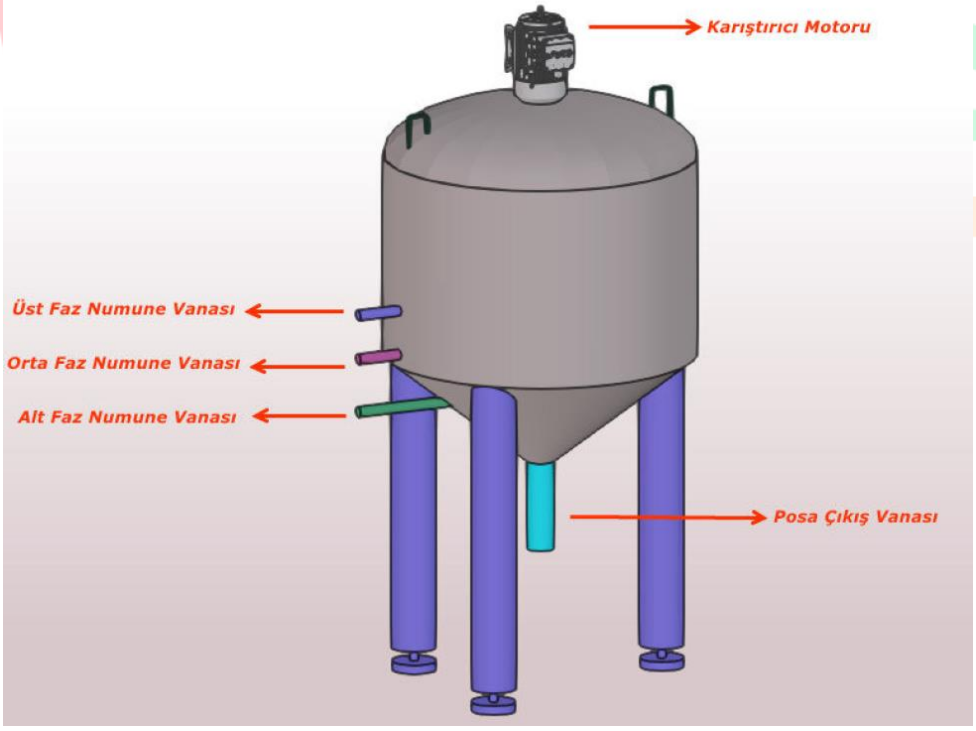
Hayvansal atık yağ, **mezbahalar, restoranlar ve gıda işletmeleri gibi kaynaklardan elde edilen yağlardır.** Bu yağlar, genellikle kızartma, pişirme ve diğer gıda hazırlama işlemlerinden sonra geriye kalan yağlardır. Hayvansal atık yağlar, **katı veya sıvı** olabilir. Renkleri genellikle **beyazdan sarıya** kadar değişir. Hayvansal atık yağların bileşimi, kaynağına bağlı olarak değişebilir. Ancak, genel olarak **doymuş yağ asitleri açısından yüksek** ve **tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri açısından düşük** olma eğilimindedirler.

Yapılan çalışmada et ürünleri üretimi prosesinden çıkan hayvansal atık yağdan biyodizel eldesi öncesi ön işlem uygulanmıştır.

Hayvansal atık yağın içeriğinde bulunan posa, katı madde ve suyu ayırmak için reaktör tasarlanmıştır. Reaktör tasarımında erime sıcaklığı takibi için termometre, karışımın sağlanamabilmesi için karıştırıcı ve karıştırıcının çalışabilmesi için motor, posanın daha verimli çökebilmesi reaktör alt kısmına huni, ayrışımın takibi için numune alma vanaları ve buhar seperatörü kullanılmıştır. Reaktör tasarımı Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Ekipman kesit



Şekil 2. Üç boyut

Hayvansal atık yağ numunesi reaktöre alındıktan sonra buhar hattı açılarak ısıtılmaya ve numune yumuşamaya başladıktan sonra motor çalıştırılarak karıştırıcı devreye alınmıştır. Her bir deneme için aynı adımlar izlenmiştir.

Numunelerin, reaktör sıcaklığı 40 ºC, 60 ºC, 80 ºC ve 100 ºC sıcaklıklarda ayrı ayrı faz ayrımları gözlemlenmiştir. Faz ayrımlarının gözlemi için üç adet numune alım musluğundan numuneler behere alınmıştır.

Numune alım musluğundan alınan numuneler santrifüje alınarak faz ayrımlarına bakılmıştır. Alt, orta ve üst vanalardan alınan numunelerin faz ayrımları Şekil 3.'te verilmiştir.



Şekil 3. Faz ayrımları

80 ºC ve 100 ºC 'de reaktörün alt ve orta musluğundan alınan numunede çökmenin gerçekleştiği, üst musluktan alınan numunede ise tek faz elde edildiği tespit edilmiştir. Bu iki sıcaklıkta üst musluktan alınan numunelerden hammadde olarak kullanılacak tek faz elde edilmiştir. Böylelikle hayvansal atık yağ içerisinde ki posa, katı madde ve su arındırılmış, biyodizel için hammadde elde edilmiştir.

SONUÇ

Prosesten çıkan hayvansal atık yağın içerisinde bulunan posa ve suyun ayrıştırılarak biyodizel üretimi için daha temiz ve verimli hammadde elde edilmiştir.

Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi, sürdürülebilirlik, çevre dostu olması ve ekonomik açıdan faydalı olması bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu alandaki çalışmaların artması ve yatırımların teşvik edilmesi ile birlikte, hayvansal atık yağların biyodizel üretiminde önemli bir hammadde kaynağı haline gelmesi ve fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı azaltmada önemli bir rol oynaması mümkündür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca verdiği destek ve yardımlarından dolayı Sayın Kadıoğlu ÇETİN'e minnettarım.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Alptekin, E. (2013). Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve bir dizel motorda kullanımının incelenmesi.

Haşimoğlu, C., UR, Y. I. C. I. N. G., & OGUT, H. (2002). Dizel motorlarında egzoz gazları resirkülasyonunun (EGR) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. Turkish J. Eng. Env. Sci, 26, 127–135.

Koç, M. (2011). Biyodizel üretimine uygun Türkiyede yetişen ve yetişebilecek bitkilerin ve biyodizel teknolojilerinin belirlenmesi.

Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R., & Nedunchezhian, N. (2009). Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines—a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(3), 653–662.

Şen, S. (2012). Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Toldrá-Reig, F., Mora, L., & Toldrá, F. (2020). Trends in biodiesel production from animal fat waste. Applied Sciences, 10(10), 3644.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Küresel Okyanus Sularının Asitlenmesinin Kabuklu Deniz Canlılarına Etkisi

Dilay TUNOĞLU[1]
Şirin DEMİRCAN YILDIZ[2]

Özet

Bu araştırmadaki amaç atmosferik CO2 gazının son yüzyıllarda insan faaliyetlerinden dolayı artış göstermesi ve bu nedenle okyanus suyundaki pH değerlerinin düşmesi (yani okyanus suyunun asitlenmesi) ile omurgasız okyanus canlıları grubundan olan Pteropodların (Deniz kelebeği) kabuk yapısına benzer kabuk yapısına sahip salyangoz kabuklarının bu durumdan nasıl ve ne kadar etkilendiğini araştırmaktır. İlk olarak günümüz okyanus sularının pH değeri (8,1) ve 2100 yılında tahmin edilen pH değeri (7,6) ele alınarak iki farklı deney düzeneği hazırlanmıştır. Her iki deney kabına da farklı boyutlarda ikişer salyangoz kabuğu yerleştirilmiştir. Deney düzeneklerinin içindeki salyangoz kabuklarında 35 gün içerisinde meydana gelen kütle değişimleri, kabuktaki aşınmalar ve ışık geçirgenliğindeki değişimler incelenmiştir. Hazırlanan deney için üç tekrar yapılmıştır. Üç tekrarın da sonuçları benzerlik göstermiştir. Bu araştırmanın sonucunda okyanus suyundaki pH değer değişikliğinin omurgasız deniz canlı grubundan Pteropodlarla aynı kabuk yapısına sahip salyangoz kabuklarında hasar, kütle kaybı ve incelme meydana getirdiği tespit edilmiştir. Günümüz okyanus sularının pH seviyesi ile 2100 yılında tahmin edilen pH seviyesinin kabuklu deniz canlılarını nasıl etkileyeceği araştırılarak karşılaştırılmıştır. Araştırmada elde edilen bulgulara göre okyanus asidifikasyonunun pteropod canlılarının kabuk yapısına zarar vereceği ve pteropod canlılarının yaşamsal faaliyetlerinde tehlike oluşturabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Okyanus Asidifikasyonu, Küresel Isınma, Pteropod

[1]Öğrenci ,Etimesgut Bilim ve Sanat Merkezi, Kimya, Orcıd: 0009-0000-3923-9156
[2] Uzman Öğretmen, Etimesgut Bilim ve Sanat Merkezi, Kimya, Orcıd:0009-0000-4518-5975

ISBN: 978-625-372-170-1

Giriş

İklimler sürekli değişim içindedirler. Değişimin çok yavaş gerçekleşmesi canlıların bu değişime belli ölçülerde uyum sağlamasına sebep olmaktadır. Ancak sanayi inkılabının başlamasıyla insan faaliyetlerinin artması, bilinçsiz fosil yakıt kullanımı ve artan sera gazı emisyonları, dünya atmosferinin dengesinin bozulmasına neden olmaktadır (TMMOB, 2008). Dünya'nın ¾ 'ü sudan oluşmaktadır. Bunun %70 gibi büyük bir bölümünü Pasifik, Atlantik, Hint, Güney ve Arktik Okyanusları oluşturmaktadır. Denizler, su kaynaklarını ve birçok farklı popülasyonu içinde barındırmaktadır ve bu canlı popülasyonları besin zincirinde önemli bir yerdedir(Taner, 2015).

Okyanus asidifikasyonu (asitleşmesi), atmosferde bulunan karbondioksitin çok uzun zaman zarfında okyanus suyunda çözünmesiyle ortaya çıkan bir durumdur (Atar, Kızılgök, 2018). Okyanus suları atmosferde bulunan karbondioksitin (CO2) %30'unu emer ve atmosferdeki karbondioksit (CO2) arttıkça okyanus sularının bünyesine aldığı karbondioksit (CO2) miktarı da artar. Deniz suyu tarafından emilen karbondioksit (CO2) kimyasal bir tepkime sonucu karbonik asite (H2CO3) dönüşür ve bu durum da deniz suyunun pH'ının düşmesine sebep olur yani okyanus suyunu asitleştirir. Aslında, okyanus asidifikasyonu olarak adlandırılan bu döngü küresel karbon döngüsünün bir parçasıdır. Küresel karbon dengesinden etkilenecek olan sucul organizmaların primer üretimdeki önemleri düşünüldüğünde, okyanusta hızlı bir şekilde artan karbondioksit miktarı, dünyadaki tüm canlıları doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyeceği açıkça görülmektedir (Atar,Kızılgök, 2018). Küresel ısınma süreci ile yerküredeki tüm su ortamları bu ısınmaya tepki vermekte ve değişen fizikokimyasal özelliklerle sucul ekosistemlerin yaşam koşullarını etkileyen birçok sonuç doğuracağı düşünülmektedir (Atar, Kızılgök, 2018).

Okyanuslar, atmosferdeki karbondioksitin büyük oranda emilimini sağlayaraksu ile bir araya gelerek karbonik asite dönüşür ve deniz suyunun pH'ının azalmasına neden olur. Bu olay "Okyanus asidifikasyonu" veya kısaca "OA" olarak adlandırılır. Antropojenik ve doğal yollarla meydana gelen karbondioksit (CO2) artışı okyanuslardaki küresel karbon döngüsünün değişmesine neden olur (Tudav, ty). İnsan kaynaklı atmosferik karbondioksit (CO2) salınımına bağlı olarak meydana gelen iklim değişikliği bilim insanları tarafından kabul edilmektedir. 2000'li yılların başından beri küresel çapta iklim değişikliği ile ilgili yapılan çalışmalarda artış olduğu gözlenmektedir (Sezer, 2019).

> "Günümüzde yılda 6 milyar ton karbon elementi, yanma sonucu oluşan karbondioksit (CO2) şeklinde atmosfere ulaşmaktadır. Bu miktarın yarısının atmosferde kalarak yılda 1 ppm karbondioksit (CO2) artışına neden olduğu, diğer yarısının %40'lık kısmının ise denizlere ulaşarak burada çözünmüş halde depolandığı bilinmektedir. Geriye kalan %10'luk karbondioksit (CO2) miktarının ise kara ve deniz bitkileri tarafından asimile edildiği ve bu yolla yeniden biyojeokimyasal döngüye girdiği tespit edilmiştir. Denizlerde bulunan karbondioksitinin toplam miktarı atmosferde bulunan karbondioksit (CO2) miktarının elli katıdır" (S.Kaymakçı&İzgören, 2001).

Okyanuslar atmosferdeki sera gazlarının dörtte birinden fazlasını soğurur ve karbondioksit çok güçlü bir sera gazıdır. Karbondioksit denizlerde çözünerek karbonik aside dönüşür ve bu da denizlerdeki asitlik seviyesini arttırır (IPCC, 2006). Karbon döngüsü sırasında fosil yakıtların fazlaca yakılması sonucunda atmosferde biriken sera gazları, sera etkisine ve dünyanın aşırı ısınmasına neden olurken, bunun sonucunda oluşabilecek fazla

buharlaşma su döngüsünü olumsuz yönde etkileyebilir ve bazı bölgelerde kuraklık tehlikesi ortaya çıkabilir (IPCC,2006). Günümüzde okyanus asitlenmesinin birincil nedeni, fosil yakıtların yakılmasıyla atmosfere karbondioksit salınımıdır. Diğer ilave nedenleri arasında ise kıyı kirliliği ve derin deniz metan sızıntıları yer almaktadır (IPCC, 2006).

Geçmişte, havada artan karbondioksit miktarını azalttığı için okyanus sularının karbondioksiti emerek bünyesinde barındırmasının olumlu olduğu düşünülüyordu fakat günümüzde yapılan yeni araştırmalar bu değişimin okyanuslarda yaşayan canlı popülasyonlarını olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir (Okatan, 2020). Okyanus sularının pH'ının azalması (asitlik derecesinin artması) okyanuslarda yaşayan birçok canlı grubunu olumsuz etkileyebilmektedir. Bu değişimden en çok etkilenen canlılar arasında mercan resifleri, kabuklu deniz canlıları, zooplanktonlar (deniz kuşlarına, balıklara ve balina gibi deniz memelilerine besin sağlayan mikroskobik canlılar) yer almaktadır. Okyanuslarda yaşayan midye, istiridye, deniz tarağı ve salyangoz gibi çoğu kabuklu deniz canlısının kabuğu kalsiyum karbonattan oluşmaktadır. Deniz suyunun pH'ının azalmasıyla birlikte birçok deniz canlısı türünün temel yapı taşı olan kalsiyum karbonatın ($CaCO_3$) çözünmesine sebep olur (Okatan, 2020).

> Emisyon Senaryoları Raporu'ndaki Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (SRES:Special Report on EmissionsScenarios), nüfus ve ekonomik büyüme, teknoloji geliştirme oranları ve toplumsal tutumlara dayanan 2100 yılına kadar fosil yakıt karbondioksit (CO_2) emisyonu öngören senaryoları ana hatlarıyla ortaya koymuştur. Okyanus yüzeyi suyu ortalama pH değerinin 2100 yılı projeksiyonuna göre 0,3-0,5 pH birim arasında azalması beklenmektedir (IPCC, 2007).

Sulu bir çözeltideki H^+ iyonu konsatrasyonunu ifade eden pH ölçeği logaritmik olduğundan ($pH = -\log[H^+]$), bir pH skalasındaki bir birimlik değişiklik, hidrojen iyonu konsantrasyonunda on katlık bir değişikliğe karşılık gelmektedir (Noaa, ty.). Birçok organizma, pH'daki görünüşte küçük değişikliklere karşı çok hassastır. Örneğin, insan kan pH'ında 0,1 pH birimlik bir düşüş, nöbetler, kalp aritmileri ve hatta koma dahil olmak üzere oldukça ciddi sağlık sonuçlarına yol açabilmektedir. Benzer şekilde, birçok deniz organizması, deniz ortamındaki asitlikteki değişimin doğrudan veya dolaylı etkilerine karşı hassastır (Noaa, ty.).

Pteropod(deniz kelebeği) canlısı kabuklu bir deniz hayvanıdır ve somon balıklarından balinalara kadar çoğu hayvanın besin kaynağıdır (İklimBu, ty). Deniz kelebekleri olarak da bilinen pteropodlar, açık deniz yaşamına adapte olmuş deniz gastropodlarıdır. Pteropodlar yalnızca denizde yaşar ve genellikle açık okyanusta yaşar, en üst katmandaki 500 m'de yüzer. Ancak bazı türlerin çok derinlerde yaşadığı bilinmektedir (Herman Y, 1998). Pteropod popülasyonu besin zincirinde de önemli bir konuma sahiptir. Pteropodu 2100 yılı için tahmin edilen asiditede bir suyun içine koyduğumuzda kabuğun çözünmeye başlayacağı ve belirli bir süre sonra kabuktaki çözünmeden dolayı canlı yaşamının sona ereceği düşünülmektedir.

Atar ve Kızılgök (2018), yaptıkları çalışmada küresel ısınmanın balıkçılığa etkisini araştırmış ve sonuç olarak iklimsel anomalilerden etkilenecek olan balık popülasyonlarında önemli değişiklikler meydana geleceği ve balıkların daha elverişli alanlara göç etme durumlarının gerçekleşeceği beklenmektedir. Ayrıca suda oksijen yetersizliğine yol açtığı tespit edilmiştir.

Taner (2015) yaptığı çalışmasında Küresel okyanus sularının asitlenmesi sonucu deniz ürünleri çeşitliliği azalmasının önlenmesi başlıklı araştırmasında deniz ürünlerinin bu asitlenmeden minimum düzeyde etkilenmesi için yapılan uygulamalardan bahsetmiş ve bazı eksik ve meçhul yanlarını belirtmiştir. Bu problemlerin engellenemeyecek hale gelmeden önce okyanuslar ve denizlerle ilgili önlemlerin acilen alınması gerektiğini belirtmiştir.

Sunlu ve ark. (2001), yaptıkları araştırmada tüm canlıların temelini oluşturan karbonun denizsel ortamlardaki dinamiğini açıklamıştır. Araştırma sonucunda karbondioksit (CO_2) artışı sonucunda iklim değişiklikleri yaşanacağını ve bu değişikliklerle beraber tatlısu kaynaklarının

tuzlanması, deniz sularının yükselmesi ve suların ısınmasına bu da deniz canlılarının yaşam koşullarına uygun yerlere göç etmek zorunda kalacağını belirtmiştir.

Sağlam ve ark. (2008), yaptıkları araştırmada yeryüzündeki yaşamı tehdit eden küresel ısınma ve iklim değişikliği ile bu olayların etkileri ele almıştır. Son 100 yıl içerisinde yer yüzünde sıcaklığın 0.7-0.8 °C civarında arttığı tespit etmiştir. Bu da, zaten azalan buzulların giderek daha da azalmasına, denizlerin su seviyelerinde yükselmelere, ormanlarda azalmaya, çölleşmeye, düzensiz yağışlara, sel baskınlarına, kasırgalar gibi doğal afetlerde artışlara neden olduğunu tespit etmiştir. Denizlerimizde yaşayan balık türlerinde de önemli değişikliklerin olması beklenmekte ve bazı balık türleri, kendileri için daha uygun yaşam alanı oluşturan denizlere göç etmek zorunda kalacaklarını belirtmiştir.

Narin Sezer, okyanus asitlenmesinin deniz omurgasızlarında Radyonüklid biyobirikimine etkileri isimli 2019 doktora tezinde okyanus asitlenmesinin deniz suyunda metallerin termodinamiği ve kinetiği üzerinde etkili olacağını belirtmektedir. Bunun sonucunda da çözünmüş haldeki metallerin besinlere ve sedimente tutunması, metallerin deniz organizmalarında bulunabilirliğini ve toksisitesini etkileyebileceği sonuçlarına varmıştır.

Küresel sorunlardan olan hava kirliliğinin su ve toprak üzerinde de etkileri olduğu bilinen gerçeklerden biridir. Okyanus sularının asitlenmesi de havadaki karbondioksit kaynaklıdır.

Bu konuda günümüzdeki deniz suyu ve pH değerlerinde yapılan çalışmalara ek olarak gelecekteki pH değerlerinin ve günümüz pH değerinin ele alındığı güncel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Asidifikasyonun tüm canlılar üzerinde göstereceği yan etkilerin belirlenebileceği ve bu çalışmalar neticesinde durumun ciddiyetinin öne çıkarılması adına çalışmalar yapılması gerekmektedir. Okyanus asidifikasyonundan etkilenen her bir canlının besin zinciri içerisindeki yeri düşünüldüğünde, besin zincirinin bozulması ve bu besin zincirindeki diğer canlıların da olumsuz etkilenmesinin problem olarak karşımıza çıkacağı düşünülmektedir.

Bu kapsamda“Okyanus asidifikasyonunun omurgasız deniz canlısı pteropod (deniz kelebeği) üzerindeki etkileri pteropod’la benzer kabuk yapısına sahip kara salyangozu kabukları kullanılarak belirlenebilir.” hipotezi ile gerçekleştirilen bu araştırmanın alana katkısı olacağı düşünülmektedir.

Amaç

Bilinçli ya da bilinçsiz olarak çevrenin tahrip edilmesi sonucu ekolojik denge bozulmaktadır. Bu durum tüm dünyayı tehdit eden bir unsurdur. Gökçe (2007) nüfus artışı ile birlikte gelişen plansız kentleşme ve sanayileşmenin; giderek boyutları büyüyen hava, su, toprak, gürültü kirliliği, erozyon ve çölleşme gibi çok sayıda çevre sorununa yol açtığını ve böylelikle doğal dengenin bozulduğunu ifade etmektedir.

Hava kirliliği ve küresel ısınmanın sonuçlarından bir tanesi okyanus asidifikasyonudur. Okyanusların milyonlarca yıldır oldukça istikrarlı olan ortalama yüzey asiditesi, son 150 yılda yaklaşık yüzde 26 oranında artış göstermiştir. Laboratoired'Océanographie de Villefranche, CNRS ve Sorbonne Üniversitesinin Araştırma Direktörü Dr. Jean-Pierre Gattuso, 1950’lere kadar çok yavaş seyreden asitlenme oranının sonradan hız kazandığına dikkat çekerek, “Asitlenmenin ana nedeni insan faaliyetleriyle oluşan karbon emisyonları olduğu için, gelecek projeksiyonları bunların seviyesine bağlı. Hiçbir şey olmamış gibi devam edilirse, okyanus asitlenmesi 2100’e kadar bir yüzde 150 daha artar” demiştir(Euronews, 2022).

Bu araştırmanın genel amacı karbon döngüsü sırasında fosil yakıtların fazla kullanımından kaynaklı atmosferde biriken sera gazlarının dünya üzerinde aşırı ısınmasına sebep olması sonucunda iklim değişikliğinin önemli bir göstergesi olan okyanus asidifikasyonunun günümüzden geleceğe değişimlerini ve okyanus canlıları üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

Ayrıca okyanus asidifikasyonundan olumsuz yönde etkileneceği düşünülen omurgasız canlılardan biri olan pteropodlarla (deniz kelebekleri) aynı kabuk yapısına sahip salyangoz

kabukları kullanılarak okyanus asitliğindeki değişimin kabuk üzerindeki etkisini tespit etmek amaçlanmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda aşağıdaki sorulara cevap bulunmaya çalışılmıştır.

1) Okyanus asidifikasyonundan etkilenen omurgasız deniz canlıları arasında bulunan pteropodlar (deniz kelebeği) ile aynı kabuk yapısına sahip salyangoz kabukları okyanus asidifikasyonundan nasıl ve ne kadar etkilenir?

a) Yapılan deneylerde pteropod kabuğuyla aynı yapıda olan salyangoz kabuklarında incelme meydana gelmiş midir?

b) Yapılan deneylerde pteropodkabuğuyla aynı yapıda olan salyangoz kabuklarının kütlesinde değişim meydana gelmiş midir?

c) Yapılan deneylerde pteropodkabuğuyla aynı yapıda olan salyangoz kabuklarında zedelenme olmuş mudur?

2) Yapılan deneyler sonucunda pteropod kabuğuyla aynı yapıda olan salyangoz kabuklarında meydana gelen değişiklikler, bulundukları kaptaki suyun pH değeri ile orantılı mıdır?

İlgili alanyazında okyanus asidifikasyonunun kabuklu deniz canlılarından olan pteropod canlısının kabuk yapısında meydana getireceği etkileri, pteropodla benzer kabuk yapısına sahip salyangoz kabuğu kullanılarak belirlenen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Okyanus asidifikasyonunun etkilerinin doğrudan gözlemlenmesinin sağlandığı bu çalışmayla alana özgün bir katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmadan elde edilecek bulguların benzer konuda çalışma yapacak kişilere de yol göstereceği söylenebilir.

Sayıltı- Varsayım

Köseoğlu (2020) ve Okatan (2020) yaptıkları çalışmada salyangoz ve denizde yaşayan kabuklu canlıların kabuk yapılarının benzer olduğunu ve kalsiyum karbonattan oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu bilgiden yola çıkılarak bu çalışmada okyanus asidifikasyonuna maruz bırakılan salyangozun okyanusta yaşayan pteropod (deniz kelebeği) olduğu varsayılmıştır.

Yöntem

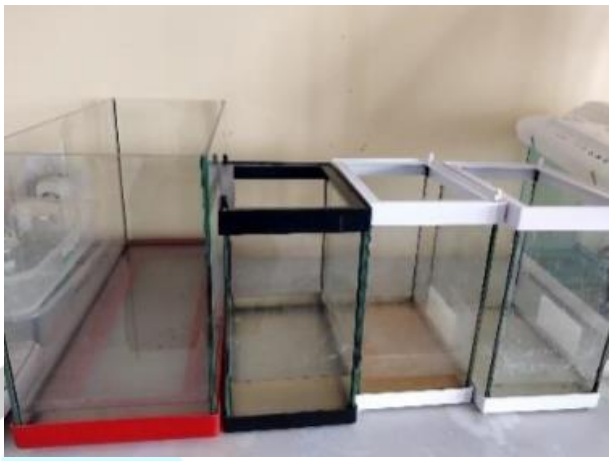
Bu araştırmada deneme modellerinden, gerçek deneme modeli kullanılmıştır. Gerçek deneme modeli, bilimsel değeri en yüksek denemeler olarak nitelendirilir. Gerçek deneme modellerinden öntest-sontest kontrol gruplu model uygulanmıştır. Bu modelde iki grup bulunur. Gruplardan biri deney, diğeri ise kontrol grubudur. İki grupta da deney öncesi ve sonrası ölçmeler yapılır (Karasar, 2012).

Araştırmanın bağımlı değişkeni okyanus asidifikasyonun etkileridir. Bağımsız değişken ise deney pH değerleridir.

Çalışmanın evreni okyanusta yaşayan kabuklu canlılar, örneklemi ise pteropod (deniz kelebeği) olarak belirlenmiştir. Çalışma grubu ise pteropod ile aynı kabuk yapısına sahip kara salyangozu kabuğu olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma Etimesgut Bilim ve Sanat Merkezinde yapılmıştır. Deney düzenekleri hazırlanırken pH değerleri karşılaştırılacak iki ayrı kaba aynı miktarda su eklenmiş ve kaplara eklenen su okyanus koşullarına, günümüz pH değeri 8,1 ve 2100 yılındaki tahmini pH 7,6 olacak şekilde uyarlanmıştır. Kaplardaki pH değerlerini istenilen değere getirmek ve sabit tutmak için 2 aylık bir zaman diliminde çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu 2 aylık süreç sonucunda deney düzeneklerinde gerekli koşullar sağlanmış ve test aşamasına geçilmiştir. Bu araştırmada yapılan üç tekrar deneyde küçük ve büyük boyutlarda olmak üzere 12 adet boş salyangoz kabuğu kullanılmıştır.

Görsel 1 Kullanılan Deney Düzenekleri



Deneysel çalışmanın her tekrarı için 4 salyangoz kabuğu kullanılmıştır. Salyangoz kabukları adlandırılırken ilk rakam kaçıncı tekrarda kullanıldığı, noktadan sonra ikinci rakam ise bu aşamada kullanılan dört salyangoz kabuğu için 1, 2, 3 ve 4 olarak ifade edilmiştir. Birinci aşama için salyangoz kabukları 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 olarak, ikinci tekrar için salyangoz kabukları 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 olarak ve üçüncü tekrar için salyangoz kabukları 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 olarak adlandırılmıştır.

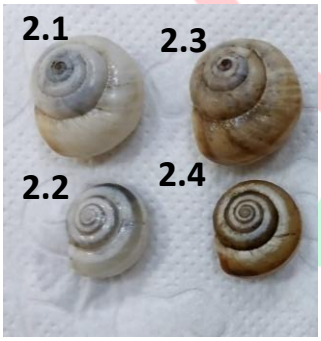
Kullanılan boş salyangoz kabukları Görsel 2-3-4'te sunulmuştur. Salyangoz kabukları ile ilgili bilgiler ise Tablo 1-2-3'te gösterilmiştir.



Görsel-2 (1.Tekrar)

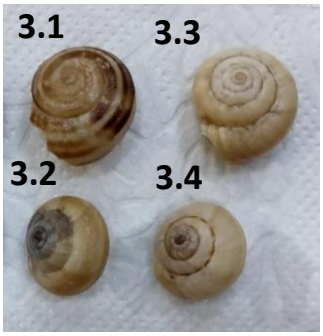
Kullanılan Kabuklar	1.1	1.2	1.3	1.4
Büyüklük Değerleri	1,8cm	1cm	2cm	1cm
Kabukların Başlangıç Ağırlıkları	0,40gr	0,33gr	0,43gr	0,24gr

Tablo-1 (Kullanılan boş salyangoz kabuklarının değerleri, 1.tekrar.)



Kullanılan Kabuklar	2.1	2.2	2.3	2.4
Büyüklük Değerleri	1,6cm	1cm	1,7cm	1cm
Kabukların Başlangıç Ağırlıkları	0,44gr	0,25gr	0,41gr	0,35gr

Görsel-3 (2.Tekrar)



Tablo-1.2 (Kullanılan boş salyangoz kabuklarının değerleri, 2. tekrar.)

Kullanılan Kabuklar	3.1	3.2	3.3	3.4
Büyüklük Değerleri	1,8cm	1,2cm	2cm	1,3cm
Kabukların Başlangıç Ağırlıkları	0,44gr	0,32gr	0,49gr	0,41gr

Görsel-4 (3.Tekrar)

Tablo-1.3 (Kullanılan boş salyangoz kabuklarının değerleri.)

Pteropod (deniz kelebeği) kabuğuyla benzer kabuk yapısına sahip boş salyangoz kabuklarını deney düzeneklerine koymadan önce kabuklar 1 adet büyük 1 adet küçük olmak üzere ikişer gruplara ayrılmıştır. Gruplar halindeki kabuklar 1. grup günümüz pH seviyesine sahip (8,1 pH) kaba, 2. grup ise 2100 yılında tahmin edilen pH seviyesine sahip (7,6 pH) kaba konulmuştur. İçi boş kabuklar her hafta düzenli olarak deney düzeneklerinden çıkarılmıştır. Sezer (2019), okyanus asitlenmesi ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda suyun pH değerinin ve karbonat kimyası ile ilgi değişkenlerin hassas bir şekilde ölçülmesi ve deneyler süresince çok iyi takip edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu nedenle kabuklar deney düzeneklerinden çıkarıldıktan sonra kaplardaki pH değeri düzenli olarak kontrol edilmiştir. Kabukların her hafta kütleleri ölçülmüş ve ışık geçirgenliği test edilmiştir. Bu işlemler 35 gün boyunca her hafta düzenli olarak tekrar edilmiş ve çalışma başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Bu uygulamada toplamda 3 tekrar yapılmış olup hepsinde aynı işlemler aynı sırayla uygulanmıştır.

Görsel 5
Kütle Ölçümü



Görsel 6
pH Kontrolü



Görsel 7
Işık Geçirgenlik Testi

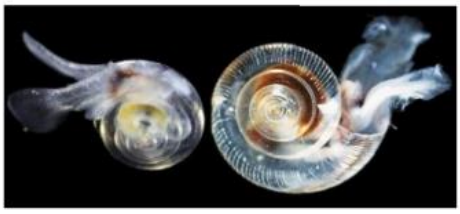


Salyangoz kabukları kütle ölçümleri modeliSF-460 olan ölçüm aralığı 0,01g-300g olan elektronik hassas terazi ile ölçülmüştür. Kaplardaki pH değerleri kalibre edilmiş modeli CT6021A olan pH aralığı 0,00-14,00 olarak ölçüm yapma özelliklerine sahip elektronik pH ölçer ile ölçülmüştür. Işık geçirgenliği ise aynı telefon ışığı ile görüntülenerek karşılaştırılmıştır.

Pteropod Kabuğu ile Salyangoz Kabuğu Benzerliği

Görsel 8

Pteropod – Deniz Kelebeği (https://bilimgenc.tubitak.gov.tr sitesinden alınmıştır)



Salyangozlar simetrik olmayan, genellikle konik bir merkez etrafında dolanan veya kolon halinde tek kabuklu yumuşakçalardır (İnan, t.y.). Yumuşakça türlerinde en bilinen ve %80'ini oluşturan gastropodlardır (Köseoğlu, 2020). Salyangoz kabuk yapısı kalsiyum karbonattan (CaCO3) oluşmaktadır (Şereflişan, 2020). Gastropod grubundan olan salyangozlarında içinde bulunduğu Deniz Kel'in yaptığı 2012 araştırmasında da biyolojik kaynak olarak salyangoz kabuğu ve birkaç farklı kabuk kullanılmıştır. Tüm kabuklar havanda ayrı ayrı öğütülerek elekten elenmiştir. Elde edilen tozların içeriğindeki kalsiyum karbonat miktarı DTA/TG analizleri yapılarak tespit edilmiştir. Bu araştırmayla birlikte salyangoz kabuklarının kalsiyum karbonattan oluştuğu belirtilmiştir. Deniz kelebekleri olarak da bilinen pteropodlar, pelajik yaşama uyum sağlamış deniz gastropodlarıdır. Bazı türler hassas dış kalkerli kabuklara sahipken, diğerleri bundan yoksundur (Pteropodlar- ScienceDirect). Okyanuslarda yaşayan salyangoz, midye, istiridye ve deniz tarağı gibi kabuklu deniz canlılarının ve zooplanktonların kabukları kalsiyum karbonattan oluşmaktadır (Okatan, 2020). Bu bilgilere dayanarak salyangoz kabukları ile pteropodların kabuk yapısının benzer olduğu söylenebilir.

Bulgular

Bulgular kabuklardaki kütle değişim verileri, kabukların ışık geçirgenliği ve kabuklardaki zedelenmeler olmak üzere 3 başlık altında incelenecektir.

1.Kütle Değişim Verileri

Tablo 4 Kütle (g) Değerleri

1.Tekrar	**8,1 pH**		**7,6 pH**	
	1.1	**1.2**	**1.3**	**1.4**
1.Hafta	**0,40**	**0,33**	**0,43**	**0,24**
2.Hafta	**0,37**	**0,29**	**0,40**	**0,16**
3.Hafta	**0,30**	**0,27**	**0,30**	**0,16**
4.Hafta	**0,29**	**0,26**	**0,29**	**0,14**
5.Hafta	**0,28**	**0,25**	**0,27**	**0,13**
Kütle Farkı	**0,12**	**0,08**	**0,16**	**0,11**

Tablo-3 Ağırlık (g) değerleri.

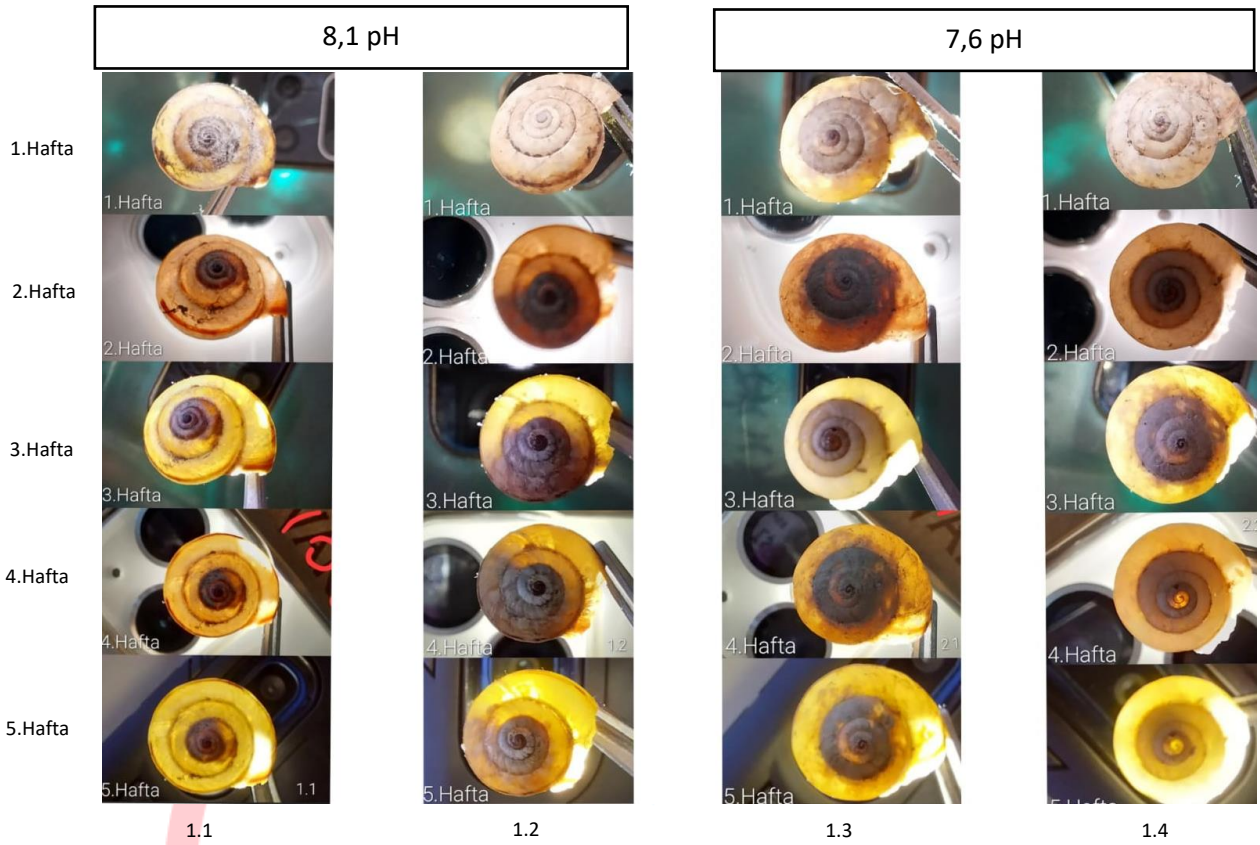
2.Tekrar	8,1 pH		7,6 pH	
	2.1	**2.2**	**2.3**	**2.4**
1.Hafta	**0,44**	**0,25**	**0,41**	**0,35**
2.Hafta	**0,44**	**0,23**	**0,41**	**0,27**
3.Hafta	**0,42**	**0,22**	**0,38**	**0,25**
4.Hafta	**0,42**	**0,17**	**0,36**	**0,20**
5.Hafta	**0,30**	**0,10**	**0,20**	**0,10**
Kütle Farkı	**0,14**	**0,10**	**0,21**	**0,25**

Tablo-4 Ağırlık (g) değerleri.

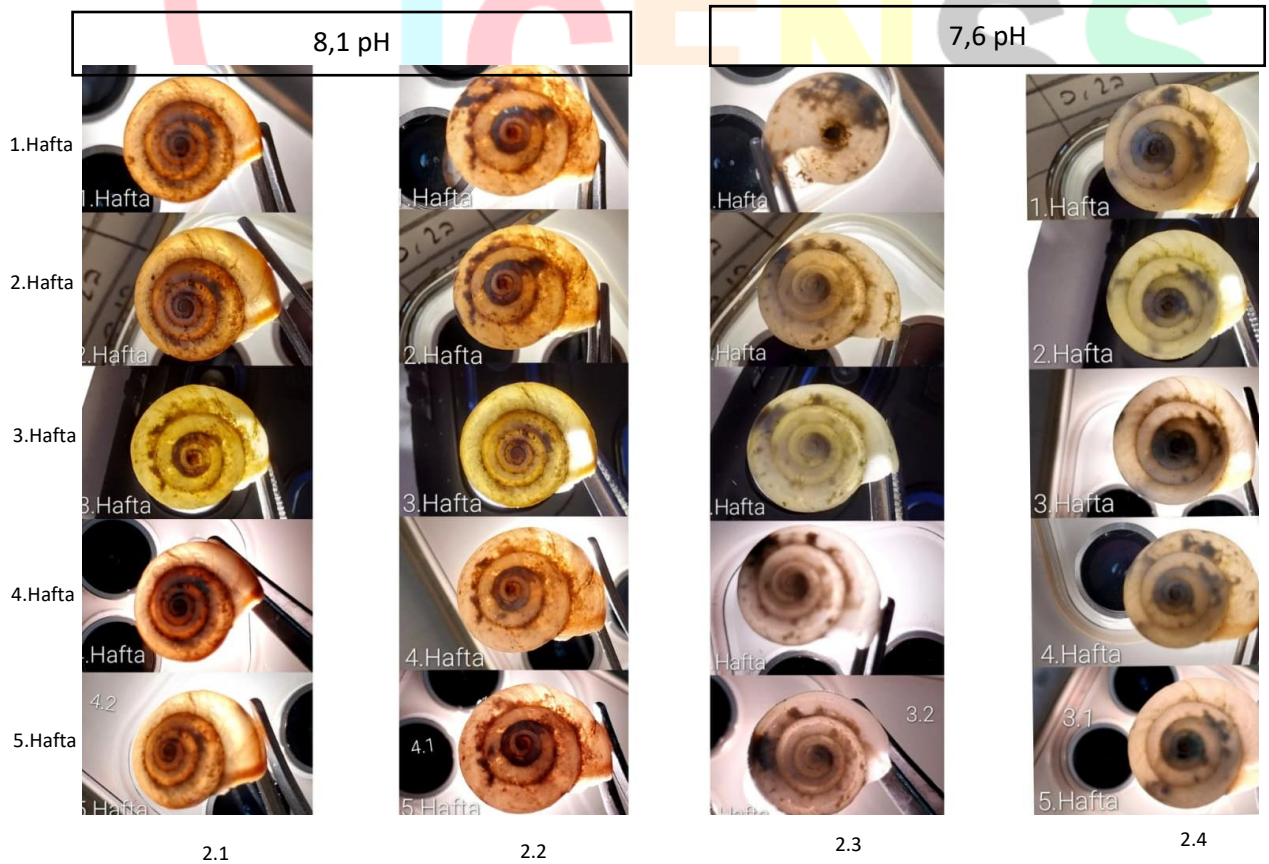
3.Tekrar	8,1 pH		7,6 pH	
	3.1	**3.2**	**3.3**	**3.4**
1.Hafta	**0,44**	**0,32**	**0,49**	**0,41**
2.Hafta	**0,42**	**0,30**	**0,38**	**0,30**
3.Hafta	**0,38**	**0,28**	**0,32**	**0,27**
4.Hafta	**0,20**	**0,28**	**0,27**	**0,27**
5.Hafta	**0,18**	**0,18**	**0,17**	**0,17**
Kütle Farkı	**0,26**	**0,14**	**0,32**	**0,24**

2.Kabukların Işık Geçirgenliği

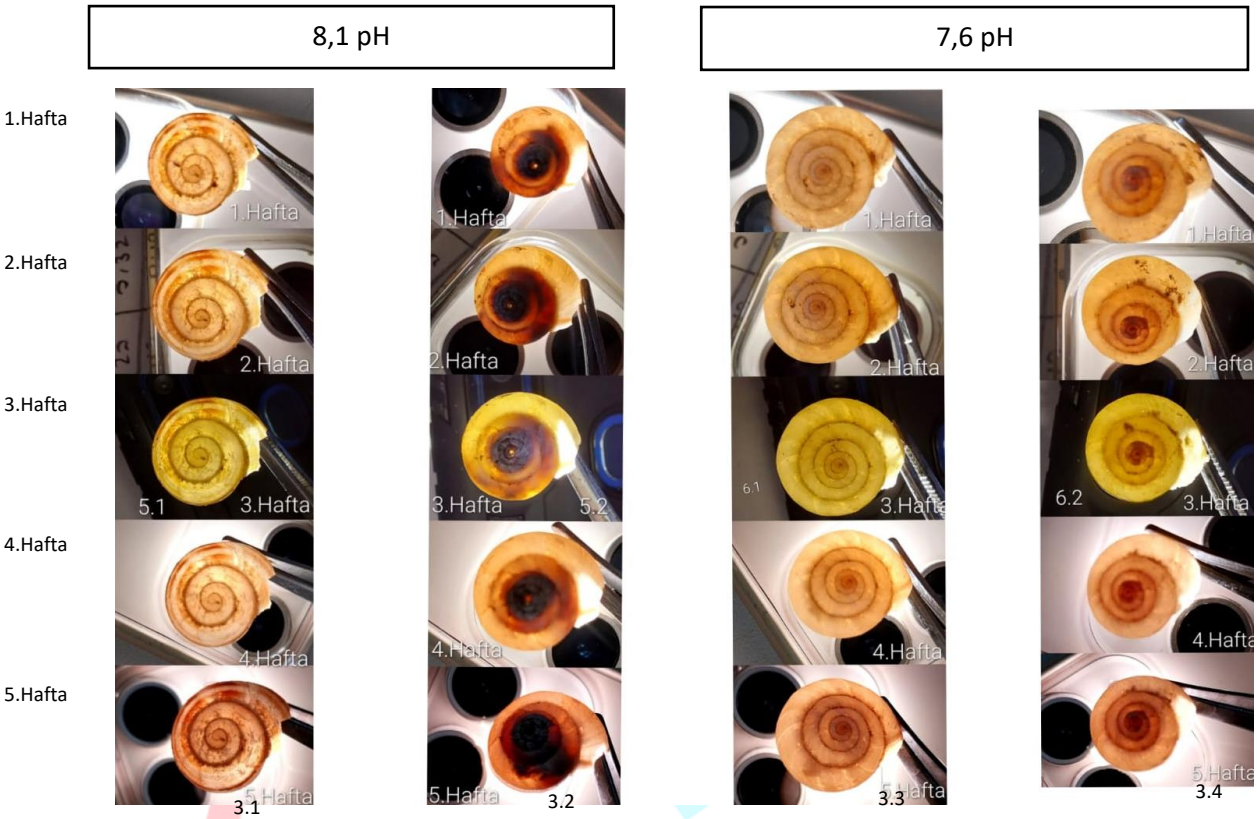
Görsel-8 Kabukların ışık geçirgenliği 1.Tekrar



Görsel-9 Kabukların ışık geçirgenliği 2.Tekrar



Görsel-10 Kabukların ışık geçirgenliği 3.Tekrar



3.Kabuklarda Meydana Gelen Zedelenmeler

Görsel-11



Sonuç ve Tartışma

Araştırmamızda yaptığımız çalışma sonucunda; yapılan 35 günlük deney sürecinde pteropodlarla (deniz kelebeği) aynı kabuk yapısına sahip salyangoz kabuklarının kütlelerinde meydana gelen azalma, araştırmadaki üç tekrar için sırasıyla Tablo-4-5-6'da verilmiştir.

Tablo-4 incelendiğinde başlangıç boyut ve kütlesi olarak birbirine yakın 1.1 ve 1.3 adlı salyangoz kabuklarındaki beş haftalık süre sonunda kütle kaybı sırasıyla 0,12 ve 0,16 gramdır. 1.1 salyangoz kabuğu günümüz pH'ına (8,1) maruz bırakılırken 1.3 salyangoz kabuğu 2100 yılında tahmin edilen pH (7,6) değerine maruz bırakılmıştır. Bu durumda 2100 yılında tahmin edilen pH değerindeki salyangoz kabuğunda günümüz pH değerindeki salyangoz kabuğuna göre 0,04 gram farkla daha çok kütle kaybı yaşandığı tespit edilmiştir. Başlangıç boyut ve kütle olarak birbirine yakın 1.2 ve 1.4 adlı salyangoz kabukları karşılaştırıldığında, beş haftalık uygulama sonucunda kütle kaybı sırasıyla 0,08 ve 0,11 gramdır. 1.2 salyangoz kabuğu günümüz pH değerine (8,1) maruz bırakılırken 1.4 adlı salyangoz kabuğu 2100 yılı tahmin edilen pH değerine (7,6) maruz bırakılmıştır. Bu durumda 2100 yılında tahmin edilen pH değerindeki salyangoz kabuğunun (1.4), günümüz pH değerindeki salyangoz kabuğuna (1.2) göre 0,03 gram daha fazla kütle kaybı yaşadığı tespit edilmiştir.

Tablo-5 incelendiğinde başlangıç boyut ve kütlesi olarak birbirine yakın 2.1 ve 2.3 adlı salyangoz kabuklarındaki beş haftalık süre sonunda kütle kaybı sırasıyla 0,14 ve 0,21 gramdır. 2.1 salyangoz kabuğu günümüz pH'ına (8,1) maruz bırakılırken 2.3 salyangoz kabuğu 2100 yılında tahmin edilen pH (7,6) değerine maruz bırakılmıştır. Bu durumda 2100 yılında tahmin edilen pH değerindeki salyangoz kabuğunda günümüz pH değerindeki salyangoz kabuğuna göre 0,07 gram farkla daha çok kütle kaybı yaşandığı tespit edilmiştir. Başlangıç boyut ve kütle olarak birbirine yakın 2.2 ve 2.4 adlı salyangoz kabukları karşılaştırıldığında, beş haftalık uygulama sonucunda kütle kaybı sırasıyla 0,10 ve 0,25 gramdır. 2.2 salyangoz kabuğu günümüz pH değerine (8,1) maruz bırakılırken 2.4 adlı salyangoz kabuğu 2100 yılı tahmin edilen pH değerine (7,6) maruz bırakılmıştır. Bu durumda 2100 yılında tahmin edilen pH değerindeki salyangoz kabuğunun (2.4), günümüz pH değerindeki salyangoz kabuğuna (2.2) göre 0,15 gram daha fazla kütle kaybı yaşadığı tespit edilmiştir.

Tablo-6 incelendiğinde başlangıç boyut ve kütlesi olarak birbirine yakın 3.1 ve 3.3 adlı salyangoz kabuklarındaki beş haftalık süre sonunda kütle kaybı sırasıyla 0,26 ve 0,32 gramdır. 3.1 salyangoz kabuğu günümüz pH'ına (8,1) maruz bırakılırken 3.3 salyangoz kabuğu 2100 yılında tahmin edilen pH (7,6) değerine maruz bırakılmıştır. Bu durumda 2100 yılında tahmin edilen pH değerindeki salyangoz kabuğunda günümüz pH değerindeki salyangoz kabuğuna göre 0,06 gram farkla daha çok kütle kaybı yaşandığı tespit edilmiştir. Başlangıç boyut ve kütle olarak birbirine yakın 3.2 ve 3.4 adlı salyangoz kabukları karşılaştırıldığında, beş haftalık uygulama sonucunda kütle kaybı sırasıyla 0,14 ve 0,24 gramdır. 3.2 salyangoz kabuğu günümüz pH değerine (8,1) maruz bırakılırken 3.4 adlı salyangoz kabuğu 2100 yılı tahmin edilen pH değerine (7,6) maruz bırakılmıştır. Bu durumda 2100 yılında tahmin edilen pH değerindeki salyangoz kabuğunun (3.4), günümüz pH değerindeki salyangoz kabuğuna (3.2) göre 0,10 gram daha fazla kütle kaybı yaşadığı tespit edilmiştir.

Özellikle günümüz pH değerinde (8,1) meydana gelen kütle farkı ile 2100 yılında tahmin edilen pH değerinde (7,6) meydana gelen kütle farkı karşılaştırıldığında 2100 yılında tahmin edilen pH değerinde meydana gelen kütle farkının günümüz pH değerinde meydana gelen kütle farkından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Tespit ettiğimiz bu çıkarım kalsiyum karbonattan oluşan kabuklar için olası bir durum değildir çünkü normal şartlar altında kalsiyum karbonat suda çözünen bir madde değildir fakat okyanus suyunda meydana gelen asidifikasyon kabukların aşınmasına ve kütle kaybına sebep olmuştur. Sonuç olarak suyun pH değeri azaldıkça yani asidifikasyon arttıkça kabuklarda meydana gelen kütle kaybı artış göstermiş ve suyun asitliğinin okyanuslardaki omurgasız kabuklu canlıları olumsuz yönde etkileyeceği tespit edilmiştir.

Kabukların boyutları ile meydana gelen kütle değişimleri dikkat çekici şekilde farklılık göstermektedir. Bu durumun ayrı bir araştırma konusu olmuş olsa da araştırma sırasında göze

çarpan sonuçlardan biri olduğu söylenebilir. Boyut olarak daha büyük olan kabuklarda meydana gelen kütle değişimlerinin boyut olarak daha küçük olan kabuklardaki kütle değişimlerine göre genel olarak daha fazla kütle kaybı yaşadığı gözlemlenmiştir.

Görsel-8-9-10'dayapılan 35 günlük deney sürecinde pteropodlarla (deniz kelebeği) aynı kabuk yapısına sahip salyangoz kabuklarının ışık geçirgenliğini gösteren fotoğraflar bulunmaktadır. Görseller incelendiğinde çalışmadaki 35 günlük süreç içerisinde kabukların ışık geçirgenliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Deney sonucunda kabukların kütlelerinde meydana gelen azalmada ışık geçirgenliğinin artışını destekler niteliktedir. Sonuç olarak okyanus asidifikasyonunun okyanuslardaki omurgasız deniz canlılarının kabuklarında incelme meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

Görsel-11'de görüldüğü gibi 35 günlük deney sürecinde pteropodlarla (deniz kelebeği) aynı kabuk yapısına sahip bazı salyangoz kabuklarında hasarlar oluşmuştur. Tablo-1, Tablo-2 ve Tablo-3'te deney sonucunda kabukların kütle kaybı yaşadıklarını ve Görsel-1, Görsel-2 ve Görsel-3'te kabukların incelmeden kaynaklı ışık geçirgenliğinin arttığı verilerle gösterilmiştir. Bu verilerden yola çıkarak kabukların yaşadığı kütle kaybı ve kabuklarda meydana gelen incelme sonucunda kabuklarda hasarlar meydana geleceği ve kabuğun asidifikasyona maruz kaldığı süreç içerisinde zamanla yok olacağı söylenebilir. Bu durum kalsiyum karbonattan oluşan kabuklar için oluşmaması gereken bir durumdur çünkü daha önce de belirttiğimiz gibi normal şartlar altında kalsiyum karbonat suda çözünen bir madde değildir fakat okyanus suyunda meydana gelen asidifikasyon kabukların zedelenmesine ve parçalanmasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak okyanus asidifikasyonu okyanusta yaşayan kabuklu deniz canlıları için hayati bir tehlike olup kabuklu deniz canlılarını olumsuz etkileyeceği söylenebilir.

Sunlu ve ark. (2001), yaptıkları araştırma sonucunda karbondioksit (CO_2) artışı ile tatlı su kaynaklarının tuzlanması, deniz sularının yükselmesi ve suların ısınmasıyla deniz canlılarının yaşam koşullarına uygun yerlere göç etmek zorunda kalacağını belirtmiştir. Yapılan bu çalışmada canlıların bulundukları yerde yaşamalarını engelleyen bir durumun olduğu sonucuna varılması projemizin sonuçları ile örtüşmektedir.

Narin Sezer, okyanus asitlenmesinin deniz omurgasızlarında Radyonüklidbiyo birikimine etkileri isimli 2019 doktora tezinde okyanus asitlenmesinin deniz suyunda metallerin pH'a bağlı olarak, çözünmüş haldeki metallerin deniz organizmalarında bulunabilirliğini ve toksisitesini etkileyebileceği sonuçlarına varmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda canlıların olumsuz etkilenmesi projemizle örtüşmektedir.

Bu araştırmadaki genel amacımız iklim değişikliğinin önemli bir göstergesi olan okyanus asidifikasyonunun günümüzden geleceğe değişimlerini, okyanus canlıları üzerindeki etkilerini tespit etmektir. Ayrıca okyanus asidifikasyonundan olumsuz yönde etkilenen omurgasız canlılardan biri olan pteropodlarla (deniz kelebekleri) aynı kabuk yapısına sahip salyangoz kabukları kullanılarak okyanus asitliğinin değişiminin kabuk üzerindeki etkisini tespit etmek amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda gerçekleştirilen araştırma sonucunda aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir.

• Suyun pH değeri azaldıkça yani asidifikasyon arttıkça kabuklarda meydana gelen kütle kaybı artış gösterir.

• Asidifikasyon sonucunda kütle kaybı, kabuk boyutu büyük olan salyangozda kabuk boyutu küçük olan salyangoza göre daha çok kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir.

• Okyanus asidifikasyonunun okyanuslardaki omurgasız deniz canlılarının kabuklarında incelme meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

• Okyanus asidifikasyonu okyanusta yaşayan kabuklu deniz canlıları için hayati bir tehlike olup, kabuklu deniz canlılarını olumsuz etkilemektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda çalışmada, okyanusta yaşayan kabuklu deniz canlısı grubundan pteropodların(deniz kelebeği) kabuk yapısına benzer yapıda olan salyangoz kabukları kullanılarak okyanus asidifikasyonunun kabuklu deniz canlılarının kabuklarındaki etkisi gözlemlenmiş, pteropodların(deniz kelebeği) kabuk yapısına benzer yapıda olan salyangoz kabukları kullanılarak okyanus asidifikasyonunun kabuklu deniz canlılarının

kabuklarında incelme, hasar ve zedelenme meydana getirdiği tespit edilmiştir. Okyanus asidifikasyonun okyanustaki midye, istiridye, deniz tarağı ve salyangoz gibi kabuklu deniz canlılarını olumsuz etkileyeceği ve okyanus asidifikasyonunun okyanustaki kabuklu deniz canlılarının yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmesi için büyük bir tehlike olacağı vurgulanmaya çalışılmıştır. Bunun yanı sıra zooplankton grubundan olan pteropod (deniz kelebeği) popülasyonunda yaşanılacağı tahmin edilen bu azalma besin zincirinin bozulmasına, zooplanktonlarla beslenen balıkların popülasyonunun azalmasına, milyonlarca insanın besin kaynaklarının ve ekonomik gelirlerinin tehlike altına girmesine sebep olacağı öngörülmektedir. Çalışmada söz konusu olan bu sorunlara dikkat çekilerek oluşacak hasar somutlaştırılmış olup çalışmadaki uygulamalarla desteklenerek nicel bir anlam kazandırılmaya çalışılmıştır.

Öneriler

- Okyanus asidifikasyonunun etkisi farklı canlılar üzerinde araştırılabilir.
- Okyanus asidifikasyonunun azaltılmasına yönelik araştırmalar ve çalışmalar yapılabilir.
- Kabuklu deniz canlılarının kabuk büyüklüğü ile okyanus asidifikasyonundan etkilenme oranları araştırılabilir.
- Okyanus asidifikasyonunun çevreye verdiği bu zarar için toplumsal farkındalık oluşturulabilir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Şirin DEMİRCAN YILDIZ ‘a teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynakça

Atar, H. H.,&Kızılgök, A. B. (2018). Küresel ısınmanın balıkçılığa etkileri. Third SectorSocialEconomicReview, 53(3), 1102-1125.

Boğaziçi Üniversitesi, Fizik Bölümü, Okyanus Asidifikasyonu http://climatechange.boun.edu.tr/okyanusasidifikasyonu/#:~:text=Okyanuslar

Çavuşoğlu, K., Gündoğan, Y., Arıca, Ş.Ç. & Kırındı, T. (2007). Mytilussp (midye), gammarussp (nehir tırnağı) ve cladophorasp (yeşil alg) örnekleri kullanılarak Kızılırmak nehrindeki ağır metal kirliliğin araştırılması. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1), 52- 60.

Euronews (2022) https://tr.euronews.com/green/2020/02/14/okyanuslardaki-asitlenme-ekosistemleri-nereyesurukluyor

Gökçe, N., Kaya, E., Aktay, S. & Özden, M. (2007). İlköğretim öğrencilerinin çevreye yönelik tutumları. İlköğretim Online, 6(3), 452- 468. http://ilkogretim-online.org.tr

Herman Y. (1998). Introductionto Marine Micropaleontology (Second Edition), 151-159 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444826725500052

IPCC, (2006). Ulusal Yönergeler için IPCC Kılavuzları Sera Gazı Envanterleri. Genel rehberlik ve Raporlama

IPCC, (2007). ClimateChange: ThePhysicalScienceBasis. Contribution of WorkingGrouptotheFourthAssessment Report of the IPCC. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., Cambridge, United Kingdom

İnan, S. (2000). Salyangoz Biyolojisi Ve Yetiştirme Teknikleri. Ticari Balık Türlerinin Biyolojisi ve Yetiştirme Teknikleri, Hizmetiçi Eğitim Semineri, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Ürünleri Geliştirme Müdürlüğü, Su Ürünleri Daire Başkanlığı, Ankara, 47-50.

Karasar, N. (2012). Bilimsel araştırma yöntemi (23. baskı). Nobel Yayıncılık.

Kel, D. (2012). Doğal kaynaklardan (yerli deniz kestanesi, yumurta kabuğu, salyangoz kabuğu) nanoseramik üretimi ve karakterizasyonu (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Köseoğlu, Y. (2020). Kara salyangozu yetiştiricilik denemeleri: Farklı ortam koşulları ve yem kompozisyonlarının etkileri (Yüksek Lisans Tezi). Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.

Noaa (n.d.) PMEL Carbon Program pmel.noaa.gov/co2/story/A+primer+on+pH

Okatan, A. (2020). Karbondioksit Süngeri Okyanuslar https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/karbondioksit-sungeri- okyanuslar

Sezer, N. (2019), Okyanus asitlenmesinin deniz omurgasızlarında radyonüklidbiyobirikimine etkileri (Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Sunlu, U., Kaymakçı, A. &İzgören, F.S. (2001), Denizlerde karbon dinamiği. Ege Journal of FisheriesandAquaticSciences, 18(1).

Şeriflişan, H. (2020), Epifragma mineral bileşiminin ve oluşum sürecinin dört kara salyangozu türünde (Mollusca: Gastropoda: Helicidae) incelenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(1), 105-111. https://doi.org/10.28979/comufbed.627827

Taner, A. C.,& Odası, F. M. Küresel Okyanus Sularının Isınması, Asitlenmesi Sonucu Deniz Ürünleri Çeşitliliği Azalmasının Önlenmesi ve 2015 BM İklim Anlaşması Açmazı.

TMMOB, Meteoroloji Mühendisler Odası (2008). İklim Değişimi Sempozyumu, Ankara.

TUBITAK (2020, Mart 20). Karbondioksit süngeri okyanuslar. https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/karbondioksit-sungeri-okyanuslar

Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TUDAV), Okyanus Asidifikasyonu. https://tudav.org/calismalar/iklim-degisikligi/okyanuslarin-asidifikasyonu/

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Derin Pekiştirmeli Öğrenme ile Görüntü Hash Kodlarının Oluşturulması ve Karşılaştırmalı Analizi

Elif AKKAYA[1]
Burhan BARAKLI[2]

Özet

Görüntü hash kodları, görüntüleri temsil eden sabit boyutlu dizilerdir. Hash kodları, büyük veritabanları için hızlı veri arama ve veri depolama gibi işlevler için kullanılır. Verilerin verimli ve kolay işlenmesini sağladığından güvenlik ihtiyaçlarında da avantaj sağlarlar. Bu çalışmada, derin öğrenme ile birlikte pekiştirmeli öğrenmeyi kullanarak görüntülere yönelik hash kodlar üretilmesi amaçlanmaktadır. Yaklaşımımız hash işlemini sıralı bir karar verme süreci olarak ele alır ve bu açıdan geleneksel hash yöntemlerinden farklılık gösterir. Çalışmanın ana bileşenlerinden biri, görüntülerin özelliklerini çıkarmak için bir özellik temsil ağı ve görüntüleri ikili kodlara dönüştürmek için bir politika ağından oluşan derin öğrenme ağıdır. Diğeri ise alınan kararların sonuçlarına bağlı olarak geleceğe yönelik kararlar oluşturmak için kullanılan ödül sistemidir, Bu sayede modelin ürettiği hash kodlarının kalitesi değerlendirilir. Politika ağı, RNN (yinelenen sinir ağı) ve actor-critic yöntemini içerir. Politika ağının parametrelerini optimize etmek için reinforce algoritması kullanılmıştır. Çalışmada yaklaşımın etkinliği CIFAR10, NUS-WIDE ve MIRFlickr veri setleri üzerinde gözlemlenmiştir.Denetimsiz yöntemler ve güncel yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımın ve karşılaştırılan yöntemlerin algoritma başarısını kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için ortalama hassasiyet puanı (MAP) kullanılmıştır. Farklı uzunluktaki ikili hash kodlar için MAP puanlarına göre önerilen yaklaşım CIFAR10, NUS-WIDE ve MIRFlickr veri seti üzerinde ortalama MAP puanlarıyla en yüksek performans değerlerini vermiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen yaklaşımın etkinliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü Hashleme, Reinforce algoritması, Yinelemeli Sinir Ağı, VGG-19, Actor-critic

[1] Yüksek Lisans Öğrencisi, Sakarya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Orcıd: 0009-0009-5528-696X
[2] Dr. Öğretim Üyesi, Sakarya Üniversitesi,Elektrik Elektronik Mühendisliği, Orcıd:0000-0002-7947-2312

ISBN: 978-625-372-170-1

Giriş

Görüntü işleme alanında hash işlemi oldukça önemli bir yere sahiptir. Görüntü hash değerleri, görüntü için benzersiz içerik temsilcileridir. Büyük veri tabanlarında hızlı bir şekilde işlem yapabilmeyi mümkün kılmaktadırlar. Orjinal görüntülerin daha küçük boyutlarda saklanabilmesine imkan vermeleri ile verimliliği arttırmaktadırlar. Görüntü hashlerinin nesne algılama, yüz tanıma ve güvenlik gibi oldukça geniş kullanım alanı vardır. Pekiştirmeli öğrenme, ajanın bulunduğu çevre ile olan etkileşimleri sonucu edindiği deneyimlerle öğrenmesine dayalı bir yaklaşımdır. Ajan gözlemleri sonucu eylemlerde bulunur bu eylemler karşılığında ödül elde eder. Bu ödüller ajanın eyleminin kalitesini gösterir. Ajan, ödüller ile aldığı geri bildirimler doğrultusunda stratejisini günceller. (Swaminathan, A.)

Derin sinir ağlarının pekiştirmeli öğrenme yaklaşımında kullanımı ile derin pekiştirmeli öğrenme kavramı oluşmuştur. Büyük veri setlerindeki kompleks ilişkiler derin ağlar aracılığıyla temsil edilir. Ajan en uygun eylemi ağın öğrenilmiş temsil yapılarını kullanarak seçmektedir. (Henderson, P., Lillicrap, T.) Derin ağların birçok uygulama alanında başarı göstermesi ile derin hash yöntemleri fikri oluşmuştur. Hash kodunu sıralı bir şekilde öğrenen geleneksel hash yöntemleri, derin ağlara direkt olarak uygulanamama ve optimizasyon karmaşıklığı gibi kısıtlamalara sahiptir. Derin pekiştirmeli öğrenme bu tür kısıtlamaları aşabilmek için geliştirilmiştir. Bu amaçla hash işlevleri ardışık karar süreci olarak değerlendirilip oluşan hatalara göre güncelleme yapılarak öğrenme sağlanmıştır.

Geleneksel hash yöntemlerinde olduğu gibi karmaşık optimizasyon işlemleri gerektirmeden, derin ağlar üzerinde etkili bir şekilde uygulanabilir bir hash yaklaşımı geliştirme amaçlanmıştır.

Literatür Çalışmaları

Liu ve arkadaşları, sundukları denetimli hash (DSH) yönteminde ikili kodları öğrenmek amacıyla evrişimli sinir ağlarının güçlü görüntü temsilini kullanmışlardır. (Liu, H.ve Wang, R.)

Wu-Jun Li ve arkadaşları, önerdikleri derin ikili denetimli hash yönteminin (DPSH), ikili etiketlere sahip uygulamalarda eş zamanlı özellik öğrenme ve hash kod öğrenme özelliklerini sunmuşlardır. (Li, W. J. ve Wang, S.)

Zhu ve arkadaşlarının çalışmalarında sundukları DHN modeli, görüntü temsilini yakalamak için evrişim havuzu katmanlarını, ikili hash kodları oluşturmak için hash katmanı, benzerliği korumak için çift yönlü çapraz entropi kaybı katmanı ve hash kalitesini kontrol etmek için ikili niceleme kaybını içermektedir. (Zhu, H. ve Long, M.)

Cao ve arkadaşlarının önerdikleri HashNet, büyük ölçekli multimedya erişiminde kullanılan en yakın komşu aramasında etkili olan bir derin öğrenme mimarisidir. (Cao, Z. ve Long, M.)

Li ve arkadaşları çalışmalarında, görsel ve video verilerinin artan büyüklüğüyle birlikte hash işlemlerinin önemini vurgulamışlardır. (Li, Q., Sun, Z., He, R. ve Tan, T.)

Wang ve arkadaşları çalışmalarında önerdikleri derin hash yöntemi, üçlü etiketlerin denetiminde görüntü özelliklerini ve hash kodlarını eş zamanlı olarak öğrenmektedir. (Wang, X. ve Shi, Y.)

Nqiang ve arkadaşları çalışmalarında, büyük veri kümelerinin analizi için ayrık hash yöntemlerinin önemini vurgulamışlardır. Yöntem, sınıf içi mesafeleri azaltırken sınıflar arası

mesafeleri artırmak için Fisher'in doğrusal diskriminant analizinden ilham almaktadır. (Li,Y., Pei ve W., Zha, Y.)

Zhang ve arkadaşları çalışmalarında, büyük ölçekli görüntü alımı için hash kodlama yöntemlerinin geliştirilmesi üzerine odaklanmışlardır. ISDH, ikili benzerlik kaybının çok etiketli görüntülerin sıralama bilgilerini yetersiz şekilde kodlamasını önlemektedir ve örnek benzerliğine dayalı bir yaklaşımla öğrenme süreçlerini geliştirmektedir. (Zhang, Z. ve Zou, Q.)

Zhenga ve arkadaşları çalışmalarında sundukları Derin Dengeli Ayrık Hashing (DBDH) yöntemi, büyük ölçekli multimedya alımlarında yaygın olarak kullanılan hash yöntemlerdeki sürekli gevşeme stratejisinin neden olduğu nicelendirme hatalarını azaltarak, ayrık optimizasyonun kolaylığını sağlamaktadır. (Zheng, X., Zhang, Y. ve Lu, X.)

Jiang ve arkadaşları çalışmalarında, büyük ölçekli en yakın komşu aramasında yaygın olarak kullanılan ve depolama ile arama verimliliği açısından etkili olan en yakın komşu arama yöntemlerinden biri olan asimetrik derin denetimli hash işlemini tanıtmışlardır. (Jiang, Q. Y. ve Li, W. J.)

Chen ve arkadaşları çalışmalarında, ikili kod öğrenimi için derin denetimli hash yöntemlerin yüksek hesaplama maliyeti ve sınırlı donanım hafızası sorunlarına çözüm olarak, bir bağlantı grafiği tabanlı öneri sunmuşlardır. (Chen, Y. ve Lai, Z.)

Yuan ve arkadaşları çalışmalarında, hash öğrenmeyi geliştirmek amacıyla yeni bir küresel benzerlik metriği olan "Merkezi Benzerlik Nicelemesi" ni (CSQ) önermişlerdir. CSQ, hash kodlarının belirli merkezlere yaklaşmasını teşvik ederek, benzer veri çiftleri için birleşik hash kodları ve benzer olmayan çiftler için dağınık hash kodları üretebilmektedir. (Yuan, L.)

Li ve arkadaşlarının çalışmalarında denetimsiz hash için önerdikleri Bi-half Net, büyük resim veya video koleksiyonlarını kolay bir şekilde dizine eklemeyi hedefleyen bir yaklaşımdır. (Li, Y. ve Gemert, J. V.)

YÖNTEM

Yapay zeka, tecrübe ile kazanılmış otomatik davranışların bilgisayarlar tarafından taklit edilerek gerçekleştirilme becerisidir. (Kumar, S.) Makine öğrenmesi, denetimli, denetimsiz ve pekiştirmeli (reinforcement) öğrenme olmak üzere başlıca üç algoritmayı içermektedir. (Kumar, S.) Pekiştirmeli öğrenme, deneyerek öğrenme süreci ile sayısal bir ödül sinyalini maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Ajan, belirli durumlarda çevresindeki değişiklikleri gözlemleyerek bu durumları temsil eder. Ardından, bu durumlarda belirli eylemler gerçekleştirir. Bu eylemler sonucunda ajan, çevresinden geri bildirim alır; bu geri bildirim ödül olarak adlandırılır ve ajanın eylemlerinin başarısını ölçer. Ajan, bu ödülleri maksimize etmek için en uygun eylemleri öğrenir. Bu süreçte, ajanın öğrenme stratejisi genellikle çevreyi keşfetmek, iyi davranışları ödüllendirme ve kötü davranışları cezalandırma üzerine kuruludur. Bu şekilde, ajan zamanla en iyi eylem-strateji çiftini bulur ve görevi en iyi şekilde gerçekleştirmeyi öğrenir.

Kontrol politikası, deneyimlerin yanında eylem, durum ve ödülün birbiri ile olan etkileşimleri ile şekillenir. π^* uzun vadeli ödül toplamını maksimize etmeye yönelik bir politikadır. Bu politikayı bulma ajanın en etkili eylemi seçme sürecini oluşturur. Politika, iteratif bir sekilde uygulanarak, elde edilen ödüller değerlendirilir sonucunda eylemler yeniden belirlenir. Bu tekrarlar ile, optimal politika keşfedilir. (Fernando, P. ve Faustino, P.)

Actor-Critic algoritması, bir actor (eylem seçimi) ve bir eleştirmen (eylemlerin değerlendirilmesi) içerir. Actor, politika fonksiyonunu parametrize eder ve eylem seçimini yapar. Eleştirmen ise actor 'ün yaptığı eylemleri değerlendirir ve geri bildirim sağlar. Bu yaklaşım, hem eylem seçimini iyileştirmek hem de eylemlerin değerini daha doğru bir şekilde değerlendirmek için iki ayrı bileşen içerir. Actor-Critic algoritması, actor 'ün güncellenmesi için politika gradyanını kullanır. Çalışmada en yaygın politika gradyanı yöntemlerinden biri olan reinforce algoritması kullanılmıştır.

$$\theta \leftarrow \theta + \alpha \nabla_\theta \log \pi_\theta(s,a) \hat{Q}(s,a) \quad (1)$$

Denklem 1 de verilen reinforce algoritmasında θ politika parametrelerini öğrenme oranını, α belirli bir durum s için eylem a 'yı seçme olasılığını yani politika fonksiyonunu, $\hat{Q}(s,a)$ ise tahmini dönüş değerini ifade eder. (Sutton, R. S. ve Barto, A. G.)

Reinforce algoritması pekiştirmeli öğrenme politika gradyan yöntemlerindendir. Ortamın modeline gerek duymaması ile ortam modellemesinin zor olduğu ya da bilinmediği durumlar için kullanılabilir. (Torres, J.) Reinforce algoritması, doğrudan politika fonksiyonunu (policy function) parametrize eder ve bu politika fonksiyonunun gradyanını (ve dolayısıyla en iyileme yönünü) kullanarak politikayı günceller. Bu yaklaşım, ajanın bir durumda belirli bir eylemi seçme olasılığını doğrudan tahmin etmeye dayanır. (Torres, J.) Bu algoritma politika gradyanını Monte Carlo yöntemiyle tahmin eder ve bu gradyanı kullanarak politikayı günceller.

$$\nabla_\theta J(\theta) = E_{\pi_\theta}[\nabla_\theta \log \pi_\theta(s,a) \cdot G] \quad (2)$$

Denklem 2 de verilen ifade, reinforce algoritmasının politika parametrelerini güncelleme adımını ifade eder. İfadedeki $\nabla_\theta J(\theta)$ politika parametrelerinin gradyanını, θ politika parametrelerini, $\pi_\theta(s,a)$ ajanın belirli bir durumda belirli bir eylemi seçme olasılığını, $\nabla_\theta \log \pi_\theta(s,a)$ logaritmik olasılığın gradyanını, G ise toplam ödülü ifade eder. (Sutton, R. S. ve Barto, A. G.) Politika parametrelerinin gradyanı, politikanın logaritmik olasılığının gradyanı ile toplam ödülün çarpımının beklenen değerine eşittir. Bu gradyan, politika parametrelerinin gradyan iniş algoritması (stokastik gradyan iniş) kullanılarak güncellenmesinde kullanılır ve politika fonksiyonunun ajanın performansını iyileştirmesini sağlar. Critic ise genellikle temporal difference yöntemiyle güncellenir, denklem 3 de temporal difference ifadesi verilmiştir.

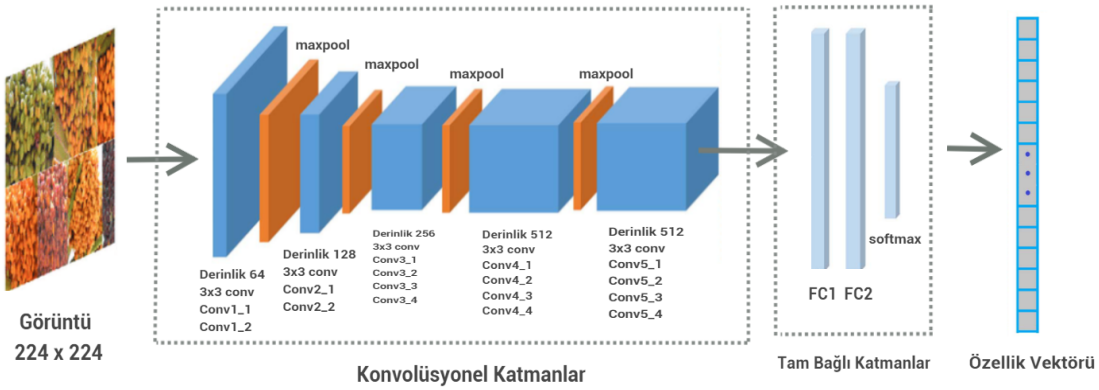
$$V(s) \leftarrow V(s) + \beta[r + \gamma V(s')] - V(s)] \quad (3)$$

Denklem 3 deki ifade de $V(s)$ durumun tahmini değerini, r alınan ödülü, γ indirim faktörünü, s' yeni durumu, β değer güncelleme oranını ifade eder. (Sutton, R. S. ve Barto, A. G.)

Derin öğrenme, çok katmanlı bir ağ yapısı ile, doğrusal olmayan problemler için esnek bir hesaplama yöntemi olarak kullanılır. Girdi katmanından başlayarak sınıflandırma işlemleri gerçekleştiren çeşitli katmanlardan oluşur. (Gündüz, G. ve Cedimoğlu, İ.H.)

Büyük verileri daha küçük boyutlu kod ile temsil etme hash işlemiyle gerçekleştirilir. Hash değerleri, verinin bir tür parmak izi gibidir ve verinin değiştirilip değiştirilmediğini doğrulamak, benzersiz bir temsil sağlamak veya veriye hızlı erişim sağlamak gibi çeşitli amaçlarla kullanılabilir.

UYGULAMA

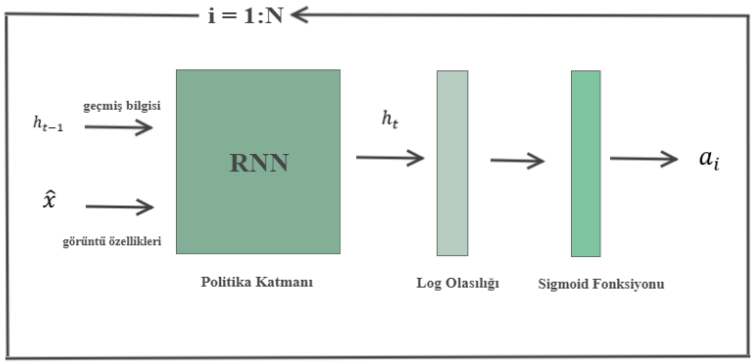


***Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**2.** VGG-19 ağı ile görüntü özelliği çıkarma mimarisi*

Çalışma açık kaynaklı framework PyTorch üzerinde uygulanmıştır.İlk adım olarak bir dizi katman içeren VGG-19 ağını kullanarak görüntülerin özelliklerini çıkartılır. Evrişimli sinir ağları (CNN'ler), özellikle görsel tanıma görevlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Görüntü özelliklerini çıkarma işlemi, evrişimli sinir ağını kullanarak görüntüden çeşitli özelliklerin (noktalar, kenarlar, desenler) çıkarılması işlemidir.

Görüntüyü boyutlandırma, normalleştirme ön işlemeleri yapılır. Şekil 2 de gösterildiği gibi görüntü, ağın evrişim katmanlarından geçirilir. Her bir katman, görüntünün farklı özelliklerini çıkarır. Daha derin katmanlar daha soyut özellikler (yüksek seviyeli desenler, nesne parçaları) çıkarır. Evrişim katmanlarının çıktıları, tam bağlantılı katmanlara beslenir, görüntü özelliklerini çıkarma işlemi için son asama tam bağlantılı katmanlardır. Bu çıktılar, özellik vektörü olarak adlandırılır ve modelin daha spesifik görevlerde daha etkili olmasını sağlar. Özellik çıkarma aşaması sonucu oluşan özellik vektörleri politika ağına girer.

Politika ağındaki RNN in gizli katmanının boyutu 4096 olarak ayarlanmıştır. Tüm deneylerde ağlar 0.001 başlangıç öğrenme hızıyla eğitilmiştir. RNN (tekrarlayan sinir ağı) ile birlikte actor-critic yöntemini içeren politika ağı bir ajan gibi davranmaktadır. RNN ağı, sırasıyla her bir görsel için her bir pikseli işleyerek görseli bir dizi ikili koda dönüştürmek için karar alır. Bu süreci görselin hash kodunu üretmek için alınan bir dizi ardışık karar oluşturmaktadır. Politika ağı, önceki kararların geçmişini saklar ve verilen durum için (görüntü özellikleri ve geçmiş) bir eylem (hash kodu) üretir. Modelin önceki kararları hatırlayabilmesini amacıyla bir sonraki aşamada kullanılmak üzere hash kodlarının geçmişi saklanır.



***Şekil 3.** Bit çıkarım modeli*

Şekil 3 de verilen modelde önceki zaman adımında h_{t-1} elde edilen geçmiş bilgileri, $\hat{x}$ ise görüntüyü temsil eden görüntü vektörünü ifade eder. RNN önceki zaman adımlarından gelen bilgiyi dikkate alarak ve görüntü özelliklerini işleyerek bir çıktı h_t üretir. Bu çıktı log

olasılık değerine girer, daha sonra sigmoid fonksiyonu ile çıktı [0,1] aralığına sıkıştırılarak olasılık değerlerini temsil etmek için kullanılır.

Gerçek etiketler ile üretilen hash kodları arasındaki eşleşmeyi değerlendirmek için bir ödül fonksiyonu kullanılır. Görüntü etiketleri ile politika ağının çıktısı olan eylemler bu ödül fonksiyonuna girer ve sonucunda bir ödül (reward) elde edilir. Modelin ürettiği hash kodlarının kalitesini bu fonksiyon ile ölçülür. Ödül, politika ağının verilen bir durum ve eylem kombinasyonunu ne kadar iyi bulduğunu veya ne kadar doğru bir şekilde tahmin ettiğini belirtir. Politika ağının parametrelerini doğrudan optimize ederek politika ağının performansını artırmak için reinforce algoritması kullanılmıştır.

Politika ağı, verilen bir görüntü için en uygun hash kodlarını üretecek şekilde daha yüksek ödül alınmasını sağlayan eylemleri öğrenir. Süreç, bir döngü içinde tekrarlanır. Her iterasyonda, görüntülerin özellikleri öğrenilir, politika ağı ile hash kodları üretir, ödül fonksiyonu kullanılarak değerlendirme yapılır ve bunun sonucunda politika ağı güncellenir. Bu şekilde, verilen bir görüntü için en uygun hash kodlarını üretebilmek için sürekli olarak model kendini geliştirir ve daha iyi hash sonuçları oluşturulur.

SONUÇ

CIFAR10 veri kümesinde farklı uzunluklardaki ikili hash kodları için MAP puanlarına göre önerilen yöntem ortalama 0.840 MAP puanı ile en yüksek performansı göstermiştir ve tüm ikili hash kodu uzunluklarında sürekli olarak en iyi sonuçları elde etmiştir. Derin hash yöntemleri arasında en yüksek MAP değeri olan HashNet ile karşılaştırıldığında, ortalama 0.818 MAP puanı elde eden HashNet'e göre yöntemin mutlak iyileştirmesi 0.022'dir. DSH ile karşılaştırıldığında, ortalama 0.722 MAP puanı elde eden DSH'e göre yöntemin mutlak iyileştirmesi 0.118'dir. CNNH ile karşılaştırıldığında, ortalama 0.666 MAP puanı elde eden CNNH'e göre yöntemin mutlak iyileştirmesi 0.174'dür. NUS-WIDE veri kümesinde farklı uzunluklardaki ikili hash kodları için MAP puanlarına göre önerilen yöntem en iyi MAP puanlarını elde etmiştir (ortalama 0.840). Yöntem HashNet 'e göre (ortalama 0.829) ortalama MAP'te 0.011 mutlak bir iyileştirme elde etmiştir. DSH ile karşılaştırıldığında, ortalama 0.803 MAP puanı elde eden DSH'e göre yöntemin mutlak iyileştirmesi 0.037'dir. CNNH ile karşılaştırıldığında, ortalama 0.770 MAP puanı elde eden CNNH'e göre yöntemin mutlak iyileştirmesi 0.07'dir. MIRFlickr veri kümesinde farklı uzunluklardaki ikili hash kodları için MAP puanlarına göre ise önerilen yöntem en iyi MAP puanlarını elde etmiştir (ortalama 0.808).Yöntem, HashNet 'e göre (ortalama 0.782) ortalama MAP'te 0.026 mutlak bir iyileştirme elde etmiştir. DSH ile karşılaştırıldığında, ortalama 0.0675 MAP puanı elde eden DSH'e göre yöntemin mutlak iyileştirmesi 0.133'dür. CNNH ile karşılaştırıldığında, ortalama 0.758 MAP puanı elde eden CNNH'e göre yöntemin mutlak iyileştirmesi 0.082'dir.

Çalışmada görüntü hash yöntemi olarak derin pekiştirmeli öğrenme yaklaşımı kullanılmıştır. Hash işlevlerini modellemek için politika tabanlı derin pekiştirme öğrenme ağı önerilmiştir. Hash işlevlerini ajan olarak alarak ve görüntüleri ikili kodlara sıralı olarak yansıtmak için tekrarlayan sinir ağı (RNN) kullanılmıştır. Tüm ağ iki hiyerarşik ödül işlevini optimize ederek eğitilmiştir. Önerilen ardışık öğrenme stratejisi geçmiş eylemler tarafından üretilen hataları düzelterek genel doğruluğu tekrar tekrar optimize edebilmektedir, Yaygın olarak kullanılan cifar10, nus-wide, mirflickr verisetleri üzerinde yapılan deneyler önerilen yaklaşımın etkililiğini göstermiştir.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynakça

Swaminathan, A., Mao, Y., & Wu, M. (2006). Robust and secure image hashing. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, *1*(2), 215–230. https://doi.org/10.1109/TIFS.2006.873601

Henderson, P., Islam, R., Bachman, P., Pineau, J., Precup, D., & Meger, D. (n.d.). Deep Reinforcement Learning that Matters. www.aaai.org

Lillicrap, T. P., Hunt, J. J., Pritzel, A., Heess, N., Erez, T., Tassa, Y., Silver, D., & Wierstra, D. (2015). Continuous control with deep reinforcement learning. http://arxiv.org/abs/1509.02971

Liu ,H., Wang ,R., Shan ,S., & Chen ,X., "Deep Supervised Hashing for Fast Image Retrieval".

Li ,W. J., Wang, S., & Kang, W.C. "Feature Learning based Deep Supervised Hashing with Pairwise Labels".

Zhu, H., Long ,M., Wang ,J., & Cao ,Y., "Deep Hashing Network for Efficient Similarity Retrieval *". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.aaai.org

Cao, Z., Long, M., Wang, J., & Yu ,P. S. , "HashNet: Deep Learning to Hash by Continuation *".

Su ,S., Zhang ,C., Han ,K., & Tian ,Y., "Greedy Hash: Towards Fast Optimization for Accurate Hash Coding in CNN".

Li, Q., Sun, Z., He ,R., & Tan, T., "Deep Supervised Discrete Hashing".

Wang ,X., Shi ,Y., & Kitani, K. M., "Deep Supervised Hashing with Triplet Labels", Ara. 2016, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: http://arxiv.org/abs/1612.03900

Li,Y., Pei, W., Zha, Y., & Gemert ,J. V.,"Push for Quantization: Deep Fisher Hashing", Ağu. 2019, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: http://arxiv.org/abs/1909.00206

Zhang ,Z., Zou ,Q., Lin, Y., Chen ,L., & Wang, S. "Improved Deep Hashing with Soft Pairwise Similarity for Multi-label Image Retrieval", Mar. 2018, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: http://arxiv.org/abs/1803.02987

Zheng, X., Zhang ,Y., & Lu, X., "Deep balanced discrete hashing for image retrieval", *Neurocomputing*, c. 403, ss. 224-236, Ağu. 2020, doi: 10.1016/j.neucom.2020.04.037.

Jiang ,Q. Y. & Li ,W. J., "Asymmetric Deep Supervised Hashing". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.aaai.org

Chen ,Y., Lai ,Z., Ding ,Y., Lin ,K., & Wong ,W. K., "Deep Supervised Hashing with Anchor Graph".

Yuan, L. *vd.*, "Central Similarity Quantization for Efficient Image and Video Retrieval". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://github.com/yuanli2333/

Li ,Y. & Gemert ,J. V., "Deep Unsupervised Image Hashing by Maximizing Bit Entropy", Ara. 2020, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: http://arxiv.org/abs/2012.12334

Kumar, S. (2020, 29 Ocak). Supervised vs Unsupervised vs Reinforcement https://www.aitude.com/supervised-vs-unsupervised-vs-reinforcement/ 19 Mart 2024 tarihinde alınmıştır.

Fernando,P. & Faustino, P., "INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA Dynamic Equilibrium through Reinforcement Learning", 2011.

Torres, J. (2020, 10 Eylül). Policy-Gradient Methods. https://towardsdatascience.com/policy-gradient-methods-104c783251e0 adresinden 16 Mart 2024 tarihinde alınmıştır.

Gündüz ,G. & Cedimoğlu ,İ.H., "Derin Öğrenme Algoritmalarını Kullanarak Görüntüden Cinsiyet Tahmini", 2019. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://data.vision.ee.ethz.ch/cvl/rrothe/imdb-wiki/

Sutton R. S. & Barto A. G., Reinforcement Learning: An Introduction Second edition, in progress.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Synthesis of pH-Responsive Poly(2-diethylaminoethyl methacrylate) Thin film by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition

Emine SEVGİLİ MERCAN[1]
Mehmet GÜRSOY[2]
Mustafa KARAMAN[3]

Abstract

In this study, poly(2-diethylaminoethyl methacrylate) (PDEAEMA) was deposited as a pH responsive polymeric thin film by plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) as a vapor-based deposition strategy. The chemical structure of the as-deposited PDEAEMA films was revealed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analyses. Furthermore, kinetic studies were conducted to investigate the impact of significant parameters such as substrate temperature and plasma power on deposition rates. The highest deposition rate (19.1 nm/min) was achieved at a substrate temperature of 10 °C and a plasma power of 60 W. The calculated activation energy was -24.6 kj/mol, which indicated an adsorption-limited deposition kinetics. The responsive property of the as-deposited films was revealed using contact angle measurements under different pH conditions. The films were found to be pH responsive such that they exhibited hydrophilic behavior after exposure to acidic solution and hydrophobic behavior after exposure to basic solution.

[1] Dr., Konya Technical University, Department of Chemical Enngineering, Orcıd: 0000-0001-8391-741X
[2] Assoc. Prof. Dr., Konya Technical University, Department of Chemical Enngineering, Orcıd: 0000-0003-2275-9096
[3] Prof. Dr., Konya Technical University, Department of Chemical Enngineering, Orcıd: 0000-0001-8987-4246

ISBN: 978-625-372-170-1

INTRODUCTION

Stimuli-responsive polymers are materials that chemically or physically change their properties in response to single or multiple environmental stimuli. These stimuli can be of various types such as pH, temperature, mechanical force and electric/magnetic fields (Theato et al.,2013,7055-7056). Such smart polymers have found many applications in biology and medicine and can be used as sensors and biosensors, for controlled drug delivery, chemo-mechanical actuators and many other applications (Wei et al., 2017, 127-143). The most widely studied types of these polymers are temperature- and pH-responsive polymers.

Vapor or solvent based techniques can be used for the production of responsive polymeric thin films. Chemical vapor deposition (CVD) is a technique for producing polymeric thin films on different substrates using a vapor phase polymerization reaction that nearly removes the difficulties associated with wet chemical synthesis of thin films (Sarıipek et al., 2021,1469-1477). CVD overcomes many of the problems related to other surface coating methods while providing an easy method to achieve conformal, homogeneous coatings in a single chemical production step in a dry vapor environment (Sevgili and Karaman, 2019, 137446).

Plasma-assisted CVD (PECVD) is a type of CVD that utilizes plasma to activate organic/inorganic chemical monomers to deposit thin films. PECVD is a deposition method that can use a variety of solid, liquid or gas phase precursors for easy, fast and solvent-free production of thin coatings (Gürsoy et al., 2016, 438-446). Typically, thin films deposited by PECVD are chemically insoluble, mechanically rigid and thermo-stable films due to their strongly branched and crosslinked architecture (Vasudev et al., 2013, 3983–3994).

In this study, pH-responsive PDEAEMA polymeric thin films were deposited by PECVD method. Reaction kinetics studies of polymeric thin films were carried out by investigating the change in deposition rate at different substrate temperatures and plasma powers. pH responsivity studies were investigated by contact angle measurements in acidic and basic environments. PECVD is a promising method for the synthesis of pH sensitive polymeric thin films for various applications.

MATERIAL and METHOD

The deposition of PDEAEMA thin films was carried out using 2-diethylaminoethyl methacrylate (DEAEMA) (99%, Sigma-Aldrich) as monomer. The films were deposited on silicon substrate (100, p-type). Acetone (≥99.5%, Sigma-Aldrich) was used for reactor cleaning after coating.

Figure 1 schematically shows the PECVD system used for PDEAEMA polymeric thin film synthesis. The substrates to be coated were placed on the reactor bottom and the bottom temperature was adjusted to the desired temperature with the help of a chiller. Monomer was fed into the reactor by vaporizing from stainless-steel pot. DEAEMA monomer and the line connecting it to the reactor were heated to 70 and 80°C, respectively. During all experiments, the reactor pressure was maintained at 75 mtorr with a PID controlled pressure controller. After the pressure reached the desired value, the plasma power was adjusted. The experiments were carried out at plasma powers of 20, 40,60 and 80 W and substrate temperatures of 10, 20, 30 and 40°C.

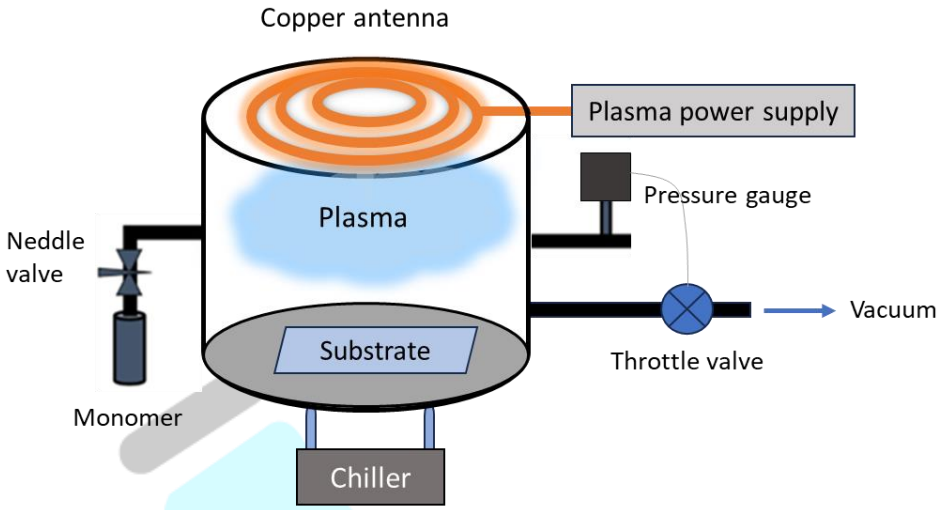


Figure 1. *Schematic drawing of the PECVD system*

Deposition rates of polymer thin films were calculated by dividing the thickness of the films by the time taken for deposition. During the deposition, instantaneous thicknesses were observed with a laser interferometer. After the experiments, the accuracy of the interferometer results was tested with a profilometer (AEP brand 500LS). The chemical analysis of the films was performed using FTIR and XPS (Thermoscientific). The FTIR spectrum was recorded using a reflector apparatus with a resolution of 4 cm^{-1} and 32 scans. XPS analyses were performed with an Al source. The contact angle measurements of the films on the substrate surfaces were carried out using a goniometric contact angle device.

RESULTS and DISCUSSION

PDEAEMA thin films were deposited at different substrate temperatures (10, 20, 30 and 40°C) and plasma powers (20, 40, 60 and 80 W). Figure 2 shows the graph of the change in deposition rates of PDEAEMA thin films at different substrate temperatures and plasma powers. The lowest deposition rate was obtained at a plasma power of 20 W. According to the results, the deposition rate increases when the plasma power is raised from 20 to 60 W, but there is a decrease in the deposition rate when the plasma power is further raised up to 80 W. The decrease in the deposition rate at a high plasma power can be attributed to the existence of high-density plasma at such high power values, which may cause extensive fragmentation of the monomers together with the etching of the as-deposited polymeric thin film due to the existence of highly energetic ions. Similar relationship between deposition rates and plasma powers were observed in literature for the deposition of functional polymers by PECVD (Gürsoy and Karaman, 2018, 190-197). The highest deposition rate observed in this study were achieved at a substrate temperature of 10ºC and a plasma power of 60 W.

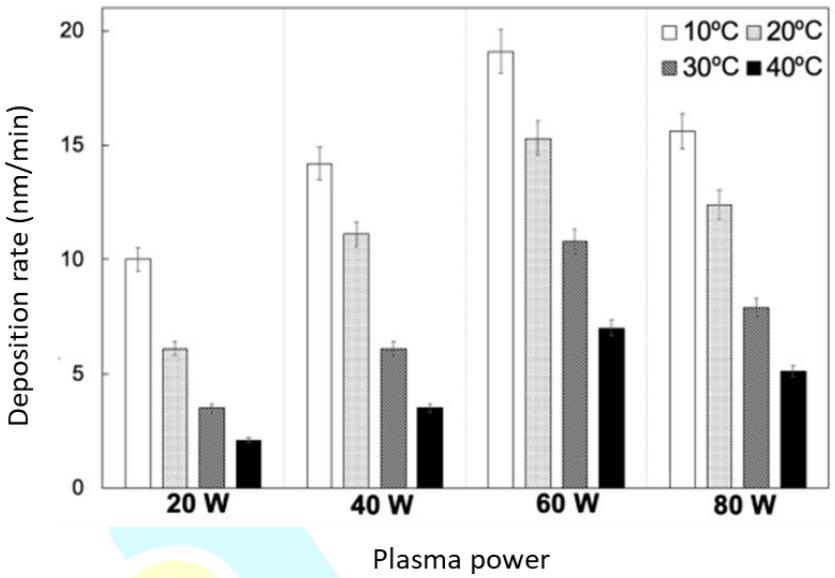


Figure 2. *The deposition rates of PDEAEMA thin films deposited at different plasma powers and substrate temperatures*

In this study, another important point observed regarding the deposition rates of pH-responsive polymers is the relationship between substrate temperatures and deposition rates. The deposition rates of PDEAEMA thin films exhibited similar behavior in response to varying substrate temperatures for each applied plasma power. A constant decrease in deposition rates was observed as the substrate temperature increased from 10°C to 40°C. Among the PECVD parameters, temperature is one of the most critical factors determining the rate-limiting step. The most well known rate limiting steps are surface adsorption and surface reactions (Karaman et al., 2017, 085503). In this study, the observed decrease in the deposition rates with increasing substrate temperature indicated that surface adsorption is the rate-limiting step. Figure 3 shows the Arrhenius plot of the films deposited at a plasma power of 60 W. The activation energy calculated from the slope of the plot was -24.6 kJ/mol, negative value of which indicates also an adsorption-limited behavior.

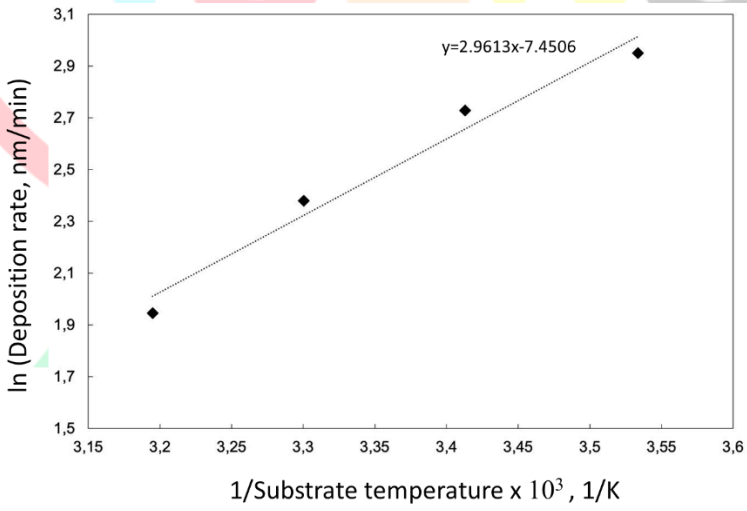


Figure 3. *The Arrhenius plot for PDMAEMA thin films deposited by PECVD at 60 W.*

Figure 4 shows the FTIR spectrum of the PDEAEMA polymer thin film along with the spectrum of the used monomer. In all spectra, the peaks between 3100-2800 cm^{-1} indicates C-H stretching; the peak at 1730 cm^{-1} represents the C=O bond, the peaks between 1500-1350 cm^{-1} indicates C-H bending, and the peak at 1260 cm^{-1} corresponds to CH_2 groups. All these peaks belong to characteristic peaks that should be present in the polymer (Lin-Vien, 1991).

The peak observed at 1650 cm^{-1} in the monomer spectrum indicates the presence of the C=C bond, which is not observed in the polymer spectrum. The lack of C=C bonds in the polymer indicates that polymerization proceeds through unsaturated C=C bonds.

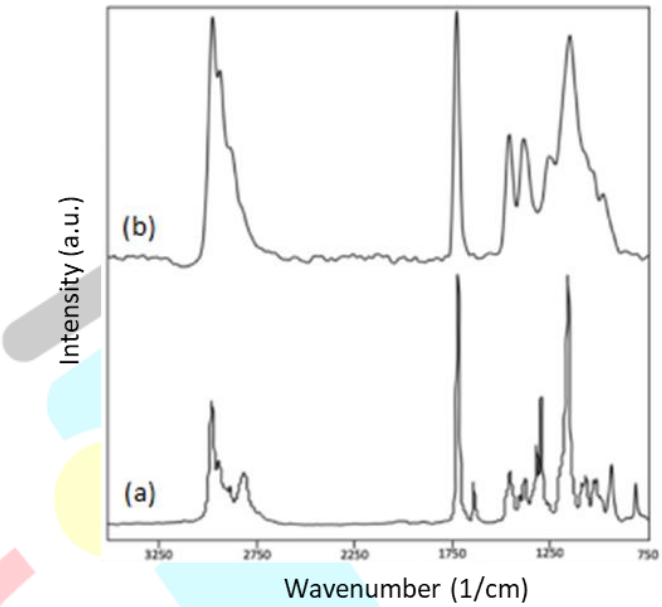


Figure 4. *FTIR spectrum of a) monomer DEAEMA b) PDEAEMA*

Table 1 shows the atomic percentages of the deposited PDEAEMA films calculated from XPS survey scan and the theoretical values calculated based on the chemical structure of the monomer. The resemblance between the experimental and theoretical valued indicate that PECVD produced PDEAEMA films with high structural retention.

Table 1. *The atomic percentages of elements in the PDEAEMA polymer*

Polymer	**Atomic percentages**					
	C		O		N	
	Experimental	Theoretical	Experimental	Theoretical	Experimental	Theoretical
PDEAEMA	73.4	76.9	18.9	15.4	7.7	7.7

The results of contact angle measurements conducted on as-deposited PDEAEMA on silicon wafer surfaces are presented in Table 2. Measurements were taken immediately after exposure to acidic and basic solutions followed by drying. As expected, the polymer exhibited hydrophilic behavior after exposure to acidic solution and hydrophobic behavior after exposure to basic solution.

Table 2. *The contact angle measurement results of pH-responsive PDEAEMA polymer*

	Acidic medium contact angle (°)	**Basic medium contact angle (°)**
PDEAEMA	42.6	96.2

CONCLUSION

In this study, pH sensitive PDEAEMA polymeric thin films were fabricated by PECVD method. With a parametric study using substrate temperature and plasma power as the independent variables, the effects of such parameters on the deposition rates were studied. The deposition rates were found to be inversely proportional with substrate temperature, which

implied an adsorption-limited deposition kinetics. The highest deposition rate was obtained at a plasma power of 60 W. The as-deposited films exhibited pH dependent wetting properties.

ISBN: 978-625-372-170-1

REFERENCES

Gürsoy, M. and Karaman, M., (2018). Improvement of wetting properties of expanded perlite particles by an organic conformal coating, *Progress in Organic Coatings, 120,* 190-197. doi: 10.1016/j.porgcoat.2018.03.021

Gürsoy, M., Uçar, T., Tosun, Z. and Karaman, M. (2016). Initiation of 2-hydroxyethyl methacrylate polymerization by tert-butyl peroxide in a planar PECVD system. *Plasma Processes and Polymers, 13*(4), 438-446. doi:10.1002/ppap.201500091

Karaman, M., Gürsoy, M., Aykül, F., Tosun, Z., Kars, M. D., and Yıldız, H. B., (2017). Hydrophobic coating of surfaces by plasma polymerization in an RF plasma reactor with an outer planar electrode: synthesis, characterization and biocompatibility, *Plasma Sci. Technol.*, 19, 085503. doi: 10.1088/2058-6272/aa6fec

Lin-Vien, D., Colthup, N. B., Fateley, W. G., Grasselli, J. G., (1991), *The handbook of infrared and Raman characteristic frequencies of organic molecules*, Elsevier.

Sarıipek, F. B., Mercan Sevgili, E., & Karaman, M., (2021). One-step fabrication of superhydrophobic-superoleophilic membrane by initiated chemical vapor deposition method for oil-water separation. *Colloid And Polymer Science*, 299, 1469-1477. doi: 10.1007/s00396-021-04870-1

Sevgili, E., Karaman, M., (2019), Initiated chemical vapor deposition of poly(Hydroxypropyl methacrylate) thin films, *Thin Solid Films, 687,* 137446. doi: 10.1016/j.tsf.2019.137446

Theato, P., Sumerlin,B.S., O'Reillyc R,K., and Epps, T.H., (2013). Stimuli responsive materials, *Chem. Soc. Rev., 42,* 7055-7056. doi: 10.1039/C3CS90057F

Vasudev, M. C., Anderson, K. D., Bunning, T. J., Tsukruk, V. V., and Naik, R. R., (2013). Exploration of plasma-enhanced chemical vapor deposition as a method for thin-film fabrication with biological applications, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 5, 10, 3983–3994. doi: 10.1021/am302989x

Wei, M., Gao, Y., Li, X., and Serpe, M. J., (2017). Stimuli-responsive polymers and their applications, *Polym. Chem., 8,* 127-143. doi : 10.1039/C6PY01585A

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Calculatıon And Desıgn Evaluatıon Of Steel Constructıons By Fınıte Element Method

ENES DEMİRHAN[1]
İBRAHİM ÇAYIROĞLU[2]

Abstract

Design studies of steel structures, which are widely used today, are very important. Structural analysis of these structures according to their usage areas varies according to the usage areas of the structures. Finite element method is used in the analysis of these structures. One of the finite element programs, ANSYS program, will be used to analyze these structures and evaluate the design studies and evaluate the results. At the beginning of steel structures, structures such as steel bridges, pressure vessels, which are used continuously today, are used. The general process of calculating the analysis of these structures is very important to use the real life values on the program. The structural analyzes to be made must be in accordance with reality. Shell modeling is used in these structures. Shell method is used in shell modeling. This modeling method is the method that gives the most accurate results close to reality in the finite element method. All of these structures are structures prepared in accordance with ISO standards. The profiles used in the structures are profiles and plates that are widely used in the field. The S-N diagram (wöhler curve) of each material used in steel structures is very important. The modulus of elasticity of the material should be selected according to the place and conditions to be used and used in steel structures. The selection of each material according to the design is very important in this process. The one of the main factors that will directly affect the structural analysis. Material selection is of serious importance in finite element method. In the analyzes, it is necessary to determine the connection types to the structure to be formed according to the place of use. Accordingly, it ensures that the parameters to be used in the finite element method affect the analysis. Design evaluation will be realized by considering the issues to be considered in structural analysis.

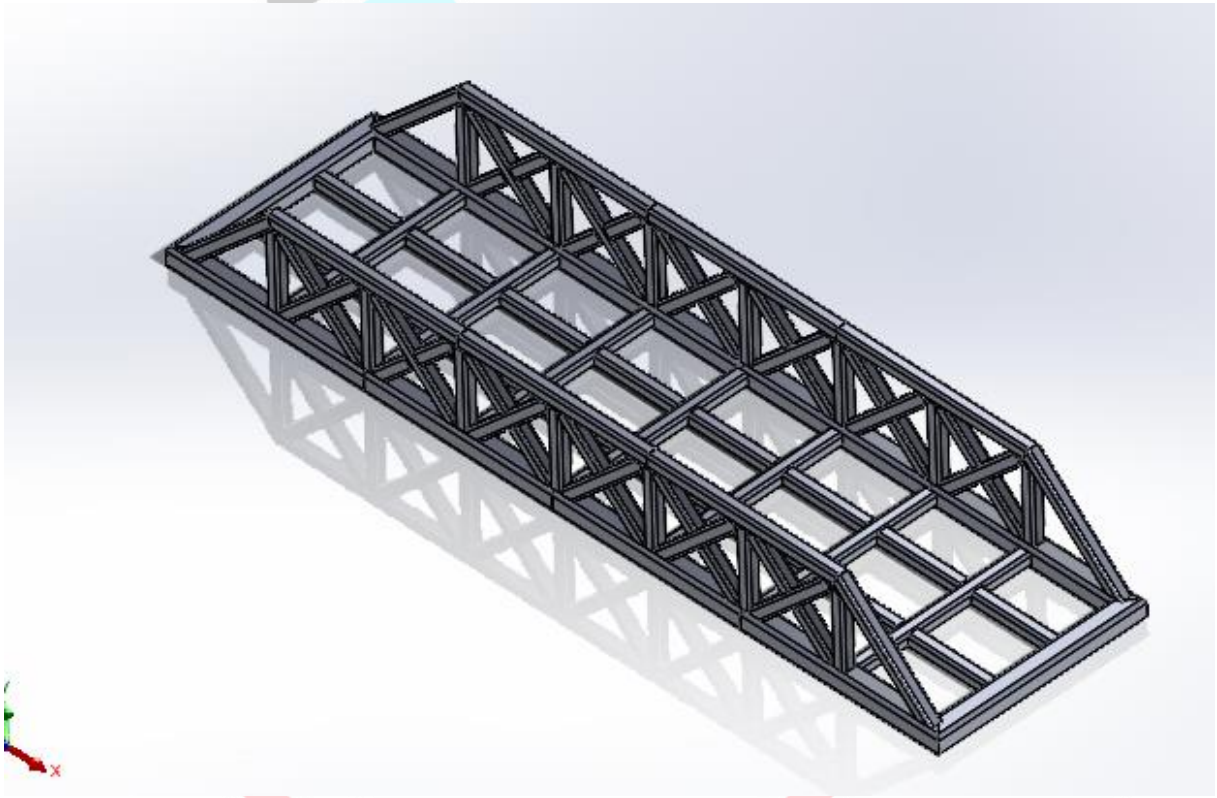
Keywords: Ansys,Finite Elements, Steel Constructions

[1] Lisans Öğrencisi, Karabük Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, 0009-0001-5074-3561
[2] Doç.Dr, Karabük Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, 0000-0001-5694-034X

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Yaygın olarak kullanılan çelik konstrüksiyon yapılarının Sonlu Elemanlar Metodu ile hesaplamalarının yapılıp bu sonuçlara bağlı olarak yapılacak tasarım etüdünün değerlendirilmesi gereklidir. ANSYS programı üzerinde bu hesaplamaları gerçekleştirip tasarım bu hesaplamalar sonucunda değerlendirilecektir. ANSYS de çelik konstrüksiyonların tasarımında Shell modelleme kullanılmaktadır. Profil ve sac levha gibi malzemeleri Shell modelleme ile dizayn edip hesaplamaları yapılmaktadır. Solidworks programında tasarımı gerçekleştirilecek olan her çelik konstrüksiyonun gerçeğe yakın sonuçlar alması için Shell modelleme kullanılmaktadır.



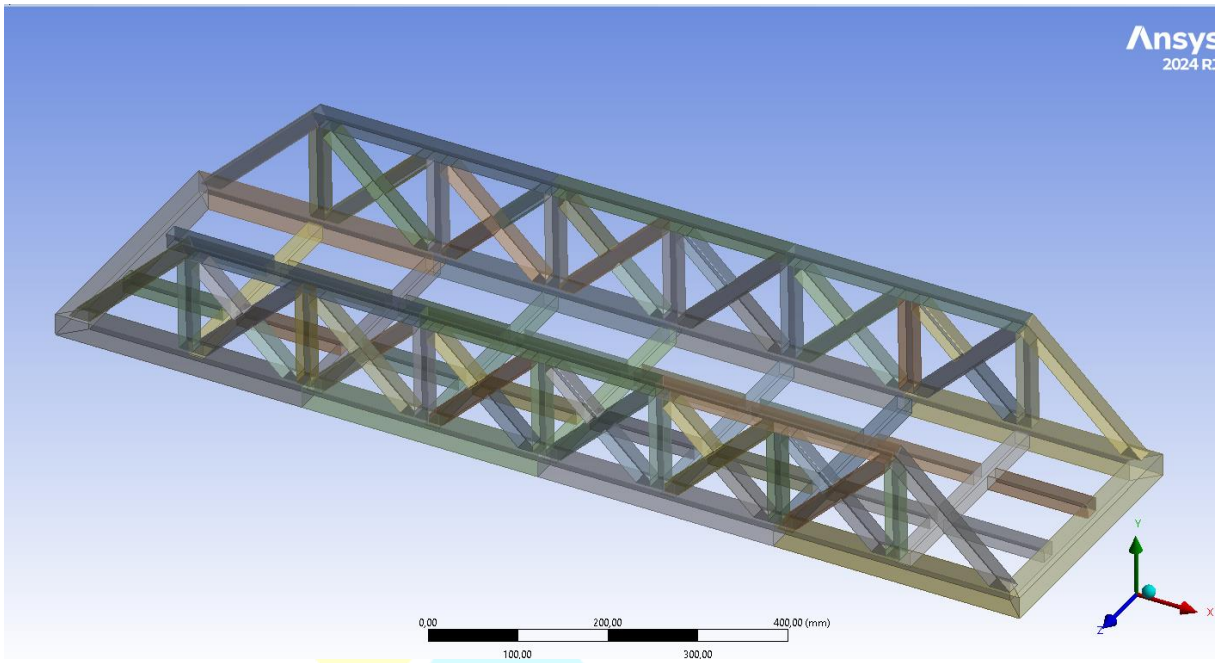
Şekil 1- Hazırlanan Çelik konstrüksiyon Köprü Örneği

İSO standartlarında kullanılan profiller kullanılmış olup tasarım onlarla gerçekleşmiştir. Tasarlanan model gerçek bir örnekten alınıp buna göre dizayn edilmiştir. Sonlu Elemanlar Metodu ile analize uygun hale getirilmek üzere ANSYS programına aktarılmaktadır.

YÖNTEM

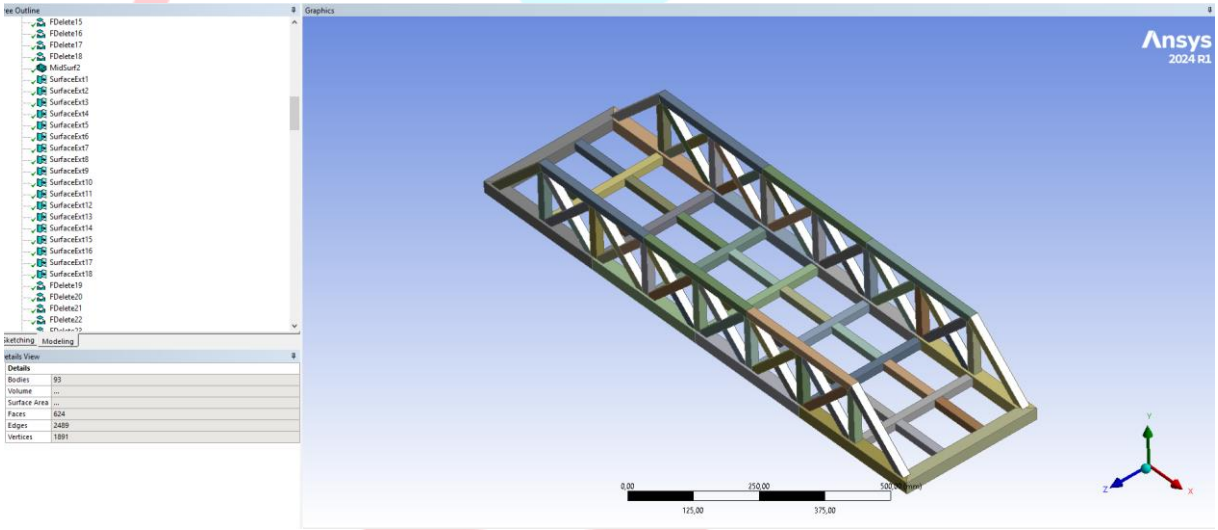
Model Aktarımı

Hazırlanan köprü modelinin tasarım etüdü değerlendirilmesi ve yapısal analiz süreçlerinin tamamlanabilmesi için ANSYS programına aktarılmaktır. ANSYS programına aktarılma süreci tamamlandıktan sonra shell modelleme işlemi başlatılmaktadır. Shell modelleme yapısal analiz sürecinde kabuk modelleme diye anılmaktadır.



Şekil 2- Ansys'e Aktarılıp Modellenen Köprü Örneği

Shell modelleme ile modellenmiş köprü örneğidir. Transparan bir bakış ile model içerisinde iç içe geçmiş gövdeler var mı öncelikle kontrol edilmektedir. Analizde herhangi bir sapma olmaması için bu tasarım kısmında büyük önem taşıyan bir unsurdur.



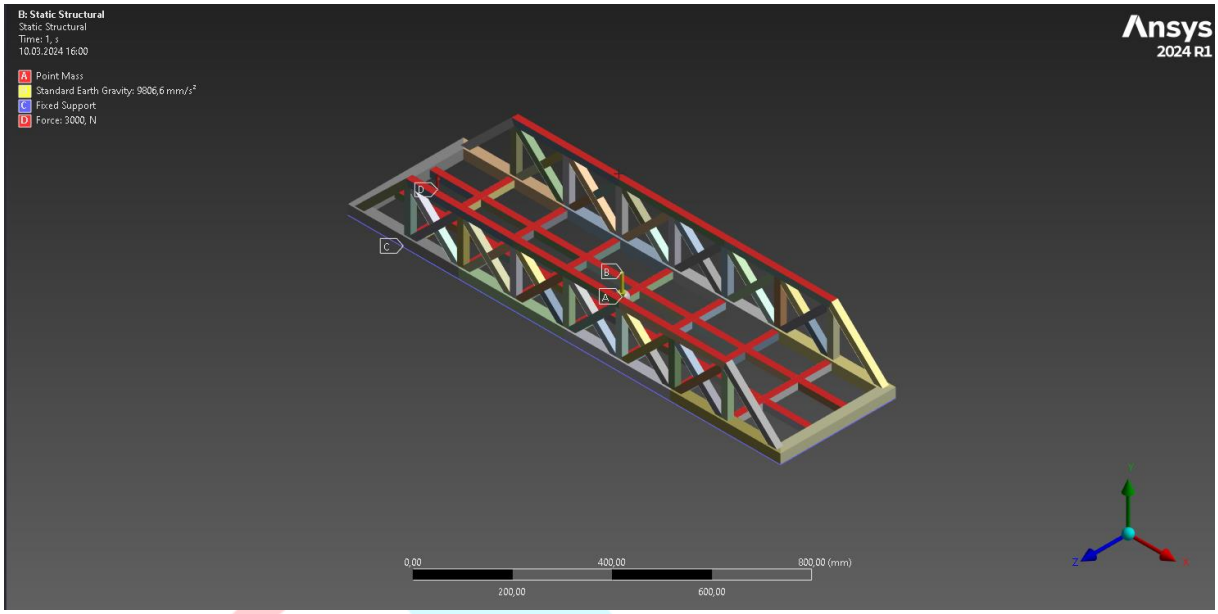
Şekil 3- Tasarımı hazır olan Köprü Modeli ve Unsur Ağacı

Shell modelleme ile tamamen tasarımı bitmiş olan köprü modeli analize hazırlanmıştır. Tasarım etüdü yapılacak analizden sonra ortaya çıkacak hesaplamalar sonucu değerlendirilecek olup tasarımda eksiklikler var mı, yeniden dizayn edilmesi gereken yerler belirlenecek olup tekrar yeni bir tasarım oluşturulacaktır.

Modele Yük Girdilerinin Girilmesi

Oluşturulan modelin analiz hesaplamalarının oluşabilmesi için modele belirli yük girdilerinin etki etmesi gerekmektedir. Buna bağlı olarak modelde gerçek hayatta ki oluşan yüklerin modele etki etmesini sağlanması gerekmektedir. Buna bağlı olarak modelde oluşan gerilmeler, deformeler görülecektir. Modelde etki eden bu hususlar sayesinde oluşan analiz sonuçları incelenmektedir. Analiz sonuçları sonucunda gerekli tasarım incelemeleri

yapılmaktadır. Bu incelemeler sonucunda tasarımda etüdünde yapılması gerekli olan değişiklikler belirlenmektedir.

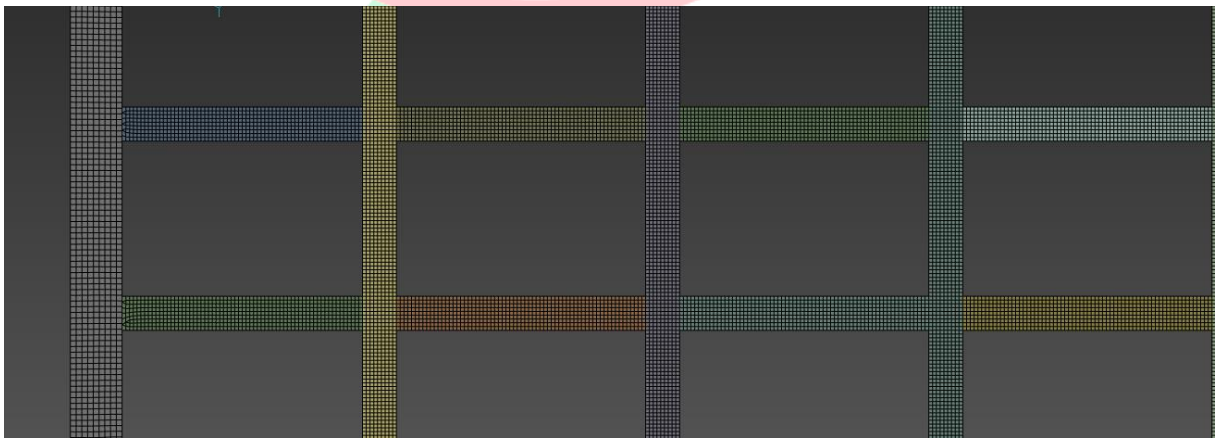


Şekil 4- Statik Analiz Için Gerekli Yük Girdilerinin Gösterilmesi

Şekil 4- de belirtildiği üzere hazırlanana köprü modeline gerçek hayatta olağan yük girdileri girilerek modelin çözüm aşamasına uygun hale getirilmiştir. Point Mass değerini girilerek köprünün üzerinde sabit bir yük etkisi var gibi gösterip gerçek gerçek hayatta köprünün üstünde olan sabit ağırlık kısmı girilmiştir. Buna bağlı olarak da bir yer çekimi kütlesi girilmesi gerekmektedir. Newton Kanunlarına göre, bu sebepten dolayı modele bir de yer çekimi etki etmektedir. Model normal bir zamanda yol olarak kullanıldığı için üstünden dakikalar veya saniyeler içerisinde araçlar geçmektedir, bunlara bağlı olarak ortalama bir kuvvet değeri girilmesi gerekmektedir. Bu sebepten ötürü bir Force değerinin girilmesi gerekmektedir. Bu değerler doğrultusunda analiz gerçekleşecek olup çözümleme sağlanacaktır.

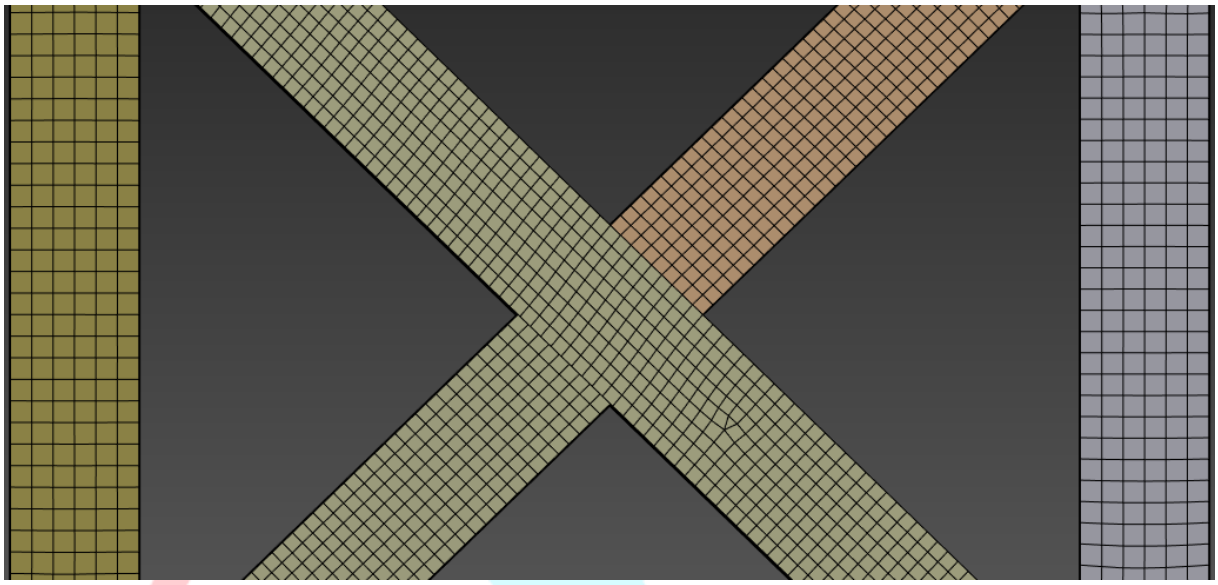
MESH YAPISI

Mesh yapısı tasarım etüdünün değerlendirilmesi ve analiz sonuçları için önemli etkendir. Mesh yapısı hazırlanan modele göre değişmektedir. Modele göre bir metot oluşturulmaktadır. Mesh parametrelerinin her mesh oluşumundan sonra incelenmesi gerekmektedir. Bu parametrelerde mesh kalitesine bakılmaktadır. Mesh kalitesi ne kadar iyiyse analiz sonuçlarının o kadar gerçeğe yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5- Modeldeki Mesh Yapısı

Yapılan köprü modelinde mesh işlemi gerçekleştirilmiştir. Mesh kısmı analiz sonuçlarının doğruluk payı açısından önemli bir kısma sahiptir. Analiz sonuçlarının doğruluğu oluşturulan mesh deki kaliteye bağlıdır. Ne kadar kaliteli bir mesh oluşturulursa model üzerinde o kadar sağlıklı ve verimli bir sonuç elde edilmektedir. Tasarlanan köprü modelinde taban profillerindeki mesh kısmını resimde incelenmektedir. Kararlı bir mesh yapısına sahip olduğu görülmektedir.



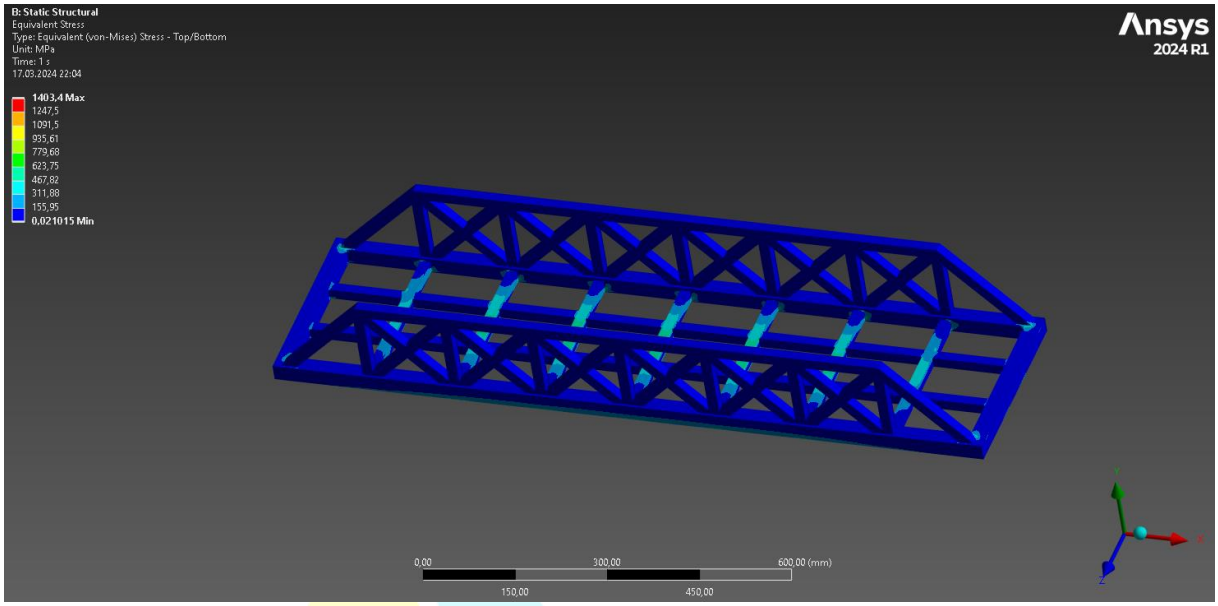
Şekil 6- Destekleyici Profiller Arasındaki Mesh Yapısı

Destekleyici profiller arasındaki mesh işlemi tasarlanan köprü modelinde büyük bir öneme sahiptir. Köprü modelindeki destekleyici profillerin modele gelen yük dağılımını azaltması için konulmaktadır. Bu sebepten dolayı oluşturulan meshin kalitesi de önem arz etmektedir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

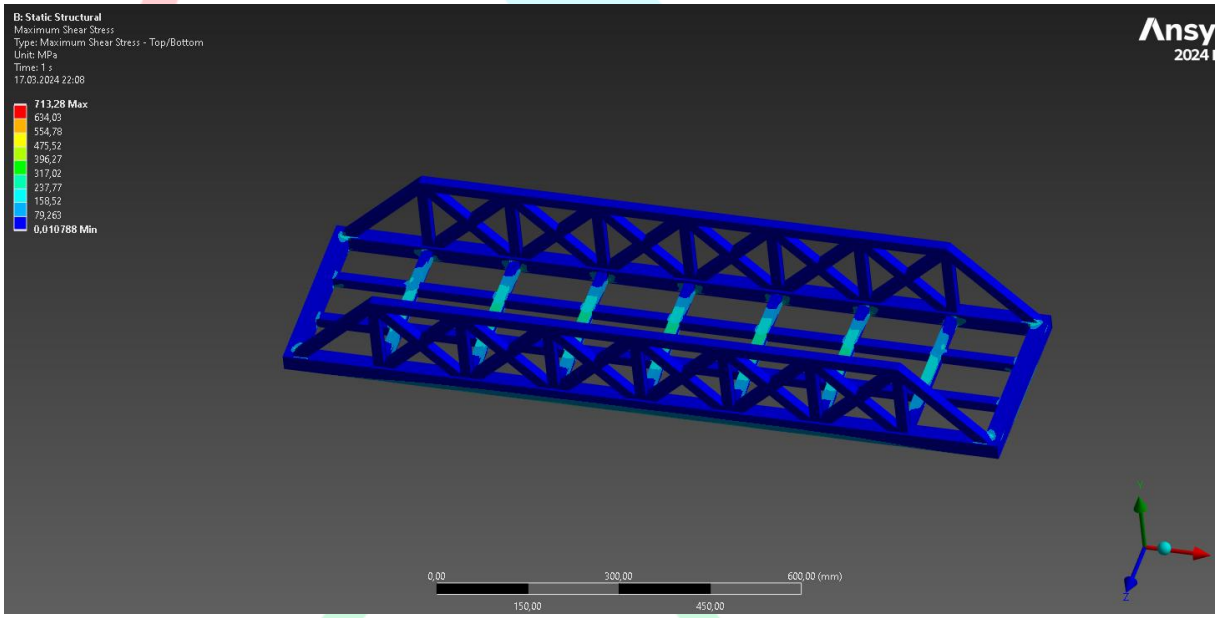
Analiz Sonuçları

Tasarlanan köprü modelinde analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları incelenmektedir. Analiz sonuçları incelenirken oluşan gerilmeler, deformasyonlar incelenmektedir. Yapıda en çok yüke mağdur kalan yerler tespit edilmektedir. Modeldeki tasarım bunlara göre değerlendirilmektedir.



Şekil 7- Analizi yapılmış Köprü Modeli

Şekil 7- te de görüldüğü üzere yapılan köprü modelindeki Von-Mises gerilmeleri görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda 1403,4 MPa gibi bir sonuç elde edilmiştir. Tasarlanan Köprü modelinde oluşan gerilmeler en çok modeldeki yatay profillerde oluşmaktadır. Buna bağlı olarak da tasarım değerlendirilmesi yapılması gerekmektedir.



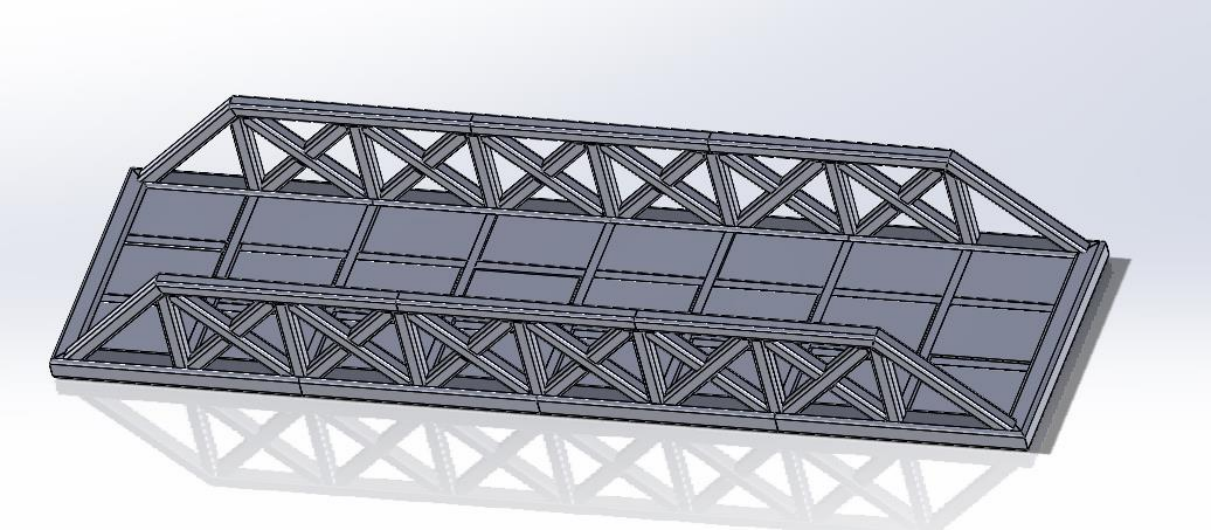
Şekil 8- Shear Stress(Kesme Gerilmesi) Sonuçları

Şekil 8 – de görüldüğü üzere Kesme Gerilmeleri sonuçları görüntülenmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda en çok kesme gerilmesinin Şekil 5- teki gibi yatay profillerde olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak tasarım değerlendirilmesi sürecinde bu hususlar göz önünde bulundurularak bir değerlendirilme yapılması gerekmektedir. Tasarım etüdü aşamasında toplam deformasyon gibi analiz sonuçları da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Yeni Tasarımın Oluşturulması

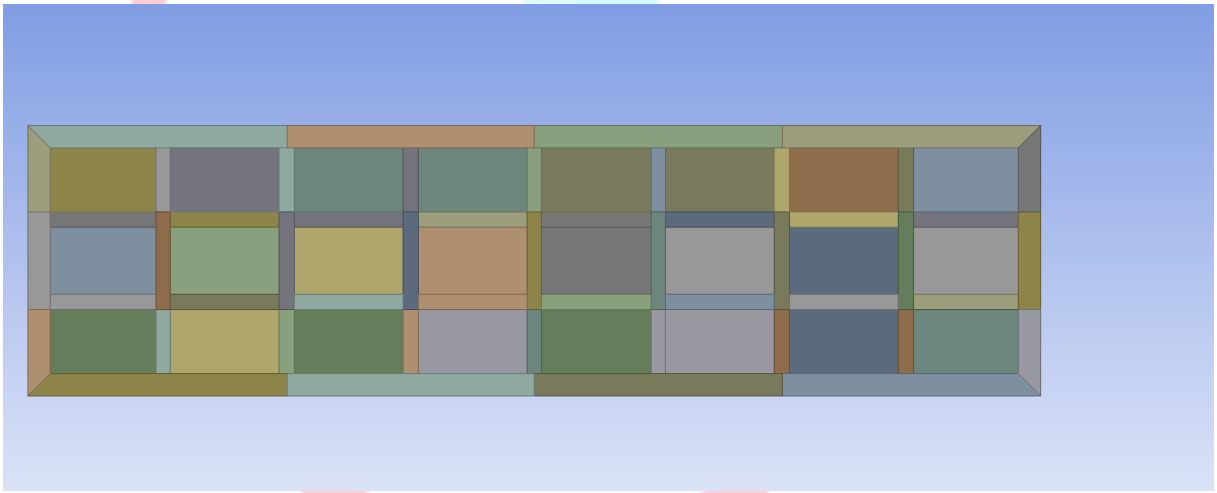
Elde edilen verilere göre eski köprü modelindeki tasarım tekrardan incelenmektedir. Analiz sonuçları doğrultusunda tekrardan tasarlanmaktadır. Yatay profillerde olan yük

dağılımının azaltılması amacıyla profiller arası sac levhalar eklenerek çelik konstrüksiyon tasarımına uygun şekilde eklenmiş olup Şekil 9- de görülmektedir.



Şekil 9- Sonuçlar Doğrultusunda Oluşturulan Yeni Model

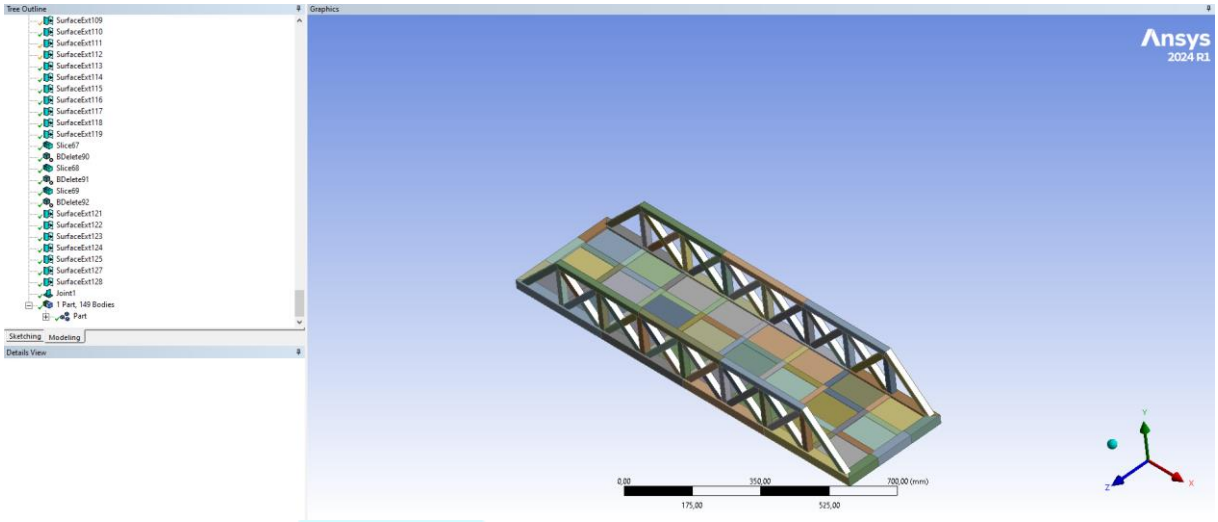
Oluşturulan yeni model SOLIDWORKS arayüzünde yatay profiller arası sac levhalara eklendiği görülmektedir. Bu levhalar yeni modelde yük dağılımını azaltacak olup oluşan Von-Mises ve Shear Stress (kesme gerilmesi) sonuçlarını minimuma indirmesini hedeflemektedir. Oluşan yeni model sonuçları buna göre değerlendirilmektedir.



Şekil 10- Yeniden Tasarlanan Modelin Taban Kısmı

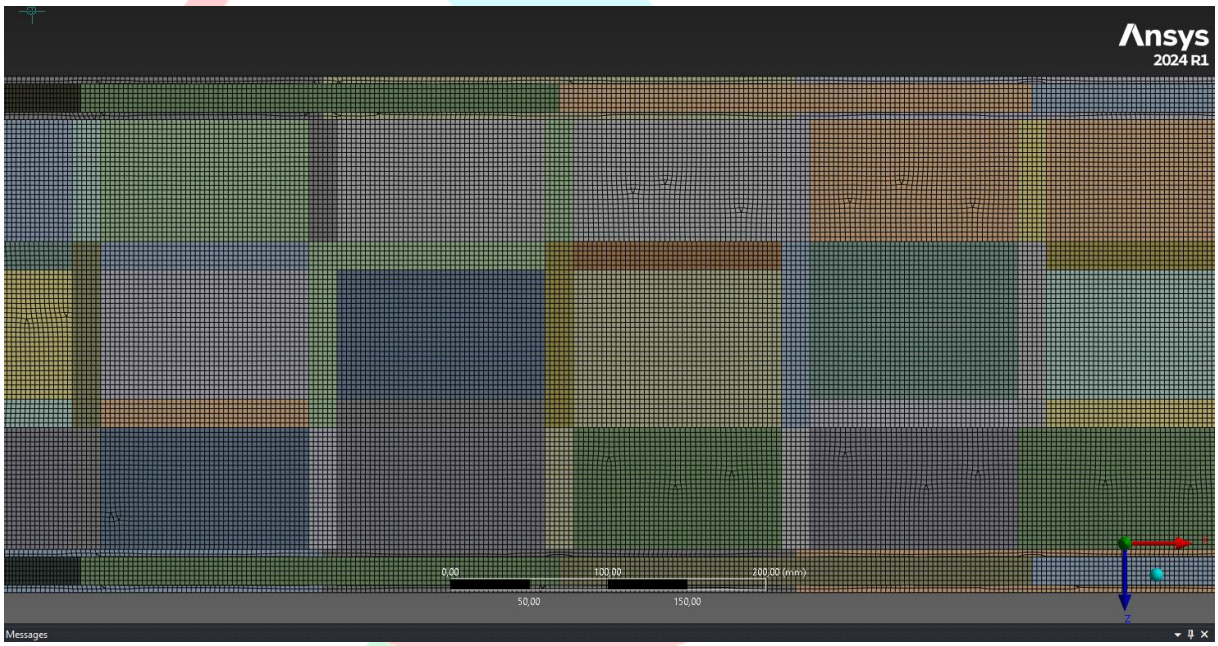
Yeni Modelin Shell Modellemesi ve Mesh yapısı

Yeniden tasarlanan model taban kısmına sac levhaların eklendiği görülmektedir. Shell modelleme ile dizayn edilip analize hazır hale getirilmesi gerekmektedir. İç içe geçmiş gövdeler var mı diye kontrol edilmesi gerekmektedir.



Şekil 11- Shell Modelleme ile Hazırlanmış Yeni Model Tasarımı

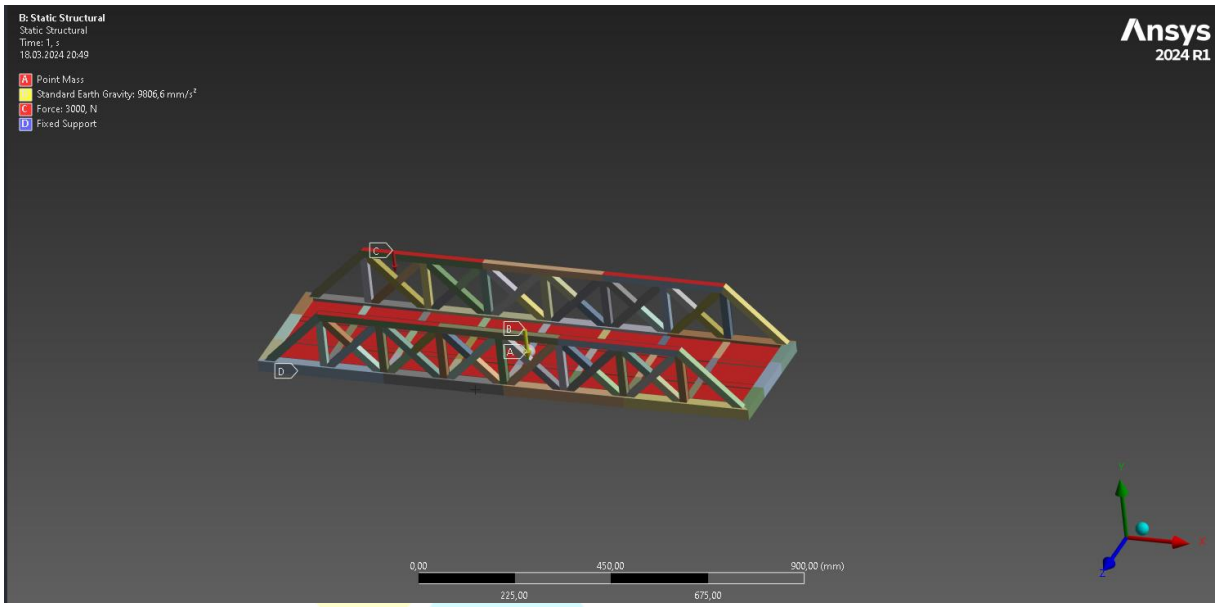
Yeniden tasarlanan köprü modeli Shell modelleme ile tekrardan dizayn edilip analize hazır hale gelmiş bulunmaktadır. Yapılacak olan analizde yük dağılımını minumum değere indirmek için hazırlanmış olan köprü modelinde yapılacak olan analiz sonucunda çıkacak sonuçlar karşılığında değerlerin indirgenmesi hedeflenmektedir.



Şekil 12- Yeniden Tasarlanmış Modeldeki Mesh Yapısı

Bir önceki köprü modelinde mesh oluşturma işleminin ne kadar önemli olduğu vurgulanmaktadır. Yeni tasarlanan köprü modelinde bu parametreler geçerli olup analize hazır bir hale getirildiği görülmektedir.

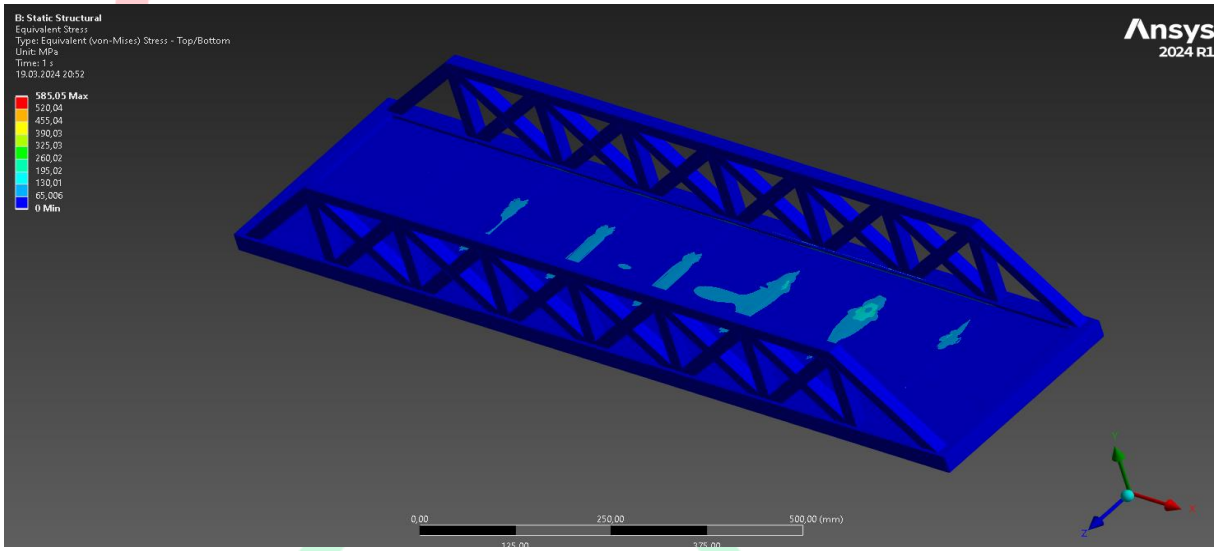
Yeni Modele Yük Girdilerin Girilmesi



Şekil 13- Yeni Modele Yük Girdilerinin Girilmesi

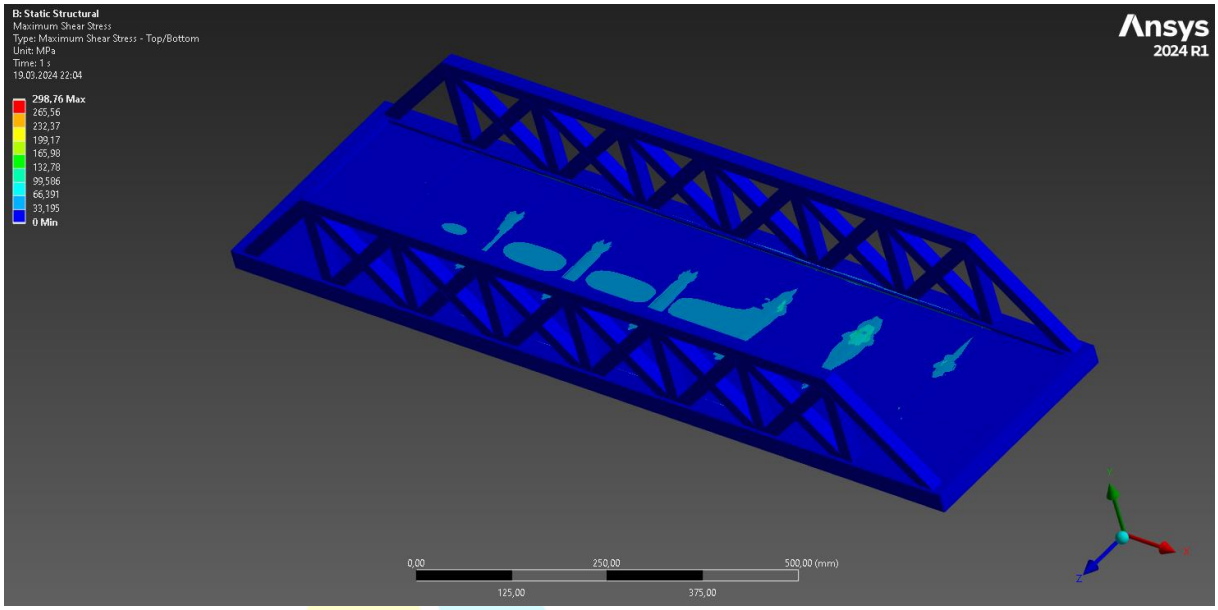
Bir önceki hazırlanan modeldeki yük etkileri yeni modele de girilerek yeni tasarımla eski tasarım arasındaki farklar karşılaştırılmaktadır. Bu sebepten ötürü yeni tasarlanan köprünün analiz sonuçlarına bakılarak tasarım değerlendirilmesi yapılacaktır.

Yeni Modeldeki Analiz Sonuçları



Şekil 14- Tasarlanan Yeni Modelin Analiz Sonuçları

Yeni tasarlanan modeldeki Von-Mises gerilmelerine bakıldığında bir önceki tasarıma göre oluşan değerlerin azaldığı ve yeni tasarımının yük dağılımını azalttığı gözlemlenmektedir. Bu hususlar doğrultusunda tasarlanan modelde yapılan tasarım doğru bir tasarım olduğu kanaat getirilmiş olup modelin gerçek hayatta uygulanmasında bir sakınca olmadığı görülmektedir.



Şekil 15- Shear Stress(kesme gerilmesi) Sonuçları

Yeni tasarımdaki stress değerlerinin minumuma indirildiği gözlenmektedir. Bu sonuçlara bağlı olarak köprünün dayanımının güçlendirildiği gözlenmektedir. Bu hususlar doğrultusunda yeni dizayn edilen tasarımın doğru bir şekilde dizayn edildiği yapılan değerlendirmeler sonucunda başarılı bir şekilde olduğuna kanaat getirilmiştir.

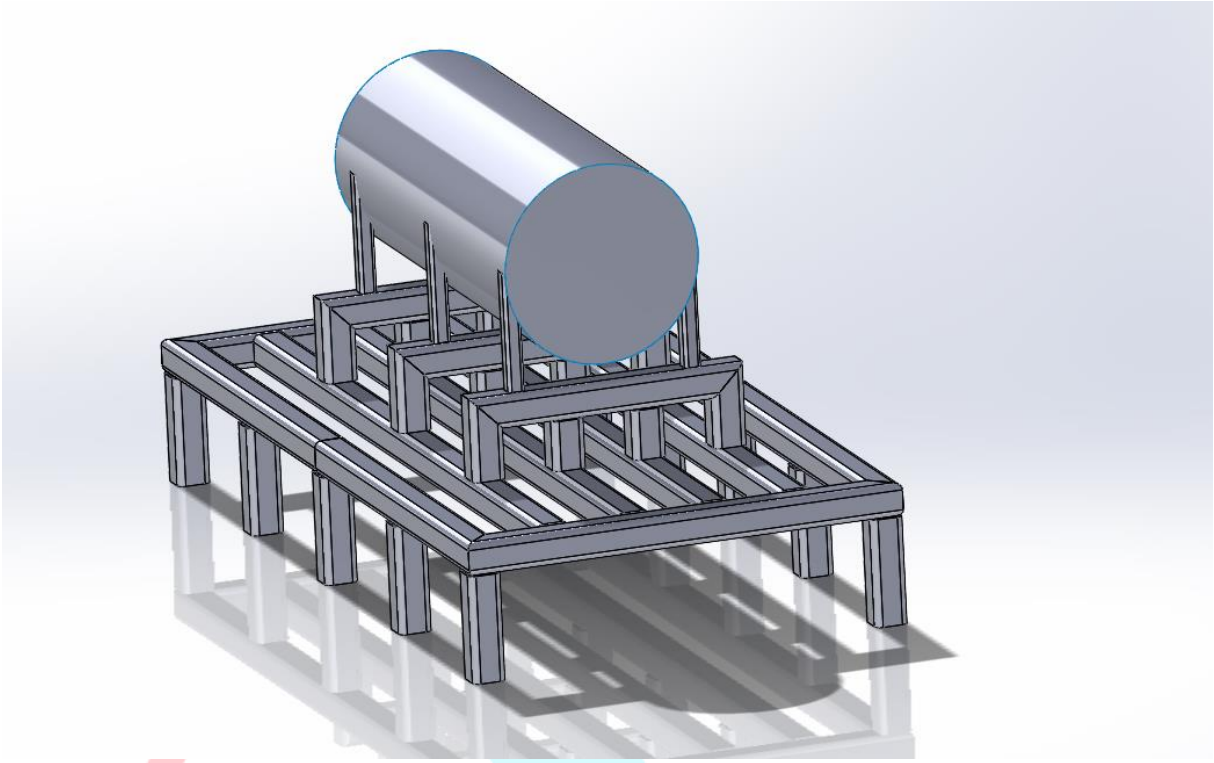
Çelik Konstrüksiyon Köprülerin Tasarım Değerlendirilmeleri

Tasarlanan her iki modelin analizleri büyük bir titizlikle yapılmış olup her iki modelinde analiz sonuçları incelenmiş olup değerlendirilmektedir. Bu değerlendirilmeler sonucunda köprü modellerinde oluşan gerilmelerin genellikle tabandaki eklenen yatay profiller üzerinde olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak oluşan gerilmeleri azaltmak için veyahut yük dağılımı azaltmak için taban kısmına güçlendirilme gerektiği görülmektedir. Bu değerlendirilmeler sonucunda tabana sac levha eklenerek çelik konstrüksiyon güçlendirilerek model tekrardan dizayn edilmiştir. Dizayn edilen yeni köprü modelinde oluşan yük dağılımının azaldığı gözlemlenmiş olup yeni tasarım onay almaktadır. Çelik konstrüksiyon güçlendirilmelerinde bu sonuçlara dikkat edilerek yapılması en uygun köprü modelinin tasarlanması hususunda büyük bir öneme sahiptir.

Çelik Konstrüksiyonlarda Basınçlı Kaplar ve Basınçlı Kap İskeletlerinin Tasarımının Değerlendirilmesi ve Sonuçlandırılması

Basınçlı Kap tasarımlarında önemli olan tasarlanan kapların içerisindeki oluşan basınca dayanıklılığıdır. Bu sebeplerden ötürü analizlerin doğru sonuç alması kapların dayanım süreleri için çok önem arz etmektedir. Kaplar zaman içinde korozyona ve aşınmaya maruz kalacağı için kullanılan malzeme de büyük bir öneme sahip olmaktadır. Kullanılan malzeme içerisindeki akışkana göre seçilmektedir. Seçilen malzemenin dayanıklılığı akma mukavemeti çok önemli bir husustur. Malzemenin ömür dayanım testlerini sonuçları daha önce yapılmış ar-ge testlerinin raporlarının değerlendirilip kullanılması da büyük husus taşır çünkü kullanılacak akışkanın zaman içinde aşınma yapması yapılan tasarımın heba olmasına sebep olmaktadır.

Kap Tasarımı ve İskelet Tasarımının oluşturulması

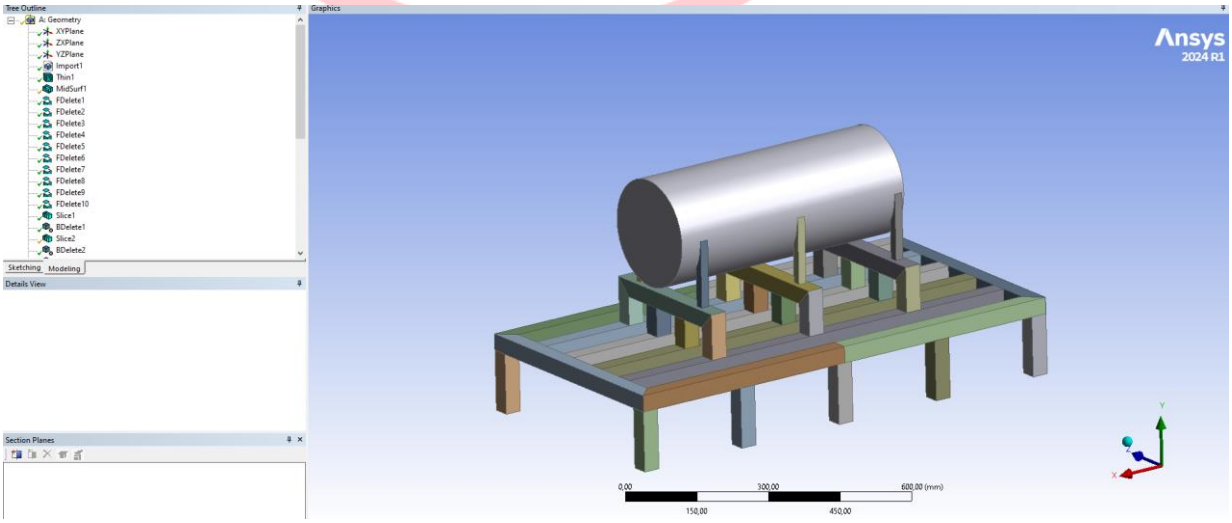


Şekil 16- Tasarlanan Kap modeli ve Oluşturulan İskelet tasarımı

Tasarlanan model 5.5 ton ağırlığındadır ve kap içindeki model 1000m^3 hacmindedir. Kap içerisinde oluşacak basınç değerlendirilmesi ve iskelette oluşan yük dağılımları bu süreçte izlenecektir. İzlenecek süreçte kap içerisinde bir hidrostatik basınç oluşacaktır bu basınçta kap dayanımı büyük bir öneme sahiptir. Kap içerisinde oluşacak von misses gerilmeleri ve kesme gerilmelerin incelenmesi gerekmektedir. İncelenme sonucunda yapılacak olan değerlendirmeler oluşturulan yapının kullanım ömrünün belirlenmesinde kullanılacak olan parametrelerdir.

Basınçlı Kapların ve İskelet Tasarımlarının Shell Modelleme ile Tasarlanması

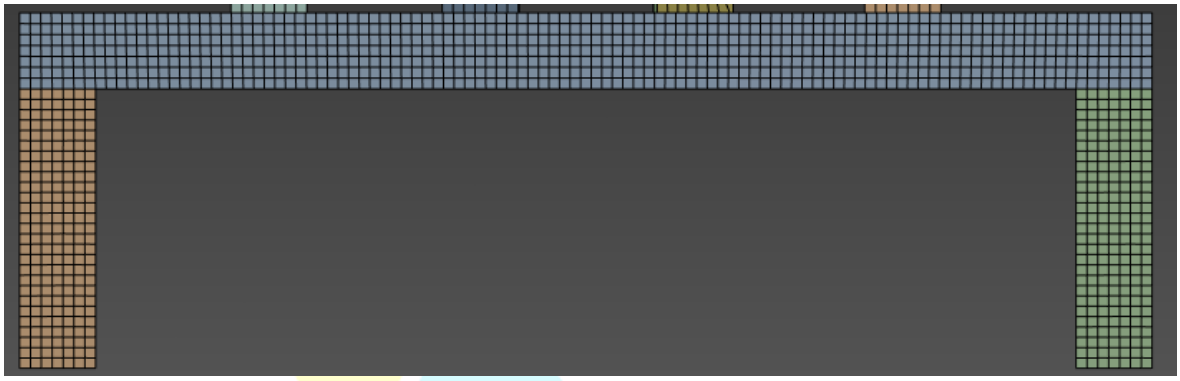
Basınçlı kaplarda öncelik tasarım aşaması yapılırken büküm aşamasıdır. Büküm aşaması SOLİDWORKS programının arayüzünde gerçekleştirilmektedir. İskelet tasarımı İSO standartlarına uygun profillerle gerçekleştirilmektedir. Tüm model shell yapısına uygundur.



Şekil 17- Shell Modelleme ile Tasarlanan Yapı

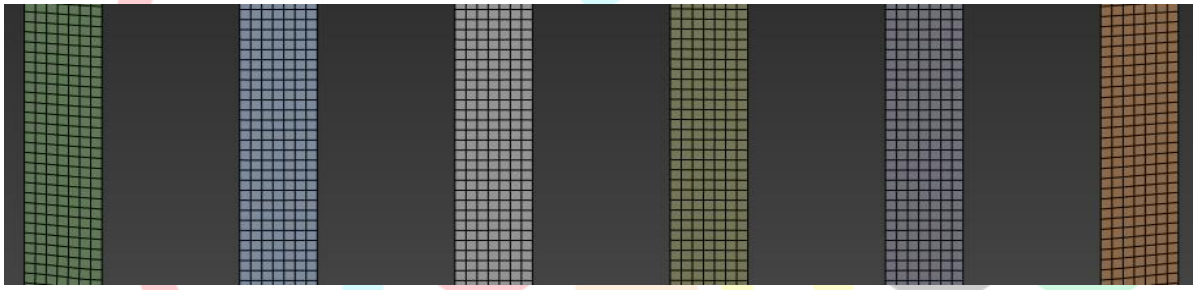
Solidworks de oluşturulan model ANSYS e aktarılıp Shell modelleme ile yeniden tasarlanmaktadır. Tasarlanan model hususlarında gerçeğe yakın sonuçlar vermesi için yapılan işlemler vardır. Profillerde radyuslu olan yüzlerin silinmesi gerekmektedir. Bunun yapılmasındaki temel etken mesh işlemini doğru bir şekilde olması için bu işlemin yapılması gerekmektedir.

Basınçlı Kaplarda ve İskelet Tasarımında Mesh Yapısı



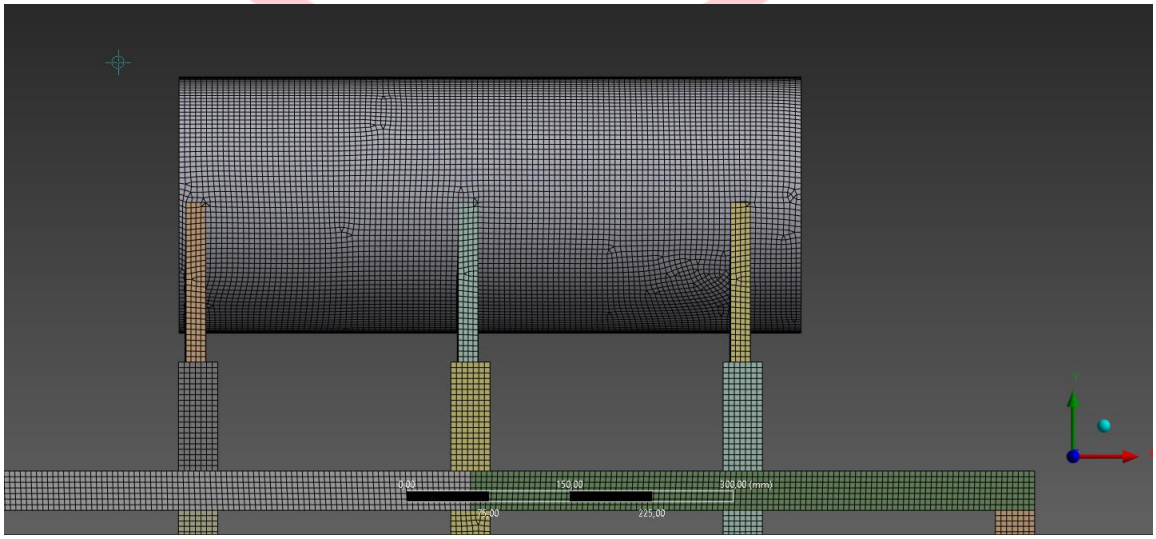
Şekil 18- İskelet Ayaklarındaki Mesh Yapısı

İskelet Yapısındaki ayaklar yükü taşıyacak unsurlar olduğu için oluşturmuş olan meshin kalitesi önemli bir hususdur. Ayaklardaki mesh yapısı Quadrilateral Dominant metot kullanılmaktadır. Bu oluşturulan yapının ağ örgüsünün kaliteli olması açısından kullanılan bir metottur.



Şekil 19- Yatay Profillerdeki Mesh Yapısı

Profillerde olan ağ örgüsü Şekil 18- de kullanılan metodun aynısı kullanılmaktadır. Oluşan mesh yapısı yüksek kalitededir.

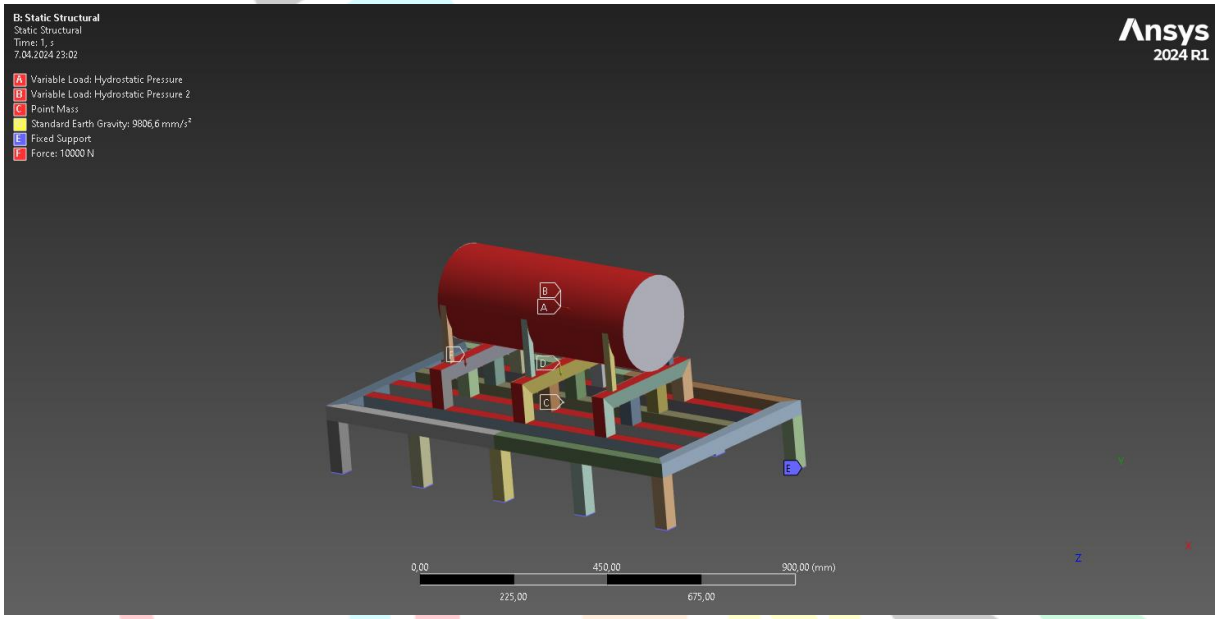


Şekil 20- Basınçlı Kap ve Destekleyici Profillerdeki Mesh Yapısı

Kap ve kabı destekleyen profillerde oluşan ağ örgüsü Şekil 20 de görülmektedir. Oluşturulan ağ örgüsünde yer yer bozulmalar mevcuttur. Bu kadar büyük bir ağ örgüsünde yer yer bozulmalar olması normal bir durum olarak karşılanmaktadır. Genel ağ örgüsünün kalitesine bakıldığı zaman yüksek kalitede mesh olduğu belli olmaktadır. Genel ağ yapısı oluşturulan modelde ağ örgüsünün kare oluşumlar içerisinde olması yapılacak analizin doğru sonuçlar vermesini sağlamaktadır.

Basınçlı Kap ve İskeletinde Yük Girdilerinin Girilmesi

Basınçlı kaplarda kap içerisinde oluşan bir basınç mevcuttur. Basınç kap içerisindeki yüzeylere etki etmektedir. Etki eden basınç sonucu oluşan bir deforme mevcuttur. Buna bağlı olarak kap kullanımında oluşan basınç değerinin analiz edilmesi gerekmektedir. İskelet tasarımında ise bu kabı taşıma prensipleri esas olarak alınmaktadır.

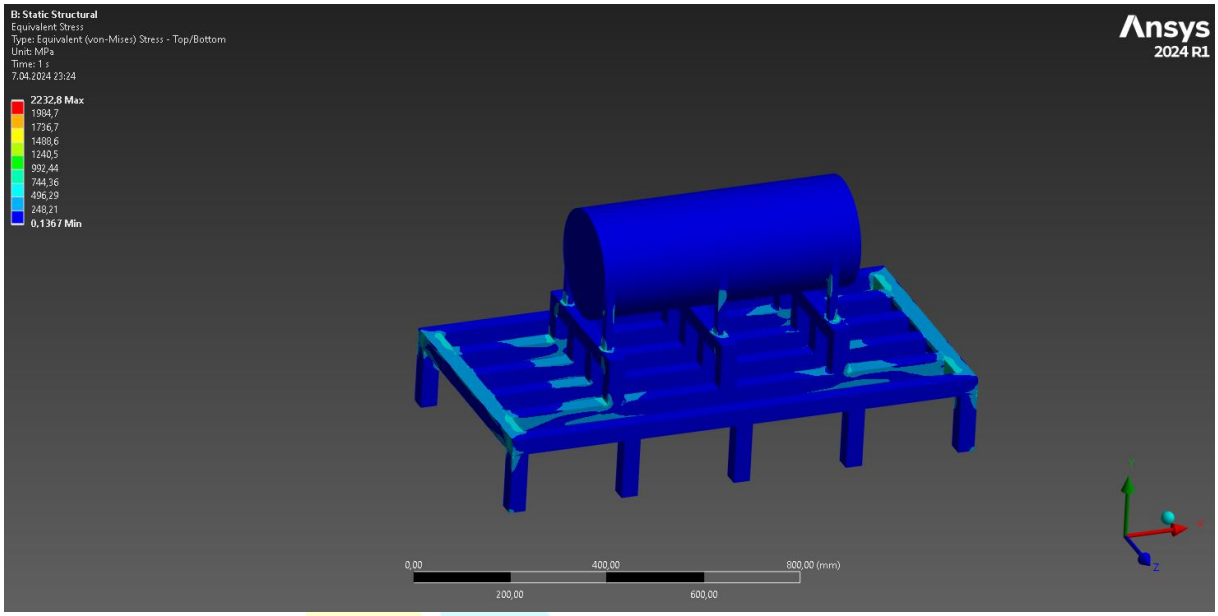


Şekil 21- Modele Etki Eden Yükler ve Sabitleyici Unsurlar

Modelde etki eden yükler arasında önemli unsurlar arasında hidrostatik basınçtır. Modelde etki eden hidrostatik basınç kuvvetleri iki şekilde oluşmaktadır. Etki eden kuvvetlerden birisi top (üst yüzey) kısmına etki etmektedir. Etki eden diğer kuvvet bottom (alt kısım) kısmına etki etmektedir. Etki eden hidrostatik basıncın amacı kabın içerisinde 1000m^3 bir akışkanın sirkülasyon etmesini amaçlamaktadır. Point mass kuvvetinde oluşan dağılım ise yatay profillerde kapta oluşan yükün sabit bir şekilde etki etmesini göstermektedir. Modelde etki eden yerçekimi kuvveti modeldin yer çekimine karşı olan etkisini göstermektedir. Fixed support modeldeki ayakların sabitlemek amaçlı kullanılan unsurdur. 10000N'luk bir yük etki etmesi sürekli akışkanın sirkülasyonun ettiği amaçlı kapta oluşan akışkanın profillere etki etmesi amaçlı kullanılmaktadır.

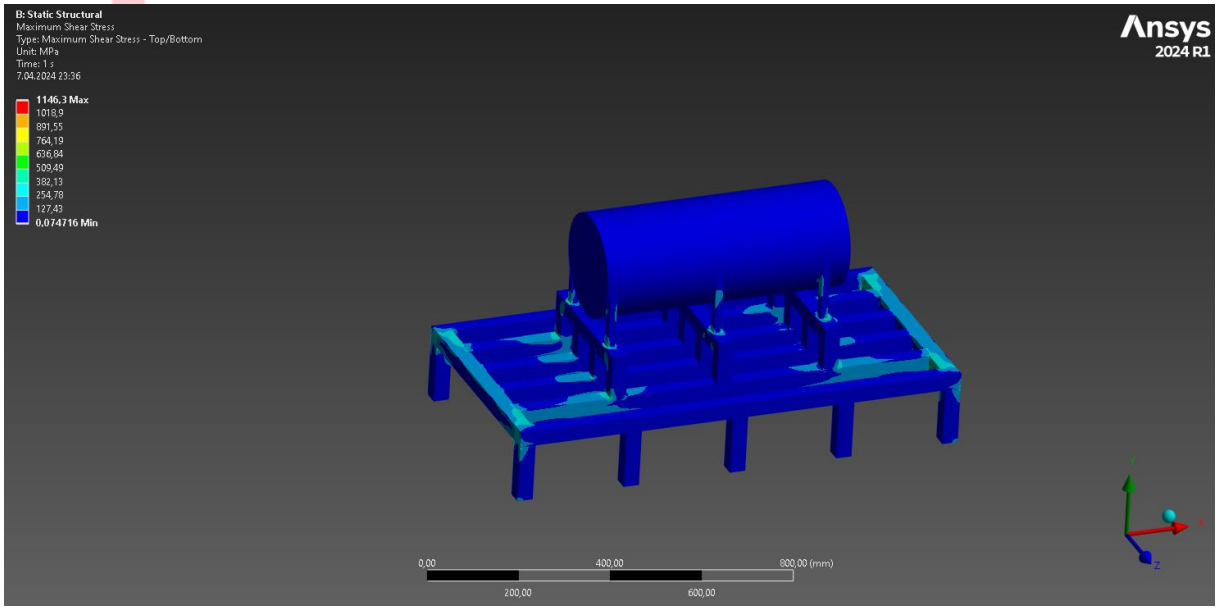
Basınçlı Kap ve İskelet Tasarımı Analiz sonuçları

Oluşturulan modelde ve bu modele etki eden yük girdilerinin analiz sonuçları incelemektedir. Oluşturulan modelde sonuç kısmında basınç ve yük dağılımlarının eşit olması önemli bir hususa sahip olmaktadır. Analiz sonuçlarına bu huşulara dikkat edilerek bakılmaktadır.



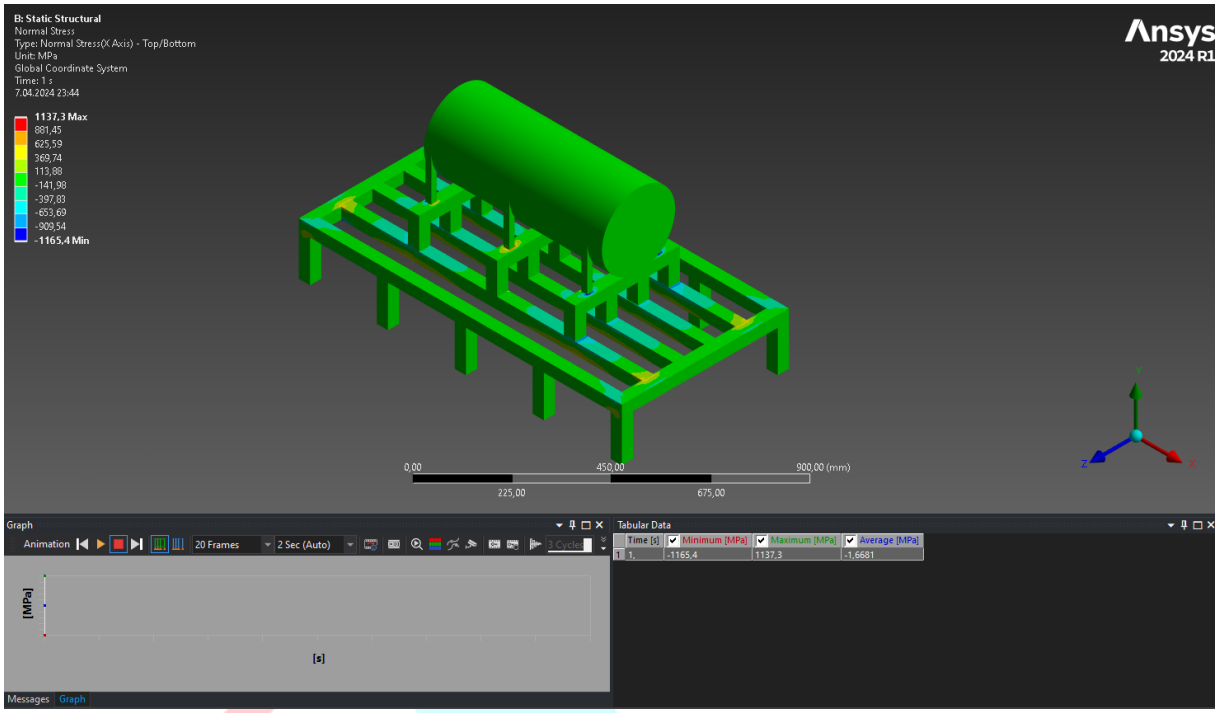
Şekil 22- Von mises Gerilme Grafik Görüntüsü

Oluşan von mises gerilmelerinde Modeldeki von mises gerilmesi dağılım grafiğinde görüldüğü üzere düşük bir yükte etki etmektedir. Oluşturulan modeldeki gerilmelerin düşük bir kuvvete olması modelin dayanımının yüksek olduğunu göstermektedir. Gerilmelerdeki maximum noktanın destekleyici profillerde olduğu görülmektedir bunların sahada oluşturulan modelde kaynak bağlantısı ve vida bağlantısı ile önüne geçilebilmektedir. Etki eden hidrostatik basıncın kapta etki ettiği yükün minumum olduğu görülmektedir. Buda von mises gerilmelerine göre tasarım etüdünün doğru olduğunu göstermektedir.



Şekil 23- Maximum Kesme Gerilme Grafik Görüntüsü

Oluşan kesme gerilmeleri von mises gerilemelerine grafiklerine yakın bir değeri çıktığı zaman modeldeki analiz sonuçlarının doğru bir şekilde yapıldığı ve analizin doğru sonuç verdiği gözlemlenmektedir.



Şekil 24- Normal Kesme Gerilmesi Grafik Görüntüsü

Normal kesme gerilmesinin grafik görüntüsüne bakıldığında oluşan grafik renginin yeşil ve bu grafiğin sonuçlarının dayanım ömrünün uzun olacağı ve etki eden kuvvetlerin yapılan analizde büyük bir kuvvetlere yol açmadığı ve oluşan dağılımların ortalama bir skalada olduğu görülmektedir. Bu grafik görüntüsü modelin saha da kullanımın uygun olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Yapılan tasarımlarda ve incelemelerde birçok bulgu elde edilmektedir. Günlük hayatta en çok kullanılan modellerin gerçeğe en yakın analizleri yapılmıştır.

- Tasarlanan köprü modelinde sadece çelik profillerin kullanımında çok büyük gerilmeler oluştuğu gözlemlenmektedir. Bu dağılımı azaltmak için bu tarz yapılara güçlendirmeler yapılması gerektiği tespit edilmektedir.
- Köprü modellerinde gerekli güçlendirmeler yapıldıktan sonra yük dağılımının bariz düştüğü ve dayanımının daha uzun olduğu görülmektedir.
- Modellerdeki mesh yapısının analiz sonuçlarına ne kadar önemli bir etken olduğu görülmektedir.
- Modellerde grafik görünümleri karşılaştırılması yapıldığında oluşan grafik görüntülerinin birbirini desteklediği görülmektedir.
- Bu karşılaştırmalar sonucunda oluşan sonuçların birbirini tamamladığı görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda gerçek bir sonuca varıldığı görülmektedir.
- Basınçlı kaplarda iç basıncın ne kadar önemli olduğu ve buna bağlı olarak yapılan etkinin iskelet tasarımına nasıl bir etki yaptığı görülmektedir.
- Oluşan gerilmeler sonucunda kap tasarımının uygun olduğu ve diğer grafik görüntülerince bu yapının daha büyük hacimli bir kap taşıyabileceğine görülmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

1. https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_SHELL181.html
2. Pressure Vessel Design Manual – DENNIS MOSS
3. https://www.steelconstruction.info/Bridges
4. https://www.steelconstruction.info/Design_for_steel_bridge_construction
5. Design of steel-bridges,Overview of key content of EN 1993-Eurocode 3,Illustration of basic element design,G. Hanswille, W. Hensen, M. Feldmann, G. Sedlacek
6. TechBrief: Evaluation of Large-Format Metallic Additive Manufacturing (AM) for SteelBridge Applications
7. P. Apurva, "Design and Analysis of Pressure Vessel," International Journal of Innovative Research in Technology & Science, Mumbai 2011.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Büyükçekmece 1159 Parselde Bulunan Ahşap Konağın Yeniden İşlevlendirilerek Yaşatılması

Ercan AKSOY[1]

Özet

Yeniden işlevlendirme, bir yapının özgün fonksiyonu dışında yeni bir işlev ile kullanılması ve yaşatılmasını amaçlamaktadır. Geleneksel yapıları koruma ve yaşatma tekniklerinden olan yeniden işlevlendirme yöntemi uluslararası yönetmelik ve tüzüklerde de uygun olarak görülmektedir. Aynı tüzüklerde yeni fonksiyonların değerlendirilmesi sırasında nelere dikkat edilmesi gerektiği de belirtilmektedir. Sadece restorasyonları yapılan ancak kullanım dışı bırakılan yapılarda bozulma süreci tekrar başlamakta ve bu süreç hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bunun önüne geçmek amacıyla da yapıların fonksiyonlarının değiştirilerek kullanılması gerekebilmektedir. Ülkemizde sayıca en fazla olan geleneksel mimari yapı stokunu konutlar oluşturmaktadır. Buna karşın geleneksel konutların aynı fonksiyonu ile kullanılması diğer yapılara göre daha zor olmaktadır. Bunun en büyük sebepleri arasında kullanıcı profilinin değişmesi ve konfor anlayışı gelmektedir. Bu doğrultuda çalışmada İstanbul İli, Büyükçekmece İlçesinde bulunan tarihi bir ahşap konağa ilişkin yeniden işlevlendirme önerisi getirilmesi amaçlanmıştır. Mevcut fonksiyonu ile kullanılması zor olan yapıya ilişkin kararlar en az müdahaleyi gerektirecek şekilde bulunduğu konum da değerlendirilerek verilmiştir. Konum, yapısal durum ve arazi verileri de göz önünde bulundurularak konağın restoran olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Verilen fonksiyonun sadece yapının yaşatılması için değil aynı zamanda çevresine de bir katma değer katacağı düşünülmektedir. Çalışma, yapının belge ve sürdürülebilirlik değerlerine sahip olması sebebiyle de ayrıca önemlidir. Ek olarak bölgede bulunan diğer yapıların kullanım süreçlerine ve yaşatılmasına da doğrudan katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Restorasyon, Koruma, Yeniden İşlevlendirme, Geleneksel Konutlar, Büyükçekmece

[1] Dr. Mimar, Eha Yapı & Mimarlık, Ankara, Orcid: 0000-0001-7632-9257

ISBN: 978-625-372-170-1

Giriş

İstanbul'un batısında bulunan Büyükçekmece ilçesi 1987 yılına kadar Çatalca'ya bağlı iken daha sonar ilçe olmuştur. Bizans kaynaklarında yerleşim ismi olarak "Atirus" veya "Atira" kullanılmaktadır. Bu da yerleşim yerinde vaktiyle Bizanslıların hüküm sürdüğünü kanıtlamaktadır. Ortasında göl bulunması sebebiyle iki parçaya ayrılmış olan ilçe toprakları 1567 yılında yapımı tamamlanmış olan Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü sayesinde birbirine bağlanmıştır (Büyükçekmece Kaymakamlığı, 2024).

İlçede tarihi ve geleneksel konut stoku çok fazla olmamakla birlikte günümüze kadar ulaşmış en önemli yapılar arasında 1567 yılında tamamlanmış olan Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü (Şekil 1a) ile 1566 yılında yapılmış olan Sultan Süleyman Kervansarayı (Kurşunlu Han) (Şekil 1b) sayılabilir. İki yapı da Mimar Sinan eseri olması sebebiyle ayrıca önemlidir. Bunlarla birlikte sivil mimari örneği olan konaklarda ilçe sınırları içerisinde azda olsa günümüze kadar ulaşmışlardır (Şekil 1c).



Şekil 1. a) Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü (Büyükçekmece Kaymakamlığı, 2024), b) Sultan Süleyman Kervansarayı (Büyükçekmece Kaymakamlığı, 2024), c) Büyükçekmece tescilli konut konumları (Süleyman, 2021)

Tarihi yapıların korunması sürekli bakımları ile sağlanabilecek bir durumdur. Ancak vaktiyle bakımları yapılmamış ve terk edilerek kaderine bırakılmış yapılar hızlı bir bozulma sürecine girmektedir. Bu tür yapıların restorasyonları yapılarak gelecek nesillere aktarılması büyük önem arz etmektedir. Ancak yapıların sadece restorasyonlarının yapılması ve tekrar kullanım dışı kalmaları bu yapıların tekrar bozulmasına sebebiyet vermektedir. Yapıların özgün fonksiyonları ile kullanımının mümkün olmadığı durumlarda farklı işlevler verilerek korunması ve yaşatılması mümkündür. Korumacılık anlayışında yeniden işlevlendirme olarak da adlandırılan bu yaklaşım ile yapının kendi fonksiyonundan çok uzak olmayan veya yapının özgün durumuna zarar vermeyecek şekilde en uygun fonksiyon verilerek yaşatılması uygun bir yöntem olmaktadır. Bu doğrultuda uygulanan örneklerde bulunmakta ve ayrıca farklı yapılar ile ilgili çalışmalar da yapılmaktadır.

Her türlü fonksiyona sahip yapılarda işlev değişikliği önerilse de özellikle konutlar bağlamında bu çalışmalar geniş yer tutmaktadır. Farklı yapı türlerine bakıldığında kervansaray yapısının kütüphaneye dönüştürüldüğü (Süphanoğlu vd., 2022), kilisenin müzeye dönüştürüldüğü (Aydın ve Şahin, 2018) öneriler bulunmaktadır. Ayrıca buzhane binasının kültür merkezi işlevi ile kullanımının incelendiği de görülmektedir (Selimoğlu ve Halaç, 2023). Konutların işlevlendirilmesine yönelik literatür incelendiğinde Ankara Hatipoğlu Konağının yeniden işlevlendirilerek sanatçı evi olarak kullanılması önerilmiştir (Yenel, 2015). Sivas'ta bulunan Özdoğanlar Evi'nin işlev değişikliği ile Sivas Kent Araştırmaları Merkezi olarak (Vural ve Sağıroğlu, 2021), Isparta Demirci Efe Konağının ise Butik Otel olarak (Haştemoğlu ve Beyhan, 2017) kullanımı öngörülmüştür. Yapılara ilişkin öneriler dışında uygulaması yapılmış olan yeniden işlevlendirmeye uygulamalarının değerlendirildiği çalışmalar da bulunmaktadır. Bu bağlamda İzmir'de bulunan Baltazzi Köşkü'nün farklı fonksiyonlarda kullanımı değerlendirilmiş (Yavuz Öden, 2023), İstanbul'da bulunan Hayriye Hanım Konağı (Turanlı ve Satıcı, 2021) ile Trabzon'da bulunan Tahir Ağa Konağının (Yalçın ve Kurak Açıcı, 2023) otele dönüştürülme sonrası değişimleri incelenmiştir.

Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında yeniden işlevlendirme hem kültürel süreklilik hem de ekonomik verimlilik açısından son derece önemlidir. Bu durum kültürel ve ekonomik değerlerin korunmasına katkı sağladığı gibi (Bacon, 2001), kent hafızası ile tarihinin sürekliliğini de sağlamaktadır. Kültür turizmine de katkı sağlayan işlevlendirme geçmiş yapım tekniklerinin korunması bakımından da değerlidir. Sadece somut değerlerin değil soyut değerlerinde korunması gerekliliği ile hareket edilmelidir.

Çalışmanın amacı Büyükçekmece ilçe sınırları içerisinde bulunan, konumu itibariyle şehrin merkezinde yer alan 1159 parseldeki ahşap yapının korunması ve yeniden işlev verilerek yaşatılmasına yönelik kararların alınmasıdır. Ayrıca amaçlanan yapının tekil olarak korunmasının yanı sıra çevreye kattığı değeri arttırarak bulunduğu bölgenin gelişmesine de katkı sağlamaktır. Çevre faktörleri de düşünülerek yapıya yeni bir fonksiyon verilmesi daha sonraki çalışmalara da ışık tutacaktır.

Yöntem ve Kapsam

Çalışmada İstanbul ili Büyükçekmece ilçesi 1159 parselde bulunan tarihi ahşap konak değerlendirilmiştir. Tarihi yapıya verilecek yeni işlev kararı sadece yapının kendisini değil yer aldığı parseli de düşünülerek çevresiyle birlikte değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda yapıya ilişkin 2016 yılında hazırlanmış olan rölöve projeleri altlık olarak kullanılmış, yerinde yapılan inceleme sonucunda da yapı ayrıntılı şekilde tarif edilmiştir. Restitüsyona yönelik yapılmış olan 2018 yılındaki çalışma değerlendirilmiş, bu çalışma temel teşkil edecek şekilde kullanılsa da güvenilirlik derecelerine göre belirlenmemesi sebebiyle çizimleri revize edilmiştir. Yapıya ilişkin restorasyon kararları verilmiş olsa da müdahale edilmeme sonucunda yapının büyük bölümü yıkılmış, buna bağlı olarak yapının belli bölümlerinde restorasyona ek olarak rekonstrüksiyon kararları da yeni işlev doğrultusunda alınmış ve tamamlanmıştır. Restorasyona ve rekonstüksiyona yönelik müdahale kararları ile yeniden işlevlendirmeye yönelik öneriler tarihi yapıya en az müdahale ilkesi benimsenerek alınmıştır.

Çevre Verileri, Yapı Özellikleri, Plan Kurgusu ve Bozulmalar

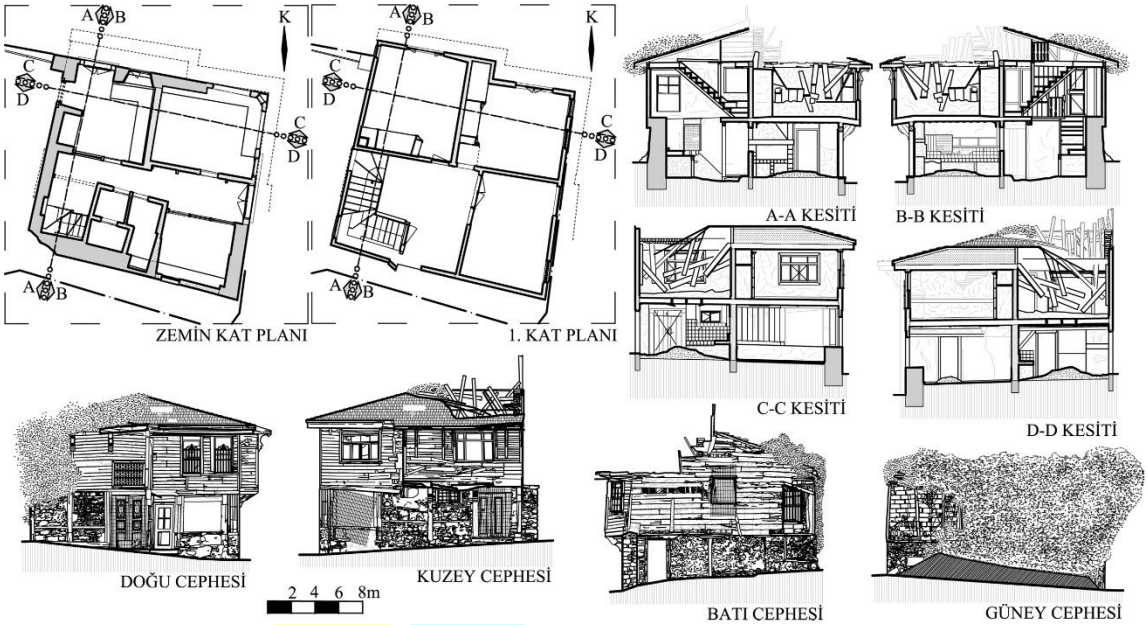
İstanbul ili, Büyükçekmece ilçesi, Mimar Sinan Mahallesi 1159 parselde yer alan yapının tam olarak ne zaman yapıldığı bilinmese de 19. yüzyılın son çeyreğinde yapıldığı düşünülmektedir. 2016 yılında rölöve, restitüsyon ve restorasyon çalışmaları yapılmış olan yapı projelerin uygulanmaması sebebiyle 2019-2020 yıllarında büyük oranda yıkılmıştır. Uzun süredir kullanım dışı olan yapı Cumhuriyet Caddesi ile Mektep Sokak kesişiminde mevcut durumunda 2 katlı olarak inşa edilmiş şekilde görülmektedir. Konutun hemen karşısında tescilli bir ahşap konak yer almaktadır. Bunun dışında yapı çevresinde konut, konut+ticari işlevli yapılar ile eğitim yapısı bulunmaktadır (Şekil 2c).



Şekil 2. a) 2016 yılı yapı fotoğrafı, b) 2022 yılı yapı fotoğrafı, c) Yapı Konumu ve Çevresi

Yapının 2016 yılında belgelemesi yapılması sebebiyle mimari özellikleri bu doğrultuda açıklanabilmektedir. Parselin doğusunda bulunan yapı yaklaşık olarak 75,28 m^2 oturum alanına sahiptir. Mevcutta iki katlı olarak görülen yapının batısında kendisine ait bahçe alanı yer alırken hemen parselinin kuzeybatı köşesinde bir çeşme bulunmaktadır. Yapı parselinin güney bölümü ise kamusal yeşil alan olması sebebiyle açık bir şekilde görülmektedir. Konutun parsel alanı yaklaşık 150 m^2 olmakla birlikte yapının dış ölçüleri 8,80x8,45 metre boyutlarındadır.

Yapıya giriş kuzey cephenin batısında bulunan kapı ile sağlanabildiği gibi doğu cephenin orta noktasından da yapılabilmektedir. Doğu cepheden girildiğinde koridor şeklinde çalışan bir giriş bölümüne ulaşılmaktadır. Giriş alanının kuzey ve güneyinde odalar yer almakla birlikte batı ucunda üst kata çıkış için ahşap bir merdiven bulunmaktadır. Giriş mekânı 6,10 metre uzunluğunda olup en geniş yerinde 1,70, en dar yerinde ise 1,00 metre genişliğe sahiptir. Girişin kuzeyinde bulunan oda 4,35x3,15 metre ebatlarında olup kapı kanadı bulunmamaktadır. Bu kısım sonradan dükkân olarak kullanılmış, köşe hattı boyunca pencere açılmış ayrıca doğrudan giriş içinde dışarıdan bir kapı yerleştirilmiştir. Zemin kat genelinin hepsinde olduğu gibi iç geçişlerde kapı kanatları bulunmamaktadır. Odanın batısında ve sofanın kuzeyinde mutfak olarak kullanılan bir mekân vardır. Mutfak içerisinde bir ocaklık kısmı, batısında bahçeye çıkış kapısı (80x185 cm), kuzeyinde ise hem bir kapı (140x210 cm) hem de bir pencere (90x50 cm) bulunmaktadır. Mutfak bölümü 3,40x3,30 metre olarak inşa edilmiştir. Koridora bakan bölümünde kapı yanında bir de camekân (125x100 cm) bulunmaktadır. Girişin güneyinde ve en doğuda 2,80x2,60 metre uzunluğa sahip bir oda daha görülmektedir. Odanın kuzey bölümünü sınırlandıran duvar ahşap camekân şeklinde tasarlanmıştır. Odanın hemen batısında üç bölümlü olarak sonradan oluşturulan ıslak hacimler yer almaktadır. İki ayrı giriş ile bir bölümde banyoya bir bölümde ise lavabo ve tuvalet kısmına geçiş vardır. Zemin kat genelinin tamamında içerideki mekânlar geçişte kapı kanatları bulunmamaktadır.



Şekil 3. Yapı Rölövesi (Demirhanlı Tarım Ürünleri, 2016)

Yapının ikinci katına güneybatı köşede bulunan L formlu ve 8 rıhtlı ahşap merdiven ile ulaşılmaktadır. Merdivenin ulaştığı ilk kısım 5,25x4,20 metre boyutlarında olan sofa mekânıdır. Köşe sofalı olarak görülen plan şemasında diğer köşelerde de üç adet oda bulunmaktadır. Güneydoğu köşede bulunan oda 4,50x3,40 metre olup doğusunda iki adet pencere görülmektedir. Pencereler birbirinden farklı boyutlarda olup 1,20x1,00 ve 0,90x1,50 ölçülerindedir. Kuzeyde bulunan iki odadan doğudaki oda 3,60x3,50, batıdaki oda ise 3,70x4,25 metredir. İki odanın içerisinde de ahşap dolap ve yüklük vardır. Doğudaki odanın batısında bulunan ahşap dolap daha özgün olup diğer odadaki dolap bacayı da kapatması sebebiyle muhdestir. İki odanın da kuzeyindeki pencereler 1,55x1,20 metre iken doğudaki odanın doğusunda bulunan iki adet pencere 0,75x1,50 metre, batıdaki odanın batısında bulunan bir pencere ise 0,50x1,20 metredir. Üst kat geçişlerinde ahşap kapı kanadı sadece bir kapıda görülmekle birlikte kapı genişlikleri ortalama 0,70x1,85 olarak belirlenmiştir. Sofanın batısında çatıya çıkış için yapılmış olan 10 rıhtlı ahşap bir merdiven de bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 4. Yapı Fotoğrafları

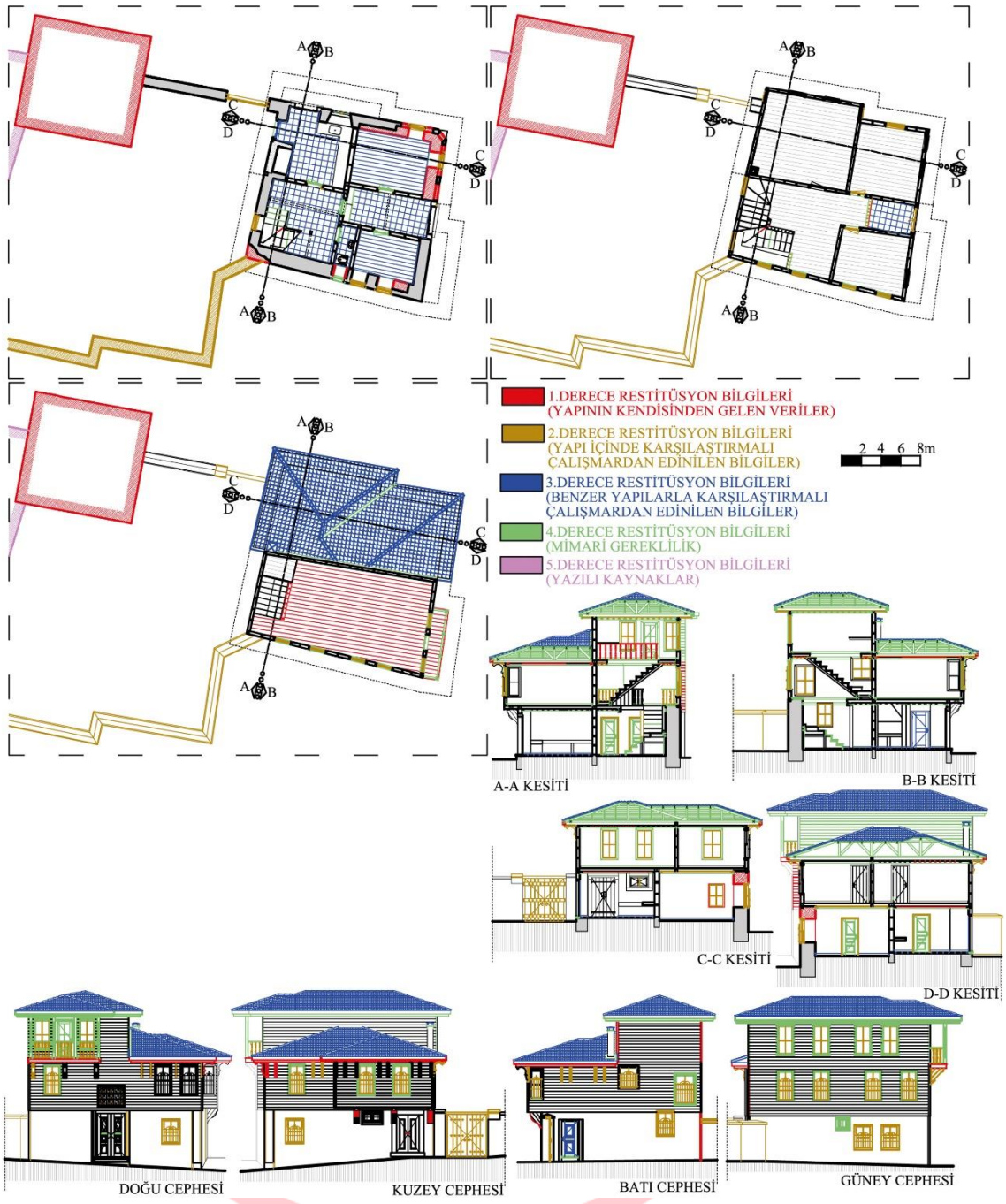
Yapım sistemi açısından bakıldığında zemin katın ahşap hatıllı ve moloz taş ile yığma olarak yapıldığı, üst katın ise ahşap karkas arasında harman tuğla kullanılarak üzerine bağdadi sistem uygulandığı görülmektedir. Duvar kalınlıkları moloz taş duvarda ortalama 60 cm, ahşap karkas olan kısımlarda 18 cm, yakın dönemde yapılmış olan briket duvarlarda ise 15-20 cm olarak teşkil edilmiştir. Yapı döşeme kaplamaları çok büyük deformasyona uğraması sebebiyle toprak dolgu olarak tespit edilmiş, ıslak hacimler ve dükkân gibi kullanılan kısımda ise seramik ve karo mozaik kaplama olduğu belirlenmiştir. Üst kat döşeme kaplamaları ise ahşaptır. Aynı şekilde tavan kaplamaları da bozulmaya uğramış, zemin katta ahşap kirişleme üzerinde yer yer çıtalı ahşap kaplama, üst katta ise tamamıyla çıtalı ahşap kaplama görülmektedir. Çatının bir kısmı yıkılmış, bir kısmı ise bitki oluşumu altında kalmıştır (Şekil 4).

Yapı günümüzde zemin katı hariç üst katının büyük bir kısmı yıkılmış olarak durmaktadır. Bu bağlamda günümüzdeki bozulmalar incelendiğinde yapıda büyük çaplı yıkılmalar, bitkisel oluşumlar, yıkıntıya bağlı olarak biriken kalıntılar, muhdes eklentiler ile ayakta duran malzemelerde parça kayıpları izlenebilmektedir. Bunlarla birlikte zemin katın bazı duvarlarında çatlaklar ve ayrılmalar da mevcuttur. Döşeme ve tavan kaplamalarının çoğu izlenememekle birlikte yakın dönemde belgelemesinin yapılması yapının yaşatılması için önemli bir katkı sunmaktadır.

Restitüsyon Verileri

Özgün haliyle konut olarak kullanılmış olan yapıya ilişkin 2018 yılında hazırlanmış olan restitüsyon projesi bulunmaktadır. Ancak projede güvenilirlik dereceleri belirlenmemesi sebebiyle çalışmada bu husus göz önünde bulundurularak beş farklı güvenilirlik derecesi kullanılıştır. Bu bağlamda yapının doğrudan kendisinden gelen veriler 1. derece, yapının kendi içerisinde bulunan örneklerden yola çıkılarak elde edilen veriler 2. derece, bölgedeki benzer yapılar ile karşılaştırılarak elde edilen veriler 3. derece, herhangi bir veriye ulaşılamasa da mimari olarak bulunması zorunlu olan veriler 4. derece, yazılı veya görsel kaynaklardan elde edilen veriler ise 5. derece kaynaklar olarak değerlendirilmiştir.

Yapının kuzeydoğu köşesinde yer alan odanın duvar kalınlıkları göz önüne alındığında sonradan yapılmış olan tezgâhın olmayacağı ve tezgâhın kalınlığı ile duvar kalınlığının örtüşmesine bağlı olarak duvarın tamamlanması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca pencere boyutlarındaki orantısızlık da bu durumu destekler niteliktedir. Güney cephe duvarını oluşturan kısmın batısındaki duvar yıkıntısı ile sonradan kapatılan pencere boşluklarının tekrar ortaya çıkartılacak şekilde tamamlanması gerekmektedir. Yapıya ilişkin üst kattan çatıya çıkan merdivenin aslında bir cihannüma katına çıktığı değerlendirilmektedir. Cihannüma katının döşeme kaplamaları ile merdiven korkulukları da bu bağlamda iz teşkil etmektedir. Tüm bu değerlendirmeler ile birlikte parselin kuzeybatı köşesinde yapılmış olan çeşmenin de çizimleri yapıların kendi içinden gelen veriler olarak değerlendirilmiştir. Konuta ait zemin kat bahçe kapısı ile zemin kat, üst kat ve cihannüma pencereleri oran olarak da değerlendirilmiş yapıdan gelen izler vasıtasıyla yorumlanmıştır. Ayrıca üst kat kapılarının eksik olan bölümleri ile cihannüma bölümünün tavan kaplamaları da yine aynı şekilde tamamlanmıştır. Benzer yapılar ile karşılaştırma sonucunda zemin katın tüm odalarının döşeme kaplamaları ile çatı örtü malzemesine karar verilmiştir. Bu doğrultuda zemin kat odalarının dışındaki bölümlere karo mozaik, odalarda ise ahşap kaplama önerilmiştir. Çatı örtü malzemesi ise alaturka kiremit olarak değerlendirilmiştir. Zemin katın oda bölüntülerinin yerindeki izlerde yola çıkarak tamamlanması sonucunda geçişler için önerilen kapılar, üst kata çıkış için ihtiyaç duyulan merdiven cihannüma katında önerilen balkonu sınırlandıran korkuluklar ve dikmeler ile çatının yapım sistemine ilişkin yapılan çizimler mimari gereklilik sonucu olması gerektiği için çizimlerde belirtilmiştir. Yazılı kaynaklarda yapının kendisine ait veri elde edilememekle birlikte çeşme ile kesişim noktasında bulunan bahçe duvarının şekline görsellerden faydalanarak karar verilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Restitüsyon önerisi (Demirhanlı Tarım Ürünleri, 2016 'dan düzenlenerek)

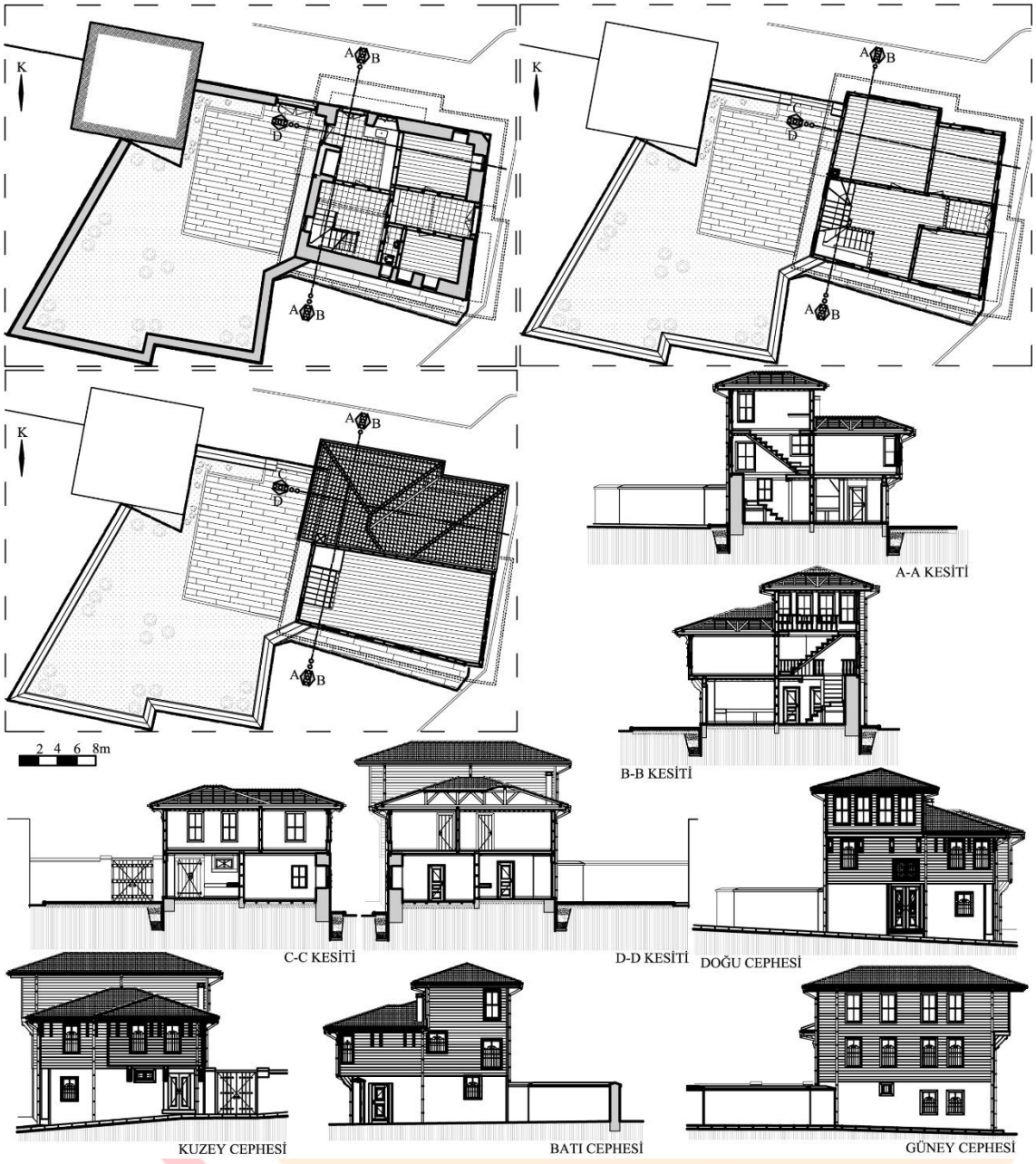
Restorasyon ve Yeniden İşlevlendirme Kararları

Yapının büyük bölümü yıkılmış olması sebebiyle restitüsyon verileri değerlendirilerek kısmi rekonstrüksiyon yapılması gerekmektedir. Ancak yapılan işlemler sonucu yapının özgün fonksiyonu ile kullanılmasının çok da mümkün olmadığı değerlendirildiğinden farklı bir işlev verilerek kullanım daha doğru bir yaklaşım olarak görülmektedir. Yeniden işlevlendirme uluslararası tüzüklerde de değerlendirilmesi gereken bir yöntem olarak belirtilmektedir. Bu konuda Venedik Tüzüğü 5'inci maddesinde koruma toplumun amacına hizmet edecek şekilde yapılırsa ve anıtın özgün şemasında değişime yola açmayacaksa işlev değişikliği yapılarak yapının kullanılabileceğine değinilmiştir (Venedik Tüzüğü, 1964). Hasarlara ve yoğun değişimlere neden olmayacak şekilde yapıların farklı fonksiyon ile kullanılabileceği Restorasyon Tüzüğü 4'üncü maddesinde de belirtilmiştir (Carta Del Restauro, 1931). Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü 5'inci maddesi (Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü, 1999) ile

Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi 4.3.2'inci maddesinde de (Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi, 2013) yapıya saygı gösterilerek yaşatılması amacıyla yeniden işlevlendirmenin etik kurallar çerçevesinde yapılabileceği vurgulanmıştır.

Elde edilen veriler doğrultusunda yapının mevcut özellikleri de göz önünde bulundurularak fonksiyon değişikliği yapılabileceği değerlendirilmiş, yapının kafe-restoran olarak kullanımı önerilmiştir. Bu bağlamda;

- Yapının yıkılan üst kat bölümü temizlenecek, restitüsyon önerisine dayanılarak rekonstrüksiyonu yapılmalıdır.
- Yapı genelinde zemin, 1.kat ve yakın çevrede itinalı hafriyat temizliği yapılarak yapı ek yük ve kirlilikten kurtarılmalıdır.
- Yapının taş olan dış duvarlarında yıkılma olan yerler tamamlanacak, iç mekânda ihtiyaç duyulan ıslak hacim bölümü ahşap karkas ve bağdadi sistem duvar ile yapılmalıdır.
- Zemin katta muhdes olarak yapılmış duvarlar kaldırılarak yapı özgün haline getirilmek amacıyla önerilen şekilde duvarları yeniden tespit edilmelidir.
- Kullanılmayacak durumda olan merdivenler özgün haliyle yeniden yapılmalıdır.
- Yapının üst katına ait veriler rölöve çizimlerinde bulunması sebebiyle rekonstrüksiyonu yapılacaktır. Bu doğrultuda yapı duvarlarında ahşap karkas arası taş yünü ısı yalıtım malzemesi kullanılacak, bağdadi sistem ile duvar tamamlanıp sıvanmalıdır.
- Cihannüma katı da karkas sistem ile inşa edilecek, tek bir mekân halinde bırakılmalıdır.
- Yapıya ilişkin döşeme kaplamaları özgün halini yansıtacak şekilde karo mozaik kaplama ve ahşap kaplama kullanılarak oluşturulmalıdır.
- Tavan kaplamaları her katta çıtalı ahşap olacak şekilde yapılmalıdır.
- Yapının tüm kapı ve pencereleri özgüne uygun olacak şekilde yeniden yapılmalıdır. Ancak konfor koşulları göz önünde bulundurularak pencerelerde çift ısı camlı ahşap doğramalar kullanılmalıdır.
- Yapıda kullanılacak olan tüm ahşap elemanlar ister taşıyıcı ister dekoratif olsun emprenye edilmeli, Uv ışınlarına karşı koruyucu cila ile cilalanmalıdır. Eğer mümkün ise cilalar yangın dayanımını arttırıcı etkiye sahip olmalıdır.
- Yapı parselinde verilecek işleve uygun olarak hem sert hem yeşil alan oluşturulmalı ve açık havada oturma imkânı sağlanmalıdır.
- Yapıya ilişkin tüm tesisat kablo ve kanalları sıvaların yeniden yapılacak olması sebebiyle sıva altından yapılmalıdır.



Şekil 6. Restorasyon önerisi

Yapının yeniden işlevlendirmeye yönelik plan kararları şu şekilde alınmıştır. Mevcutta olan mutfak mekânının yine mutfak olarak kullanılabilecektir. Mutfak içeriden ulaşılabildiği gibi doğrudan bahçeye açılması sebebiyle dış mekâna da hizmet verebilmektedir. Zemin katın güneyinde bulunan oda personel, güvenlik ve dinlenme odası olarak, kuzeyindeki oda ise müdür ve görüşme odası kullanımı önerilmektedir. Verilen işleve uygun olarak ıslak hacim de yapının özgünlüğünü bozmamak amacıyla zemin katta değerlendirilebilecektir. Üst kat odaları tamamen kafe/restoran alanı olarak kullanılacaktır. Cihannüma katı ise daha kalabalık gruplara hizmet vermek amacıyla kullanılabilir bir mekân olacaktır. Yapının bahçesinde de oturuma imkân verilerek butik bir restoran işlevi ile yapının yaşatılması sağlanabilecektir.

Sonuçlar

Büyükçekmece ilçesi İstanbul'un batısında kalan ve geçiş güzergahında olan bir yerleşim olması sebebiyle büyük oranda yazlık ve kışlık olarak kullanılan bir bölgedir. İlçenin nüfusu yazın çok fazla artarken kışın ise azalmaktadır. Bu durum geleneksel konutlar açısından bakıldığında da koruma oranının düşmesine sebebiyet vermektedir. Öyle ki geleneksel yapılara

önem verilmemesi halihazırda yapıların korunmasını zorlaştırırken kullanım dışı kalmaları ise bozulma süreçlerini çok daha fazla hızlandırmaktadır. Bu sebeple ilçedeki tarihi yapıların korunması ayrı bir öneme sahiptir. Özellikle sivil mimarlık yapılarının sayılarının çok azalması bölgedeki kültürel değerlerin yok olmayla karşı karşıya kalındığını göstermektedir.

Çalışmada ele alanın konutun bölgede kalan nadir örneklerden biri olduğu göz önüne alındığında acil bir şekilde müdahale edilerek yaşatılması gerektiği anlaşılmaktadır. 2016 yılında gerçekleştirilen rölöve ve restorasyon projeleri çalışmaları sonucunda bunların hayata geçirilmemiş olması sebebiyle yapı neredeyse tamamen yıkılma noktasına gelmiştir. Bu da bozulmanın ve yok olmanın hızını ne denli fazla olduğunun bir göstergesidir. Bu bağlamda yapıya ilişkin restorasyon ve kısmi rekonstrüksiyon kararları verilmiştir. Çalışma sonucunda yapının kafe/restoran olarak kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bulunduğu bölgede bu fonksiyonda bir yapıya ihtiyaç duyulması ve yapının restorasyonu ve rekonstrüksiyonu yapılması durumunda özgünlüğüne zarar vermeyecek bir fonksiyon olması sebebiyle bu işlev seçilmiştir. Özgün plan şeması ve karakterleri kullanılarak bu fonksiyonun işleyebilecek olması hem yapının yeniden ayağa kaldırılması hem de tekrar onarıldıktan sonra yapının kullanılmasına katkı sağlayacaktır. Bölgede bulunan diğer sivil mimarlık örneklerinden olan konakların özgün fonksiyonları ile kullanılmasının çok da mümkün olmadığı değerlendirilmektedir. Bu sebeple uygun konutların işlev değişikliği ile kullanılması gerektiği bu çalışma ile ayrıca desteklenebilmektedir.

Restorasyon ve yeniden işlevlendirmede temel tutum yapılabilecek en az müdahale ile yapının yaşatılması olmalıdır. Mümkün olduğu kadar özgün elemanların kullanılması tarihi özelliklerin sürekliliği açısından önemlidir. Ancak bunun sağlanamadığı durumlarda kent belleğinin sürdürülebilir olması amacıyla rekonstrüksiyon uygulaması da yapılabilmektedir. Bu çalışma ile hem restorasyon ve rekonstrüksiyon uygulaması birlikte önerilmiş, hem de yeniden işlevlendirme ile yapının kullanılabilir bir hale getirilmesi planlanmıştır.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynaklar

Büyükçekmece Kaymakamlığı. (2024). *İlçe tanıtımı.* Erişim tarihi: 05.02.2024, http://www.buyukcekmece.gov.tr/ilcemiztarihce

Süleyman, E. (2021). Geleneksel ahşap konutların koruma sorunları üzerine bir inceleme: İstanbul-Büyükçekmece 329 ada, 6 parsel örneği (Yayımlanmamış Yüksek Lisan Tezi). İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul.

Süphanoğlu, Y. B., Güneş, E., Çelik Başok, G. (2022). El Aman Kervansarayı'nın yeniden işlevlendirme açısından değerlendirilmesi ve tasarım önerileri. *Online Journal of Art and Design, 10*(3), 79-102.

Aydın, A., Şahin, Ö. (2018). Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi: Isparta Aya İshotya (Yorgi) Kilisesi'nin Gül Müzesi'ne dönüşümü. *TÜBA-KED,* (17), 63-75. doi: 10.22520/tubaked.2018.17.004

Selimoğlu, P., Halaç, H. H. (2023). Yeniden işlevlendirme kapsamında Sinop Buzhane Binası. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 32*(2), 553-567. doi: 10.35379/cusosbil.1243337

Yenel, A. (2015). Ankara Kalesi'ndeki Hatipoğlu Konağı için yeniden işlevlendirme önerisi. *Ankara Araştırmaları Dergisi, 3*(1), 54-77.

Vural, Z. B., Sağıroğlu, Ö. (2021). Sivas Özdoğanlar evi restorasyon ve yeniden işlevlendirme önerisi. *Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi,* (24), 54-88. doi: 10.17365/TMD.2021.TURKEY.24.04

Haştemoğlu, B., Beyhan, Ş. G. (2017). Isparta Demirci Efe Konağının mimari açıdan analizi ve yeniden işlevlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi, 32*(2), 17-32. doi: 10.30785/mbud.312375

Yavuz Öden, H. (2023). Tarihi yapılarda yeniden işlevlendirme ve Baltazzi Köşkü. *Premium E-Journal of Social Sciences, 7*(3), 633-642. doi: 10.5281/zenodo.8201143

Turanlı, A., Satıcı, B. (2021). Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi: Hayriye Hanım Konağı örneği. *Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 4*(1), 73-95.

Yalçın, İ. C., Kurak Açıcı, F. (2023). Yeniden işlevlendirme kapsamında tarihi Tahir Ağa Konağı. *İMÜ Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9*(1), 7-23. doi: 10.46641/medeniyetsanat.1152447

Bacon, K. (2001). The adaptive re-use of heritage buildings (Master's Thesis). University of Calgary, Canada.

Demirhanlı Tarım Ürünleri Teks. Mak. Proje Hiz. San. ve Tic. Ltd. Şti. (2016). Rölöve, restitüsyon, restorasyon projeleri.

Venedik Tüzüğü. (1964).

Carta Del Restauro. (1931).

Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü. (1999).

Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi. (2013).

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Comparison of Electric Powertrain Layouts to Investigate Optimization Solutions

Eren BABAYIGIT[1]
Ecem SAYAN[2]

Abstract

It wasn't long before it was predicted that hybrid electric/gasoline vehicles would become popular in vehicle evolution. However, battery cost has been decreased significantly last 2 decades. Also the new electric vehicle platforms provide more robust solutions for designers. They could find different solutions for different custumers' demands with same electric vehicle platform. In addition to that designers could easily change the subsystems of platform itself according to the different market demands. So, industry have realized that the battery electric vehicles will be more widespread than hybrid electric vehicles and will bring a lot of opportunities to create new products and related markets.For example micro mobility solutions become more widespread with those developments. With the evolution of battery electric vehicles, many traditional components of vehicles have changed with the new components. Major change is happened on the powertrain system of the vehicle. So, power electronic units and coolant and electrical layout have become more important on the vehicle architecture & packaging. Weight, volume, and interaction with the other components have significant role to create more sustainable vehicle packaging. To make simple and most effective design, electric vehicle industry has many different solutions. So, the solutions will be investigated in order to understand logic behind those designs and each role of the solutions.

Keywords: Battery Electric Vehicles, Power Electronic Units, Vehicle Architecture & Packaging Design, Powertrain Layout

[1] Makine Mühendisi, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ArGe Merkezi
[2] Makine Mühendisi, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ArGe Merkezi

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Introduction

Vehicle architecture design or packaging is the one of the most important elements for developing car. Proportions of the vehicle affect design process deeply and main source of creating proportion is packaging activities. Vehicles have a lot of systems and subsystems, and each system needs to be packaged according to product setup. Powertrain system is one of the main systems inside car that affect vehicle architecture highly. With the electric vehicles, electric powertrain still important part of the vehicle architecture layout as in conventional cars.

High voltage system layout and thermal management system layout are the subsystems of electric powertrain, and they have crucial roles for design. This new technology brought a lot of advantages and improvements for automakers. In this research, we will investigate electric powertrain layouts and different solutions of car brands.

2.The Basics of Electric Powertrain Packaging

A lot of engineering assumptions and constraints has changed with electric drivetrain. So, packaging is the main part of this changing. A different mindset is needed when packaging an electric system, than packaging a traditional vehicle. Electric motors are smaller, but traction batteries are fairly big in compared to those of internal combustion systems. If the system can be placed under the floor, for instance, it provides the designer the chance to reduce the length of the vehicle and adjust the proportions.

Because the electric motors are smaller than internal combustion engines, there is a huge opportunity to build vehicles with reduced packaging requirements. Unlike conventional powertrains, which are mechanically coupled and require special handling, the components of the electric powertrain can be spread throughout the package in wide apart places. The fuel or source of electricity is yet another notable distinction. Fuel tanks for conventional cars are quite tiny and can be shaped to place between various components, but traction battery is much larger and heavier. The center of gravity can be lowered as a result, which is advantageous. (Macey & Wardle, 2009)

2.1 Introduction to Electric Powertrain Layout

Powertrain architecture and layout design is affected by cost, performance, manufacturability, mass, service, NVH, reliability, safety etc. Thermal management system layout and high voltage system layout have crucial roles for establishment of those criteria. Electric powertrain includes high voltage battery, power electronics (Inverter, on board charger &DC / DC Converter), auxiliary components (HV Heater & E Compressor), power distribution unit, e motor, reducer, charging inlet and cooling system.

Power electronics, HV battery, e motor and reducer generate heat so that they need to be cooled. Also, cabin air conditioning is provided by auxiliary components. Besides, e motor and reducer are cooled by oil which has oil heat exchanger with main coolant line.

HV Battery is the energy storage system which includes relay box, battery management system (BMS), modules, sensors, etc. Besides, on board charger, DC / DC converter and inverter units convert power. Also, Charging Inlet provides AC & DC charging. These components are linked with high voltage cables and busbars. Fig. 1. shows basic layout of electric powertrain.

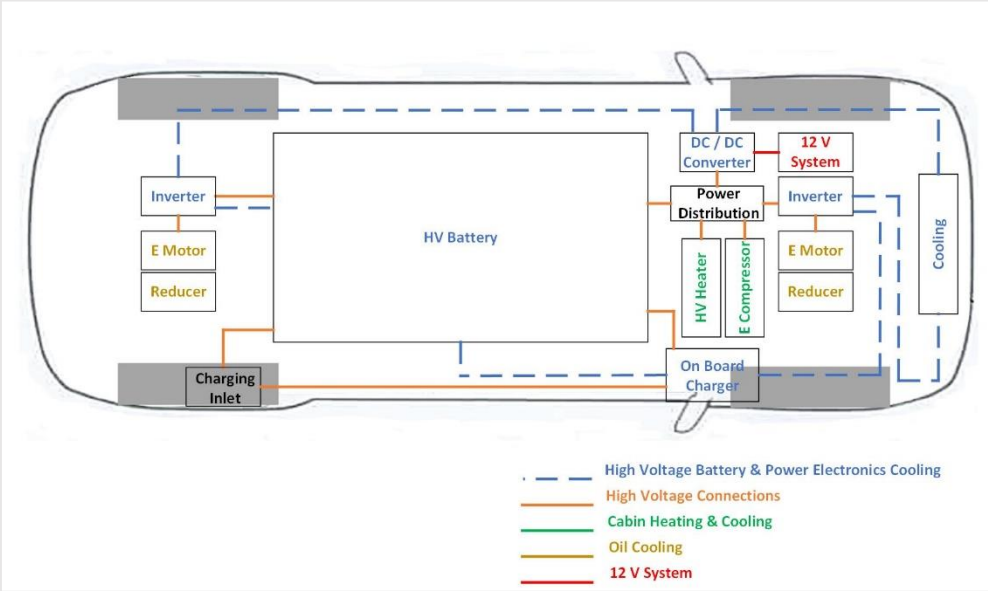


Figure 34.Electric Powertrain Layout

2.2 Benefits of 800 V Powertrain Layout Comparing with the 400 V

Increasing the voltage or current is the only way to provide fast charging. To maintain low resistance, increasing the current will require enlargement all the cables and connectors that conduct the electricity in the car. Since heat generation is a function of current squared, advanced cooling strategies will also need to be used. In addition to raising weight, which reduces vehicle range, increasing component size also raises material prices. On the other hand, increasing the voltage has the reverse effect of lowering the current needed for the equal power, allowing everything that conduct the current such as the motors, cord set used to charge the vehicle, and cables and connectors to remain smaller and lighter. So thermal management could have smaller pumps, compressor, and radiators because of less heat generation. Because of these factors, raising the voltage is the most economical method of raising the power entering and leaving the battery.

400V architectures are common nowadays. It is theoretically possible to charge a 60-kWh EV battery from 20 percent to 80 percent in less than 30 minutes at a 150 kW fast-charging station that delivers approximately 350A of current. The easiest way to decrease charging time to 15 minutes or less is to just double the voltage to 800V while keeping the current equally. This will increase the total charging power to 300 kW. (Aptiv, 2023)

Furthermore, since a high-voltage cables' bending radius is determined by its cross section, a vehicle's volume can be decreased by using a cable with a smaller cross section because of less current rate with 800V architecture, which also exhibits greater geometric flexibility for simpler routing. Also, this effect leads wiring and busbar connection inside high voltage battery with less space and weight. So, automakers would design more compact HV battery using less space of vehicle. (Jung, 2017) So electric powertrain layout will be less complex.

Carmakers will have the ability to control costs, decrease charging time, crate more space for packaging, decrease weight, produce more continuous power at 800 V, increase performance. Also because of fast charging ability, they will have opportunity to install higher battery power capacity on vehicle to decrease range anxiety. In addition, because of the lower heat generation opportunity, they will have more efficient thermal management system and it will decrease the complexity of cooling system. With all the benefits, they will have better customer experience and more robust designs.

2.3 Impacts of Combined Components on Electric Powertrain Layout

Car companies continue to enlarge battery packs and perform research to find denser materials with power because they understand that expectations about range and other features is so important for the future of BEVs. A bigger battery pack cause less space for high-voltage components which are essential for seamless functionalities of a BEV in the vehicle chassis. Individual units with those functions are on board charger, DC/DC converter, inverter, power distribution unit, EVSE controller, battery management system.

First BEV architectures tried to package each of the functions into an apart box and limit the length of the wiring harness required to reach the battery they served by placing each component close to the traction battery. However, every inch of wiring and connector that runs between the parts and the battery raises weight, expense, and additional failure potentials. In addition, a lot of those parts need to be shielded from other electronics to prevent electromagnetic interference caused by the high voltage.

The first solution is to combine those functions into single component. By sharing electronics and active-cooling mechanisms, streamlining power distribution, and improving connections with busbars and flexible connectors, a combined system could reduce packaging space nearly 30 percent. It could be integrated into the battery pack itself to make use of the current pack enclosure and cooling system. (Aptiv, 2022)

Combined components create a lot of advantages for electric powertrain. So, carmakers could decrease number of components and weight, save space and expenses to make more advanced And Less Complex Vehicles.

3. Electric Powertrain Layout Comparisons with Different Vehicles

Vehicle comparison, tables and figures have been prepared based on A2Mac1 data.

We investigated D segment, rear wheel drive battery electric vehicles powertrain layout with packaging point of view. Table below shows some specifications of vehicles.

Brand	Total Weight [kg]	Segment	Body Style	Body Structure	Structure Motor Max Power [kW]	Nominal Energy [kWh]	Range [km]	Battery Nominal Voltage [V]
A	1898	D	SUV	Unibody	235	60,31	455	336
B	1939	D	Sedan	Unibody	150	61,4	550	409,6
C	2283	D	SUV	Unibody	150	83,4		352

Table 18.Brands Specifications

Brand A uses heat pump, so vehicle does not use heater. Brand B have heater and brand C have 2 different heaters for both cabin heating and battery heating. A have significantly higher level of motor power than the others. C is heavier than others and have more battery capacity. Rest of the vehicles' specifications are similar.

Fig. 2. shows us that Brand A have 3 components and 2 of them are combined. When we compare the vehicles, advantages of using combined components to decrease number of components that helps to have less complex pipe and cable layout and less fixation points.

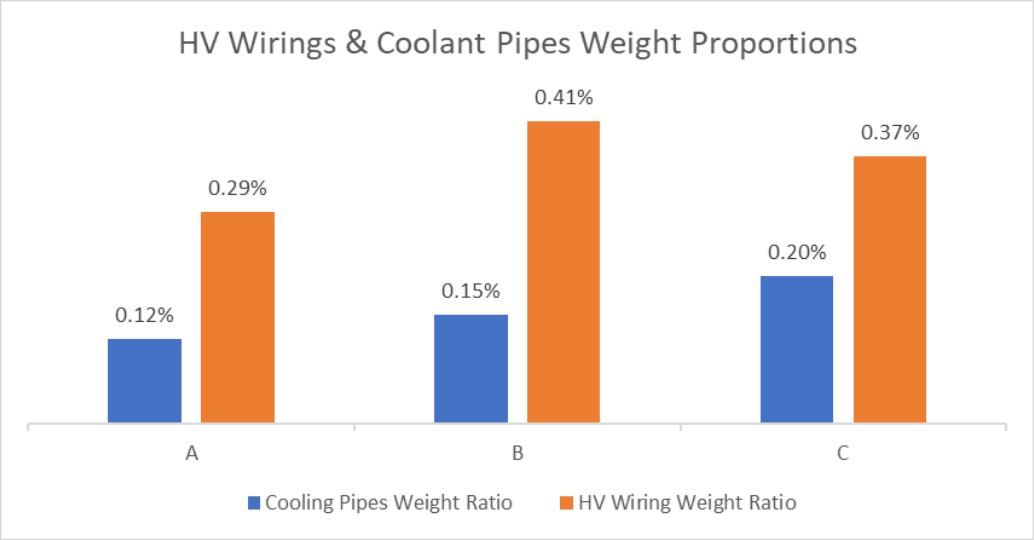


Figure 35. Wiring & Pipes Weight Comparison

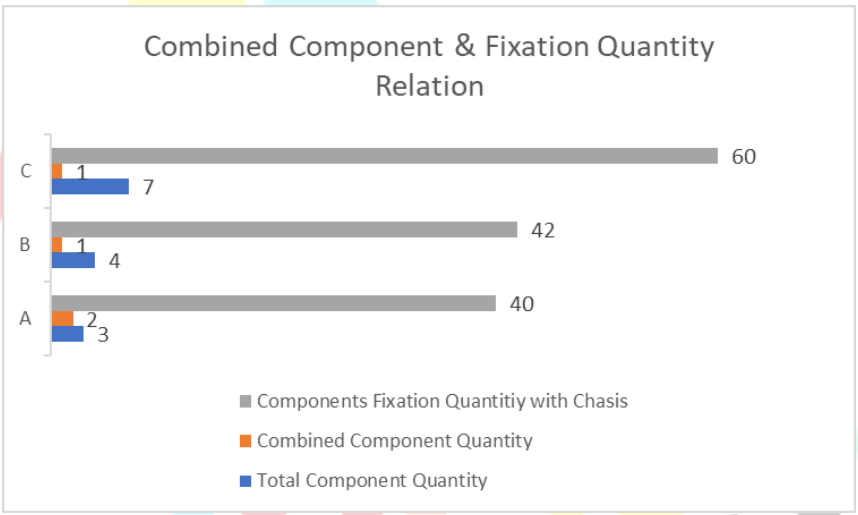


Figure 36. Quantity of Fixation Components & Combined Components for each Brand

Fig. 3. Shows that bounding box volumes of components for each vehicle. Total bounding box volumes of each vehicle are similar, but we can still see the less combined components with higher component quantity cause to increase complexity of layout (Fig. 2.). Despite, brand A have the highest volume, because of the higher combined component with less component quantity, have simpler layout than the other vehicles.

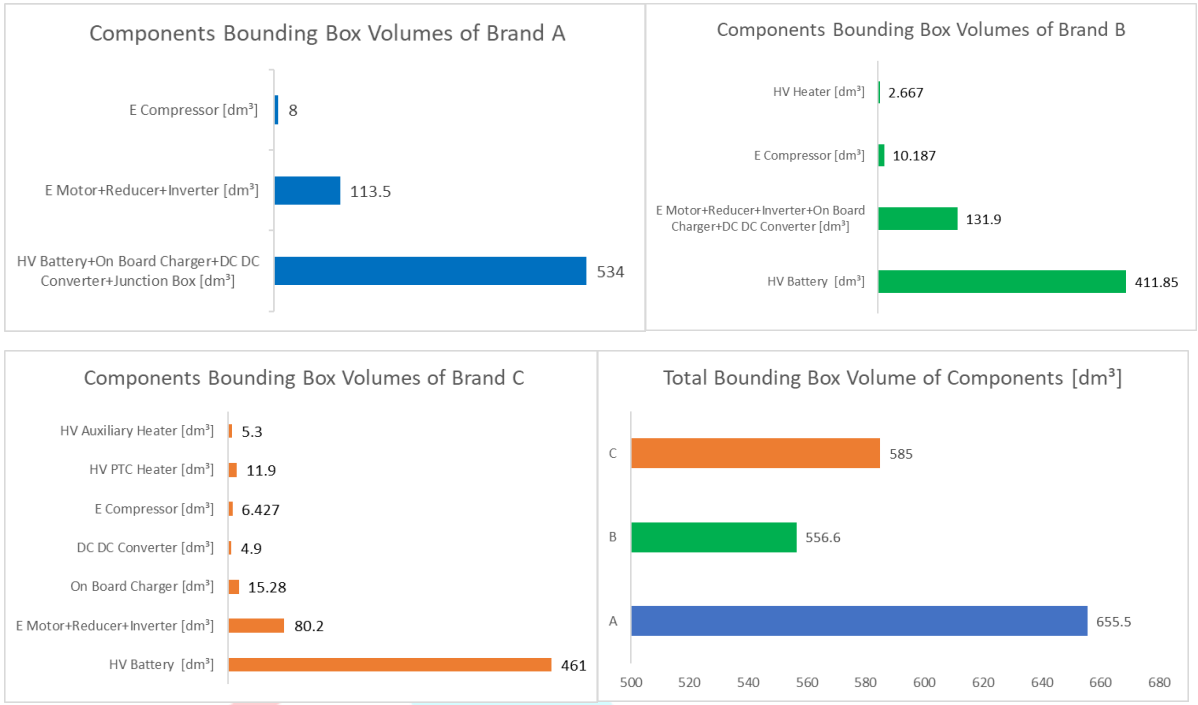


Figure 37. Bounding Box Volume Comparisons

We used data from A2Mac1,2024 for vehicles' datas.

4. Conclusion

With the electric vehicles, a lot of new brands are started and some of them are even more successful than conventional brands nowadays. Electric power train solutions are one of the most important factors. Conventional brands started to design EVs with internal combustion engine version platforms.

That created more complex powertrain structures when we compare with the new electric vehicle brands. In our study, brand A & B are new automaker brands, but brand C is a conventional automaker. We can see clearly that A & B have more robust design according to our comparison results. Combined components create a lot of advantages. Quantity of components are decreased and that cause less complex wiring and pipe layout together with less weight and space. As well as manufacturability & serviceability are affected positively. Besides, those solutions make more robust thermal management systems and create more efficient vehicles. With less space and weight, Designers have opportunity to create product with better proportions.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

McKay B. ; Qian L, (**November 14, 2022**), *Integrated power electronics: the road merges*, Retrieved: Jan 2024, https://www.aptiv.com/en/insights/article/integrated-power-electronics-the-road-merges.

A2MAC1. (2024). Benchmark DataBase. Retrieved Feb, 2024, from https://www.a2mac1.com/

Jung, C. (2017,Mar). Power Up with 800-V Systems: The Benefits of Upgrading Voltage Power For Battery-Electric Passenger Vehicles. *IEEE Electrif. Mag.*, vol. 5, no. 1, pp. 53–58.

What to Watch When Designing Vehicle Architectures for 800V, Retrieved: Jan 2024, https://www.aptiv.com/en/insights/article/what-to-watch-when-designing-vehicle-architectures-for-800v

Macey, S. ; Wardle, G. (2009). H-Point: The Fundamentals of Car Design & Packaging (First ed.). Design Studio Press.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Kültürel Mirasın 3 Boyutlu Belgelenmesinde Dijital İkiz Teknolojisinin Kullanımı

Ertuğrul AYDIN[1]
Serdar BİLGİ[2]
İrem YAKAR[3]

Özet

Kültür varlıklarının belgelenmesinde en sık kullanılan teknolojiler, birçok çalışmaya konu olan lazer tarama ve fotogrametri yöntemleridir. Zaman içerisinde lazer tarama ve fotogrametri yöntemlerine dayalı olarak geliştirilen birçok dijital ikiz üretim teknolojisi piyasaya sunulmuş ve çeşitli amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır. Panoramik görüntülerin fotogrametrik yöntemlerle işlenmesini sağlayan sistemler ve geometrik verilerin elde edilmesi için LIDAR sensörü kullanan teknolojiler günümüzde en çok kullanıcıya hitap eden teknolojilerdir. LIDAR sensörü kullanılarak dijital ikiz üretimine olanak sağlayan Matterport teknolojisi bu sistemlerin en gelişmişlerinden biridir.

Yapılan çalışmada İstanbul'da yer alan önemli kültürel varlıklardan biri olan III. Ahmet Çeşmesi proje alanı olarak seçilmiş ve yersel fotogrametri ile Matterport sistemlerinin kıyaslanması çeşmeye ait veriler kullanılarak yapılmıştır. İlk aşamada yersel fotogrametri çalışmaları kapsamında çeşme çevresinden alınan 106 adet yersel fotoğraf ve 17 detay noktası kullanılarak çeşmenin dijital ikizi oluşturulmuştur. İkinci aşamada LIDAR tarama sensörlerini kullanan yeni nesil dijital ikiz üretim teknolojisi olan Matterport kullanılarak 36 tarama noktası tesis edilmiş ve çeşmenin bir başka dijital ikizi oluşturulmuştur. Karşılaştırma aşamasında her iki sistem veri toplama, işleme, sonuç ürün kalitesi ve uzunluk ölçümlerindeki doğruluklar göz önüne alınmıştır. Yapılan kıyaslamalar sonucu her iki dijital ikiz üzerinden alınan 15 farklı uzunluk ölçüsü incelenerek konumsal hassasiyetler göz önüne alınarak bu yeni nesil tarama sisteminin kültürel varlıkların belgelenmesi konusunda lazer tarama ve fotogrametrinin en güçlü alternatiflerinden biri olduğu görüşü elde edilmiştir.

Keywords: Kültürel Belgeleme, Dijital İkiz, Fotogrametri, LIDAR, 3 Boyutlu Modelleme

[1] Geomatics Engineer, Istanbul Technical University, Faculty of Civil Eng., Dept. of Geomatics Engineering, 0009-0007-8595-3423
[2] Assoc. Prof., Istanbul Technical University, Faculty of Civil Eng., Dept. of Geomatics Engineering, 0000-0002-8396-3202
[3] Res. Asst., Istanbul Technical University, Faculty of Civil Eng., Dept. of Geomatics Engineering, 0000-0002-782-9674

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Tarih boyunca var olmuş tüm uygarlıklar, sosyal ve kültürel özelliklerini çeşitli kültür varlıkları sayesinde sonraki nesillere aktarmışlardır. Bu kültürel aktarım; çeşitli yazılı eserler, destanlar, şiirler veya somut eserlerle sağlanmıştır. Yazılı veya sözlü kültür varlıkları zaman içerisinde değişebilir ya da unutulabilirken, somut kültür varlıkları ise uzun yıllar varlıklarını sürdürebilir ve gelecek nesiller için daha etkili kültürel taşıyıcılar olabilirler (Pehlivan vd., 2022: 55-56). Günümüze kadar birçok medeniyete ev sahipliği yapmış İstanbul şehrinde farklı dönemlere ait çeşitli kültür varlıkları bulunmaktadır ve bu kültürel varlıkların oluşabilecek doğal afetlere ya da zaman içerisinde yaşanabilecek tahribatlara karşın belgelenmesi ve dijital olarak saklanması kültürel aktarım açısından büyük önem taşımaktadır (Themistocleous, 2019: 1-2). Bilginin sayısal ortamda okunabilecek hale dönüştürülmesi süreci olarak özetlenebilecek bir kavram olan dijitalleşme, günümüzde birçok alanda karşılaştığımız bir kavramdır ve bu kavram eğitim, sağlık, mühendislik, savunma, tarım, orman, yönetim sistemleri, kişisel bilgiler…vb hemen her alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu amaçla geliştirilen farklı teknolojiler sayesinde çeşitli dijital veriler üretilmektedir ve kuşkusuz ki dijitalleştirilmiş bir konumsal veri seti mühendis ve mimarlar için pek çok amaçla kullanılabilmektedir. Bu amaçların en önemlilerinden biri olarak kültür varlıklarının belgelenmesi ve korunması gösterilebilir. Kültür varlıklarının korunması ve geometrik yapısının en doğru şekilde belgelenmesi ile ilerleyen süreçte yapılacak bir restorasyon çalışmasında kullanılabilecek detaylı referans veriler üretilebilir.

Bilinen ilk fotoğrafın 1827 yılında Joseph Nicephoce Niepce tarafından çekilmesi ile başlayan kronolojide, 1849 yılında Aimé Laussedat ilk fotogrametrik aletleri ve fotogrametrik teknikleri geliştirerek yersel fotogrametride kullanmaya başlamıştır. Laussedat'ın kullandığı teknik "iconometry" (Yunanca icon/görüntü ve metry/ölçme tekniği kelimelerinin türetilmişi) olarak isimlendirilmiştir (Burtch, 2006: 2-3). Fotogrametri teknolojisi, yeryüzüne ait daha geniş alanların havadan fotoğraflarını çekebilmek amacı ile 1855 yılında balon, 1880 yılında uçurtma, 1903 yılında güvercin, 1903 yılında uçak, 1926 yılında roket ve 1972 yılında uzaktan algılama uydusu araçlarını kullanarak gelişimini sürdürmüştür (Bilgi, 2006: 48-55). Genel bir tanım olarak; fotogrametri; kayıt, ölçme, analiz ve temsil ile Dünya ve çevresi ile diğer fiziki objeler hakkında temassız görüntüleme ve diğer sensör sistemleri kullanılarak güvenilir bilgi elde etme sanatı, bilimi ve teknolojisi olarak tanımlanabilir (ISPRS web p.). Bu yöntem ile çekilen resimler, harita üretimi, askeri alanlar, tıp, uzay çalışmaları, afet çalışmaları vb. alanlarda kullanılmaktadır. Klasik ölçme yöntemlerinden sonra diğer belgeleme teknolojilerine göre daha eski olduğundan fotogrametrik yöntemler en sık ve en yaygın kullanılan belgeleme yöntemleri olarak karşımıza çıkmaktadır (Sayar, 2021: 5-6). Gelişen teknoloji ile birlikte kullanımı yaygınlaşan insanlı ve insansız hava araçları sayesinde de fotogrametri daha büyük ölçekli projeler için de önemli bir belgeleme aracına dönüşmüştür. Fotogrametriden sonra kültürel mirasın belgelenmesinde en çok kullanılan lazer tarama yöntemi, geleneksel ölçme tekniklerine nazaran üç boyutlu nokta konum bilgisinin daha yüksek hızla ve yüksek doğrulukla elde edildiği ölçme tekniğidir (Gordon ve Lichti, 2004:448-468). Lazer tarama yönteminde Lazer taramada kullanılan ekipmanlar fotogrametride kullanılan ekipmanlara göre daha maliyetli oldukları için bu cihazların büyük ölçekli projelerde daha yaygın kullanıldığını görülmektedir. Her iki yöntemde de zaman içerisinde farklı sensörler ve farklı uygulamalar kullanılmaya başlanmıştır. Zaman içerisinde lazer tarama ve fotogrametri yöntemlerini temel alarak geliştirilen birçok dijital ikiz üretim teknolojisi piyasaya sürülmüş ve bu teknolojiler

çeşitli amaçlarla kullanılmıştır. Dijital ikiz kavramı, bir objenin sanal olarak hazırlanması ve bilgisayar destekli sistem tahminlerine dayanan, başlangıçta havacılık ve uzay endüstrisinde tanımlanmış, daha sonra üretim ve akıllı ürünlere odaklanarak gelişmiştir (Haag ve Anderl, 2018: 64-66). Bu yayında, dijital ikiz, "bir ürünün kapsamlı dijital temsili" ve "gerçek hayattaki nesnenin özelliklerini, durumunu ve davranışını simüle eden bir dizi gerçekçi model" olarak tanımlanabilir. Bu sistemler içerisinde panoramik görüntülerin fotogrametrik yöntemlerle işlenmesini sağlayan teknolojiler ve geometrik verinin yakalanması amacıyla LIDAR sensörü kullanan sistemler mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretilen yeni nesil tarama sistemleri incelendiğinde bu teknolojilerin fotogrametri ve lazer tarama yöntemlerine göre farklı avantaj ve dezavantajlarının bulunduğu ve bu sayede farklı amaçlarla kendilerine kullanıcı buldukları görülmektedir (Sulaiman vd., 2020: 222-224).

Çalışma kapsamında yeni nesil bir dijital ikiz üretim teknolojisi ile yersel fotogrametri yöntemi kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmada İstanbul'da yer alan önemli kültürel varlıklardan biri olan III. Ahmet Çeşmesi proje alanı olarak seçilmiş ve yöntemlerin kıyaslanması çeşmeye ait veriler kullanılarak yapılmıştır. İlk aşamada yersel fotogrametri çalışmaları kapsamında çeşme çevresinden alınan yersel fotoğraflar kullanılarak çeşmenin fotogrametrik veri işleme yöntemiyle bir dijital ikizi oluşturulmuştur. Bu aşamada Nikon Coolpix A10 1/2.3" (~ 6.16 x 4.62 mm) CCD sensör kullanılmıştır. Yersel fotogrametrinin bugüne kadar yapılan araştırmalar sonucu kültürel varlıkların belgelenmesinde kullanılabileceği araştırmacılar tarafından belirtilmiş ve kanıtlanmıştır. Bu sebeple yeni nesil bir tarama sisteminin yersel fotogrametri ile kıyaslanması düşünülmüştür. LIDAR tarama sensörlerini kullanan yeni nesil dijital ikiz üretim teknolojisi olan Matterport teknolojisi kullanılarak çeşmenin bir başka dijital ikizi oluşturulmuştur. Bu teknoloji tüm proses işlemlerinin bir yapay zeka tarafından tamamen otomatik olarak yapılması, üretilen verilerin farklı kullanıcılar ile paylaşımının fotogrametrik yöntemlere göre daha kolay olması ve yüksek ve geniş açılı bir görsellik sunması açısından birçok avantaja sahiptir. Karşılaştırma aşamasında her iki yöntem veri toplama, işleme, sonuç ürün kalitesi ve uzunluk ölçmelerindeki hassasiyetler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan kıyaslamalar sonucu bu yeni nesil tarama sisteminin kültürel varlıkların belgelenmesi konusunda lazer tarama ve fotogrametrinin en güçlü alternatiflerinden biri olduğu belirtilmiştir.

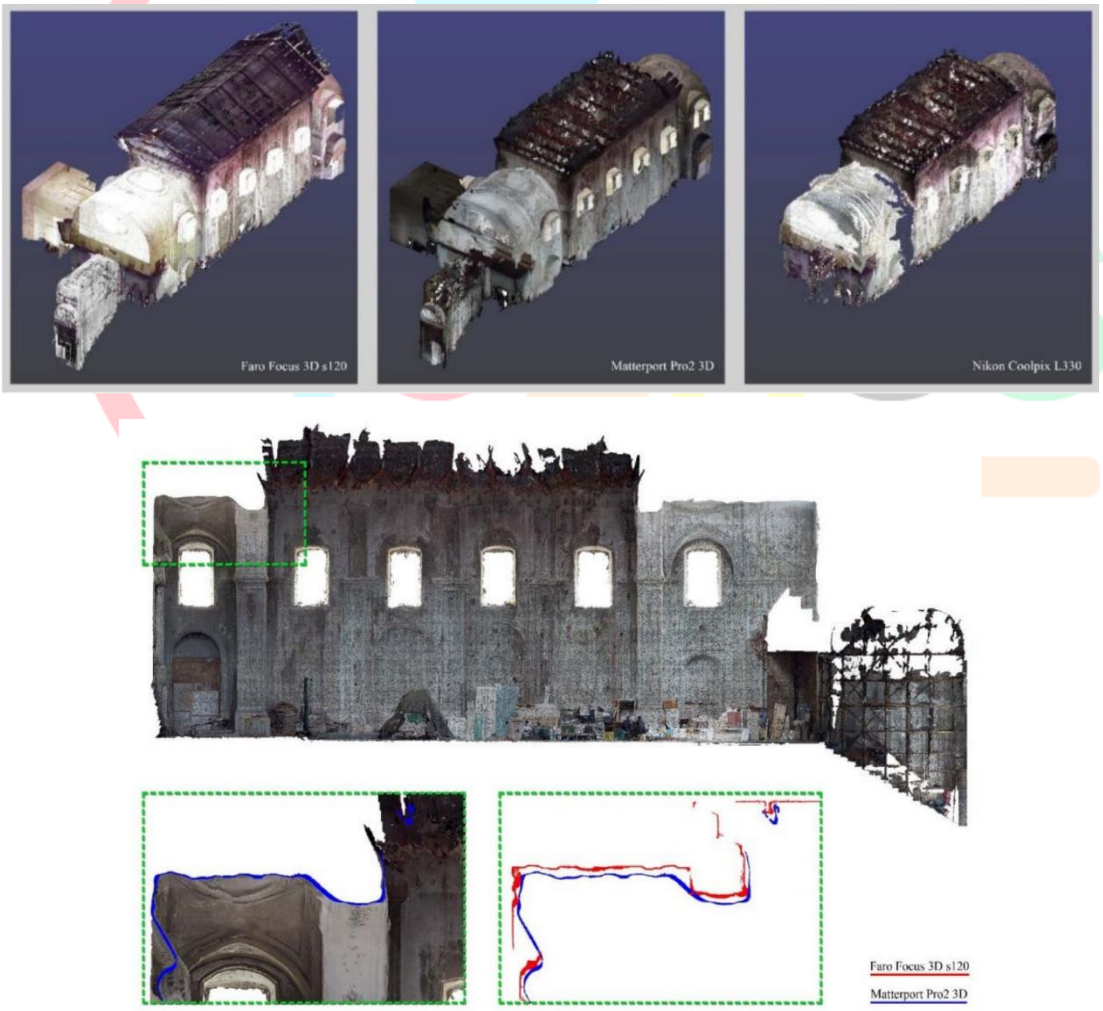
DİJİTAL İKİZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kültürel varlıkların oluşabilecek bir tahribat durumuna karşın belgelenmesi ve saklanması amacıyla bugüne dek birçok yöntem ve teknoloji kullanılmış ve bu konu birçok araştırmaya konu olmuştur. Yapılan literatür taraması kapsamında kültürel varlıkların ve alanların belgelenmesi amacıyla fotogrametri ve lazer tarama teknolojilerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Diğer yandan bu teknolojilerden önce kullanılmaya başlanan yersel ölçme teknikleri ise yapının tamamının bir temsilini sunmadığı ve genel olarak 2 boyutlu bir temsil sağladıkları için bu yöntemlere göre daha kullanışsız olmaktadır (Sayar, 2022: 14-15). Lazer tarama, fotogrametri ve yersel ölçme teknikleri bir kültür varlığının belgelenmesi amacıyla ayrı kullanılabildikleri gibi birbirleri ile birleştirilerek de kullanılabilmektedirler. Bu sayede lazer tarama ve fotogrametrinin birleştirildiği bir çalışmada geometrik doğruluğu lazer tarama verileri sayesinde yüksek olan bir veri ile görsel kalitesi fotogrametrik veriler sayesinde yüksek olan bir veri birleştirilerek daha kullanışlı ve daha gerçekçi bir belgeleme yapılabilir.

Lazer tarama ve fotogrametri verilerinin birleştirilmesi sonucu üretilen verilerin doğruluklarının incelendiği bir çalışmada Yakar (2021: 69-73) hava fotogrametrisi, yersel fotogrametri ve lazer tarama verilerini birleştirerek farklı füzyon modelleri oluşturmuştur. Oluşturulan modeller aynı referans sistemine yer kontrol noktaları (YKN) kullanılarak referanslanmış ve yapılan karşılaştırmalar sonucu yersel fotogrametri-hava fotogrametrisi veri füzyon modelinin doğruluğunun ±8.5 cm, yersel lazer tarama-hava fotogrametrisi füzyon modelinin doğruluğunun ± 0.5 cm ve 2 boyutlu yersel fotogrametri-hava fotogrametrisi füzyon modelinin doğruluğunun ise ±15.1 cm olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar göz önüne

alındığında özellikle yersel lazer tarama verilerinin üç boyutlu konum doğruluğu ve detay seviyesi açısından daha yüksek doğruluk sağladığı görülmüştür.

Araştırma sonuçlarına göre lazer tarama ve fotogrametri kullanılarak kültürel varlıkların belgelenmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Ancak bu teknolojiler referans alınarak geliştirilen birçok yeni nesil belgeleme teknolojisi de bulunmaktadır. Bu teknolojilere arasında oluşturulan dijital verinin içeriği ve verinin kullanıcılar ile etkileşimi incelendiğinde en çok kullanılan ve bu çalışmanın da araştırma konusu olan Matterport teknolojisi en önemli yeni nesil belgeleme teknolojilerinden biridir. Matterport temelde bir SLAM algoritmasına dayanan infrared sensör verileri ile yüksek çözünürlüklü panoramik görüntüleri kullanarak kullanıcı etkileşimli dijital ikizler oluşturan bulut tabanlı bir sistem sunmaktadır. Pulcrano vd. (2019:641-645) tarafından tarihi bir kilise alanının belgelenmesinde kullanılabilecek farklı sistemler irdelenmiş ve Matterport teknolojisi lazer tarama ve fotogrametri teknolojileri ile kıyaslanmıştır. Bir kilise alanında yersel lazer tarayıcı (Faro Focus 3D s120), fotogrametri (20 MP Nikon Coolpix L330) ve infrared tarama (Matterport Pro2 3D) teknolojileri ile veri toplanmıştır (Şekil 1). Bu yöntemlerle alana ait nokta bulutu verileri incelenerek hem nokta bulutları üzerinden hem de bu verilerden üretilen kesitler üzerinden sistemlerin arasındaki farklar analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre infrared tarama yöntemi ile oluşturulan nokta bulutunun konumsal doğruluğunun 4-7 cm arasında değiştiği, fakat bu durumun tarama noktaları arasındaki mesafenin azaltılması ile daha da iyileştirilebileceği ifade edilmiştir. Daha yüksek doğruluk sağlayan lazer tarama yöntemi ile elde edilen kesit ve Matterport ile elde edilen kesit arasındaki farklar da incelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Üç farklı yöntemle üretilen nokta bulutu verileri (Pulcrano vd.,2019: 643)

Şekil 2. Yersel lazer tarama ve infrared tarama sensörü ile üretilen kesitlerin karşılaştırılması (Pulcrano vd.,2019: 645)

Shults vd. (2019: 1059-1064) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ABD'de bulunan Quincy Madeninde tarihi bir bakır şaftın 3 boyutlu modelinin oluşturulması ve belgelenmesi için Matterport sisteminin uygunluğunu araştırılmıştır. Bu çalışmada öncelikle Matterport Pro2 kamerasının kalibrasyon işlemi yapılmış ve sonraki aşamada alanda infrared tarama işlemi yapılarak nokta bulutu verisi üretilmiştir. Bu sayede üretilen nokta bulutunun konumsal doğruluğu, nokta bulutu üzerinden belirlenen farklı noktalar arasında alınan ölçülerin çelik şerit metre ile yapılan ölçmelerle karşılaştırılması ile araştırılmıştır (Tablo 1).

Bu çalışmanın temel amacı farklı tarama sistemleri kullanılarak üretilen nokta bulutu verilerinin yapıya ait BIM modelin oluşturulması amacıyla değerlendirilmesidir. Üretilen veriler kullanılarak yapılan analizlere göre Matterport sistemi ile üretilen verilerin standart bir BIM modeli oluşturulması için yeterli hassasiyette olduğu ancak detay seviyesi LOD 200 üzerinde olan bir BIM modelinin oluşturulması için bu veri setinin yeterli konumsal hassasiyeti sağlamadığı sonuç veriler üzerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca bu çalışma kapsamında bu alana fiziksel erişimi olmayan kişilerin alanı tamamen dijital ortamda sürükleyici bir şekilde deneyimlemeleri adına bir interaktif dijital ikiz de hazırlanmıştır.

***Tablo 1** - Belirlenen kontrol noktaları arası mesafeler (Shults vd., 2019: 1063)*

Mesafeler	Metre Okumaları (m)	Dijital İkiz Ölçmeleri (m)	Farklar (m)
1-2	1.080	1.092	-0.012
2-3	4.670	4.700	-0.029
5-4	4.096	4.039	0.057
6-5	3.573	3.581	-0.008
6-7	3.786	3.810	-0.024
8-7	11.811	11.887	-0.076
9-8	2.101	2.134	-0.033
1-11	5.067	5.105	-0.038

İnfrared tarama teknolojisinin kullanıldığı bir diğer çalışmada ise Oliveira vd. (2021: 10-11) bir kilise alanının belgelenmesi adına Matterport Pro2 kamerasını kullanmış ve yine gerçek ölçü değerlerine göre doğruluk analizleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada hem sistemin parlak olmayan yüzeylerde daha hassas konum bilgisi sağladığı hem de bu teknoloji ile üretilen verilerin özellikle pandemi döneminde kullanımının yaygınlaştığını belirtmişlerdir. Konumsal doğruluk açısından incelendiğinde diğer birçok araştırmada da belirtildiği gibi lazer tarayıcı sistemler kadar yüksek konumsal doğruluğa sahip verilerin üretilmediğini ancak belirli işlemler için bu verilerin kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Lazer tarama ve fotogrametri yöntemleri yaygın olarak kullanılan belgeleme yöntemlerine olmalarına rağmen her iki sistemde kendi içerisinde bazı avantaj ve dezavantajlar

barındırmaktadır. Fotogrametrik tekniklerde veri işlemeden ziyade arazi çalışmalarında doğru verilerin alınması büyük önem taşımaktadır. Bu durum bazen profesyonel ekipmanlar kullanılması bazen de kalifiye personel ihtiyacı doğurmaktadır. Yersel lazer tarama işlemi ise geometrik olarak tüm yöntemlerden daha iyi sonuç vermektedir ve yapılacak çalışmada çok yüksek geometrik doğruluk gerekiyorsa kullanılmaya uygundur. Fakat diğer yandan lazer tarama yönteminde kullanılan lazer tarama cihazları dosya boyutu yüksek veriler üretmektedir ve üretilen veriler görüntü kalitesi açısından fotogrametri kadar iyi sonuç vermemektedir. Aynı zamanda lazer tarama yöntemleri üretilen verilerin boyutlarının çok yüksek olması sebebiyle kullanıcılar ile paylaşımının zor olması, işlem yapmak için güçlü bir donanım gerektirmesi ve sahada her bir noktadan alınan verilerin birleştirilmesi süreçlerinin uzun olması gibi bazı dezavantajlar barındırmaktadır.

Kültür varlıklarının belgelenmesinde kullanılan yeni nesil teknolojiler ve infrared tarama teknolojileri incelendiğinde ise geometrik açıdan çok yüksek doğruluk sağlamayan bazı çözümlerin belirli noktalarda sağladıkları diğer avantajlar sebebiyle kullanılabilir olduğu görülmektedir. Bu noktada her bir projenin temel ihtiyaçları göz önünde bulundurularak en uygun belgeleme yöntemi seçilmelidir.

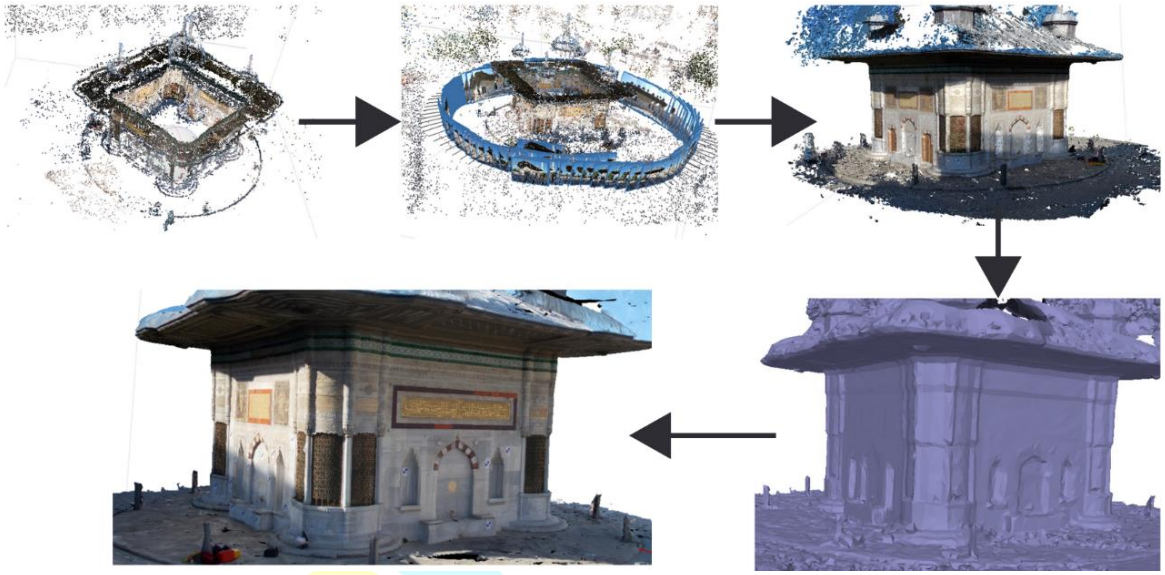
YÖNTEM

Çalışma kapsamında İstanbul'da yer alan önemli kültür varlıklarından biri olan III. Ahmet Çeşmesi'nin yersel fotogrametri ve Matterport teknolojisi kullanılarak ayrı dijital ikizleri oluşturulmuştur. Çeşme, 1729 yılında, İstanbul Fatih ilçesinde yer alan Topkapı Sarayı'nın Bab-ı Hümayun kapısı önünde Sultan Ahmet III. tarafından inşa ettirilmiştir (Yakar vd, 2020: 112-115). Elde edilen veriler ve ölçülerin doğruluğu göz önüne alınmış, kültürel varlıkların belgelenmesi amacıyla kullanımının uygun olduğu birçok çalışma tarafından kanıtlanan yersel fotogrametri yöntemi sonuçları dikkate alınarak yeni nesil bir tarama sistemi olan Matterport sisteminin kültürel varlıkların belgelenmesi amacıyla dijital ikiz veri üretiminde kullanışlı olup olmadığı incelenmiştir.

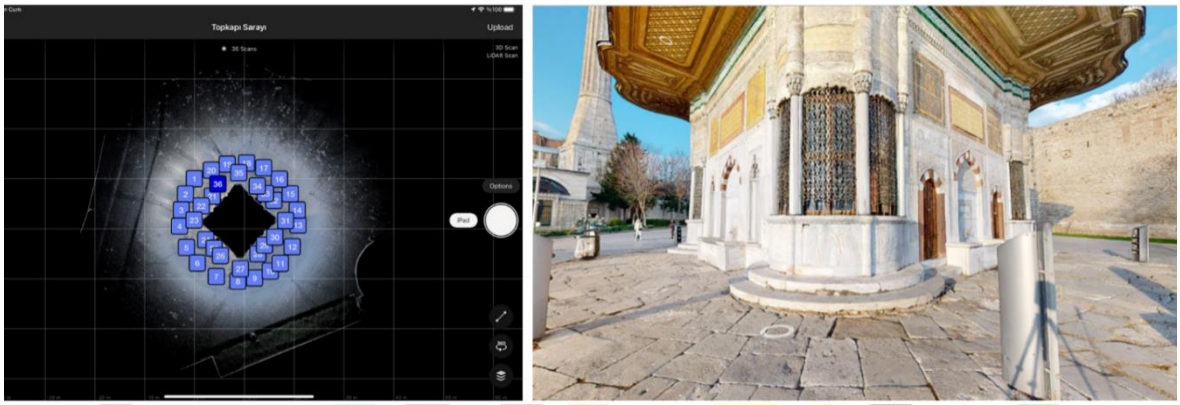
Yersel fotogrametri çalışmaları kapsamında daha önce aynı proje alanında elde edilen 106 adet yersel fotoğraf Nikon Coolpix A10 dijital kamerası ile alınmış, 4 adet kontrol noktası GNSS ile tesis edilmiş ve 81 adet detay noktasına ait takeometrik veriler Pentax R- 1505 N elektronik takeometresi kullanılarak elde edilmiştir. Tüm prosesler Agisoft Metashape ticari yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın asıl amacı Matterport ile üretilen verinin kalitesinin araştırılması olduğu için daha önce aynı alanda yapılan bir yersel fotogrametri çalışmasında (Yakar, 2021) kullanılan veriler kullanılmış ve proses sürecinde de aynı işlemler sırasıyla yapılmıştır.

Fotogrametrik proseslerde; önce görüntüler SfM tekniğine dayanarak konumlandırılmış, bu görüntülerden seyrek nokta bulutu verisi üretilmiş, seyrek nokta bulutu verileri ve kamera konumları kullanılarak yoğun nokta bulutu üretilmiş, yapının katı modeli oluşturulmuş ve son aşamada fotoğraflarda yer alan dokusal veriler kullanılarak doku giydirilmiş fotogrametrik model oluşturulmuştur (Şekil 3).

Yeni nesil bir dijital ikiz üretim teknolojisi olan Matterport teknolojisi ile veri toplama aşamasında ise yeni geliştirilen Matterport Pro3 3D kamerası kullanılmıştır. Bu ekipman lazer tarama cihazı ile aynı prensipte çalışan kendi etrafında dönerek panoramik fotoğraf çeken ve aynı zamanda kullandığı LIDAR sensörü sayesinde tarama yapabilen bir ekipmandır. Çeşme çevresinde çembersel bir hatta alınan toplam 36 adet tarama verisi ile arazi çalışmaları tamamlanmıştır. Proses süreçleri ise bu teknolojinin en önemli avantajlarından biri olarak tamamen gelişmiş bir yapay zeka tarafından yapılmış ve interaktif dijital ikiz ortamı oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 3. Fotogrametrik veri üretim adımları ve üretilen veriler



Şekil 4. Matterport Pro3 ile alanda yapılan taramalar ve dijital ikiz ortamı arayüzü

Sistemin en önemli özelliklerinden biri de veri işleme aşamasında herhangi bir ofis sürecinin olmamasıdır. Toplanan verilerin tamamı bulut tabanlı bir sistem sayesinde kullanıcının kişisel Matterport hesabına yüklenir ve Cortex AI proses sürecini başlatır. Cortex AI her bir tarama noktasındaki tarama verilerini ve panoramik fotoğrafları işleyerek web tabanlı bir dijital ikiz üretimi yapar. Üretilen web tabanlı içerik kullanıcının kendi bulut hesabına bir dijital ikiz alanı olarak yüklenir. Oluşturulan dijital ikiz verisi tek bir erişim linki sayesinde herkesle kolayca paylaşılabilir. Üretilen verilerin kolayca paylaşılabilmesi, farklı ekipler tarafından aynı alanın incelenebilmesi, kültürel alanlara fiziksel olarak erişilemeyen durumlarda internet ortamında erişilebilmesi açısından bu sistemin büyük avantajlar sağladığı görülebilmektedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

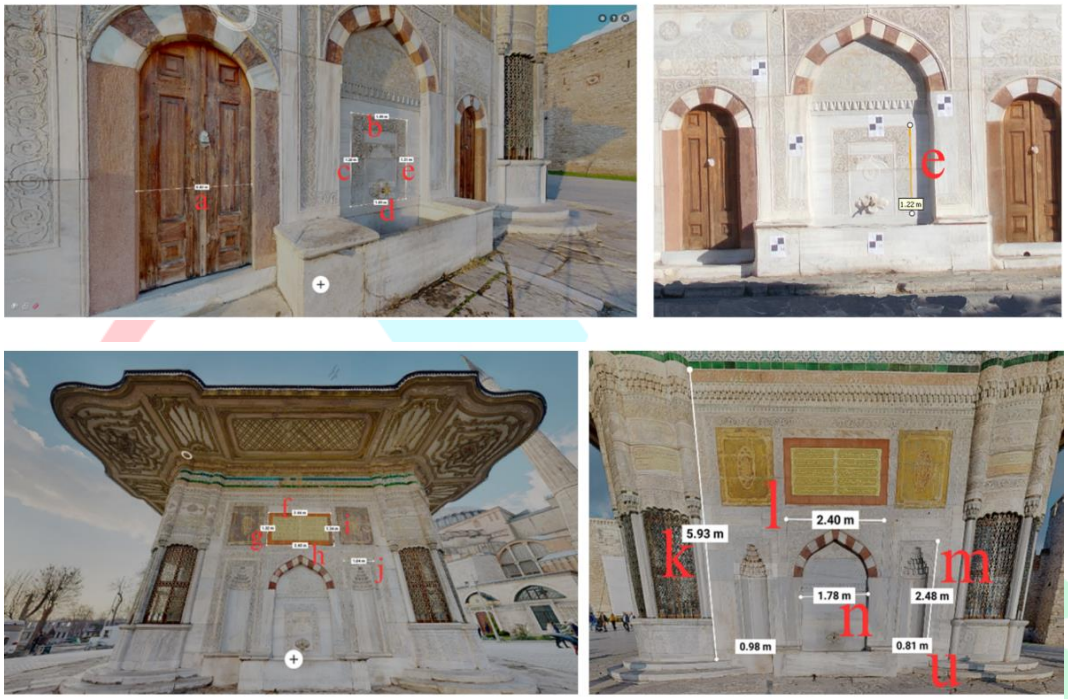
Çalışma kapsamında III. Ahmet Çeşmesi çalışma alanı olarak belirlenmiş ve yersel fotogrametri tekniği ile yeni nesil bir tarama teknolojisi olan LIDAR sensörüne sahip Matterport teknolojisi, aynı alanda alınan veriler ile üretilen dijital ikizler kullanılarak kıyaslanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmaların karşılaştırılması aşamasında, çalışma için harcanan "zaman", "konumsal doğruluk", "teknoloji" ve "sonuç verilerin erişilebilirliği" gibi faktörler göz önüne alınmıştır.

İlk olarak kültürel mirasın belgelenmesi amacıyla kullanılması düşünülen Matterport sistemi yersel fotogrametri ile "zaman" açısından kıyaslanarak Tablo 2'de sonuçlar sunulmuştur.

Tablo 2 *- Teknolojilerin "zaman" açısından karşılaştırılması*

Teknoloji	Saha Çalışması (dk)	Ofis Çalışması (saat)
Yersel Fotogrametri	25-30	3
Matterport	40-45	0

Kültürel varlıkların belgelenmesinde ve diğer tüm belgeleme işlemlerinde en önemli ve karar vermeye en esas veri olarak konumsal doğruluk gösterilebilir. İki veri seti üzerinde belirlenen 15 farklı uzunluk ölçmesi (Şekil 5) kullanılarak yeni önerilen sistemin "konumsal doğruluğu" karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 3' te sunulmuştur.



Şekil 5. Sırasıyla Matterport ile üretilen dijital ikiz üzerinden alınan ölçüler ve fotogrametri ile üretilen dijital ikiz üzerinden alınan ölçü örneği

***Tablo 3** - Teknolojilerin "konumsal doğruluk" açısından karşılaştırılması*

Uzunluk	Yersel Fotogrametri (cm)	Matterport (cm)	Fark (cm)
a	81.9	82.0	0.1
b	109.5	109.0	0.5
c	119.4	120.0	0.6
d	108.5	109.0	0.5
e	121.3	121.0	0.3
f	244.2	244.0	0.2
g	131.2	132.0	0.8
h	244.0	243.0	1.0
i	134.1	134.0	0.1
j	103.6	104.0	0.4
k	593.2	593.0	0.2
l	240.7	240.0	0.7
m	248.3	248.0	0.3
n	179.0	178.0	1.0
u	81.4	81.0	0.4

Kültürel mirasın belgelenmesi amacıyla kullanımı araştırılan Matterport sistemi ile yersel fotogrametri yöntemi kullanılan "teknoloji" açısından incelendiğinde belirgin farkların olduğu görülmektedir. Yersel fotogrametride saha çalışmaları kapsamında çeşmeye ait yersel fotoğraflar ve detay noktalarının koordinatları elde edilirken Matterport sisteminde panoramik görüş sağlayan fotoğraflar ve LIDAR sensörü sayesinde üretilen nokta bulutu verilerinin elde edildiği görülmektedir. Teknik olarak LIDAR sensörü panoramik fotoğraf çekimiyle eş zamanlı bir tarama yaparken optik sensör piksel tabanlı bir veri toplama işlemi yapmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan iki teknoloji "sonuç verilerin erişebilirliği" açısından kıyaslandığında ise Matterport sistemi ile üretilen dijital ikiz verisinin fotogrametri ile üretilen dijital ikiz verisine göre özellikle paylaşım açısından çok daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Fotogrametri ile üretilen verilerin farklı kullanıcılar ile doğrudan paylaşılabilmesi için bir sunucuya veya internet tabanlı bir görüntüleyiciye yüklenmeleri ya da belirli masaüstü uygulamalarının (Agisoft Viewer, Reality Capture vb.) kullanılması gerekmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmalar sonucu üretilen veriler üzerinden alınan ölçüler incelendiğinde iki veri seti arasındaki uzunluk ölçmeleri farklarının genel olarak 1 cm'den az olduğu görülmektedir. Burada alınan uzunluk ölçüleri tamamen 3 boyutlu model üzerinden alınmış ve sistemin arka planda ürettiği nokta bulutu verisi, fotogrametri ile daha doğru bir karşılaştırma yapmak adına kullanılamamıştır.

Fotogrametri ve lazer tarama yöntemleri kültürel varlıkların belgelenmesinde uzun yıllardır farklı cihazlar ve yazılımlarla uygulanan tekniklerdir. Fotogrametrik yöntemlerin en önemli dezavantajları deneyimli personel ihtiyacı, üretilen verilerin farklı kullanıcılar ile paylaşımının zor olması ve bazı durumlarda ortaya çıkan spesifik uygulama bağımlılığıdır. Lazer tarama yöntemi incelendiğinde ise en önemli problemin üretilen nokta bulutu verisinin çok yüksek boyutlu olmasıdır. Proje büyüklüğüne bağlı olarak kullanılacak donanım seçimi veri işleme aşamasında büyük önem taşımaktadır. Veri işleme sonucu üretilen verilerin başka kullanıcılara gösterimi ya da kullanma amacıyla sunulması da günümüz teknolojisinde dahi kolay olmamaktadır. Çalışma kapsamında değerlendirilen LIDAR tarama sistemi olan Matterport teknolojisi ise özellikle veri toplama aşamasının kolay olması yönüyle dikkat çekmektedir. Toplanan veriler değerlendirilerek yapılan ofis çalışmaları açısından düşünüldüğünde ise bir yapay zeka tarafından tamamen otomatik yürütülen süreç göz önüne alındığında gerek hız gerekse de harcanan emek açısından sistem büyük bir kolaylık sağlamaktadır.

Matterport sistemi ile üretilen dijital ikiz ortamına Şekil 6'da yer alan karekod okutularak erişilebilir.

Şekil 6. Matterport ile üretilen dijital ikiz verisi ortamı

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Serdar Bilgi danışmanlığında Ertuğrul Aydın tarafından hazırlanan "Kültürel Mirasın 3 Boyutlu Belgelenmesinde Dijital İkiz Teknolojisinin Kullanımı" başlıklı Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

KAYNAKÇA

Bilgi, S. (2006). Fotogrametri ve Uzaktan Algılamada Veri Elde Etme Yöntemlerinin Gelişimi ve Kısa Tarihçeleri. *HKM, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi 2006/2, Sayı 96, p. 48-55.*

Burtch, R. (2006). History of Photogrammetry, The Center for Photogrammetric Training Surveying Engineering Department, Ferris State University, Michigan, US.

Gordon, S. J., & Lichti, D. D. (2004). Terrestrial Laser Scanners with a Narrow Field of View: The Effect on 3D Resection Solutions. Survey Review, 37(292), 448–468.

Haag, S., Anderl, R. (2018). Digital twin – Proof of concept. Manufacturing letters, Volume 15, Part B, p. 64-66, Elsevier, ISSN 2213-8463.

ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing) - Historical Background web page, https://www.isprs.org/society/history.aspx, Access: May 22, 2024

Oliveira, P. H. S. M., Albarici, F. L., Olvieira, H. C. de., & Reberte, J. C. B. (2021). Use of the SLAM technique associated with structured light mapping for registration and virtualization of historical heritage interiors. Research, Society and Development, 10(10), e73101018624. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18624.

Pehlivan, G.F., Baldıran, A., Pehlivan, E. (2022). Kültürel mirasın belgelenmesinde farklı tekniklerin karşılaştırılması: Iasos Bouleuterionu örneği. *GRID-Architecture Planning and Design Journal, Vol. 5, No. 1, s. 53-71.*

Pulcrano, M., Scandurra, S., Minin, G., di Luggo A. (2019). 3D Cameras Acquisitions for the Documentation of Cultural Heritage, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W9, 2019.*

Sayar, İ. (2021). *Eğik Fotogrametrik Yöntem ve Klasik Yöntemle Fotogrametrik Veri Üretimlerinin Karşılaştırılması,* Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

Sayar, R. (2022). *Kültürel Miras Koruma Çalışmalarında Yersel Lazer Tarama (TLS) ve İnsansız Hava Araçları (UAVS) Verilerinin Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Konya.

Shults,R., Levin, E., Habibi, R., Shenoy, S., Honcheruk, O., Hart, T., An, Z. (2019). Capability Of Matterport 3D Camera For Industrial Archaeology Sites Inventory, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W11, 2019.*

Sulaiman, M.Z., Aziz, A., Bakar, A., Halili, A., Azuddin, M. (2020). Matterport: Virtual Tour as A New Marketing Approach in Real Estate Business During Pandemic COVID-19, *Advances in Social Science, Education and Humanities Research, volume 502 (s. 221-226).*

Themistocleous, K. (2019). The Use of UAVs for Cultural Heritage and Archaeology. *Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscapes.*

Yakar, İ. (2021). *An Investigation on Multi Sensor Data Fusion Techniques in Historical Sites Monitoring.* Yüksek Lisans Tezi. Istanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Yakar, İ., Hamal S.N.G, Öztürk, İ.L., Çelik M.Ö., Bilgi, S. (2020). Data Fusion of Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Based Photogrammetry and Close-Range Photogrammetry in Historical Sites Monitoring, 1st Intercontinental Geoinformation Days (IGD) – 25-26 November 2020, p. 112-115, Mersin, Turkiye.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Sualtı Optik Haberleşme Sistemlerinde Zayıflamanın Mevsimsel Klorofil Yoğunluğu ile Değişimi

Faruk İKİNCİ[1]
Oğuzhan COŞKUN[2]
Güneş YILMAZ[3]

Abstract

This research examines the impact of chlorophyll concentration on underwater optical communication systems through water samples collected from İskenderun Bay over four seasons. The study analyzes the effects of chlorophyll concentration, between wavelengths of 400 nm and 700 nm, on the absorption and scattering coefficients of water using mathematical model-based simulations. The findings indicate that the seasonal fluctuations in chlorophyll concentration, which vary as 0.7650 μgL^{-1} in spring, 0.4225 μgL^{-1} in summer, 0.3425 μgL^{-1} in autumn, and 0.2525 μgL^{-1} in winter, have a direct impact on the performance of underwater optical communication systems. It was determined that in spring, the increase in chlorophyll concentration due to heightened photosynthetic activity raises the absorption coefficient, negatively affecting optical power transmission. During winter, the decrease in photosynthetic activity lowers chlorophyll concentration, reducing both absorption and scattering coefficients, resulting in a decrease in attenuation of the light power emitted from the transmitter. The seasonal changes in chlorophyll concentration show that the output power reaching the receiver during winter experiences 18.75% less attenuation compared to autumn, 33.75% less attenuation compared to summer, and 87.5% less attenuation compared to spring. Therefore, integrating such ecological factors is essential to enhance the efficiency of underwater optical communication systems. The research results emphasize the importance of considering biological parameters like chlorophyll and environmental effects in the design and optimization of underwater communication technologies. In light of this information, the study underscores the importance of strategically evaluating the changing environmental conditions according to seasons in the design and operational strategies of underwater communication systems.

Keywords: Underwater wireless optical communication, underwater communication, chlorophyll concentration, seasonal attenuation, output power.

[1] Yüksek Lisans Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Hibrid ve Elektrikli Taşıtlar, Orcıd: 0009-0005-1671-7641
[2] Dr., EMKO Elektronik A.Ş, Orcıd: 0002-1197-6565
[3] Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Hibrid ve Elektrikli Taşıtlar, Orcıd: 0001-8972-195

ISBN: 978-625-372-170-1

1. Giriş

Sualtı haberleşme sistemleri, günümüze kadar insanlığın denizaltı araştırmaları, askeri stratejiler ve iletişim ihtiyaçları gibi çeşitli alanlardaki uygulamaları aracılığıyla önemli bir gelişim göstermiştir. Bu teknolojik gelişmeler, okyanus derinliklerinin keşfi ve sualtı ortamında etkili bir haberleşme ağı kurulması gibi hedeflere ulaşılmasında kritik rol oynamıştır (Khalighi vd., 2014); (Sajmath vd., 2020); (Kaushal ve Kaddoum, 2016).

Sualtı haberleşme sistemlerinde sistem gereksinimlerine bağlı olarak günümüze kadar farklı haberleşme yöntemleri geliştirilmiştir. Kablolu ve kablosuz olarak sınıflandırılan bu yöntemler, günümüzde farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Kablosuz haberleşme yöntemleri, akustik, RF ve optik haberleşme olarak kendi içinde sınıflandırılmaktadır (Al-Zhrani vd., 2021). Bu yöntemlere ait haberleşme parametreleri Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Tablo 1 Sualtı kablosuz haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması (Spagnolo vd., 2020).

Parametre	Akustik Haberleşme	RF Haberleşme	Optik Haberleşme
Zayıflama	Mesafe ve frekansa bağlı (0.1-4 dB/km)	Frekans ve iletkenliğe bağlı (3.5-5 dB/km)	0.39 dB/m (okyanus) 11 Db/m (Bulanık su)
Hız	$1500\ ms^{-1}$	$2.3 \times 10^8\ ms^{-1}$	$2.3 \times 10^8\ ms^{-1}$
Veri Hızı	Kbps	Mbps	Gbps
Gecikme Süresi	Yüksek	Orta derece	Düşük
Mesafe	100 km'den daha fazla	≤ 10 m	10 – 150 m (500 m potansiyel)
Bant Genişliği	1 kHz-100kHz	MHz	150 MHz
Frekans Bandı	10-15 kHz	30-300 MHz	5×10^{14} Hz
İletim Gücü	10 W	mW -W	mW-W

Akustik ve RF haberleşme, sualtı kablosuz iletişimde kullanılmakta olan en eski yöntemlerdir. Ancak bu teknolojilerin sınırlamaları, sualtı ortamlarında iletişim ihtiyaçlarını karşılamada zorluklara yol açmaktadır. Akustik haberleşme, Kbps mertebesinde düşük iletim hızları ve yüksek enerji tüketimi gibi dezavantajlara sahip olup, bu da özellikle uzun mesafeli haberleşme uygulamalarında maliyetleri artırmaktadır. RF haberleşme ise, su ve hava arasındaki geçişlerde tolerans gösterebilse de sınırlı bant genişliği ve kapsama alanı ile yüzey ve sualtı uygulamalarında kullanım zorlukları oluşturmaktadır. Bu nedenle, Sualtı Kablosuz Optik Haberleşme (UWOC), yüksek veri hızları ve geniş bant genişliği ile dikkat çekmektedir. Optik haberleşme, kısa mesafelerde Gbps seviyesinde hızlara ulaşabilme yeteneği sayesinde, maliyet etkinliği ve performans açısından diğer yöntemlere üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca, sualtı araştırma, keşif ve izleme gibi alanlarda yüksek hızlı veri iletimi gereksinimlerini karşılayarak önemli avantajlar sunmaktadır. Bu özellikleriyle optik haberleşme, sualtı iletişim teknolojilerinin geleceğinde merkezi bir rol oynamaktadır (Kaushal ve Kaddoum, 2016); (Spagnolo vd., 2020).

Sualtı haberleşme sistemlerinin performansı, suyun optik özelliklerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu özellikler arasında ışığın su içerisindeki emilimi ve saçılması önemli rol oynar. Bu dinamikler, suyun içindeki partikül yoğunluğu ve özellikleri ile yakından ilişkilidir. Özellikle, su içerisindeki klorofil yoğunluğu, ışığın emilim ve saçılım karakteristiklerini değiştirerek, sualtı optik haberleşme sistemlerinin verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Kaushal ve Kaddoum, 2016); (Tekin, 2008).

Klorofil yoğunluğu, su içindeki fitoplankton miktarı ile belirlenir. Fitoplankton, fotosentez yaparak yaşar ve ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürür, bu süreç sırasında klorofil kullanır. Bu nedenle, klorofil yoğunluğu, suyun fotosentetik aktivitesinin bir göstergesi olarak kabul edilir. Mevsimsel değişiklikler, suyun besin maddesi seviyeleri ve güneş ışığı gibi faktörler, fitoplankton popülasyonunun yoğunluğunu ve dolayısıyla klorofil miktarını etkiler. Bu olay, su içerisindeki ışığın emilim ve saçılım karakteristikleri üzerinde etkin rol oynayıp doğrudan alıcıya ulaşan güç miktarında değişikliklere yol açarak haberleşme performansını belirgin bir şekilde etkiler (Yap vd., 2018); (Johnson vd., 2013); (Spagnolo vd., 2020b).

Bu çalışma, su içindeki klorofil miktarının, ışığın emilim ve saçılım dinamiklerini nasıl etkilediği ve bu etkilerin bir su altı optik haberleşme sistemindeki foto alıcıya ulaşan ışık gücü üzerindeki sonuçlarını incelemektedir. Bu bağlamda, İskenderun Körfezi'nden dört mevsimde alınan su numuneleri üzerinden klorofil yoğunluk değerleri ölçülmüştür. Araştırma, klorofil yoğunluğu ile emilim ve saçılım katsayıları arasındaki ilişkiyi teorik bir çerçeve içerisinde incelerken, bu ilişkinin alıcıya ulaşan güç miktarı üzerindeki etkisi ve dolayısıyla sualtı haberleşme performansına olan etkileri analiz edilmiştir. İskenderun Körfezi'nden mevsimsel olarak alınan numunelerle yapılan bu analizler, klorofil yoğunluğunun emilim ve saçılım üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Bu etkiler, mesafe değişimiyle birlikte değerlendirilerek, haberleşme sinyallerinin güç değişimleri teorik olarak hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Saçılma ve Emilim

Optik haberleşme sistemlerinde iletişim sırasında sinyal üzerinde emilim ve saçılma olmak üzere iki temel mekanizma etkili olmaktadır. Emilim, ışığın iletimi sırasında karşılaştığı maddeler tarafından enerjisinin soğurulması ve diğer enerji formlarına dönüşmesidir. Su altı optik haberleşme sistemlerinde ise bu mekanizma, sualtı ortamında ilerleyen görünür ışığın su molekülleri, çözünmüş organik madde, mineral tuzları ve diğer sualtı bileşenleri tarafından enerji olarak emilimi şeklinde gerçekleşir. Saçılma, ışığın iletimi sırasında ortamdaki parçacıklarla etkileşime girmesi ve bu etkileşim sonucunda yön değiştirmesidir. Bu mekanizma su altı optik haberleşme sistemlerinde, su molekülleri, partiküller veya deniz canlıları gibi sualtı ortamındaki heterojen parçacıklarla etkileşime giren ışık dalgalarının çeşitli yönlerde dağılıma uğrama süreci olarak ortaya çıkmaktadır. Suyun kimyasal özellikleri ve içinde bulundurduğu organik ve inorganik maddeler saçılma ve emilim değerlerine etki etmektedir (Kaushal ve Kaddoum, 2016).

Su ortamında ışığın saçılma ve emilim karakteristikleri, dalga boyuna ve bununla beraber organik maddelerin varlığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu bileşenler arasında özellikle klorofil-a yoğunluğu, emilim ve saçılma karakteristikleri üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, su altı haberleşme sistemlerinin tasarım aşamasında klorofil-a yoğunluğunun dikkate alınması elzemdir. Bu bağlamda, dalga boyuna ve suda bulunan klorofil-a yoğunluğuna göre emilim ve saçılma katsayıları sırasıyla (1) ve (2) ile hesaplanmaktadır (Spagnolo vd., 2020a).

$$a(\lambda) = [a_w(\lambda) + 0.06a_c(\lambda)C^{0.65}]\{1 + 0.2\exp[-0.014(\lambda - 440)]\}\ (m^{-1}) \quad (1)$$

$$b(\lambda) = 0.30\frac{550}{\lambda}C^{0,62}\ (m^{-1}) \quad (2)$$

Burada a_w m^{-1} cinsinden saf deniz suyu tarafından emilim katsayısı, a_c boyutsuz klorofile özgü emilim katsayısı, C ise mgm^{-3} cinsinden klorofil yoğunluğunu ifade etmektedir (Optical Society of America, 1978). Saf deniz suyu için dalga boyuna bağlı olarak a_w ve a_c değerlerinin değişimi Tablo 2 'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Dalga boyuna bağlı olarak saf deniz suyu tarafından emilim katsayısı a_w ve boyutsuz klorofile özgü emilim katsayısı a_c değişimi (Optical Society of America, 1978).

λ (nm)	a_w (m^{-1})	$a_c^{*\prime}$	λ (nm)	a_w (m^{-1})	$a_c^{*\prime}$	λ (nm)	a_w (m^{-1})	$a_c^{*\prime}$
400	0.018	0.687	500	0.026	0.668	600	0.245	0.236
410	0.017	0.828	510	0.036	0.618	610	0.290	0.252
420	0.016	0.913	520	0.048	0.528	620	0.310	0.276
430	0.015	0.973	530	0.051	0.474	630	0.320	0.317
440	0.015	1.000	540	0.056	0.416	640	0.330	0.334
450	0.015	0.944	550	0.064	0.357	650	0.350	0.356
460	0.016	0.917	560	0.071	0.294	660	0.410	0.441
470	0.016	0.870	570	0.080	0.276	670	0.430	0.595
480	0.018	0.798	580	0.108	0.291	680	0.450	0.502
490	0.020	0.750	590	0.157	0.282	690	0.500	0.329
						700	0.650	0.215

Saçılma ve emilim katsayılarının optik sinyal üzerindeki etkilerinin toplamı sönümleme ya da zayıflama katsayısı olarak tanımlanmaktadır (Shifrin, 1988). İletilen ve alınan sinyal gücü arasındaki ilişki zayıflama katsayısı ve iletim mesafesi kullanılarak hesaplanmaktadır. Zayıflama katsayısı ve buna bağlı olarak optik güç değişimi sırasıyla (3) ve (4) ile hesaplanmaktadır.

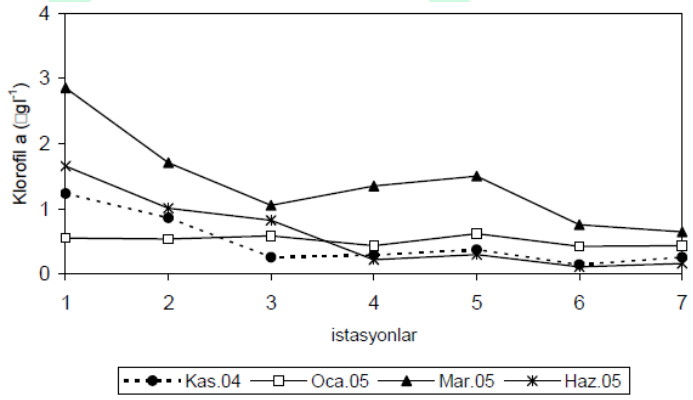
$$c(\lambda) = a(\lambda) + b(\lambda) \ \ (m^{-1}) \tag{3}$$

$$P_{Alıcı}(dB) = P_{Verici}(dB) - 0.0043c(\lambda)d \tag{4}$$

Burada P_{Verici} kaynaktan çıkan ışığın gücünü, $P_{Alıcı}$ dedektörde algılanan ışığın gücünü, d ise verici ve alıcı arasındaki mesafeyi (m) temsil etmektedir.

2.2. Klorofil Yoğunluğu

Klorofil yoğunluğu (C), bir metreküp su içerisinde çözünmüş klorofil miktarını miligram cinsinden ölçen değer olup, su türüne ve çevresel etkenlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Çevresel etkenlerden özellikle mevsim değişikliklerinde, suyun sıcaklığı, güneş alma süresi ve besin kapasitesine bağlı olarak sudaki klorofil yoğunluğu değişim göstermektedir. Şekil 1'de İskenderun körfezinden farklı mevsimlerde ve farklı istasyonlardan alınmış klorofil yoğunlukları gösterilmektedir (Ünlü, 2006).



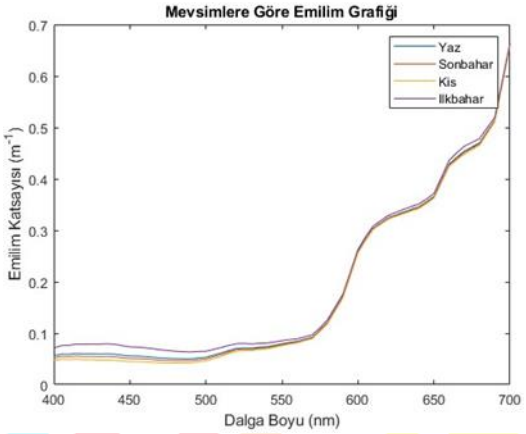
Şekil 1 Klorofil a düzeylerinin mevsim ve istasyonlara göre değişimi

Örnekleme dönemlerine göre incelendiğinde, Kasım 2004'te 0.14-1.23 μgL^{-1}, Ocak 2005'te 0.32-0.69 μgL^{-1} ,Mart 2005'te 0.19 ile 2.86 μgL^{-1}, Haziran 2005'te 0.04-1.65 μgL^{-1}değerleri arasında klorofil yoğunluğu değişim göstermiştir. Bu çalışmada istasyonlardan alınan verilerin aritmetik ortalaması alınarak dört mevsim için klorofil yoğunluğu değerleri belirlenmiştir (Ünlü, 2006).

3. Bulgular

Bu çalışmada, mevsimsel klorofil yoğunluğu değişikliklerine bağlı olarak bir su altı optik haberleşme sisteminde emilim, saçılma ve güç değerleri, Matlab yazılımında gerçekleştirilen benzetimlerle hesaplanmıştır.

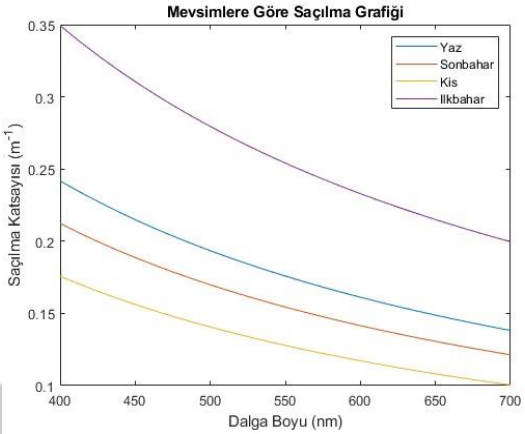
Tablo 2'de görünür bölge dalga boyu aralığında saf deniz suyu tarafından emilim katsayısı a_w ve boyutsuz klorofile özgü emilim katsayısı a_c değerleri (1)'de verilen emilim katsayısı denkleminde kullanılarak dört mevsim için dalga boyuna bağlı emilim değerleri hesaplanmıştır. Denklem parametrelerinden klorofil yoğunluğu için ise, Şekil 1'de mevsimlere bağlı olarak verilen klorofil değerlerinin ortalaması alınmıştır. Benzetim sonuçları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2 4 mevsim için dalga boyuna bağlı olarak emilim grafiği

Sonuçlar incelendiğinde emilim katsayısı için her mevsimdeki en düşük ve yüksek değerler sırasıyla, ilkbahar mevsiminde 490 nm'de 0.06 m^{-1}, 700 nm'de 0.66 m^{-1}; yaz mevsiminde 490 nm'de 0.05 m^{-1}, 700 nm'de 0.66 m^{-1}; sonbahar mevsiminde 485 nm'de 0.05 m^{-1}, 700 nm'de 0.66 m^{-1}; kış mevsiminde 480 nm'de 0.04 m^{-1}, 700 nm'de 0.66 m^{-1} olarak hesaplanmıştır. Fotosentetik etkiden dolayı klorofil a pigmenti 430 ve 662 nm dalga boyları dışında emilim değeri düşük seviyelerde olduğundan, (1)'de de görüleceği üzere a_w katsayısı emilim üzerinde etkin rol oynamaktadır. 400 ile 500 nm dalga boyları arasında a_w değerleri çok küçük değişimler gösterdiğinden Şekil 2'de de görüldüğü gibi emilim değerinde gözle görünür bir farklılık gözlemlenmemiştir. Suyun moleküler özelliklerinden kaynaklanan kızılötesi emilimin 500 nm'den sonra etkin olmasından dolayı Tablo 2'den de görüleceği üzere a_w değerinde artış gözlemlenmiş olup bu da emilim değerinin artmasına sebep olmaktadır. Mevsimler arasında gözlemlenen farklılıklar ise klorofil yoğunluğunun değişiminden kaynaklanmaktadır. İlkbahar mevsiminde fotosentetik etkilerin artmasından dolayı klorofil yoğunluğunda artış görüldüğünde emilim, bu mevsimde diğerlerine kıyasla daha yüksek seviyededir.

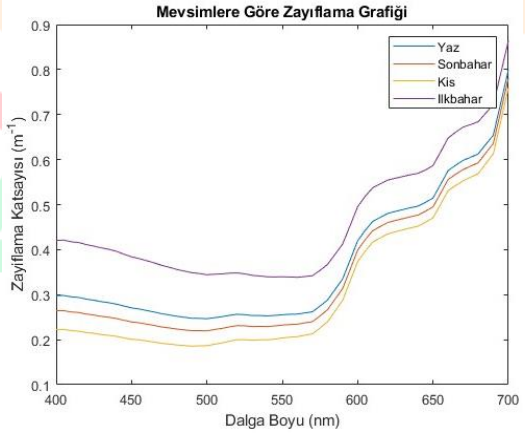
(2)'de 400 ile 700 nm dalga boyları arasında farklı mevsimlerde ölçülmüş klorofil yoğunlukları (2)'de verilen saçılma katsayısı denkleminde kullanılarak dört mevsim için dalga boyuna bağlı saçılma değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3 4 mevsim için dalga boyuna bağlı olarak saçılma grafiği

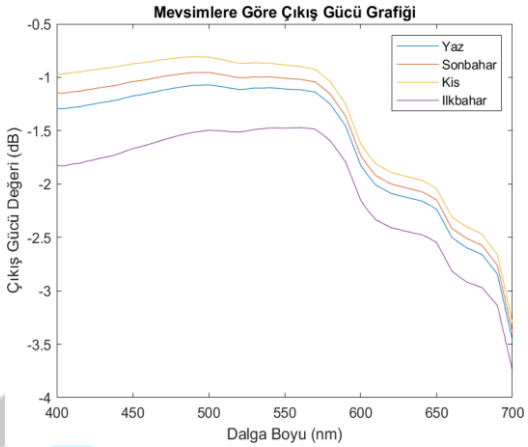
Sonuçlar incelendiğinde saçılma katsayısı için her mevsimdeki en düşük ve yüksek değerler sırasıyla, ilkbahar mevsiminde 700 nm'de 0.2 m^{-1}, 400 nm'de 0.35 m^{-1}; yaz mevsiminde 700 nm'de 0.14 m^{-1}, 400 nm'de 0.24 m^{-1}; sonbahar mevsiminde 700 nm'de 0.12 m^{-1}, 400 nm'de 0.21 m^{-1}; kış mevsiminde 700 nm'de 0.1 m^{-1}, 400 nm'de 0.18 m^{-1} olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan görüleceği üzere saçılma katsayısı dört mevsimde de dalga boyu arttıkça azalmaktadır. Bu değişim, Rayleigh saçılması teorisine dayanmaktadır. Bu teorem, su içindeki küçük partiküller (fitoplanktonlar) tarafından ışığın saçılmasını açıklamaktadır. Saçılma miktarı, dalga boyunun dördüncü kuvveti ile ters orantılı (λ^{-4}) olduğundan daha uzun dalga boyları (düşük frekanslar) sualtı ortamında daha az saçılmakta ve bunun sonucunda da daha uzak mesafelere yayılabilmektedir. Mevsimler arasındaki farklılıklar, Denklem (3)'e yapılan atıfla anlaşılabilir. Bu denklem, klorofil yoğunluğu ile ışık saçılma katsayısı arasında doğru orantı olduğunu göstermektedir (Keiser, 2011). Su içerisinde partikül yoğunluğunun artması, ışığın saçılmasını artırır. Bu durum, klorofil yoğunluğunun direkt olarak saçılma katsayısını etkilemesiyle sonuçlanmıştır. Klorofil yoğunluğunun en yüksek ve en düşük olduğu mevsimler sırasıyla ilkbahar ve kış olduğundan, maksimum ve minimum saçılma değerleri bu mevsimlerde gözlemlenmiştir.

Hesaplamalarla elde edilen emilim ve saçılma katsayıları (3)'te yerine koyularak zayıflama katsayısı elde edilmiştir. Dört mevsim için dalga boyuna bağlı zayıflama değerleri Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4 4 mevsim için dalga boyuna bağlı olarak zayıflama grafiği

Zayıflama katsayının elde edilmesinin ardından optik güç değişimi (4) kullanılarak hesaplanmış ve çıkış gücü elde edilmiştir. Benzetimler, lazer verici gücünün 1W, alıcı ile verici arasındaki mesafenin 1000 metre olduğu varsayımı altında gerçekleştirilmiştir. Dört mevsim için optik çıkış gücünün dalga boyuna bağlı olarak değişimi Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5 4 mevsim için dalga boyuna bağlı olarak çıkış gücü grafiği

Sonuçlar incelendiğinde alıcıya ulaşan güç için her mevsimdeki en düşük ve yüksek değerler sırasıyla, ilkbahar mevsiminde 700 nm'de -3.75 dB, 500 nm'de -1.5 dB; yaz mevsiminde 700 nm'de -3.47 dB, 500 nm'de -1.07 dB; sonbahar mevsiminde 700 nm'de -3.39 dB, 500 nm'de -0.95 dB; kış mevsiminde 700 nm'de -3.3 dB, 490 nm'de -0.80 dB olarak hesaplanmıştır. Kış aylarında fotosentetik etkinin azalmasına bağlı olarak klorofil yoğunluğu azaldığından dolayı diğer mevsimlere göre vericiden çıkan ışığın zayıflama miktarı azalan davranış sergilemiştir. Bu sebeple de alıcıya ulaşan ışığın gücü diğer mevsimlere göre daha fazladır.

4. Sonuçlar

Bu araştırma, İskenderun Körfezi'nden dört farklı mevsimde alınan su örneklerine dayanarak, su içindeki klorofil miktarının ışık emilimi ve saçılma süreçlerini nasıl etkilediğini ve bu etkilerin su altı optik haberleşme sistemlerindeki foto alıcılara ulaşan ışık gücü üzerindeki sonuçlarını değerlendirmektedir. Çalışma, klorofil yoğunluğu ile emilim ve saçılım katsayıları arasındaki ilişkiyi teorik bir çerçeve içinde analiz ederken, bu ilişkinin alıcıya ulaşan ışık gücüne olan etkilerini ve sonuç olarak su altı haberleşme performansına olan etkilerini incelemektedir. İskenderun Körfezi'nden mevsimsel olarak alınan numuneler üzerinden yapılan bu analizler, klorofilin emilim ve saçılıma olan etkilerini belirlemekte ve bu etkiler, mesafeye bağlı olarak haberleşme sinyallerinin güç değişimlerinin teorik hesaplamalarla değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Araştırma sonuçları, sualtı ortamındaki biyolojik faktörlerin, özellikle de klorofil yoğunluğunun, sualtı optik haberleşme sistemlerinin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Mevsimsel değişikliklerle değişen klorofil yoğunluğu, ışığın emilim ve saçılma katsayıları üzerinde doğrudan bir etki yaparak haberleşme sinyallerinin güç değişimlerini ve dolayısıyla genel iletim verimliliğini etkilemektedir. Alınan sonuçlarda vericiye ulaşan çıkış güçleri incelendiğinde kış mevsiminde hesaplanan çıkış gücünün sonbahar mevsimine göre %18,75, yaz mevsimine göre %33,75, ilkbahar mevsimine göre %87,5 daha az zayıflamaya maruz kaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgular, sualtı haberleşme sistemlerinin daha etkili bir şekilde tasarlanması ve uygulanması için klorofil yoğunluğunun mevsimsel dinamiklerinin göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, sualtı haberleşme teknolojilerinin geliştirilmesi sürecinde, optik özellikler ve biyolojik parametreler arasındaki etkileşimlerin daha detaylı incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, sualtı optik haberleşme sistemlerinin tasarımında çevresel ve ekolojik faktörlerin entegrasyonunu sağlayarak bu alandaki bilgi birikimine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Gelecek çalışmalarda, su içerisinde farklı partiküllerin ve değişen fiziksel şartların su altı optik haberleşme sistemlerinin performansı üzerindeki etkilerinin daha geniş bir çerçevede ele alınması planlanmaktadır. Bu araştırmalar hem benzetim hem de deneysel yöntemlerle yürütülecek ve bu etmenlerin ışık emilimi ve saçılma katsayıları üzerindeki etkileri detaylı

olarak incelenecektir. Bu sayede, su altı haberleşme teknolojilerinin tasarım ve uygulama süreçlerindeki zorluklara yönelik daha etkili çözümler geliştirilmesi hedeflenmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynaklar

Khalighi, M.-A., Gabriel, C., Hamza, T., Bourennane, S., Léon, P., & Rigaud, V. (2014). Underwater wireless optical communication; recent advances and remaining challenges. *16th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)* (s. 1-4). doi:IEEE.10.1109/ICTON.2014.6876673

Sajmath, P. K., Ravi, R. V., & Majeed, K. A. (2020). Underwater Wireless Optical Communication Systems: A Survey. *7th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS)* (s. 1-4). doi:IEEE. 10.1109/ICSSS49621.2020.9202150

H. Kaushal and G. Kaddoum. (2016). Underwater optical wireless communication, *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1518–1547. doi:10.1109/ACCESS.2016.2552538.

Saleha Al-Zhrani, N. M.-R., Abduldaiem, A., Al-Hadeethi, Y., & Umar, A. (2021). Underwater Optical Communications: A Brief Overview and Recent Developments. *Engineered Science*, 146–186. doi:10.30919/es8d574

Schirripa Spagnolo, G., Cozzella, L., & Leccese, F. (2020). Underwater optical wireless communications: Overview. *Sensors*, 20(8), 2261. https://doi.org/10.3390/s20082261

Tekin, İ. (2008). Su Ortamında Darbeli Işınların İletiminin Araştırılması. Uludağ Üniversitesi, Bursa.

Y. X. Yap, F. Jasman, T. C. E. Marcus, (2018). Impact of Chlorophyll Concentration on Underwater Optical Wireless Communications, *7th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE)*, pp. 402-407.

Laura J. Johnson, Roger J. Green, and Mark S. Leeson. (2013). Underwater optical wireless communications: depth dependent variations in attenuation, Appl. Opt. 52, 7867-7873.

Spagnolo, G.S.; Cozzella, L.; Leccese, F. (5–7 October 2020). A Brief Survey on Underwater Optical Wireless Communications. *In Proceedings of the MetroSea 2020-TC19 International Workshop on Metrology for the Sea*.pp. 79–84.

Optical Society of America. (1978). Handbook of optics (1st ed.). McGraw-Hill.

K. Shifrin, (1988). Physical Optics of Ocean Water. New York, NY, USA: Amer. Inst. Phys.

Ünlü, B. (2006). İskenderun Körfezi (Kuzeydoğu Akdeniz) Fiitoplankton Biyoması ile Deniz Suyuna Ait Bazı Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değişimlerinin Saptanması. Çukurova Üniversitesi, Adana.

Keiser, G. (2011). Optical Fiber Communications (4th ed.). McGraw-Hill Higher Education.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Sürdürülebilir Mahalle Parametrelerinin Yeşil Sertifikalar Aracılığıyla Tartışılması

Fatma İrem YILDIRIM [1]
Gözde EKŞİOĞLU ÇETİNTAHRA [2]

Abstract

As the 20th century, rapid industrialization caused an increase in the population in urban areas. This increase not only brought spatial density, but also caused rapid consumption of the resources. This process has revealed the concept of "sustainability" and brought about some developments both in the academic field and practice, such as renewable energy, reduction in resource consumption, and self-sufficient settlements. Sustainability is based on economic, environmental, and social foundations. These foundations require a multidisciplinary approach to the subject. Space organization disciplines such as city planning, and architecture are a few of them. From the perspective of these disciplines, the concept of sustainability from the building-to-city scale is discussed via spatial the parameters. Buildings and urban areas are questioned through green certificates based on these parameters. Green certificates require inspections in the structural context and determine to what extent a building is sustainable. However, from urban and neighborhood scale the land use such as transportation systems and green area distribution, are also important to be examined in terms of sustainable environments. Despite this, studies showed that there are very limited number of certification systems at the neighborhood scale. This study tries to reveal which parameters should be taken into consideration in case of establishing a certification system at the neighborhood scale, by making an inquiry on the parameters examined by the existing national and international certification systems used at building-city scales and the criteria deemed necessary for sustainability in the literature. This study's findings will offer a significant contribution to the literature by questioning the parameters that should be considered in the spatial and policy context for sustainable neighborhood units.

Keywords: Sustainability, Sustainable Neighborhood, Certification Systems, Sustainable Development, Sustainable Design

---

* This paper was produced from the master thesis that titled "Evaluation of Urban Green Spaces in the Context of Sustainable Neighborhood and Environmental Behaviour Theories: The Case of Karşıyaka". The thesis was prepared in DEU Graduate School of Natural and Applies Sciences Institute, Department of City and Regional Planning, Urban Design Master's Program.

[1] Architect, Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Orcıd: 0009-0005-9968-0951, y.irem.yldrm@gmail.com

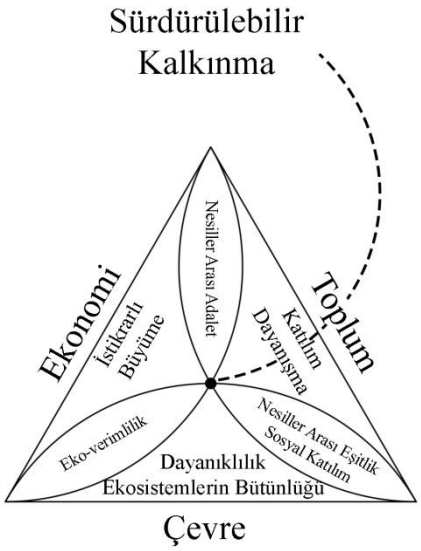
[2] Assoc. Dr., Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Orcid: 0000-0001-9746-495X, gozde.eksioglu@deu.edu.tr

Giriş

Sanayi devriminden bu yana meydana gelen kontrolsüz nüfus artışı, hızlı yapılaşma ve plansız endüstrileşme; sağlıksız çevre koşullarını da beraberinde getirmiştir. Bu durumun doğurduğu insan-çevre eksenli tartışmaların ışığında "sürdürülebilirlik" kavramı ortaya çıkmış ve hem bugün hem de gelecek için, ekonomik, çevreci ve kapsayıcı yaklaşımlarla kaynakların korunması ve devam ettirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşabilmek amacıyla küresel çapta önlemler tartışılmış ve birçok konferans ve antlaşma gerçekleştirilmiştir. Söz konusu konferans ve antlaşmalarda sürdürülebilir kavramı ve bu kavramın kentsel yerleşmeler ile ilişkisi sıklıkla vurgulanmıştır.

Sanayi Devrimi'nin 2. Dünya Savaşı etkisiyle hız kazanması sonucu kontrolsüz nüfus artışı, hızlı yapılanma ve plansız endüstrileşme (Pisani, 2006: 89; Worster, 1993: 10), hâlihazırda sınırlı olan kaynakların aşırı tüketimine neden olmuştur. Ayrıca tüketimle birlikte ortaya çıkan atıklar, çevreye zarar vermiş ve ekosistemin bozulmasına, iklim krizine ve diğer birçok afete de sebep olmuştur (Kaplan, 1999: 184; Özmehmet, 2005: 50; Pisani, 2006: 89; Sipahi, 2010: 333; Tıraş, 2012: 58). Bilimsel yazında "ekosistem ve ekonomik faaliyetler arasındaki bu çatışma" olarak tanımlanan bu olgu, ekolojik dengeyi bozmuştur (Doğru, 2016: 4). Doğada meydana gelen bu değişimle birlikte insan-çevre ilişkilerinin yeniden gözden geçirilmeye başlanması, "sürdürülebilirlik" kavramını ortaya çıkarmıştır. Sürdürülebilirlik kavramını açıklamaya yönelik tanımlamalar, temelde insan geleceğini ve bu bağlamda kaynakların korunması gerekliliği üzerine durmaktadır (Seydioğulları, 2013: 20). Bu bağlamda kavram; sosyoloji, antropoloji, çevre bilimi ve ekoloji, işletme ve yönetim, mühendislik ve teknoloji, sağlık bilimleri, mimarlık ve şehir planlama, ekonomi, politika, hukuk ve diğer birçok disiplinin konusu dahilindedir.

Sürdürülebilirlik kavramına ilişkin tanımlamalarda hem bugün hem de gelecek için, bugünden feragat etmeden ve yarını yok saymadan ekonomik, çevreci ve kapsayıcı yaklaşımlarla, sistemin kaynaklarının korunması ve devam ettirilmesi gerekliliği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda tanımlarda yer alan "ekonomi, toplum ve çevre" üç ana bileşeni temsil edip bu bileşenlerin birbirleri ile ilişkisini ve aralarındaki dengeyi ele alarak sürdürülebilir kalkınmanın temel mekanizmasını oluşturmaktadır. Bu kapsamda sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı (Şekil 1), topyekûn olarak birimler arası ilişkiyi ve dengeyi sağlamak gerekliliğini göstermektedir (Connelly, 2007: 263; Munasinghe, 1992: 3).



Şekil 1. Sürdürülebilir kalkınma (Connelly, 2007: 270; ICLEI, 1996: 2; Munasinghe, 1992: 2 kaynakları kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur)

Sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleşebilmesi için kentsel mekânın doğrudan kendisinin de sürdürülebilir olmasını gerektirmektedir. Ancak gerek bilimsel yazında gerekse de uygulama alanında sürdürülebilir bir kentin ve mekânın parametreleri halen tartışılmaktadır. Son yıllarda çevre koruma alanında artan farkındalıklarla sürdürülebilir kentleşmenin öneminin anlaşılması ve uygulama alanlarının genişlemesi neticesinde böylesi mekânların yaratılabilmesi için gerekli olan parametrelere ilişkin kriterlerin belirlenmesi ve böylece mekânların sürdürülebilirlik düzeyinin değerlendirilmesi ihtiyacı doğmuştur (Olgun vd., 2019: 11). Bu ihtiyaç, sorunun doğru ve keskin şekilde tespitinin sağlanması ve bu doğrultusunda sorunlu noktalara yönelik düzenlemelerin gerçekleştirilebilmesi için gereklidir.

Sürdürülebilir kentleşmeye ilişkin değerlendirme araçlarının ilk çıkışı bina ölçeğinde gerçekleşmiştir ve günümüzde birçok mekânsal düzenleme ölçeğine ve uygulama alanına sahiptir. Mahalle ölçeğinde değerlendirme sistemlerinin geliştirilmesi sadece tekil binaların değil, bu binalar arasındaki alanların, sağlanan hizmetlerin, orada yaşayan insanların, diğer canlıların ve bütün bu geniş aralıktaki unsurların arasındaki uyum ve faaliyetlerin değerlendirilmesi olarak ortaya konmuştur. Bu duruma karşın yapılan çalışmalar mahalle ölçeğindeki sertifikasyon sistemlerinin, yurtdışında hatırı sayılır ölçüde bulunduğunu ancak ülkemizde proje aşamasında kaldığını göstermektedir. Bununla birlikte incelemeler göstermiştir ki diğer ülkelere ait sertifikasyon sistemlerinin birçoğu yerele özgü kriterler ışığında değerlendirmelerini gerçekleştirmekte, puanlama sistemini de buna göre oluşturmaktadır. Bu sebeple ülkemiz için de yerele özgü bir sürdürülebilir mahalle sertifikasyon sistemi oluşturma ihtiyacı doğmuştur. Buradan yola çıkarak bu çalışma, mahalle ölçeğinde yerel bir sertifikasyon sistemi oluşturulurken göz önünde bulundurulması gereken parametreleri ortaya koymayı amaçlamaktadır. Daha sonra olası gerçekleşecek yerel sürdürülebilir mahalle sertifikasyon sistemlerine altlık oluşturması hedeflenmektedir.

Yöntem

Araştırmanın ilk adımı kavramsal ve kuramsal bilgilerin ortaya konduğu literatür taramasına dayanmaktadır. Parametrelerin tespit edilebilmesi için sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkışı, sürdürülebilirliğin küresel boyutu, sürdürülebilir fiziksel mekân ve Türkiye'deki sürdürülebilir kalkınma yaklaşımlarına ilişkin kaynaklar incelenmiştir. Ardından mahalle ölçeğinde ortaya konmuş ulusal ve uluslararası sertifikasyon sistemleri ele alınmıştır. Bu sertifikalara ait parametreler, yayınlandığı ülkenin yerel koşulları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Sertifikasyonlara ait puanlama sistemleri, ana ve alt başlıkları ve sertifikanın zorunlu kıldığı kriterler değerlendirmenin diğer bir konusu olmuştur. Literatürde genel olarak kabul edilen tüm bu sürdürülebilir mahalle kriterleri ülkemizin sosyal, ekonomik ve çevresel faktörleri ışığında sorgulanmış ve olası bir yerel yeşil mahalle sertifikasyonuna ışık tutması amaçlanarak bir araya getirilmiştir.

Sürdürülebilirlik Kavramının Gelişimi ve Ülkemizdeki Süreci

Sürdürülebilirlik kavramı doğduğu günden bu yana çevre-insan eksenli tartışmaların temelini oluşturmaktadır. Yerel ölçekte başlayan bu tartışmalar 20. yy ile birlikte uluslararası arenada kendine yer bulmuştur. Bu bağlamda sürdürülebilirliğin küresel boyutu ele alınması gereken bir diğer önemli husustur. Çevresel sorunlar büyüdükçe ve derinleştikçe, sorunların sınır tanımaz özelliğinin farkına varılmış ve böylece sorununun çözümü noktasında, ulusal ve uluslararası alanda çabalar gündeme gelmiştir (Keleş, 2023: 25; Najam ve Cleveland, 2005: 125; Sipahi, 2010: 332). 1960'ların sonlarında kaleme alınan yayınlar, Yeşil Parti hareketi ve çevre korumaya ilişkin ortaya konan antlaşma ve sözleşmeler dünyada bir uyanışa yol açmıştır. Yerel ölçekte atılan bu ilk adımlar ardından gelen birçok siyasi harekete, uluslararası organizasyona ve kongreye ortam hazırlamıştır. Bu sebeple küresel ölçekte sürdürülebilirlik kavramı 1972 yılında gerçekleşen Birleşmiş Milletler Stockholm Konferansı'ndan bu yana

birçok konferans ve antlaşmanın ana temasından biri olmuştur. Bu noktada, sürdürülebilirlik düşüncesinin evriminde önemli mihenk taşları olan Birleşmiş Milletler Stockholm Konferansı, Dünya Koruma Stratejisi Raporu, Ortak Geleceğimiz (Brundtland) Raporu, Rio Konferansı, Habitat I Zirvesi, Habitat II Zirvesi, Johannesburg Zirvesi, Kyoto Protocol, Rio +20 Zirvesi, Gündem 2030, Habitat III, Copenhagen Mayors Consensus, Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması çıktıları ve tartışmaları, incelenmesi gerekli olan önemli gelişmelerdir. Bu bağlamda araştırmada bu konferans ve antlaşmalar sürdürülebilirlik ve kent ilişkisi açısından ele alınmış ve Tablo 1'de ortaya konulmuştur.

Tablo 1. Konferans ve anlaşmalarda sürdürülebilirlik ve kent ilişkisi

KONFERANSLAR VE ANLAŞMALAR	ANA AMAÇ	TARİH	LOKASYON
Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı	Sanayileşmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çevre haklarına ilişkin farkındalık, kalkınma ve çevre ilişkisi, UNEP'in kurulması	5-16 Haziran 1972	Stokholm
Dünya Koruma Stratejisi	Çevrenin korunması ve kalkınma arasındaki köprü, genetik çeşitliliğin korunması, türlerin ve ekosistemlerin sürdürülebilir kullanımının sağlanması	1980	X
Ortak Geleceğimiz	Küresel işbirliğinin güçlendirilmesi ve katılımın artırılması, kötüleşen çevresel durumun küresel makroekonomik koşullarla ilişkilendirilmesi	1987	X
Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Gündem 21, Küresel ortaklık	3-14 Haziran 1992	Rio de Jenario
Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Konferansı - Habitat I	Küresel ortaklık yoluyla sürdürülebilir kentleşmenin ele alınması	31 May-11 Haziran 1976	Vancouver
Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Konferansı - Habitat II	Herkes için yeterli konut, değişen dünyada yaşanabilir insan yerleşimleri	3-14 Haziran 1996	İstanbul
Sürdürülebilir Kalkınma Dünya Zirvesi	İnsani dayanışmayı inşa etmenin önemini tanımak, yoksulluğun ortadan kaldırılması	26 Ağustos-4 Eylül 2002	Johannesburg
Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı	Yeşil ekonomi politikaları, sürdürülebilir kalkınmanın güçlendirilmesi, yoksullukla mücadele, eşitsizlikleri ortadan kaldırmaya yönelik politikalar, katılımın önemi	20-22 Haziran 2012	Rio de Janeiro
Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi	2030 yılına kadar temel konut hizmetlerinin, sürdürülebilir ulaşımın, kapsayıcı ve sürdürülebilir kentleşmenin, sürdürülebilir kentsel dönüşümün, tüm bireyler için erişilebilir yeşil alanların sağlanması	25-27 Eylül 2015	New York
BM Konut ve Sürdürülebilir Kentsel Gelişim Konferansı: Habitat III	Sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir kentleşme bağlamında eşitsizliklerle ve yoksullukla mücadele, yeni bir kentsel ajanda oluşturmak	17-20 Ekim 2016	Quito
Belediye Başkanlarının Kopenhag Mutabakatı	Adil, kapsayıcı ve sağlıklı şehir yaklaşımıyla ele alınan kentsel tasarım	13 Şubat 2018	Copenhagen
Kyoto Protokolü	Üzerinde mutabık kalınan bireysel hedeflere uygun olarak sera gazı (GHG) emisyonlarının sınırlandırılması ve azaltımı	11 Aralık 1997	Kyoto
Paris Anlaşması	Küresel ortalama sıcaklığın sanayileşme dönemi öncesi seviyelere göre yükselmesi	12 Aralık 2015	Paris

Sürdürülebilirlik kavramı ve sürdürülebilir kalkınma ekseninde gerçekleştirilmiş olan tüm bu konferans ve antlaşmalar ışığında görülen şudur ki, çevre sorunları yalnızca küresel farkındalık ve düzenlemeler ile çözülebilecektir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki ekonomik ve teknik destek ilişkisi anılan konferans ve antlaşmalar içerisinde en çok tartışılan konulardan birisi olmuştur. Bunun yanı sıra; toplumun tüm kesimlerinin her birine ait bağımsız rolleri, sorumlulukları ve sosyal iş birliği çerçevesinde sürece dâhil olması, yönetişim

ayağının oluşturulması ve bu sayede katılımın artırılması, barışın muhafaza edilmesi, eşitlik ve çevresel adaletin sağlanması çokça ele alınan diğer hususlardır (Kaplan, 1999: 189). Küresel ölçekte eğitimin iyileştirilmesi, çevresel farkındalığın geliştirilmesi ve her ülkenin üzerine düşen ödevi yerine getirmesi sürece ilişkin ortaya konulan ortak çözümlerdir. Yukarıda yer alan ortak çözümlerin ülkemizdeki yansımalarını ele alabilmek için ortaya konan sürdürülebilir kalkınma yaklaşımlarını değerlendirmek gerekmektedir.

Türkiye'de çevreye ilişkin düzenlemelerin kökleri Osmanlı dönemine kadar uzanmaktadır (Şengün, 2015: 4). Cumhuriyetin ilanından 1961 Anayasası'nın kabulüne kadar olan süreçte ise, çevre koruma bilinci ve ekolojik duyarlılık hem uluslararası ölçekte hem de Türkiye'de yavaş yavaş kendine yer edinmektir. 1961 T.C. Anayasası madde 49'da "Devlet, herkesin beden ve ruh sağlığı içinde yaşayabilmesini ve tıbbî bakım görmesini sağlamakla ödevlidir." hükmü ile insan sağlığı ve temiz çevre ilişkisine yer verilmiştir. 1970'e kadar olan süreçte kanunlar ve hükümler ilgili bakanlık veya kuruluşlar tarafından uygulanmış, örgütlenmeden uzak ayrık bir biçimde çevre çalışmaları ilerlemiştir (Şen, 1995: 70). 1970 sonrasına gelindiğinde Stockholm Konferansı'nın da etkisiyle küresel alanda artan sürdürülebilir kalkınma yaklaşımları ve çevresel sorunlara karşı gelişen farkındalık Türkiye'de de etkisini göstermiştir. Bu doğrultuda çevre korumaya ilişkin sistemli bir yapılanmanın ilk adımları atılmaya başlanmıştır.

1982 yılında kabul edilen T.C. Anayasası'nda yer alan "Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek Devletin ve vatandaşların ödevidir." hükmü ile ilk kez "çevre koruma ve geliştirme" anayasamıza dahil edilmiş, aynı zamanda hem birey hem de kamu kuruşlarına işaret edilerek katılımın altı çizilmiştir. Uygulama esaslarını içeren bir çevre mevzuatı ihtiyacı bu madde ile meydana gelmiştir (Demiral ve Evin, 2014: 40). Bu amaçla, 2872 sayılı Çevre Kanunu 9 Ağustos 1983 tarihinde kabul edilmiştir.

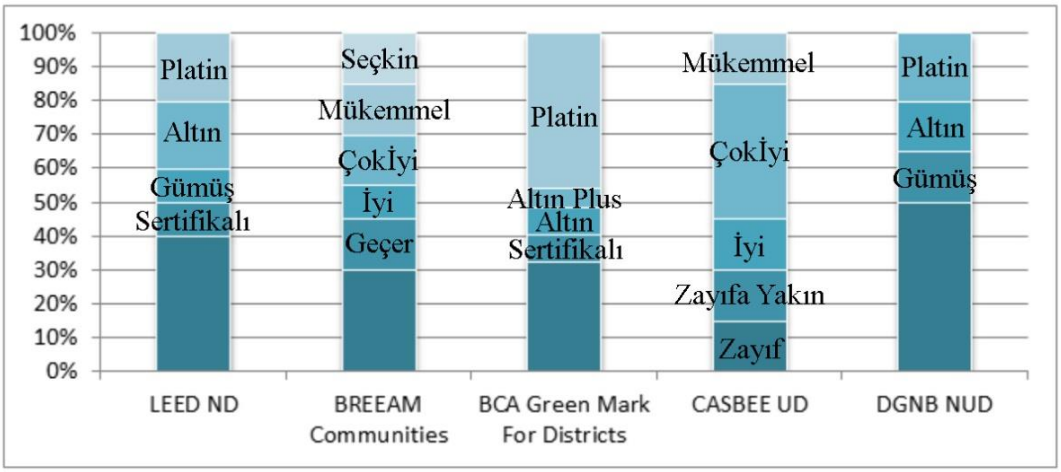
Günümüzde ise Çevre Kanunu başta olmak üzere hem ulusal hem de uluslararası alanda sürüdürülebilir kalkınma ve çevresel politikalara ilişkin birçok düzenleme ülkemizde mevcuttur. Ulusal düzenlemelerin tanımı kanun ya da yönetmelikler ile belirlenmiştir. Uluslararası antlaşmaların niteliği 1982 T.C. Anayasası 90. Maddenin son fıkrasında "Usulüne göre yürürlüğe konulmuş milletlerarası antlaşmalar kanun hükmündedir." ifadesi ile kesinleştirilmiştir. Bu kanunlara uyulmaması durumunda gerçekleşecek yaptırımlar Türk Ceza Kanunu'nun "Çevreye Karşı Suçlar" kısmında formüle edilmiştir. Ülkemizde çevreye ilişkin düzenlemelerin uygulama ayağına gelindiğinde ise amaç-rasyonelliğine dair eksiklikler tartışılmaktadır (Keleş, 2023: 29). Kültür düzeyinin yükseltilmesi ve çevre bilincinin artırılması amacıyla eğitim araçlarının desteklenmesi bu problemin çözülmesinde önemli bir anahtar görevi görmektedir. Yine bu anlamda sivil toplum örgütlerine, yerel yönetimlere, merkezi yönetime, kamu kurumu niteliğindeki meslek kuruluşlarına önemli görevler düşmekte, katılım önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır (Kavuncu, 2018: 24). Amaç-rasyonelliğinin denetlendiği diğer bir husus ise sürdürülebilirliği ele alan sertifika sistemleridir. Bu doğrultuda hem ulusal hem de uluslararası alanda ortaya konan sertifika sistemlerini ele almak gerekmektedir.

Sürdürülebilir Mahalleler İçin Yeşil Sertifikalar

İklim krizinin getirileri ile birlikte son yıllarda çevre koruma alanında artan farkındalıklarla sürdürülebilir kentleşmenin öneminin anlaşılması ve uygulama alanlarının genişlemesi neticesinde bu durumun denetlenmesi ve belirli kriterlerce değerlendirilmesi ihtiyacı doğmuştur (Olgun vd., 2019: 11). Sürdürülebilir kentleşmeye ilişkin değerlendirme araçlarının ilk çıkışı bina ölçeğinde gerçekleşmiştir ve günümüzde birçok mekânsal düzenleme ölçeğine ve uygulama alanına sahiptir. İlk olarak CASBEE - Urban Development'ın tanıtılması ile başlamış, LEED (Leadership in Energy and Environment Design - Çevre ve Enerji Tasarımında Liderlik) ve BREEAM tarafından geliştirilen araçlar bu sistemi izlemiştir (Yıldız vd., 2015: 3). Mahalle ölçeğinde değerlendirme sistemlerinin geliştirilmesi sadece tekil

binaların değil, bu binalar arasındaki alanların, sağlanan hizmetlerin, orada yaşayan insanların ve diğer canlıların ve bütün bu geniş aralıktaki unsurların arasındaki uyum ve faaliyetlerin değerlendirilmesi olarak ortaya konmuştur. Bu bağlamda mahalle ölçeğinde dünyada sıklıkla kullanılan LEED ND, BREEAM Communities, DGNB UD, CASBEE UD ve BCA Green Mark for Districts değerlendirme sistemleri çalışma kapsamında ele alınmış olup, Tablo 2'de puanlama sistemlerine ilişkin ve Tablo 3'de ele aldıkları kriterler ve kriterlerin ağırlık oranlarına göre değerlendirilmiştir.

Tablo 2. MSD Araçlarında Puanlama Sistemleri (BCA Green Mark For Districts, 2018; BREEAM Communities Technical Manual, 2017; CASBEE for UD Technical Manual, 2014; DGNB System Districts Criteria Set, 2020; LEED ND, 2018 kaynakları kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur)



Tablo 3. MSD Araçlarında Ana Kategoriler ve Kriterler (BCA Green Mark For Districts, 2018; BREEAM Communities Technical Manual, 2017; CASBEE for UD Technical Manual, 2014; DGNB System Districts Criteria Set, 2020; LEED ND, 2018; Yıldız, vd., 2015: 12 kaynakları kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur)

Kategoriler	Kapsam	LEED ND		BREEAM Communities		DGNB UD		CASBEE UD		BCA Green Mark for Districts	
		Kriterler	%	Kriterler	%	Kriterler	%	Kriterler	%	Kriterler	%
ÇEVRE VE ARAZİ KULLANIMI	Doğa, Biyoçeşitlilik, Su Yönetimi, Arazi Kullanımı	Akıllı Konum, Tehlike Altındaki Türler ve Ekolojik Toplulukların Korunması, Sulak Alanlar ve Su Kütlesinin Korunması, Tarım Alanlarının Korunması, Taşkın Alanlarından Kaçınılma, Kentsel Dönüşüm, Dik Yamaç Koruması, Sulak Alan ve Su Kütlesinin Korunması için Saha Tasarımı, Sulak Alanların Restorasyonu, Sulak Alanların ve Su Kütlelerinin Uzun Vadeli Koruma Yönetimi, Kompakt Yerleşim, Kamusal ve Sosyal Alanlara Erişim, Rekreasyon Tesislerine Erişim, Ağaçlarla Çevrili ve Gölgeli Sokak Manzaraları, Yağmur Suyu Yönetimi, Atık Su Yönetimi, Işık Kirliliğinin Azaltılması	29	Kamu Hizmetleri, Gürültü Kirliliği, Mikro İklim, İklim Değişikliğine Uyum, Işık Kirliliği, Su Stratejisi, Ekoloji Stratejisi, Arazi Kullanımı, Su Arttırılması, Peyzaj, Yağmur Suyu Hasadı	23,4	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Kentsel İklim, Su Döngüsü Sistemleri, Arazi Kullanımı, Biyoçeşitlilik, Açık Alanda Termal Konfor, Açık Alan, Kentsel Tasarım, Gürültü, Egzoz ve Işık Emisyonu	31,3	Yeşil Sektörün Su Kaynakları, Yeşil Alan, Biyoçeşitlilik, CO_2 Emisyonları	21	Arazi Planlaması ve Bina Yönlendirmesi, Altyapı ve Kamu Tesisleri için Su Verimli Donatılar, Yağmur Suyu Yönetimi, Alternatif Su Kaynakları, Su Verimli Peyzaj, Su Verimliliği Yönetimi, Yeşil Kentsel Tasarım Kılavuzları, Bölge İçi Yeşil Binalar, Işık Kirliliği	52,9
EKONOMİK GELİŞME	İstihdam, Uzaktan Çalışma, Değer İstikrarı	Konut ve İş Yakınlığı, Konut Türleri ve Satın Alınabilirlik	9,1	Ekonomik Etki, Eğitim ve Beceriler	14,8	Yaşam Döngüsü Maliyetleri, Esneklik ve Uyarlanabilirlik, Arazi Kullanım Verimliliği, Değer İstikrarı, İşyeri Konforu	20	Ekonomik Gelişme	10	Yeşil Kiralama	1,08
ULAŞIM	Toplu Taşıma, Yaya ve Bisiklet Yolu, Özel Araçlar, Otopark	Kaliteli Toplu Taşımaya Erişim, Bisiklet Olanakları, Yürünebilir Sokaklar, Toplu Taşıma Tesisleri, Ulaşım Talep Yönetimi	20	Yerel Otopark, Hizmet, Tesis ve Olanakların Sunumu, Ulaşım Karbon Emisyonları, Ulaşım Değerlendirmesi, Bisiklet Ağı, Toplu Taşımaya Erişim, Bisiklet Olanakları, Toplu Taşıma Olanakları, Güvenli ve Çekici Sokaklar	20,1	Hareketlilik Altyapısı - Motorlu Ulaşım, Hareketlilik Altyapısı - Yayalar ve Bisikletliler	11,2	Trafik, Kentsel Yapı, Trafik Sektöründen Kaynaklanan CO_2 Emisyonları	10	Bölgede Yeşil Ulaşım	5,94
SOSYAL GELİŞİM	Yaşam Kalitesi, Sosyal Altyapı, Kentsel Bağlam	Bağlantılı ve Açık Topluluk, Karma Kullanımlı Mahalleler, Ziyaret Edilebilirlik ve Evrensel Tasarım, Topluma Erişim ve Katılım, Yerel Gıda Üretimi, Mahalle Okulları, Tarihi Kaynakların Korunumu ve Uyarlanabilir Yeniden Kullanımı	14	Demografik İhtiyaçlar ve Öncelikler, Konut Tedariği, Kamusal Alan, Yerel Dil, Yeşil Altyapı, Kapsayıcı Tasarım	12,6	Sosyal ve Fonksiyonel Karma, Sosyal ve Ticari Altyapı, Akıllı Altyapı, Engelsiz Tasarım	10,9	Sağlık, Refah ve Eğitim, Kültür, Nüfus, Bilgi Sistemi	31	Kamu Bilinci, Eğitim ve Toplum Katılımı, Akıllı Altyapı	4,8
TASARIM VE YÖNETİŞİM	Tasarım İlkeleri, Isı Adaları, Politika ve Yönetişim	Isı Adası Azaltımı, Bölgesel Öncelik	4,5	Danışma Planı, Danışma ve Katılım, Tasarımın Gözden Geçirilmesi, Tesislerin Topluluk Yönetimi, Sel Riski Değerlendirmesi, Sel riski Yönetimi	12,9	Entegre Planlama, Katılım, Proje Yönetimi, Yönetişim, Güvenlik Kavramları, Kalite Güvencesi ve İzleme	18,3	Güvenlik/Emniyet, Uyumluluk, Alan Yönetimi, Çevresel Riskler	14	Paydaş Katılımı, Geri Bildirim ve Değerlendirme, Güvenli Ortam	4,8
KAYNAKLAR VE ENERJİ	Atık Yönetimi, Malzeme Kullanımı, Yenilenemeyen ve Yenilenebilir Enerji	Sertifikalı Yeşil Bina, Minimum Bina Enerji Performansı, İnşaat Faaliyeti Kirliliğinin Önlenmesi, Bina Enerji Performansının Optimize Edilmesi, İç Mekan Su Kullanımının Azaltılması, Dış Mekan Su Kullanımının Azaltılması, Binanın Yeniden Kullanımı, Yenilenebilir Enerji Üretimi, Bölge Isıtma ve Soğutma, Altyapı Enerji Verimliliği, Geri Dönüşümlü Altyapı, Katı Atık Yönetimi	18	Enerji Stratejisi, Mevcut Binalar ve Altyapı, Sürdürülebilir Binalar, Düşük Etkili Malzemeler, Kaynak Verimliliği	16,2	Kirleticiler ve Tehlikeli Maddeler, İnşaat Sahası/İnşaat Süreci, Enerji Altyapısı, Kaynak Yönetimi	8,3	Kaynakların Geri Dönüşümü, Çevre Dostu Binalar, Enerji Sistemi, İnşaat Sektöründen Kaynaklanan CO_2 Emisyonları	14	Altyapı ve Kamu Tesisleri için Enerji Verimliliği, Yerinde Enerji Üretimi, Enerji Yönetim Sistemi, Yoğun Olmayan Saatlerde Enerji Tüketiminin En Aza İndirilmesi, Hafriyat İşlerinin En Aza İndirilmesi, Altyapı ve Kamu Tesisleri için Sürdürülebilir İnşaat, Altyapı ve Kamu Tesisleri için Sürdürülebilir Ürünler, Atık Yönetimi	27,5
İNOVASYON		Yenilik, LEED® Akredite	5,5							Diğer Çevreci Özellikler ve Yenilikler	2,7
TOPLAM			100		100		100		100		99,7

Küresel ölçekte kullanılan mahalle değerlendirme sistemlerine ilişkin kriterler ve ağırlık oranları Tablo 3'de ortaya konmuştur. Bu araçların birbirleri ile kıyaslanması hususunda ortak ana başlıkların belirlenmesi ve ağırlıklarının ortaya konması en kritik noktayı oluşturmaktadır (Yıldız vd., 2015: 10). Her sertifika sisteminin kendine özgü ana başlıkları, kriterleri ve sınıflandırma metodu bulunmaktadır. Ancak bu sistemlerin kıyaslanabilmesi için

her bir alt kriter açıklaması ve değerlendirme metoduna göre sınıflandırılmış, sonucunda ortak ana başlıklar oluşturulmuştur. Bu sayede kriterlerin ağırlığı, anlamı ve önemi kıyaslanabilir hale gelmiştir.

Değerlendirme sistemleri aldıkları puana göre projelerin sınıflandırılması için gümüş, altın ve platin gibi sertifika tipleri belirlemişlerdir ve bu sertifika tipleri Tablo 2'de ortaya konmuştur. Ancak elde edilen puana göre sertifikaya hemen erişilebilmesi, belirli ana ölçütlerin şart koşulmasını zorunlu kılmıştır. LEED ND sertifikası için 11 kriter zorunlu tutulmuş aynı zamanda puanlamaya dahil edilmiştir. Aynı şekilde BREEAM Communities sertifikası içinde 5 ana kriter zorunlu tutulmuş ve puanlamaya dahil edilmiştir. LEED ND'den farklı olarak BREEAM Communities sertifikasında şart koşulan kriterler değerlendirmenin birinci adımı olarak ele alınmış ve diğer basamağa geçebilmek için de şart koşulmuştur. BCA Green Mark For Districts sertifikası için ise direkt kriterler zorunlu kılınmamış, enerji ana başlığından 10 puan ve diğer yeşil gereklilikler başlığından 50 puan alınması zorunlu olarak belirlenmiştir. DGNB NUD sertifikası da BCA Green Mark For Districts sertifikasına benzer olarak belirli başlıklar için minimum alınması gereken puanları zorunlu kılmıştır. Tüm bu sertifika sistemlerinden farklı olarak CASBEE UD sistemi herhangi bir zorunlu kritere yer vermemiştir. Temelde bu durumun CASBEE UD puanlama sisteminin diğer sistemlerden farklı olması olarak ifade edilse de, değerlendirme açısından dezavantajlı hale gelmektedir.

Verilerin ölçülebildiği takdirde değerlendirilebileceği anlayışından yola çıkılarak geliştirilen bu değerlendirme sistemlerinde temel amaç sürdürülebilirliğin ölçülebilmesine ilişkin bir araç oluşturmaktır. Bu bağlamda değerlendirme sistemleri bina ölçeğinden kent ölçeğine kadar çevresel, sosyal ve ekonomik ihtiyaçların belirlenmesi ve verilerin bilgiye dönüştürülmesinde kullanılmakta, bir yol haritası oluşturmaktadır. Küresel ölçekte sıklıkla kullanılan ana 5 değerlendirme sistemi Tablo 3'de kıyaslanmış ve kriterlerin şekillenmesindeki temel etmenin yerel koşullar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Nüfus yoğunluğu, enerji ihtiyacı ve kentsel gelişim ilişkilerine göre sertifika sistemleri şekillenmiştir. Bu sebeple ülkemizde dışa bağımlı artan enerji ihtiyacı, hızlı kentleşmenin getirdiği artan çevresel tahribat ve azalan yaşam kalitesi oluşturulacak yere özgü sertifika sistemi için ele alınması gereken ana etmenleri oluşturmaktadır. Bu bağlamda yerele özgü bir mahalle değerlendirme sistemi geliştirilmesi hususunda ülkemizde ortaya konmuş değerlendirme sistemlerini ele almak gerekmektedir (Yıldız vd., 2015: 16).

Ülkemizde yeşil bina kavramından sürdürülebilir kentleşme ölçeğine kadar birçok politika ve yasal düzenleme mevcuttur. Bunlara ek olarak yeşil bina değerlendirme sistemlerine ilişkin YeS-TR, Güvenli Yeşil Bina (GYB), Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım (B.E.S.T) sertifikaları başta olmak üzere birçok sertifikasyon sistemi geliştirilmiştir. Ancak mahalle ölçeğine gelindiğinde ise Sürdürülebilir Enerji Etkin Binalar (SEEB – TR)'ın proje aşamasında kalan SEEB-TR Neighbourhood girişimi dışında bir bulguya rastlanmamıştır. Bu sebeple ülkemiz için yerele özgü bir sürdürülebilir mahalle sertifikasyon sistemi oluşturma ihtiyacı mevcuttur.

Sonuç: Sürdürülebilir Mahalle Değerlendirme Kriterleri

Bu araştırma, mahalle ölçeğinde yerel bir sertifikasyon sistemi oluşturulurken göz önünde bulundurulması gereken parametreleri ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda parametreler yukarıda sunulan literatür taramasına dayanmaktadır ve Tablo 4'te ortaya konmuştur.

Mahalle ölçeğini elen alan yeşil sertifikalar üzerinden yapılan incelemeler sonucunda, sürdürülebilir mahalle ölçeğinde yerel bir sertifika sistemi oluşturulması durumunda (1) çevre ve arazi kullanımı, (2) ekonomik gelişme, (3) ulaşım, (4) sosyal gelişim, (5) tasarım ve yönetişim, (6) kaynaklar ve enerji ile (7) inovasyon başlıklarının değerlendirme sisteminde kriter ana başlıklarında değerlendirilmesi gerekli görülmektedir.

Bu ana başlıklardan ilki olan çevre ve arazi kullanımı başlığı su yönetimi, atık su yönetimi, yağmur suyu yönetimi, tarım alanlarının korunması ve geliştirilmesi, arazinin

ekolojik değerinin korunması ve geliştirilmesi, biyoçeşitliliğin korunması ve geliştirilmesi, arazi-kentsel peyzaj ilişkisinin kurulması, kamusal açık alan gelişimi, gürültü kirliliği ve ışık kirliliğini değerlendirilmiştir. ekonomik gelişme başlığı ile yatırım karlılığını artırma ve ekonomi başlığı ele alınmıştır. ulaşım ana başlığı altında otopark stratejisi geliştirilmesi, trafik deseninin geliştirilmesi, bisiklet ağlarının artırılması/düzenlenmesi, yürünebilirliğin artırılması, toplu taşıma araçlarına ilişkin strateji, ulaşım karbon emisyonunun azaltılması, çevreye duyarlı karma ulaşım sistemlerinin hizmet verdiği ve erişilebilirliği yüksek alanların tercih edilmesi, optimum toplu taşıma kullanımı için kentsel altyapı stratejilerinin geliştirilmesi değerlendirilmiştir. Sosyal gelişim ana başlığı altında toplumsal katılım, eğitim ve toplumsal katılım, kapsayıcı tasarım, kültür ve miras kimliğinin geliştirilmesi alt başlıkları, tasarım ve yönetişim ana başlığı altında ise güvenlik, kamu hizmetlerinin erişilebilir olması, ısı adası etkisinin azaltılması alt başlıkları irdelenmiştir. Kaynaklar ve enerji başlığı altında yapım aşamasındaki atık yönetimi, kullanım aşamasındaki atık yönetimi, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, yeşil altyapı, sürdürülebilir binalar, yerel malzeme kullanımı, sürdürülebilir malzeme kullanımı, sertifikalı malzeme kullanımı, ekonomik malzeme kullanımı başlıkları ele alınmıştır. İnovasyon ile sürdürülebilir ve ekolojik dengeyi gözeterek yapılan yenilikçi uygulamalar değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Sürdürülebilir Mahalle Değerlendirme Kriterleri

Kategoriler	Kapsam	Kriterler	İlgili Sertifika Sistemi	İlgili Yönetmelik	İlgili Kanun	İlgili Uluslararası Sözleşme
ÇEVRE VE ARAZİ KULLANIMI	Doğa, Biyoçeşitlilik, Su Yönetimi, Arazi Kullanımı	Su Yönetimi	SEEB-TR, YeS-TR, Breeam Communities, Casbbee UD, BCA Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, Leed ND, DGNB UD	Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Taşkın ve Rüsubat Kontrolü Yönetmeliği	2872 Sayılı Çevre Kanunu, Yeraltı Suları Hakkında Kanun, Büyükşehir Belediyesi Kanunu, İl Özel İdaresi Kanunu	Akdeniz'in Kirlenmeye Karşı Korunmasına Ait Sözleşme (Barcelona, 1976), Karadeniz'in Kirliliğe Karşı Korunması Sözleşmesi (Bükreş, 1992), Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi, Akdeniz'in Kara Kökenli Kaynaklardan Kirlenmeye Karşı Korunması Protokolü (Atina, 1980)
		Atık Su Yönetimi	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Casbbee UD, BCA Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, DGNB NUD, Greenstar Communities, Breeam Communities	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, Atık Su Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik, Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Yönetmeliği, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	2872 Sayılı Çevre Kanunu, Büyükşehir Belediyesi Kanunu	X
		Yağmur Suyu Yönetimi	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Casbbee UD, BCA Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, DGNB NUD, Greenstar Communities, Breeam Communities	Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Yönetmeliği, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği		
		Tarım Alanlarının Korunması ve Geliştirilmesi	YeS-TR, SEEB-TR, PCRS For Estidama, Leed ND, Greenstar Communities	Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği, Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, İyi Tarım Uygulamaları Hakkında Yönetmelik, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği	Tarım Kanunu, Büyükşehir Belediyesi Kanunu, İl Özel İdaresi Kanunu	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolü
		Arazinin Ekolojik Değerinin Korunması ve Geliştirilmesi	YeS-TR, SEEB-TR, Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, DGNB NUD, PCRS For Estidama, Casbbee UD, Greenstar Communities	Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği, Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği, Ağaçlandırma Yönetmeliği	2872 Sayılı Çevre Kanunu, Orman Kanunu, Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, Mera Kanunu, Kıyı Kanunu, Boğaziçi Kanunu, Büyükşehir Belediyesi Kanunu, Mili Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Seferberlik Kanunu, İl Özel İdaresi Kanunu	Arkeolojik Mirasın Korunmasına İlişkin Avrupa Sözleşmesi (Valetta, 1997), Ramsar Sözleşmesi (Ramsar, 1971), Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolü
		Biyoçeşitliliğin Korunması ve Geliştirilmesi	YeS-TR, SEEB-TR, Leed ND, DGNB NUD, PCRS For Estidama, Casbbee UD, Greenstar Communities	Ağaçlandırma Yönetmeliği	2872 Sayılı Çevre Kanunu, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, Milli Parklar Kanunu, Kara Avcılığı Kanunu, Su Ürünleri Kanunu, Mili Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Seferberlik Kanunu	Ramsar Sözleşmesi (Ramsar, 1971), Kuşların Korunmasına Dair Uluslararası Sözleşme (Paris, 1902), Avrupa'nın Yaban Hayatı ve Doğal Yaşama Ortamlarının Korunması Sözleşmesi (Bern, 1979), Nesli Tehlikede Olan Yabani Hayvan ve Bitki Türlerinin Uluslararası Ticaretine İlişkin Sözleşme (CITES) (Washington, 1973), Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (Rio, 1992)
		Arazi-Kentsel Peyzaj İlişkisinin Kurulması	YeS-TR, SEEB-TR, Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, DGNB NUD, PCRS For Estidama, Casbbee UD, Greenstar Communities	Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği	Büyükşehir Belediyesi Kanunu	Avrupa Peyzaj Sözleşmesi (Floransa, 2000)
		Kamusal Açık Alan Gelişimi	YeS-TR, SEEB-TR, DGNB NUD, BCA Greenmark For Districts, Leed ND	Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği		
		Gürültü Kirliliği	YeS-TR, Breeam Communities, DGNB NUD	Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği	2872 Sayılı Çevre Kanunu, İmar Kanunu, İl Özel İdaresi Kanunu	X
		Işık Kirliliği	YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, DGNB NUD, Greenstar Communities	Genel Aydınlatma Yönetmeliği	X	

EKONOMİK GELİŞME	İstihdam, Uzaktan Çalışma, Değer İstikrarı	Ekonomik Gelişme	YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, DGNB NUD, Casbbee UD	X	X	X
		Yatırım Karlılığını Artırma	Leed ND, YeS-TR, Breeam Communities, PCRS For Estidama, Greenstar Communities			
ULAŞIM	Toplu Taşıma, Yaya ve Bisiklet Yolu, Özel Araçlar, Otopark	Otopark Stratejisi Geliştirilmesi	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, BCA Green Mark for Districts	Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Büyükşehir Belediyeleri Koordinasyon Merkezlerleri Yönetmeliği, Otopark Yönetmeliği	İmar Kanunu, Büyükşehir Belediyesi Kanunu	X
		Trafik Deseninin Geliştirilmesi	SEEB-TR, Leed ND, YeS-TR, Breeam Communities, BCA Green Mark for Districts, PCRS For Estidama, Casbbee UD, Greenstar Communities, DGNB UD	Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Büyükşehir Belediyeleri Koordinasyon Merkezlerleri Yönetmeliği, Otopark Yönetmeliği, Bisiklet Yolları Yönetmeliği	Büyükşehir Belediyesi Kanunu	
		Bisiklet Ağlarının Artırılması/Düzenlenmesi	YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, DGNB NUD, PCRS For Estidama, Greenstar Communities	Bisiklet Yolları Yönetmeliği	İmar Kanunu, Büyükşehir Belediyesi Kanunu, İl Özel İdaresi Kanunu	
		Yürünebilirliğin Artırılması	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, Casbbee UD, BCA Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, DGNB NUD	TS 12576-Şehir içi Yollar-Özürlü ve Yaşlılar İçin Sokak, Cadde, Meydan ve Yapısal Önlemler ve İşaretlemelerin Tasarım Kuralları ve İlgili Mevzuat, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İncinebilir Yol Kullanıcılarının Korunmasına Yönelik Tedbirler Uygulama Kılavuzu	İmar Kanunu, İl Özel İdaresi Kanunu	
		Toplu Taşıma Araçlarına İlişkin Strateji	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, Casbbee UD, BCA Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, DGNB NUD	Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Arttırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik, Büyükşehir Belediyeleri Koordinasyon Merkezlerleri Yönetmeliği	Büyükşehir Belediyesi Kanunu, Belediye Kanunu	
		Ulaşım Karbon Emisyonunun Azaltılması	SEEB-TR, YeS-TR, Breeam Communities, Casbbee UD, PCRS For Estidama, Greenstar Communities	Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği	X	Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolü
		Çevreye Duyarlı Karma Ulaşım Sistemlerinin Hizmet Verdiği ve Erişilebilirliği Yüksek Alanların Tercih Edilmesi	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, DGNB NUD	Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği	İmar Kanunu, Büyükşehir Belediyesi Kanunu	X
		Optimum Toplu Taşıma Kullanımı İçin Kentsel Altyapı Stratejilerinin Geliştirilmesi	YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, Casbbee UD, BCA Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, DGNB NUD	Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Büyükşehir Belediyeleri Koordinasyon Merkezlerleri Yönetmeliği	Büyükşehir Belediyesi Kanunu	

SOSYAL GELİŞİM	Yaşam Kalitesi, Sosyal Altyapı, Kentsel Bağlam	Toplumsal Katılım	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, DGNB NUD, PCRS For Estidama, Casbbee UD, Greenstar Communities	X	X	X
		Eğitim ve Toplumsal Katılım	Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, Casbbee UD	X	X	X
		Kapsayıcı Tasarım	Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, DGNB NUD, Greenstar Communities, PCRS For Estidama	X	X	X
		Kültür ve Miras Kimliğinin Geliştirilmesi	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, Greenmark For Districts, DGNB NUD, PCRS For Estidama, Casbbee UD, Greenstar Communities	Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca Onaylanacak Kentsel Tasarım Projelerinin Hazırlanmasına ve Değerlendirilmesine İlişkin Yönerge ve İlgili Mevzuat	Büyükşehir Belediyesi Kanunu	S
TASARIM VE YÖNETİŞİM	Tasarım İlkeleri, Isı Adaları, Politika ve Yönetişim	Güvenlik	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, DGNB NUD, PCRS For Estidama, Casbbee UD, Greenstar Communities	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Binaların Yangından Korunması, Hakkında Yönetmelik, Afet ve Acil Durumlara İlişkin Temel Mevzuat, Ağaçlandırma Yönetmeliği, Taşkın ve Rüsubat Kontrolü Yönetmeliği	Büyükşehir Belediyesi Kanunu, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun, Sivil Savunma Kanunu, Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun	X
		Kamu Hizmetlerinin Erişilebilir Olması	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, BCA Greenmark For Districts, DGNB NUD, PCRS For Estidama, Casbbee UD, Greenstar Communities	Kamu Hizmetlerinin Sunumunda Uyulacak Usul ve Esaslara İlişkin Yönetmelik	Belediye Kanunu, Büyükşehir Belediyesi Kanunu, İl Özel İdaresi Kanunu	X
		Isı Adası Etkisinin Azaltılması	YeS-TR, SEEB-TR, Leed ND, BCA Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Casbbee UD, Greenstar Communities, Leed ND	Bina Enerji Performansı Yönetmeliği, Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği	X	X

KAYNAKLAR VE ENERJİ	Atık Yönetimi, Malzeme Kullanımı, Yenilenemeyen ve Yenilenebilir Enerji	Yapım Aşamasındaki Atık Yönetimi	Leed ND, SEEB-TR, Casbbee UD, Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, DGNB NUD	Atık Yönetimi Yönetmeliği, Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik	2872 Sayılı Çevre Kanunu, Büyükşehir Belediyesi Kanunu	X
		Kullanım Aşamasındaki Atık Yönetimi	SEEB-TR, Leed ND, Breeam Communities, Casbbee UD, Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, DGNB NUD	Atık Yönetimi Yönetmeliği, Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik		
		Yenilenebilir Enerji	YeS-TR, SEEB-TR, Leed ND, Breeam Communities, Greenmark For Districts, DGNB NUD, PCRS For Estidama, Casbbee UD, Greenstar Communities	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi Ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik, Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Yönetmeliği	2872 Sayılı Çevre Kanunu, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Enerji Verimliliği Kanunu	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolü
		Enerji Verimliliği	SEEB-TR, YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, Casbbee UD, Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, DGNB NUD	Bina Enerji Performansı Yönetmeliği, Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği, Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik		
		Yeşil Altyapı	YeS-TR, Leed ND, Breeam Communities, Casbbee UD, Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, DGNB NUD	Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği	2872 Sayılı Çevre Kanunu	X
		Sürdürülebilir Binalar	YeS-TR, SEEB-TR, Leed ND, Breeam Communities, Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, CASBEE UD	Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Sıfır Atık Yönetmeliği, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Bina Enerji Performansı Yönetmeliği, Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği, Binalar ile Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği	2872 Sayılı Çevre Kanunu, İmar Kanunu	Avrupa Mimari Mirasının Korunması Sözleşmesi (Granada, 1985)
		Yerel Malzeme Kullanımı	SEEB-TR, Casbbee UD, PCRS For Estidama	Çevre Etiketi Yönetmeliği	X	X
		Sürdürülebilir Malzeme Kullanımı	YeS-TR, SEEB-TR, Breeam Communities, Leed ND, Greenmark For Districts, PCRS For Estidama, Greenstar Communities, DGNB UD, CASBEE UD			
		Sertifikalı Malzeme Kullanımı	SEEB-TR, PCRS For Estidama			
		Ekonomik Malzeme Kullanımı	SEEB-TR, DGNB NUD			
İNOVASYON	Yenilikçi Uygulamalar ve Teknolojik Gelişmeler		SEEB-TR, YeS-TR, LEED ND, BCA Green Mark for Districts	X	X	X

Her bir kriterin literatürdeki karşılığı içinde yer aldığı sertifika sistemi, ülkemizde ortaya konmuş ilgili yönetmelik, anayasamızda yer alan kanun ve ülkemizin dahil olduğu uluslararası anlaşmalarca ortaya konmuştur. Ortaya konan bu kriterlerin gelecekte oluşturulacak yerele özgü bir sürdürülebilir mahalle sertifikasyon sistemine altlık oluşturması hedeflenmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynakça

Doğru, B. (2016). 100 maddede sürdürülebilirlik rehberi. İstanbul: İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği (SKD).

Du Pisani, J. A. (2006). Sustainable development–historical roots of the concept. Environmental Sciences, 3(2), 83-96. doi: 10.1080/15693430600688831

International Council for Local Environmental Initiatives. (1996). The Local Agenda 21 Planning Guide: An Introduction to Sustainable Development. IDRC.

Kaplan, A. (1999). Küresel çevre sorunları ve politikaları. Mülkiyeliler Birliği Vakfı Yayınları, Ankara.

Kavuncu, A. Ç. (2018). Prof. Dr. Ruşen Keleş ile "Ekolojik Bakışın Geleceği" üzerine bir söyleşi. *İDEALKENT, 8(21),* 14-25.

Keleş, R. (2023). Dünyada ve Türkiye'de çevre politikaları ve sürdürülebilir kalkınma. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi, 2(3),* 24-30.

Munasinghe, M. (1992). Environmental Economics and Sustainable Development, Paperpresented at the UN Earth Summit, Rio de Janeiro, *Environment Paper No.3,* World Bank, Wash.DC, USA.

Najam, A., & Cleveland, C. J. (2005). Energy and sustainable development at global environmental summits: an evolving agenda. In The World Summit on Sustainable Development: The Johannesburg Conference (pp. 113-134).

Olgun, İ., Ergönül, S., Tekin, Ç., Seçkin, N. P., & Özgünler, M. (2019). Mahalle Ölçeğinde Sürdürülebilir Değerlendirme Sistemi Geliştirilmesi.

Özmehmet, E. (2005). Sürdürülebilir mimarlık bağlamında Akdeniz iklim tipi için bir bina modeli önerisi (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

Şen, E. (1995). Çevrenin Korunmasında Türkiye'deki Örgütlenme ve Bu Örgütlerin Görevleri ile Yetkileri. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, (10),* 69-87.

Demiral, B., & Evin, H. (2014). Türkiye'de çevre politikalarının gelişiminin çevresel etki değerlemesi yönetmeliği üzerinden değerlendirilmesi, II. Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu, Adıyaman, Türkiye, 37-48.

Şengün, H. (2015). Türkiye'de çevre yönetimi ve çevre ve Şehircilik Bakanlığının uygulamaları. *Strategic Public Management Journal, 1(1),* 109-130.

Seydioğulları, H. S. (2013). Sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji. *Planlama Dergisi, 23(1),* 19-25.

Connelly, S. (2007). Mapping sustainable development as a contested concept. *Local environment, 12(3),* 259-278.

Sipahi, E. B. (2010). Küresel çevre sorunlarına kolektif çözüm arayışları ve yönetişim. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (24),* 331-344.

Tıraş, H. H. (2012). Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: Teorik bir inceleme. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2(2), 57-73

Worster, D. (1994). The wealth of nature: environmental history and the ecological imagination. Oxford University Press.

Yıldız, S., Yılmaz, M., Kıvrak, S., Aslan, G., & Gültekin, A. B. (2015). Mahalle Sürdürülebilirlik Değerlendirme Sistemlerine Yönelik Bir İnceleme Çalışması. 1.Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, (s. 1-20). Kocaeli.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

The Importance of Psychobiotics in Athlete Performance

Fatma Nur DEMİRBAŞ[1]

Abstract

Psychobiotics were first defined as a specific subclass of probiotics that alter the gut-brain axis, leading to mood, anxiety, and cognitive function changes. Probiotics, which contain beneficial, living microorganisms, are living organisms that positively affect health by regulating the intestinal microbial balance of humans. Probiotics play a crucial role in enhancing athlete performance by positively impacting various aspects such as fatigue, muscle pain, body composition, and cardiorespiratory fitness. They can improve exercise outcomes by modulating gut microbiota composition, promoting the clearance of exercise-related psychological fatigue, and regulating metabolic pathways. Psychobiotics play a crucial role in enhancing athlete performance by positively impacting their psychological well-being and physical health. By producing neurotransmitters, short-chain fatty acids, and anti-inflammatory cytokines, psychobiotics contribute to mood improvement, stress reduction, and enhanced cognitive function. Additionally, probiotic supplementation has been linked to increased antioxidant levels, improved mental health parameters, and enhanced immune activity in athletes, promoting overall well-being and performance. Moreover, probiotics aid in reducing the negative physiological effects of strenuous exercise, potentially improving muscle endurance, intestinal health, and immune system function. These live bacteria, such as *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains, colonize the gut flora, reducing inflammation, cortisol levels, symptoms of depression and anxiety, and improving memory. Probiotics like *Lactobacillus casei Shirota* have been shown to decrease stress, and anxiety, and improve cognitive state among football players, indirectly enhancing athletic performance. Studies have demonstrated that probiotic supplementation can upregulate beneficial gut microbiota, inhibit harmful bacteria, and regulate metabolic pathways, leading to the clearance of exercise-related psychological fatigue in athletes. While some studies have shown probiotic supplementation to enhance aerobic performance and strength in athletes, the overall evidence is inconclusive, necessitating further well-controlled research to solidify the understanding of probiotics impact on athletic performance.

Keywords: Probiotics, psychobiotics, athletes, athletic performance.

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Trabzon Üniversite, Orcıd: https://orcid.org/0000-0002-1647-285X

ISBN: 978-625-372-170-1

1.INTRODUCTION

Subjecting athlete's to rigorous training can lead to risks to the athlete's health by causing intense exercise, gastrointestinal problems, and changes in intestinal permeability. Research suggests that exercise positively affects the gut microbiome, with certain types of bacteria associated with improved athletic performance. How exercise and nutrition habits and microbial composition affect athlete performance are among the current research topics. The potential of probiotics, postbiotics, and butyrate-producing bacteria to enhance athletic performance by modulating the gut microbiome is discussed. Another issue on which studies are limited is psychobiotics.

An athlete's lifestyle is different from that of the average person. In the optimal situation, all of an athlete's lifestyle choices are geared towards maximizing their performance. Nutrition plays an important role in the life of an athlete and is an important factor in the nutrition of the athlete's body during exercise, but it also plays a large role in the recovery and growth of muscle tissue, for example. Studies have found that athlete microbiota positively affects performance.

2.GUT MICROBIOME

Our human body is home to many microorganisms that live inside our body and also live on the surface of our body. The complex community of microorganisms known as the gut microbiota is found in the digestive systems of both humans and other animals, including insects (Gomaa, 2020). The amount and composition of the human microbiota varies throughout the digestive tract; While the stomach and small intestine host relatively low amounts of microbial species, the colon contains a microbial ecosystem in which each gram of intestinal material contains up to 10^{12} of microbial cells. Organisms living in the gut can belong to all three branches of the tree of life: Archaea, Eukarya, and Bacteria (Milani, 2017). Most microorganisms are bacteria, and almost all (99%) of those found in the intestine are anaerobes, although larger numbers of aerobic microbes can be found in the cecum. Many gut microbes play a crucial role in maintaining normal (gut) physiology and health. The gut microbiome affects health primarily by playing an important role in the development of immunity and the regulation of specific key metabolic pathways (Bibbò, 2016). A disorder in this composition of the gut microbiome, that is, dysbiosis, can lead to various diseases such as inflammatory bowel diseases (IBD), cardiovascular diseases, allergies, autoimmune diseases, diabetes and obesity (Gomaa, 2020, Bibbò, 2016).

Gut microbiome compositions vary between individuals due to genetic factors, environmental factors, and nutrition (Bibbò, 2016). The role of diet on the gut microbiota has seen increasing interest from the scientific community in recent years, but there are not enough studies on the athlete's gut microbiota. In this review, information will be given about the role of exercise on the intestinal microbiota and the importance of the role of the intestinal microbiota on the individual's athletic performance. The gut microbiota plays a huge role in an athlete's performance. The role of diet and athletic performance in the world of sports is well documented, but I think the gut microbiota is an overlooked component in the relationship between diet and sports performances. It is known about the possible positive effects of microbial composition on athletic performance that the composition of the gut microbiota can improve human health.

2.1.THE MICROBIOTA of a ATHLETE

Athlete's must follow a strict training and diet plan to optimize their performance and ultimately race/match results. It is known that diet and exercise have an effect on the intestinal microbiome, therefore it is thought that it may be useful to investigate the intestinal microbiome in relation to exercises. The unusual lifestyle gut microbiome may not be ideal for athlete health, leading to other health risks and possibly even performance declines.

The gut microbiomes of professional gamers and physically active students were compared to those of professional athlete's and e-sports players in a Polish study published in 2023 by Kulecka et al. Between e-sports participants and healthy students, they did not discover any variations in bacterial diversity, Bacteroides/Firmicutes ratio, enterotype cluster composition, metagenome functional content, or SCFA concentrations. Professional athlete's, however, had other parameters. Compared to the other two categories, species from the genera Parabacteroides and Bacteroides were less common among elite athlete's. Furthermore, a reduced Bacteroides/Firmicutes ratio was discovered. These two results are consistent with prior study (Akazawa, 2023). Pro athlete's were also high in the species Roseburia hominis, commonly referred to as butyrate producer (Machiels, 2014). The bacterial species in question is linked to ulcerative colitis when its number declines. Overall, compared to esports players and students, this study by Kulecka et al. revealed that these professional Polish sportsmen have larger abundances of helpful bacteria and lower abundances of harmful bacteria.

2.2. INTESTINAL BRAIN MICROBIOTA AXIS

Certain gut bacterial strains have a direct impact on the Central Nervous System (CNS), influencing neurotransmission through sensory nerve fibers. They are also directly implicated in immunological, endocrine, and vagal systems. Additionally, the CNS affects gastrointestinal secretion and motility, intestinal permeability, and both directly and indirectly (Gayathri, 2017). Several studies have highlighted the possible involvement of microbial dysbiosis in a range of chronic illnesses. Through the gut-brain axis, microbiota exchange information and play a role in the pathogenesis of neurodegenerative diseases. Through the central ventricular organs and autonomic nervous system, the brain and gut may exchange information back and forth. converses. The pathophysiology of gastrointestinal (GI) illnesses, which are biopsychosocial diseases, includes disruption of this axis. Examples of these disorders are irritable bowel syndrome (IBS) and inflammatory bowel disease (IBD) (Bonaz, 2018). Because of its function in interoceptive awareness, the vagus nerve (VN), the principal parasympathetic nervous system component, is referred to as the sixth sense. The sympathetic nervous system is stimulated and the VN is inhibited by stress. The brain-bowel axis interface, which includes both afferent and The VN is a mixed nerve that has the ability to reduce inflammation via its efferent routes. The Vietnam Improving homeostasis can be accomplished by focusing on these illnesses (IBS-IBD). Due to its anti-inflammatory qualities, VN stimulation and depression in particular have drawn attention as treatments for epilepsy (Bonaz, 2018).

2.3. BRAIN-INTESTINAL AXIS AND EXERCISE

Poor eating habits can lead to gastrointestinal (GI) dysfunction, which in turn can induce the emergence of inflammatory disorders. Interestingly, prebiotic administration improved glucose intolerance and decreased inflammation in a study showing alterations in the microbiome of diabetic rats. Additionally, it was discovered that those with inflammatory diseases such obesity and inflammatory bowel disease had worse cognitive function and higher stress-related mental health symptoms like anxiety (Farzi et al., 2018). This is in line with the knowledge that GI function can be improved by neurology therapy measures such selective serotonin uptake inhibitors (SSRIs). These findings highlight the growing significance of "gut health" for maintaining human health and preventing disease, leading researchers to

concentrate increasingly on the "brain-gut axis." There has been an increasing interest in researching the role of the microbiome in mediating the relationship between the gut and the brain. Probiotic supplementation has changed the gut microbiome, which has benefited GI health (abdominal pain, constipation, and diarrhea) and improved psychological disorders (such as depression and anxiety). This demonstrates how intricately the gut microbiota and the brain are related (Dalton et al., 2019). The importance of microbiota in stress tolerance and cognitive function has been demonstrated by a recent study. It is recognized that microorganisms in the gut can impact mucosal tissues locally as well as tissues outside the stomach (brain tissues, for example) via circulating different metabolites (such neurotransmitters and short-chain fatty acids). 'Gut-brain axis' has been conceptualized as a result of these findings (Dinan et al., 2017).

2.4. THE RELATIONSHIP BETWEEN EXERCISE AND THE MICROBIOME

In endurance exercise, both short-term training and longer training periods have effects on the individual's intestinal microbiota and health (Clauss, 2021). Acute exercise consisting of moderate exercise (<70% of VO2 max) and intense exercise (>70% of VO2 max) both have positive effects on the gut microbiome. Intense exercise causes significantly greater disruption of body homeostasis than moderate exercise; inflammation levels rise.

It occurs after intense exercise in elite athlete's, but these changes are temporary and are outweighed by the potential benefits of a high training load. The health benefits can be explained as follows: reduced intestinal permeability caused by moderate exercise. Lower intestinal permeability may prevent pathogens or other antigens from crossing the intestinal barrier, leading to lower levels of inflammation (Clauss, 2021).

Sports have an impact on gut microbiota, according to a 2023 study by Japanese researcher Akazawa (Akazawa, 2023). They studied the periodization of the training phase in elite Japanese athlete's across a range of sports and discovered a correlation between a rise in VO2 max and a decrease in the species Bacteroides. Additionally, it was demonstrated that these athlete's higher anaerobic power was correlated with an increase in Fusicatenibacter. Additionally, they discovered that a reduction in the Bacteroides genus appeared to modify the maximal aerobic activity test in a beneficial way and to lessen the increase of ammonia during exercise. On the other hand, they discovered no connection between microbial alterations and submaximal aerobic capacity. This study suggests that gut health may have an impact on an athlete's condition.

Wolthuis study from 2024 also found a link between specific bacterial species and physical activity (Wolthuis, 2024). This investigation confirmed the findings of Akazawa et al. (2023) by finding a negative connection between Bacteroides species and VO2 max. Furthermore, they discovered a substantial correlation between the bacterial species *Bifidobacterium longum* and *Bifidobacterium adolescentis* and VO2 max in strength and endurance athlete's. These bacterial species have probiotic qualities and produce SCFAs. Additionally, a positive association between VO2 max and Prevotella was discovered. Improved glucose metabolism and glycogen storage have been linked to higher Prevotella to Bacteroides ratios (Kovatcheva-Datchary, 2015). Curiously, they discovered a favorable correlation between microbial diversity and physical fitness, but no discernible variations were found between the control, strength, and endurance athlete's. It is likely that this was due to the fact that all three groups engaged in comparable levels of physical activity and were not affected by the high-intensity exercise-related stressors that are common among elite athlete's. The endurance group exhibited an enrichment of dietary fiber-degrading bacteria, suggesting that the microbiome may adjust to conditions unique to performance.

2.5. THE POTENTIAL NEGATIVE EFFECTS OF INTENSE EXERCISE ON THE GUT MICROBIOME

Participating in sports and regular exercise improves gut health overall and the composition of the gut microbiota. The mix of microorganisms appears to be healthy even in elite athlete's. The composition of the gut microbiota does not appear to be significantly harmed by the quantity of exercise. But as was previously said, engaging in frequent, high-intensity exercise might raise intestinal permeability. The possibility of bacterial translocation from the colon may arise due to this increase in gut permeability, which is linked to an increased risk of gastrointestinal issues (Wegierska, 2022; O'Brien, 2022). A 2017 study also observed an increase in intestinal permeability following vigorous exercise (Karl, 2017). Regardless of the soldiers' diet, this intestinal permeability changed as the physiological stress of military training increased. Here, however, the bacterial makeup did alter in contrast to the previously described investigations. As previously mentioned, soldiers reported a decrease in Bacteroides abundance, which is associated with a greater VO2 max (Akazawa, 2023; Kulecka, 2023).

2.6. MODIFYING THE GUT MICROBIOTA TO IMPROVE EFFICIENCY

There is a bidirectional relationship between the gut microbiota and physical activity. In the event that certain bacterial species are found to improve athletic performance, it will be very beneficial to enrich the human stomach with these species. Probiotic use is a simple approach to modify the human gut flora. Several recent studies have demonstrated the ability of several probiotics to improve performance.

Studies investigating the effect of diet on health have shown that human intestinal flora is influenced by diet. organisation is known to lead to improvements in health. By including functional items in the diet, a healthy and balanced diet can lower the risk of diseases linked to diet. Probiotics and prebiotics are a couple of these useful nutrients. Late The connection between gut bacteria and mental health has drawn more attention in recent years. Studies have also demonstrated the impact of immunological, endocrine, and neural modulation on brain development. The impact of gut microbiota on pathways has been demonstrated (1,2). Colon microbiota in healthy individuals; direct pathogenic microorganisms by inhibiting adhesion and indirectly by the production of chemically modified fatty acids They play a protective role by preventing the colonisation of pathogens. This balance the prediction that health problems will decrease with the protection and maintenance of is replaced by positive experiences gained (Sakin, 2016).

3.PERFORMANCE ENHANCING SUPPLEMENTS

In addition to optimized macronutrient intake, athlete's can also use supplements to further enhance their performance. Many studies have shown that sodium bicarbonate supplementation improves athletic performance in various combat sports and high-intensity cycling, swimming, running, and rowing (Grgic, 2021). Sodium carbonate is an ergogenic acid with extracellular buffering capacity. There is evidence that sports that are more dependent on glycolysis as a fuel source and therefore have higher H^+ accumulation may benefit more from sodium carbonate supplementation than exercises that are too short or too long for significant acidosis (Maughan, 2018). β-alanine has similar functions to sodium bicarbonate; both supplement buffer H^+ and are therefore an interesting supplement for elite rowers where race efforts are generally 6-8 minutes. β-alanine increases carnosine concentration in muscle to maintain muscle pH, which delays exercise-induced fatigue (Kim, 2020).

3.1.PROBIOTICS

A study conducted by Przewłócka provides an example of this, as it examined the effects of probiotics and vitamin D3 supplementation on the aerobic performance of Mixed

Martial Arts (MMA) participants (Przewłócka, 2023). The probiotic cocktail, which included lyophilized strains of *Bifidobacterium lactis* W51, *Levilactobacillus brevis* W63, *Lactobacillus acidophilus* W22, *Bifidobacterium bifidum* W23, and *Lactococcus lactis* W58, was either given as a supplement to MMA athlete's or as a vitamin D3 supplement alone. After a 4-week supplementation, the group that received the probiotic mixture + vitamin D3 had a noticeably longer time to tiredness. Nevertheless, there was no significant difference observed in any other aerobic performance metrics, such as the maximal oxygen uptake and lactate threshold. After using probiotic supplements, there was an improvement in intestinal permeability. After taking probiotic supplements, the intestinal permeability did improve, suggesting that this is still a viable tactic for improving athlete's exercise performance.

Zhu et al. (2023) looked into another probiotic supplementation-based performance-enhancing tactic (Zhu, 2023). This study concentrated on athlete's psychological wellness, which is also a critical component of an elite athlete's performance, rather than strength or aerobic performance (Beckmann, 2015).

The impact of probiotic yogurt (including *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* BB-12) on psychological exhaustion in female Taekwondo competitors was investigated in this study. The 2001-developed Athlete Burnout Questionnaire (ABQ) was used to gauge the psychological exhaustion (Raedeke and Smith, 2001).

When it came to the ABQ tests, the group that received an 8-week dietary supplementation of probiotic yogurt outperformed the control group by a significant margin. It was also discovered that the group that was given probiotics had a notable decrease in Escherichia coli. Since E. Coli has previously been linked to post-stroke cognitive impairment, this bacterial species may possibly be connected to mental exhaustion (Huang, 2021).

A study showing the effects on the intestine-brain axis with appropriate doses of consumption and this probiotic, which has beneficial effects on the condition of patients with mental disorders A new concept of psychobiotics has emerged to describe bacteria. This term was introduced in 2013 by psychiatrist Ted Dinan and neuroscientist John F. Cryan, and has quickly become the subject of studies and analyses related to affective disorders (Karakula, 2015).

3.2.POSTBIOTICS

Postbiotics could be an intriguing additional tactic to enhance athletic performance. In contrast to probiotics, postbiotics are made of bacteria that are no longer alive (Vinderola, 2022). Postbiotics have to be derived from bacteria that are well defined or from a mixture of microorganisms whose genomic sequences are known. Cheng et al. looked into the possibility of using postbiotics to enhance athletic performance (Cheng, 2023). The effects of heat-killed *L. plantarum* TWK10 (TWK10-HK) on body composition, tiredness, muscle weight and strength, and exercise endurance performance were examined in this study. When compared to the control group that performed the same exercise, the exercise endurance time and muscle weight considerably improved after a 6-week administration of TWK10-HK.

3.3.PSYCHOBIOTICS

Psychobiotics are defined as living microorganisms that provide positive effects on mental health when consumed in sufficient amounts (Mörkl, S., et al., 2020). Recent studies have confirmed that serotonin synthesis in the intestine can be regulated by microorganisms. Psychobiotic microorganisms can play important roles in learning processes and memory by regulating neurotransmitters and proteins, including γ-aminobutyric acid, serotonin, glutamate and brain-derived neurotrophic factor. Probiotics such as *Levilactobacillus brevis, Bifidobacterium dentium, L. plantarum* and *Lactobacillus odontolyticus* are among the known psychobiotics (Magalhães-Guedes et al., 2020). The microbiota-gut-brain axis, called "psychobiota", plays an important role in host physiology, such as regulation of

neuroinfammation and neuroendocrine (Lorenzo, 2017). Psychobiotics have hypothesised psychotropic properties is the newest of the agents (Gnanavel, 2015).

4.STUDIES CONDUCTED

Probiotics have been shown in research including athlete's, leisure athlete's, and inactive people to have the ability to enhance physical performance. Preclinical research and clinical trials have demonstrated that probiotic supplementation improves the time to fatigue in both athlete's and non- athlete's. Regarding the effects on physical performance, *Lactiplantibacillus plantarum* TWK10 is one of the probiotic strains that has been researched the most. Mice administered with TWK10 demonstrated a dose-dependent increase in forelimb grip strength and endurance swimming time (Chen et al., 2016; Wosinska et al., 2019). This was demonstrated in a preclinical animal investigation.

When an exerciser reaches 60% of their maximum oxygen intake (VO2 max) or engages in prolonged exercise (>90 min), they exhibit increased HPA axis activation and alteration of the gut flora. Increased HPA axis activation and increased gut damage can also result from psychological stress, such as that which athlete's experience before to competition (Monda et al, 2017). In a similar vein, studies conducted on mice reveal that whilst voluntary activity reduces symptoms, moderate forced treadmill exercise (40 minutes, five times a week) worsens colitis symptoms. The mice might view forced exercise as a psychological stressor, according to the researchers' conjecture. *Bifidobacterium* species supplementation reduced anxiety symptoms and reversed the overactivation of the HPA axis. It is well known that aerobic exercise affects certain strains of *Bifidobacterium.* Here, animals with unrestricted access to wheel motion had higher *Bifidobacterium* counts. Nonetheless, mice that underwent forced exercise showed elevated levels of the phylum Firmicutes' Ruminococcus, Butyrivibrio, and Oscillospira. Surprisingly, because of their involvement in neuropsychiatric illnesses, a large number of these diverse species are classified as psychobiotics (Li et al., 2018).

Probiotic supplementation is known to benefit the athlete's physical performance during exercise, as well as early recovery after exercise. Acute muscular injury, exhaustion, and soreness are increased by high intensity exercise, which lowers sports performance. The skeletal muscle tissues sustain microdamage from excessive mechanical load, which results in localized inflammation and decreased muscular performance. muscular tissue inflammation is a method of muscular adaptation that allows the muscle to self-repair and rejuvenate. Elevated systemic concentrations of muscle-derived proteins, including myoglobin and creatine kinase (CK), have been linked to mechanical overload. A cytokine called interleukin (IL)-6 is generated when muscles contract during exercise and is elevated in plasma during intense physical activity. Differences between a probiotic group and a placebo group receiving *L. plantarum* PS128 supplementation were studied in athlete's competing in a full triathlon championship. Three hours after exercise, CK levels were considerably lower in the probiotic group than in the placebo group (Huang et al, 2019). In a different study, recreationally trained men's muscle recovery status scores rose after taking *Bacillus coagulans* BC30 for two weeks in addition to casein supplementation alone (Jager et al., 2016).

5.DISCUSSION

In general, the human gut microbiota is significantly impacted by both moderate and vigorous exercise. This increases the diversity of the gut microbiome and microorganisms linked to health, which is generally a good thing. Intense exercise appears to enhance intestinal permeability and inflammation while moderate exercise appears to lower these parameters. There is no direct impact on an athlete's performance because the chronic illnesses linked to this increase in intestinal permeability are likely to manifest later in life. Although the short-term benefits of vigorous exercise appear to exceed the detrimental impact on gut health, it is

nevertheless crucial to recognize the potential long-term hazards associated with these exercise programs.

There is unquestionably a connection between certain bacterial taxa and metrics related to athletic performance like VO2 max and anaerobic power. For example, better performance has been linked to a higher abundance of butyrate-producing bacteria such as *Clostridiales* and *Roseburia*, whereas some taxa, such as *Bacteroides*, have a negative correlation with aerobic ability. With this information, future targeted treatments and research can be conducted to optimize the composition of the gut microbiome and improve athletic performance. One such intervention could be the use of probiotic supplements containing helpful bacterial strains. It is still not quite apparent, though, whether greater athletic performance and the corresponding changes in diet and training load impact the bacterial composition or if the bacterial composition itself enhances athletic performance. This relationship is most likely reciprocal because research has shown that probiotics can enhance aerobic performance, but there is also evidence that specific diets, such as high-carbohydrate diets used by endurance athlete's, and exercise load can change the makeup of bacteria.

It's critical to understand that an athlete's performance is not much impacted by their gut microbiota. As a result, the main goal of an athlete's diet should still be to properly fuel their body, with a secondary focus on muscle growth and recovery. Athlete's can also incorporate substances in their diet that enhance the microbial composition or maintain a healthy gut permeability.

6.CONCLUSION

Probiotics are frequently used to improve athlete's health because of all the well-established advantages and favorable safety profiles of probiotic supplements that have been documented in the scientific and medical literature. Athlete's who regularly consume specific probiotic strains can improve immune function and endure fewer sick days during training and performance. Certain probiotic strains can lessen GI discomfort and the intensity of respiratory infections. Benefits from probiotics vary depending on the strain and dosage. Better nutrition absorption and performance are linked in athlete's with enhanced intestinal barrier function. Athlete's should be urged to utilize probiotic strains that have been professionally studied and proven to provide the desired health benefits when selecting a product. According to available research, exercise may modify the microbiome to mediate a two-way link between the gut and the brain. Exercise can be a therapeutic component and technique for both psychological and gastrointestinal illnesses, which may be explained by this link. The duration of administration of probiotic and prebiotic supplements varies in the studies. New studies with long-term supplementation and stool testing at the end of supplementation to analyze the extent to which probiotic bacteria have settled in the intestinal flora should be added to the literature. Subsequent investigations ought to concentrate on the processes that underlie the impact of exercise on the microbiota and the mediators associated with the gut-brain axis. This may result in the creation of different therapy regimens (probiotics with exercise) to enhance particular disease conditions. In addition, diets recommended to athlete's to 'nourish the microbiota for athletic performance' need to ensure healthy nutrition in all aspects. Even if single or multiple-strain interventions are common, the athlete's diet should be intervened in its entirety. For this reason, new studies on the effect of the microbiota factor on performance in athlete's should emphasize whether a standard diet or a special type of diet is used. At the same time, the effects of psychobiotics on performance should be examined.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

Akazawa, N., Nakamura, M., Eda, N., Murakami, H., Nakagata, T., Nanri, H., ... & Hoshikawa, M. (2023). Gut microbiota alternation with training periodization and physical fitness in Japanese elite athletes. Frontiers in Sports and Active Living, 5.

Beckmann, J., & Elbe, A. M. (2015). Sport psychological interventions in competitive sports. Cambridge Scholars Publishing.

Bibbo, S., Ianiro, G., Giorgio, V., Scaldaferri, F., Masucci, L., Gasbarrini, A., & Cammarota, G. J. E. R. M. P. S. (2016). The role of diet on gut microbiota composition. European Review for Medical & Pharmacological Sciences, 20(22).

Bonaz, B., Bazin, T., & Pellissier, S. (2018). The vagus nerve at the interface of the microbiota-gut-brain axis. Frontiers in neuroscience, 12, 336468.

Chen, Y. M., Wei, L., Chiu, Y. S., Hsu, Y. J., Tsai, T. Y., Wang, M. F., & Huang, C. C. (2016). Lactobacillus plantarum TWK10 supplementation improves exercise performance and increases muscle mass in mice. Nutrients, 8(4), 205.

Cheng, Y. C., Lee, C. C., Lee, M. C., Hsu, H. Y., Lin, J. S., Huang, C. C., & Watanabe, K. (2023). Effects of heat-killed Lactiplantibacillus plantarum TWK10 on exercise performance, fatigue, and muscle growth in healthy male adults. Physiological Reports, 11(19), e15835.

Dalton, A., Mermier, C., & Zuhl, M. (2019). Exercise influence on the microbiome–gut–brain axis. Gut microbes, 10(5), 555-568.

De Lorenzo, A., Costacurta, M., Merra, G., Gualtieri, P., Cioccoloni, G., Marchetti, M., ... & Di Renzo, L. (2017). Can psychobiotics intake modulate psychological profile and body composition of women affected by normal weight obese syndrome and obesity? A double blind randomized clinical trial. Journal of translational medicine, 15, 1-12.

Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2017). The microbiome-gut-brain axis in health and disease. Gastroenterology Clinics, 46(1), 77-89.

do Nascimento, A. S. M., & da AnunciaÃ, T. A. (2020). Psychobiotics in daily food against psychiatric disorders. African Journal of Food Science, 14(6), 161-166.

Farzi, A., Fröhlich, E. E., & Holzer, P. (2018). Gut microbiota and the neuroendocrine system. Neurotherapeutics, 15(1), 5-22.

Gayathri, D., & Rashmi, B. S. (2017). Mechanism of development of depression and probiotics as adjuvant therapy for its prevention and management. *Mental Health & Prevention*, *5*, 40-51.

Gnanavel, S. (2015). Psychobiotics: the latest psychotropics. Indian journal of psychological medicine, 37(1), 110-110.

Gomaa, E. Z. (2020). Human gut microbiota/microbiome in health and diseases: a review. Antonie Van Leeuwenhoek, 113(12), 2019-2040.

Grgic, J., Pedisic, Z., Saunders, B., Artioli, G. G., Schoenfeld, B. J., McKenna, M. J., ... & Campbell, B. I. (2021). International Society of Sports Nutrition position stand: sodium bicarbonate and exercise performance. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 18, 1-37.

Huang, Y., Shen, Z., & He, W. (2021). Identification of gut microbiome signatures in patients with post-stroke cognitive impairment and affective disorder. Frontiers in Aging Neuroscience, 13, 706765.

Jäger, R., Shields, K. A., Lowery, R. P., De Souza, E. O., Partl, J. M., Hollmer, C., ... & Wilson, J. M. (2016). Probiotic Bacillus coagulans GBI-30, 6086 reduces exercise-induced muscle damage and increases recovery. PeerJ, 4, e2276.

Karakuła-Juchnowicz, H., Pankowicz, H., Juchnowicz, D., Szachta, P., & Małecka-Massalska, T. (2015). Psychobiotics: new possibilities for treatment of affective disorders. Farmakoterapia w Psychiatrii i Neurologii, (31), 3-4.

Karl, J. P., Margolis, L. M., Madslien, E. H., Murphy, N. E., Castellani, J. W., Gundersen, Y., ... & Pasiakos, S. M. (2017). Changes in intestinal microbiota composition and metabolism coincide with increased intestinal permeability in young adults under prolonged physiological stress. American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology, 312(6), G559-G571.

Kim, J., & Kim, E. K. (2020). Nutritional strategies to optimize performance and recovery in rowing athletes. Nutrients, 12(6), 1685.

Kovatcheva-Datchary, P., Nilsson, A., Akrami, R., Lee, Y. S., De Vadder, F., Arora, T., ... & Bäckhed, F. (2015). Dietary fiber-induced improvement in glucose metabolism is associated with increased abundance of Prevotella. Cell metabolism, 22(6), 971-982.

Kulecka, M., Fraczek, B., Balabas, A., Czarnowski, P., Zeber-Lubecka, N., Zapala, B., ... & Ostrowski, J. (2023). Characteristics of the gut microbiome in esports players compared with those in physical education students and professional athletes. Frontiers in Nutrition, 9, 1092846.

Li, C., Cai, Y. Y., & Yan, Z. X. (2018). Brain-derived neurotrophic factor preserves intestinal mucosal barrier function and alters gut microbiota in mice. The Kaohsiung journal of medical sciences, 34(3), 134-141.

Machiels, K., Joossens, M., Sabino, J., De Preter, V., Arijs, I., Eeckhaut, V., ... & Vermeire, S. (2014). A decrease of the butyrate-producing species Roseburia hominis and Faecalibacterium prausnitzii defines dysbiosis in patients with ulcerative colitis. Gut, 63(8), 1275-1283.

Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., Larson-Meyer, D. E., Peeling, P., Phillips, S. M., ... & Engebretsen, L. (2018). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. International journal of sport nutrition and exercise metabolism, 28(2), 104-125.

Milani, C., Duranti, S., Bottacini, F., Casey, E., Turroni, F., Mahony, J., ... & Ventura, M. (2017). The first microbial colonizers of the human gut: composition, activities, and health implications of the infant gut microbiota. Microbiology and molecular biology reviews, 81(4), 10-1128.

Mörkl, S., Butler, M. I., Holl, A., Cryan, J. F., & Dinan, T. G. (2020). Probiotics and the microbiota-gut-brain axis: focus on psychiatry. Current nutrition reports, 9, 171-182.

O'Brien, M. T., O'Sullivan, O., Claesson, M. J., & Cotter, P. D. (2022). The athlete gut microbiome and its relevance to health and performance: a review. Sports Medicine, 52(Suppl 1), 119-128.

Przewłócka, K., Folwarski, M., Kaczmarczyk, M., Skonieczna-Żydecka, K., Palma, J., Bytowska, Z. K., ... & Kaczor, J. J. (2023). Combined probiotics with vitamin D3 supplementation improved aerobic performance and gut microbiome composition in mixed martial arts athletes. Frontiers in Nutrition, 10.

Raedeke, T. D., & Smith, A. L. (2001). Development and preliminary validation of an athlete burnout measure. Journal of sport and exercise psychology, 23(4), 281-306.

Sakin, Y. S., & Tanoglu, A. (2016). Prebiotics and their effects on human health. Medicine Science, 5, 210-223.

Vinderola, G., Sanders, M. E., & Salminen, S. (2022). The concept of postbiotics. Foods, 11(8), 1077.

Wegierska, A. E., Charitos, I. A., Topi, S., Potenza, M. A., Montagnani, M., & Santacroce, L. (2022). The connection between physical exercise and gut microbiota: implications for competitive sports athletes. Sports Medicine, 52(10), 2355-2369.

Wolthuis, G. Y. (2024). Elite sports and the gut microbiome (Doctoral dissertation).

Zhu, J., Zhu, Y., & Song, G. (2023). Effect of Probiotic Yogurt Supplementation (Bifidobacterium animalis ssp. lactis BB-12) on Gut Microbiota of Female Taekwondo Athletes and Its Relationship with Exercise-Related Psychological Fatigue. Microorganisms, 11(6), 1403.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Numerical Investigation of the Effects of Turbulence Model and Impeller Design on Velocity and Pressure Distribution in Centrifugal Pumps

Fuat TAN[1]
Merve Sinem AMUCA[2]

Abstract

The computer-aided design and performance optimization of centrifugal pumps, which are extensively utilized in the industrial sector, significantly reduce costs. Considering the limited number of design parameters tested through experimental methods, this disadvantage has been mitigated by selecting a wide range of parameters. Through experimental design methods, geometric and operational parameters selected during the design phase are systematically executed to obtain a mathematical equation for performance and comparative result graphs. The selected design and operating parameters were defined in the experimental design table, and finite element computational fluid dynamics analyses were conducted using the analysis inputs provided by the method. In this study, the design of a sample centrifugal pump was conducted in a computer environment, and the effects of impeller curvature radius and inlet velocity on internal pump velocity and pressure distribution were analyzed using commercial CFD software. As the selection of turbulence models within the analysis program affects the results, the most commonly used k-epsilon and k-w turbulence models were compared in centrifugal pump analyses. By modeling pump internal velocity and flow behavior using the central composite experimental design method, the relationship between result parameters in 3D space was established, and performance behavior was examined. The obtained result visuals, comparative graphs, and response functions indicate that the selected impeller curvature radius and turbulence model are critical parameters influencing pump efficiency.

Keywords: Centrifugal Pump, CFD, Performance, Turbulence model

[1] Ass.Prof., Balikesir University, Mechanical Engineering, fuattan@balikesir.edu.tr, Orcıd: 0000-0002-4194-5591
[2] Balikesir University, Mechanical Engineering, merveamuca41@gmail.com, Orcıd:0009-0009-5391-8695

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Ülkemizde sanayi kuruluşlarının tükettiği elektriğin yaklaşık %70'i elektrik motorları tarafından kullanılmaktadır. Bu elektrik motorlarının harcadığı enerjinin yaklaşık %20'si ise pompalar tarafından tüketilmektedir (Esen, 2015). Pompalar, uzun ömürlü ve dayanıklı çalışma şartlarına uygun olarak tasarlanmaktadır. Bu tasarım kriterleri, pompaların verimli ve sürekli çalışmasını sağlarken, zaman zaman kapasitelerine oranla yüksek enerji tüketimine yol açabilmektedir. Özellikle yüksek debi ve basınç gerektiren uygulamalarda, bu enerji tüketimi belirgin hale gelmekte ve operasyonel maliyetlerde artışa neden olabilmektedir. Bu nedenle, pompaların enerji verimliliğini artırmak ve gereksiz enerji tüketimini minimize etmek amacıyla, doğru boyutlandırma, uygun motor seçimi ve düzenli bakım gibi faktörlerin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır (Ovalı vd., 2021). Bu bağlamda, santrifüj pompalar, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan pompalar arasında önemli bir yer tutmaktadır. Santrifüj pompaların etkin ve verimli kullanımı, enerji tasarrufu sağlama ve operasyonel maliyetleri düşürme açısından kritik öneme sahiptir.

Santrifüj pompalar, akışkanların mekanik enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürerek taşınmasını sağlayan kritik öneme sahip hidrolik makineler arasında yer almaktadır. Bu pompalar, endüstriyel süreçlerden evsel kullanıma kadar geniş bir yelpazede uygulama alanı bulmaktadır. Santrifüj pompaların çalışma prensibi, dönen bir çark aracılığıyla akışkana hız kazandırılması ve bu hızın çıkış noktasında basınç enerjisine dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır. Bu pompalar, düşük viskoziteli akışkanların taşınmasında yüksek verimlilik sunmaları nedeniyle özellikle tercih edilmektedir.

Santrifüj pompaların tasarımı ve performansı, hidrodinamik ilkeler, akışkanlar mekaniği ve malzeme bilimi gibi disiplinler arası bir yaklaşımla optimize edilmektedir. Pompaların verimlilik analizleri, hidrolik kayıplar, kavitasyon riskleri ve enerji tüketimi gibi parametreler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir. Bunun yanı sıra, gelişen teknoloji ile akıllı pompa sistemleri ve enerji tasarrufu sağlayan çözümler, santrifüj pompaların operasyonel verimliliğini artırmakta ve sürdürülebilir endüstriyel uygulamalara katkıda bulunmaktadır.

Şenol ve ark. yaptıkları çalışmada demir-çelik sektöründeki bir işletmenin su tesisindeki pompaları için enerji tasarrufu potansiyeli üzerinde çalışmışlardır. Yanlış pompa seçimi ve tasarımıyla oluşan enerji israfının, otomasyon ve değişken devirli çalışma ile önemli ölçüde azaldığı sonucuna varmışlardır. Bu iyileştirmeler sayesinde enerji tüketimi düşürülmüş ve yatırım maliyetinin kısa sürede geri kazanıldığı sonucuna varmışlardır (Şenol ve Karakuş, 2017).

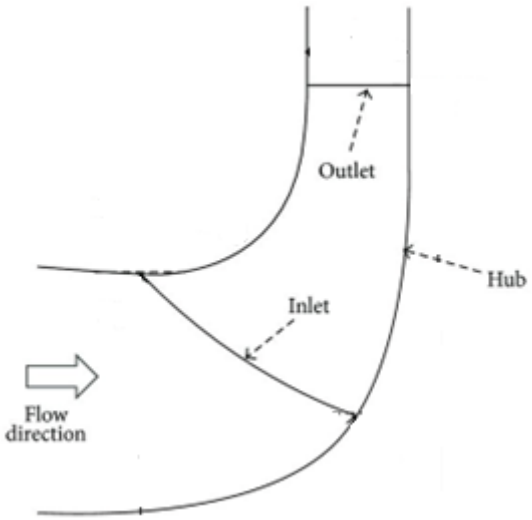
Tural, 2013 yılında yapmış olduğu çalışmada, artan nüfus ve sanayileşme nedeniyle üretim süreçlerinin hızlanması gerektiğini ancak bunun da yeni problemler ortaya çıkarttığını gözlemlemiştir. Enerji, kimya, ilaç ve petrokimya sektörlerinde kullanılan santrifüj pompalar, hassas ve güvenilir üretim süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmada, bir pompanın modal, akış ve yapısal analizleri ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve tasarım iyileştirmeleri ile performans optimizasyonu yapılmıştır (Tural, 2013).

Ataş, sonlu elemanlar metodunu kullanarak santrifüj pompa tasarımı ve performans iyileştirilmesini incelemiştir. SolidWorks ve CFD yazılımlarıyla yaptığı üç boyutlu modelleme ve akış analizleri ile, pompanın performans optimizasyonunu sağlamış ve deneysel verilerle karşılaştırmıştır. Sonuçların, sayısal ve deneysel karakteristik eğrileri arasında yüksek uyum gösterdiği kanısına varmıştır (Ataş, 2005).

Kaya, 2009 yılında üzerinde çalıştığı projede, santrifüj pompa tasarımında hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamalarıyla, en iyi performansı sağlayacak pompalar tasarlamıştır. Çalışmasında yatay milli, tek kademeli bir santrifüj pompanın iç akışını Ansys Fluent yazılımını kullanarak simüle etmiş ve su ile viskoz yağların performansını karşılaştırmıştır. Sonuçlar, sayısal ve deneysel eğriler arasında uyum göstermiş, ayrıca malzeme yüzey pürüzlülüğünün pompa performansını su basılması durumunda önemli ölçüde etkilediğini ancak viskoz yağlar için değişiklik olmadığı sonucuna varmıştır (Kaya, 2009).

Ramakrishna ve ark. yaptıkları çalışmada, petrol ve gaz üretim hızının artmasının önemli olduğunu ve bu amaçla, verimli bir santrifüj pompa çarkının tasarımının büyük önem taşıdığını belirtmişlerdir. Farklı akış oranları için pompanın performansını sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmişler ve üreticilerden alınan verilerle uyumlu sonuçlar bulmuşlardır. Son olarak, farklı malzemelerin tek çark bıçağının yapısal analizini gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri verilerin, pompa tasarımında endüstriyel kullanım için önemli olduğu sonucuna varmışlardır (Ramakrishna vd., 2021).

Bu çalışmanın amacı, deneysel tasarım yöntemini kullanarak farklı türbülans modellerinin santrifüj pompa içi akış etkisini incelemek ve bu etkiyi grafikler ve matematiksel denklemler aracılığıyla ortaya koymaktır. Bu şekilde, dönme hızı ve eğrilik yarıçapının pompa içi hız ve basınç dağılımına olan etkisi farklı türbülans modelleri ile analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 1: *Çarkın tipik meridyenel profili (Ramakrishna vd., 2021)*

YÖNTEM

CFD analizi, karmaşık geometrilerin detaylı modellemesi, ağ oluşturma süreci, sınır koşullarının titizlikle tanımlanması, uygun sayısal yöntemlerin ve algoritmaların seçimi, denklemlerin karmaşıklığının çözülmesi ve sonuçların detaylı bir şekilde analiz edilmesi gibi birçok adımı içerir. Sonuçların doğruluğu, model geometrisinin detaylı ve doğru bir şekilde temsil edilmesi, ağın yeterli incelikte olması, sınır koşullarının gerçek fiziksel durumu doğru bir şekilde yansıtması ve en uygun sayısal yöntemlerin seçilmesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Pompanın debisi, birim zamanda çıkış flanşından çıkan sıvı hacmidir ve genellikle birimi m^3/s olarak ifade edilir. Toplam yük (Manometrik Basma Yüksekliği), pompanın birim akışkanı için kazandırdığı faydalı enerji miktarını temsil eder. Birimi metre (m) olan bu yük, yoğunluktan bağımsız bir ifadedir. Bu, pompanın aynı kinematik viskoziteye sahip farklı sıvılar için aynı toplam yükü sağlayacağı anlamına gelir. Toplam yük (H), Bernoulli denklemiyle pompa giriş ve çıkış flanşları arasındaki basınç farkıyla ifade edilir ve basılan sıvıdan bağımsız olarak metre cinsinden ifade edilir.

Toplam yük (Manometrik Basma Yüksekliği) denklemi;

$$H = \frac{(p_2 - p_1)}{\rho . g} + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} + (z_2 - z_1)$$

Hidrolik güç, bir akışkanın birim zamanda taşıdığı enerji miktarını ifade eder. Hidrolik güç, genellikle bir pompa veya türbin gibi hidrolik cihazlarla ilişkilendirilir. Pompanın debi ve basma yüksekliğiyle doğru orantılıdır. Bir pompa ne kadar yüksek bir basma yüksekliği ile bir akışkanı pompalarsa ve ne kadar yüksek bir debi sağlarsa, hidrolik güç o kadar yüksek olur. Bu, pompanın belirli bir işi gerçekleştirmek için gereken enerji miktarını temsil eder.

Hidrolik güç denklemi;

$$P_{hid} = \rho . g . Q . H$$

Mil gücü, pompa miline aktarılan güç, genellikle motor veya kaplin tarafından sağlanan mil gücü olarak adlandırılır. Pompaların verimliliği ve performansını değerlendirmek için önemli bir ölçüttür ve genellikle pompanın tasarımı ve işletilmesi üzerine yapılan çalışmalarda dikkate alınır. Bu değer, pompanın etkinliği ve enerji tüketimi gibi faktörlerin analizinde kritik bir rol oynar.

Mil gücü denklemi;

$$P_{mil} = T . \omega$$

Verim, pompanın akışkana aktardığı hidrolik güç ile giriş mil gücü arasındaki oranı ifade eder ve pompa sisteminin verimliliğini belirlemek için önemli bir ölçüttür.

Verim denklemi;

$$\eta = \frac{P_{hid}}{P_{mil}}$$

Özgül hız, en verimli çalışma noktasında birim debi ve birim toplam yük arasındaki teorik ilişkiyi ifade eder. Boyutsal analizle elde edilen bu değer, pompanın geometrik özelliklerini belirler ve farklı pompalar arasında karşılaştırma yapmayı mümkün kılar.

Özgül hız denklemi;

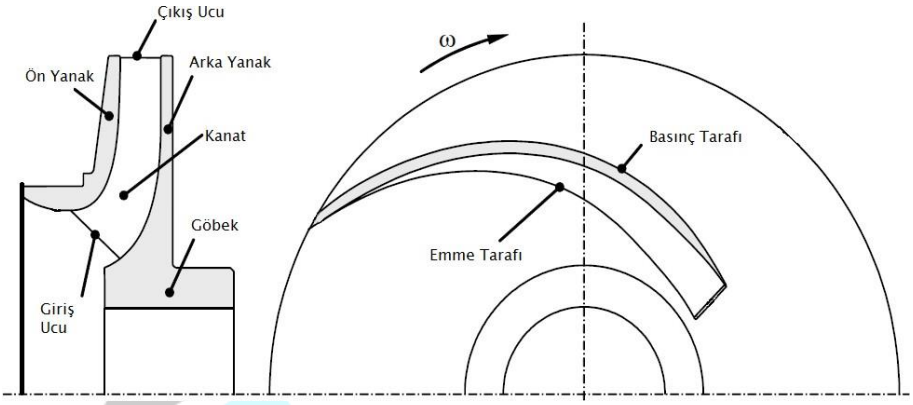
$$\eta_{sq} = \eta . \frac{\sqrt{Q_{evn}}}{H_{evn}^{3/4}}$$

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri Ansys-Fluent programı ile sonlu hacimler metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan materyaller ile uygulanan sayısal yöntemler, ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Yapılan çalışmalarla elde edilen veriler doğrultusunda, mevcut santrifüj pompa içerisindeki akış yapısını daha iyi anlamak amacıyla sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar, santrifüj pompaların verimliliğini artırmak için yapılabilecek tasarım değişikliklerinin önemini ve bu değişikliklerin sayısal analizlerle nasıl optimize edilebileceğini ortaya koymaktadır. Böylelikle, santrifüj pompa tasarımında sayısal analizlerin ve hidrolik optimizasyonun ne kadar kritik bir rol oynadığı vurgulanmak istenmiştir.

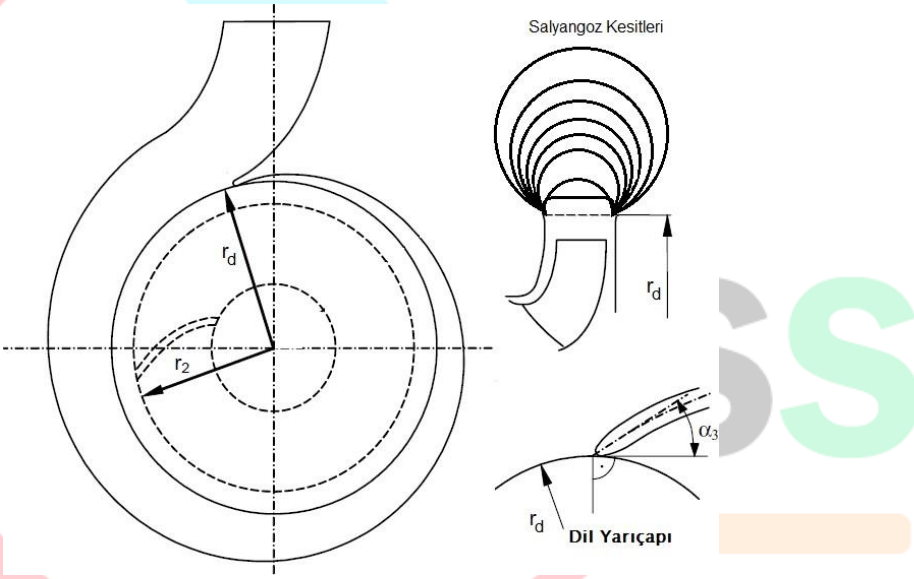
POMPA TASARIMI

Akışkanın dönüş hareketine zorlanmasıyla oluşan teğetsel hızını, dönen kanatçık veya çarklar sağlamaktadır. Pompanın hidrolik tasarımında, çarkın boyutlandırılması ve şekli en önemli parametrelerdir. Çünkü bu durum sürtünme kayıplarını, sınır tabaka ayrılmalarını ve iç sirkülasyonu azaltır. Böylece dengesiz akış, titreşim ve buna bağlı mekanik yükler de azalır. Yapılan çalışmada bu etmen gözönüne alınarak tasarım ve performans analizi yapılmış ve pompa eğrilik yarıçapı deneysel tasarım için bir parametre olarak seçilmiştir.



Şekil 2: *Pompa çarkının meridyenel ve üstten görünümü (Johann vd., 1999)*

Akışkanın çarkı terk ederek pompa çıkışına yönlendirilmesini pompa gövdesi sağlar. Gövde yapısı, pompanın tasarım gereksinimlerine bağlı olarak salyangoz, difüzörlü salyangoz veya difüzörlü gövde şeklinde belirlenir. Bu gövde yapıları, akışkanın kinetik enerjisini basınca dönüştürmek ve akışkanı pompa çıkışına veya bir sonraki kademe çarkına iletmek amacıyla tasarlanmıştır.



Şekil 3: *Pompa salyangoz gövdesi ve kesitleri (Gobran vd., 2019)*

DENEYSEL TASARIM

Bu çalışmada, sayısal analizler 3 boyutlu eksenel simetrik bir CFD modeli ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde Design Expert programında Central Composite deneysel tasarım yöntemi kullanılarak 3 boyutlu eksende grafikler oluşturulup sonuçların yorumlanması sağlanmıştır. Yürütülen analizler, pompa eğrilik yarıçapı ve kanatçık dönüş hızı olmak üzere 2 değişken seçilerek gerçekleştirilmiştir;

Eğrilik yarıçapı

Pompa tasarımı SolidWorks ticari tasarım programında, eğrilik yarıçapı (radyus) dikkate alınarak yapılmıştır. Tasarım, gövde ve kanatçıklardan oluşan bir tasarıma sahiptir ve Şekil 4 te verilmiştir. Tasarıma ait minimum ve maximum parametrik ölçü değerleri Tablo 1 ve 2 de verilmiştir.

Dönme devir hızı

Pompa hız ve basınç dağılım sonuçlarına etki eden diğer bir parametre dönme devridir. Çalışmada, minimum ve maximum dönme devir hız aralık değerleri belirlenerek analiz sonuçlarına olan etkileri; sonuç kontürleri, matematiksel denklem ve 3D yanıt yüzeyi ile açıkça ortaya konulmuştur. Tablo 1 ve 2 de sınır aralık değerleri verilmiştir.

***Tablo1** : K-epsilon türbülans modeli için deneysel tasarım parametre tablosu*

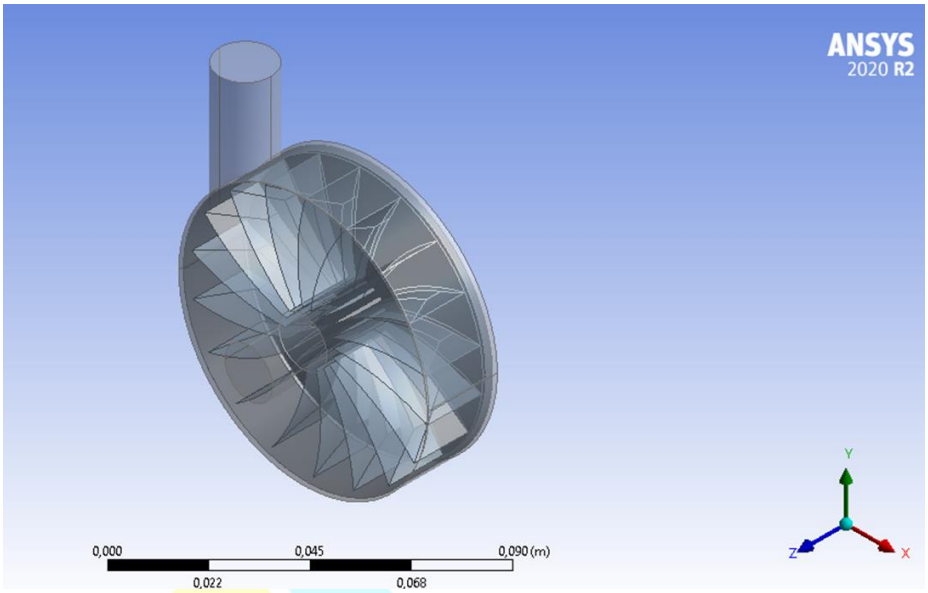
Run	Factor 1 A:RADYUS mm	Factor 2 B:SPEED rad/s	Response 1 PRESSUREP1 PA	Response 2 VELOCITYP1 m/s	Response 3 PRESSUREt PA	Response 4 VELOCITYt m/s
1	80	100	1,71059	3,76782	2,15929	3,74978
2	136,569	100	1,70684	3,74087	2,38904	3,74978
3	120	120	1,67373	4,59803	2,49895	4,49974
4	80	100	1,72193	3,76817	2,15882	3,74978
5	23,4315	100	1,732	3,72288	2,35573	3,74978
6	40	120	1,6154	4,61376	2,57174	4,49974
7	40	80	0,9199	2,9296	1,03352	2,99983
8	80	128,284	1,84306	4,9458	2,48168	4,81039
9	80	100	1,72193	3,76817	2,15882	3,74978
10	80	71,7157	0,814822	2,68132	0,823706	2,68919
11	120	80	0,857844	2,94933	0,940532	2,99983
12	80	100	1,72193	3,76817	2,15882	3,74978

***Tablo 2 :** K-omega türbülans modeli için deneysel tasarım parametre tablosu*

Run	Factor 1 A:RADYUS mm	Factor 2 B:SPEED rad/s	Response 1 PRESSUREP1 PA	Response 2 VELOCITYP1 m/s	Response 3 PRESSUREt PA	Response 4 VELOCITYt m/s
1	80	100	1,86138	4,92459	1,85821	3,74978
2	136,569	100	2,01003	4,5359	2,10866	3,74978
3	120	120	1,93078	4,65453	2,72448	4,49974
4	80	100	1,96245	5,91165	1,96106	3,74978
5	23,4315	100	2,12693	5,69592	2,0886	3,74978
6	40	120	1,98393	4,65154	2,73969	4,49974
7	40	80	0,867556	3,1398	0,968721	2,99983
8	80	128,284	1,76673	4,98185	2,83543	4,81039
9	80	100	1,96245	5,91165	1,96106	3,74978
10	80	71,7157	0,511851	2,81001	0,623028	2,68919
11	120	80	0,822463	3,03465	0,897073	2,99983
12	80	100	1,96245	5,91165	1,96106	3,74978

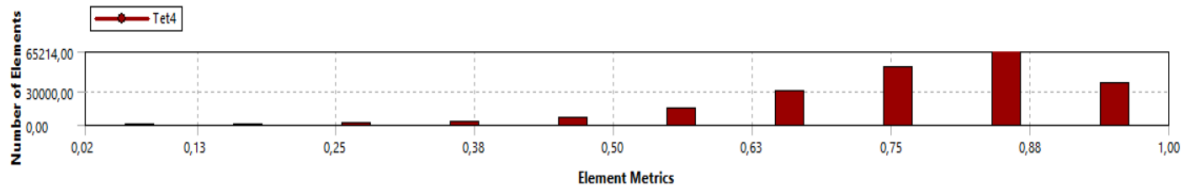
AKIŞ ANALİZ ADIMLARI

Hesaplamalı akış analizleri Ansys Fluent ticari programında, 2 farklı türbülans modeli seçilerek karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Seçilen türbülans modelleri pompa analizlerinde yaygın olarak kullanılan K-epsilon ve K-omega türbülans modelleridir. Şekil 4 de görüldüğü üzere santrifüj pompanın içindeki kanatçıkların tasarımı SolidWorks bilgisayar destekli tasarım programı kullanılarak yapılmıştır. Mesh ağ yapısının oluşturulması ve sınır şartlarının tanımlanmasıyla fiziksel model oluşturularak sistematik bir analiz yürütülmüştür.

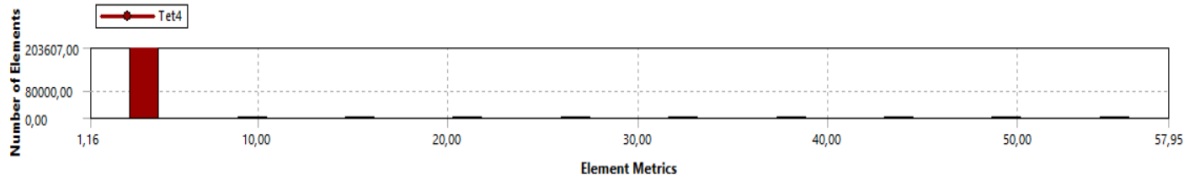


Şekil 4: *Santrifüj pompaya ait izometrik görünüm*

Ardından yapılacak analizlerde sık ve homojen bir mesh görünümünü elde etmek için resolution katsayısı 6 olarak seçilmiştir ve mesh sonucunda oluşan eleman sayısı 204090, düğüm sayısı ise 48891'dir. Oluşturulan mesh ağ yapısına ait element quality ve aspect ratio grafikleri şekil 5 ve şekil 6 da verilmiştir.

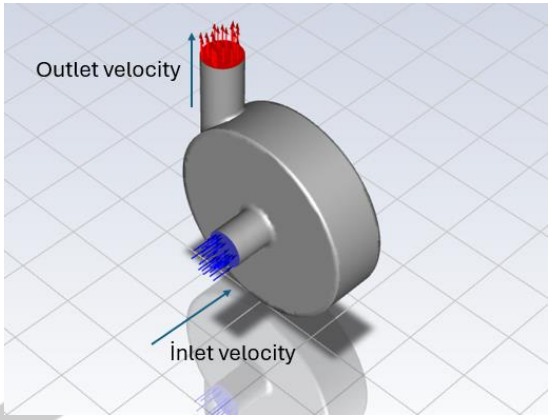


Şekil 5: *Element Quality mesh metric değerleri*



Şekil 6: *Aspect Ratio mesh metric değerleri*

Çalışma kapsamında sınır şartları olarak; şekil 7 deki giriş ve çıkış bölgeleri tanımlanmıştır. İç akış domain bölgesinde mesh motion yöntemi ile kanatçıklara dönme devri kazandırılmıştır.



Şekil 7: *Giriş ve çıkış sınır şartları*

Parametre tablolarına baktığımız zaman bu çalışmada analiz parametreleri olarak iki ana bileşen seçilmiştir: kanatların eğrilik yarıçapı ve dönme devir hızı. Kanatların eğrilik yarıçapı için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 40 ve 120 cm olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde, kanatların dönme hızı başlangıçta 80 ve 120 rad/sn olarak seçilmiştir. Bu çalışma, belirlenen eğrilik yarıçapı ve dönme hızının kanatlar ve oluşturulan bir yüzey (Plane) üzerindeki hız ve basınç dağılımı üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır.

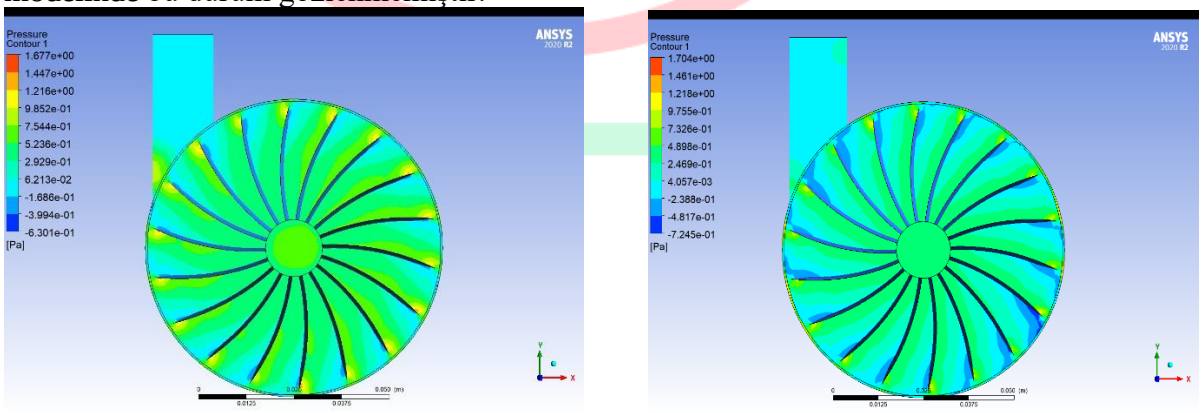
Ancak çalışmanın asıl odak noktası, bu etkilerin gözlemlenmesi değil, aksine bu etkileri belirleyen türbülans modelleri arasındaki farklılıkların incelenmesidir. Bu bağlamda, çalışmanın temel amacı, seçilen K-epsilon ve K-omega türbülans modellerinin oluşturduğu etkilerin birbirinden farklarını ortaya koymaktır. Böylece, hangi türbülans modelinin seçildiğine bağlı olarak oluşan hız ve basınç dağılımlarının nasıl değiştiği ortaya konulmuştur.

SONUÇLAR

Basınç ve hız dağılımı analiz sonuçları, kanatçık kalınlık merkezinde bir yüzey (Plane) oluşturulmak suretiyle ve kanatçık bölgesinde olmak üzere 2 ayrı bölgede incelenmiştir.

Yüzey Basınç Dağılımı

Yüzeydeki K-omega türbülans modeli ile oluşan basınç fark değeri diğer türbülans modeline göre daha yüksektir. Özellikle kanatçık uçlarına yakın bölgelerde bu dağılım kontürleri şekil 8'de açıkça görülmektedir. K-omega türbülans modeli için kanat arkası negatif basınç etkisi merkeze doğru geniş bir yelpazeyle yayılım göstermektedir. Giriş borusunun alt bağlantı kısmında K-epsilon için negatif basınç bölgesi olmasına rağmen K-omega türbülans modelinde bu durum gözlenmemiştir.

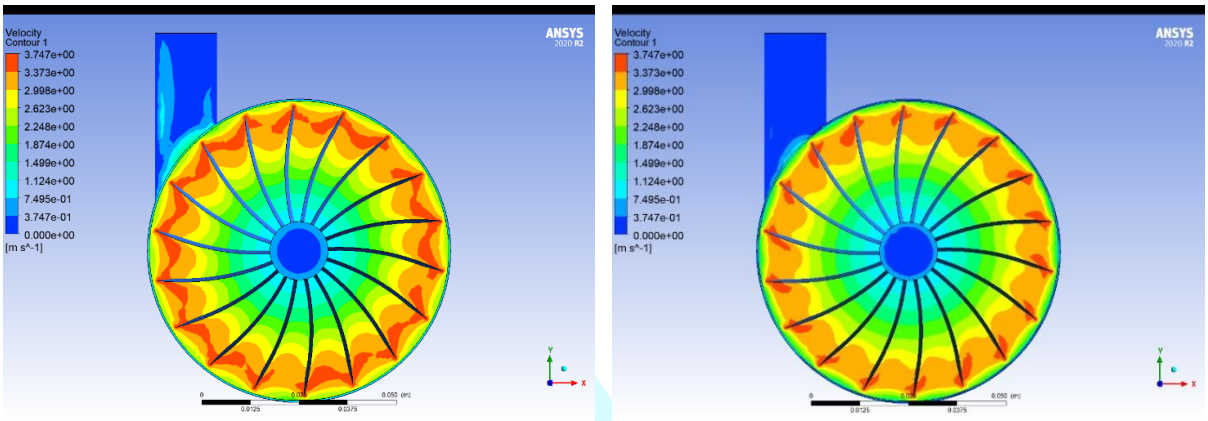


a) K-epsilon **b)** K-omega

Şekil 8: *Yüzey basınç dağılım kontürleri*

Yüzey Hız Dağılımı

Her iki türbülans modelinde de maksimum hız beklendiği üzere kanat uçlarındadır. K-epsilon modelinde oluşan bu maksimum hız, kanat uç aralarında da devam etmektedir. K-omega türbülans modelinde bu ara bölgede maksimum hız bölgesi yoktur. Sadece kanat uçlarında toplanmıştır. Bu durum şekil 9 da görsel olarak verilmiştir.

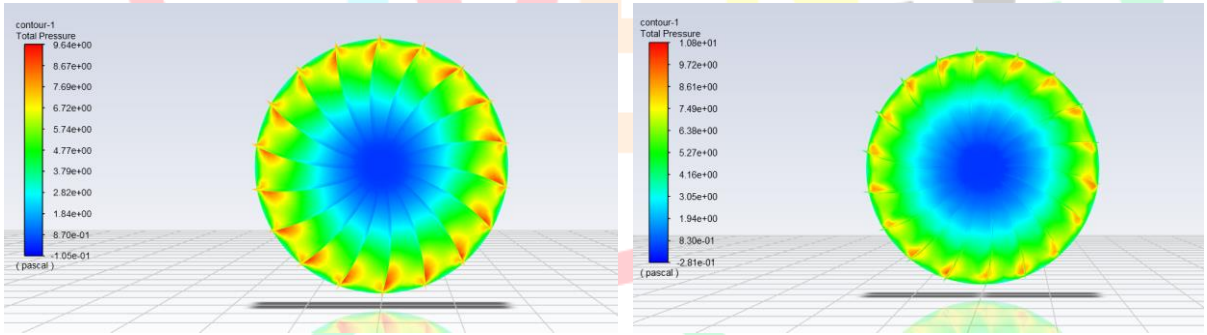


a) K-epsilon **b)** K-omega

Şekil 9: *Yüzey hız dağılım kontürleri*

Kanatçık Basınç Dağılımı

Kanatçık üzerinde K-omega türbülans modelinde oluşan maksimum basınç değeri K-epsilon modeline göre daha yüksek bir değerdedir. Benzer durum kanat arkası negatif basınç değerleri için de bu şekildedir. K-epsilon modeli için kanat önünde oluşan basınç bölgesi daha geniş bir alana yayılmıştır. Bu durum şekil 10 da görsel olarak verilmiştir.

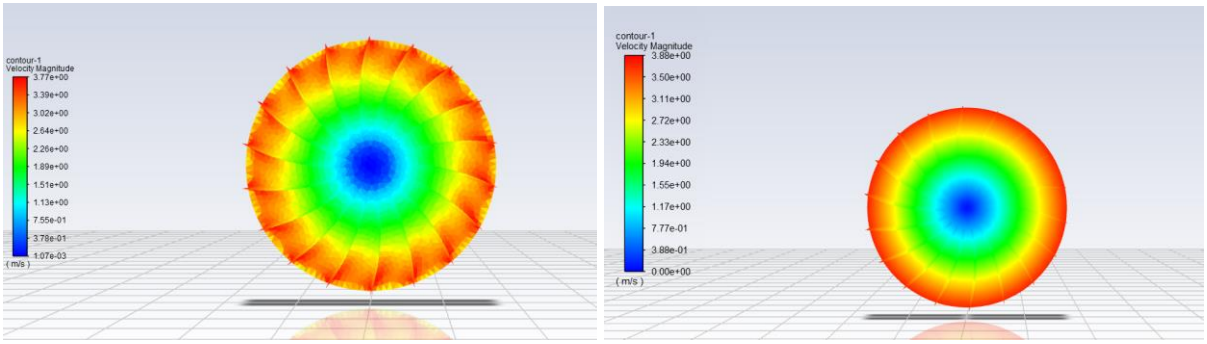


a) K-epsilon **b)** K-omega

Şekil 10: *Kanatçık basınç dağılım kontürleri*

Kanatçık Hız Dağılımı

Beklendiği üzere her iki türbülans modeli için kanat önünde maksimum hız bölgesi oluşmuştur ve K-epsilon için yüksek hız etki bölgesi diğer türbülans modeline göre daha geniş bir alandadır. Bu durum şekil 11 de açıkça görülmektedir.



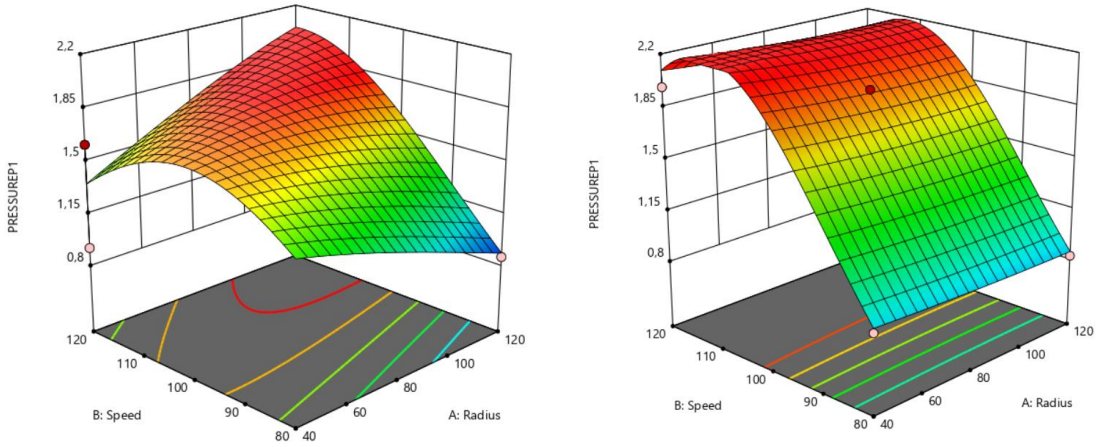
a) K-epsilon **b)** K-omega

Şekil 11: Kanatçık hız dağılım kontürleri

BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 12 de, Plane düzleminin yüzeyindeki basınç dağılımı incelendiğinde K-epsilon türbülans modeli için maksimum basınç değerinin 120 rad/sn dönme hızında elde edildiği gözlemlenmiştir. Buna karşılık, K-omega türbülans modelinde maksimum basınç değerine 112 rad/sn dönme hızında ulaşıldığı tespit edilmiştir.

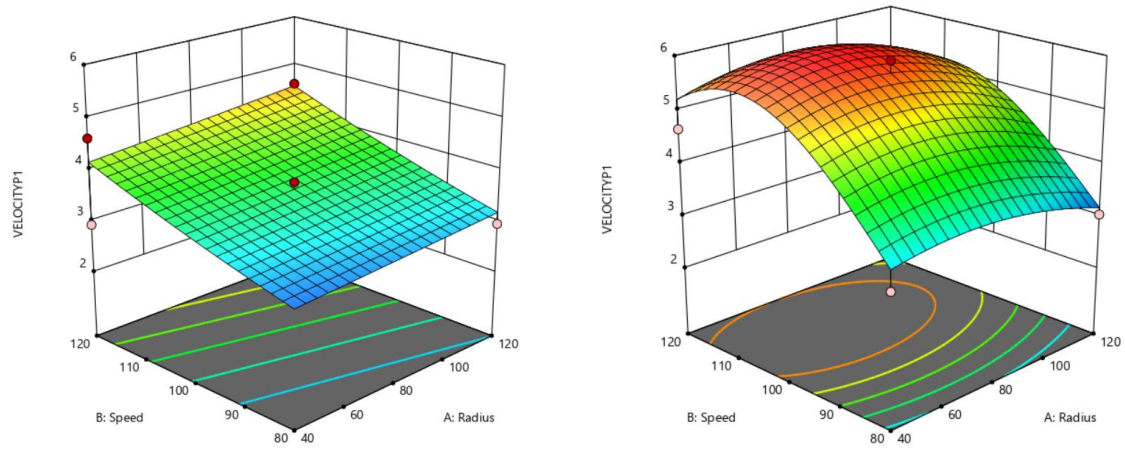
Eğrilik yarıçapı parametresi incelendiğinde, K-epsilon türbülans modeli için minimum basınç değerinin 120 rad/sn dönme hızında elde edildiği görülmektedir. Ancak, K-omega türbülans modeli açısından eğrilik yarıçapının basınç üzerindeki etkisi belirgin değildir. Bu durum, K-epsilon türbülans modelinin eğrilik yarıçapı üzerinde belirgin bir basınç etkisine sahip olduğunu, oysa K-omega türbülans modelinde belirleyici bir etkinin gözlenmediğini göstermektedir. Bu durum Şekil 12 de görülmektedir.



a) K-epsilon **b)** K-omega

Şekil 12: *Yüzeydeki basınç dağılım yüzey yanıt modeli*

Şekil 13 de, yüzeyde oluşturulan hız dağılımını incelediğimizde, K-epsilon türbülans modeli için tüm sınır aralığı boyunca hızın artma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık, K-omega türbülans modeli kullanıldığında bu artış yaklaşık 107 rad/sn değerine kadar devam etmiş ve ardından düşme eğilimi göstermiştir. Eğrilik yarıçapının etkisi incelendiğinde ise her iki türbülans modelinde de belirgin bir fark tespit edilmemiştir. Bu gözlem, türbülans modellerinin hız dağılımı üzerindeki etkilerini karşılaştırmak açısından önemli bir bulgu olarak değerlendirilmektedir. Bu durum Şekil 13 de görülmektedir.

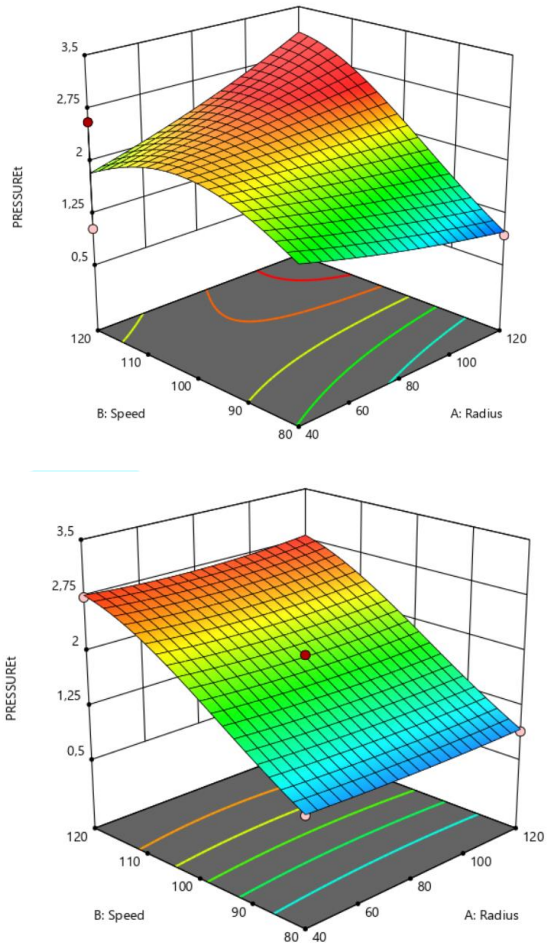


a) K-epsilon **b)** K-omega

Şekil 13: *Yüzeydeki hız dağılım yüzey yanıt modeli*

Şekil 14 incelendiğinde, kanatçıklarla ilgili; sol görselde görüldüğü üzere, türbülans modelinin kanatçıklarda oluşturduğu basınç dağılımı dikkat çekmektedir. K-omega türbülans modelinde, hızın artışıyla birlikte basınç değerinin sürekli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, K-epsilon türbülans modeli grafiğinde, basıncın maksimum olduğu hız değeri 105 rad/sn olarak tespit edilmiştir. K-omega türbülans modelinde ise bu durum 120 rad/sn hız değerinde gerçekleşmiştir.

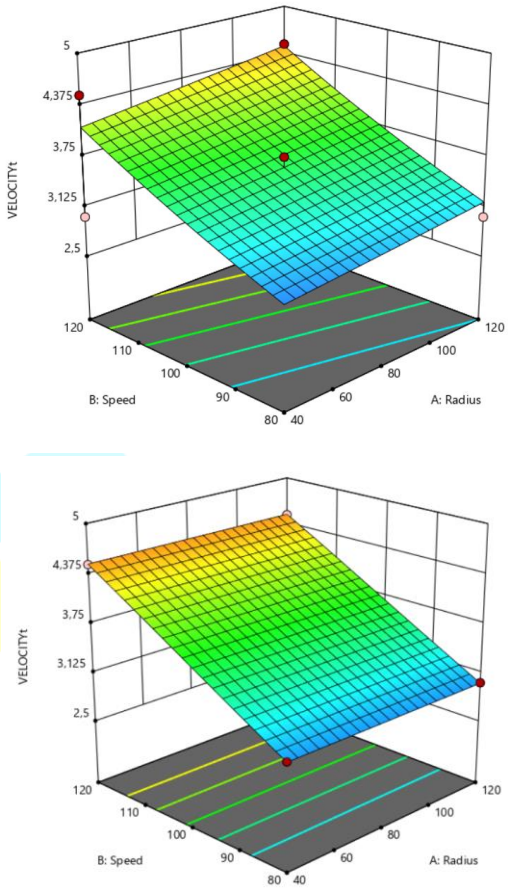
K-omega türbülans modelinde artan eğrilik yarıçapının (radyus) basınç üzerinde belirgin bir etkisi gözlemlenmezken, belirleyici parametrenin hız değeri olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, türbülans modellerinin basınç dağılımı üzerindeki etkilerini değerlendirme açısından önemli bir sonuç olarak öne çıkmaktadır ve Şekil 14 de açıkça görülmektedir.



a) K-epsilon **b)** K-omega

Şekil 14: *Kanatçıklarda basınç dağılım yüzey yanıt modeli*

Şekil 15 deki kanatçık hız dağılımını incelediğimizde, her iki türbülans modelinin hız üzerinde benzer etkiler oluşturduğu gözlenmektedir. Hem K-epsilon hem de K-omega türbülans modellerinde hız değerinin yaklaşık 120 rad/sn de sabitlendiği tespit edilmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuç yüzeylerinin de benzer etki ve karakteristik özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu bulgu, türbülans modellerinin kanatçık üzerindeki hız dağılımını tutarlı bir şekilde etkilediğini ve benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir ve bu durum Şekil 15 de görülmektedir.



a) K-epsilon **b)** K-omega

Şekil 15: *Kanatçıklarda hız dağılım yüzey yanıt modeli*

Sonuç olarak seçilen türbülans modelinin analiz üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Özellikle hız parametresi açısından bu durum açıkça gözlemlenmiştir. Dönme hızının, eğrilik yarıçapına kıyasla daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu gözlemler, uyguladığımız üç boyutlu tasarım yöntemi sayesinde elde edilmiştir.

Central composite üç boyutlu tasarım yöntemi ile 3 boyutlu uzaydaki sonuç yüzeyleri aracılığıyla, görsel ve sayısal olarak analiz sonuçları literatüre uygun bir şekilde elde edilmiştir. Bu yöntem, türbülans modellerinin dinamik davranışlarının daha kapsamlı ve kesin bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Ataş S., "Santrifüj Pompa İçindeki Akışkanın Sayısal Analizi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran 2005

Esen K., 2015. "Türkiye ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi ve İlgili Teknik Mevzuat,'' Elektrik Mühendisleri Odası, 6. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, 4-6 Haziran 2015, Sakarya.

Gobran M.H., Ibrahim M.M., vd., "Numerical Simulation of Centrifugal Pump and Effect of Impeller Geometry on Its Performance", Engineering and Applied Sciences, 4(2): 21-29, 2019.

Johann F. Gülich, Bauarten und Leistungsdaten, Springer link, pp 29–53, 1999.

Kaya M., "Santrifüj Pompa Performansının Sayısal Analizi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Haziran 2009

Ovalı İ., Atalay Ö., Yılmaz E., "Santrifüj Pompa Tasarımında Sayısal Yöntemlerin (HAD/CFD) Kullanımı", Mühendis ve Makina, cilt 62, sayı 705, s. 654-664, 2021

Ramakrishna R., Hemalat H., Srinivasa Rao D., "Analysis and Performance Of Centrifugal Pump İmpeller", 2021

Şenol G. K., Karakuş C., "Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları", Mühendis ve Makine, cilt 58, sayı 687, s. 1-16, 2017

Tural H. N., "Pompaların Dinamik Analizi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Mayıs 2013

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Assessing the Benefits and Challenges of Using Digital Twins in The Building Construction Industry

Furkan TURUNÇ[1]
Sevilay DEMİRKESEN[2]

Abstract:

The use of digital twins (DTs) has recently gained attention in the construction industry. However, there are still challenges that need to be considered with their use. Among such challenges, there are security concerns, difficulty in data management, and the need for technical expertise. On the other hand, there are certain benefits to the use of DTs. These benefits include but are not limited to real-time data observation, ease of use for progress tracking, and better visualization. The main purpose of this study is to reveal the challenges in DT implementation as well as highlight the benefits. The findings can guide industry practitioners in terms of focusing on key parameters of DTs to devise innovative strategies.

Keywords: DTs, data management, construction industry, challenges, benefits

[1] Gebze Technical University, Civil Engineering, Orcıd:
[2] Associate Professor, Gebze Technical University, Civil Engineering, Orcıd:

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Introduction

Urban regions are home to an estimated 55 percent of the global population at present. Further projections suggest that this percentage will increase, reaching 70% by 2050, resulting in the expansion of urban space worldwide by an additional 1.2 million square kilometers. Presently, metropolitan areas account for over 70% of greenhouse gas emissions and two-thirds of natural resource consumption; this places significant pressure on land utilization, natural resource depletion, and accelerated urban expansion (Xia et al., 2022). The construction industry, which is considered one of the oldest and most fundamental sectors of the economy, has experienced the gradual advancement of relevant technologies from ancient times to the present. When its compared to other industries that are taking advantage of Industry 4.0's rapid technical breakthroughs, the construction industry has been somewhat slow to accept technological transformation. This is partially attributable to the industry's magnitude and the considerable involvement of stakeholders, both of which pose challenges to the simultaneous and comprehensive implementation of reforms.

Furthermore, standardizing digital twin technologies could cause compatibility issues between several platforms, therefore impeding the flow of data mergers and information between them. Notwithstanding the difficulties, digital twins provide far too many benefits: better planning and efficiency average performance; sustainability; risk reduction; last, cooperative functions. It is imperative to consider the disadvantages situation. These encompass significant upfront costs, concerns regarding the security and privacy of data, challenges in adapting to novel technologies and acquiring adequate training, complexities in data managements, technological intricacies, and compatibility deficiencies. In order to fully leverage the potential benefits offered by digital twin technologies, the construction sector must develop strategies to overcome these limitations.

Over time, the integration of digital duplicates will improve the overall quality of projects, mitigate project risks, and ensure the sustainability and efficiency of the industry. As a result, investments in digital twin technology will expedite the sector's transformation and facilitate the execution of more successful initiatives.

2.Research Background

2.1.DTs (Digital Twins)

DT is a digital copy of an existing physical organization that adapts physical and virtual connections to each other to improve people's quality of life, increase their well-being and optimize processes into daily life. (Deprêtre et al., 2022). In summary, it provides a virtual representation of bidirectional data flow within the life cycle of a system or a physical object accompanied by real-time data. With the integration of artificial intelligence, IoT and BIM technologies, the intervention factor of people, the ability to prevent assimilation efforts, simulation, analysis, prediction and action are possible on the DT side. (La Russa and Santagati, 2020)

A digital twin is a detailed and accurate copy of a physical product, capturing all its subtle characteristics and overall shapes. It employs a blend of hardware, software, and IoT technologies to augment virtual assets. Digital twin technology is notable for its capacity to combine diverse physical things, consistently gather data across their entire existence, and

enhance their performance. This technology is intricate and encompasses various facets, rendering it well-suited for a multitude of applications (Deng et al., 2021).

2.2.Level of Data Integration

A three-dimensional DT paradigm comprising a physical entity, a virtual entity, and the connection separating them was under discussion in 2014 (Caramia et al., 2021). The degree of data integration varies in the literature; certain virtual representations enable automated two-way data exchange while fully integrated Digital Twin Systems (DTSs) do not. Three sub-categories Digital Model (DM), Digital Shadow (DS), and Digital Twin (DT) representing complete integration of data flow in both directions are advised to help to address the uncertainty in DT classification: Digital Model (DM), Digital Shadow (DS), and Digital Twin (DT) with lowest data integration between physical and digital objects.

2.3.DT functioning mechanism

Emphasizing the whole nature of a digital twin model that it should cover operation, maintenance, testing, and sensor data Grieves and Vickers (2016) underlined that it should go beyond only reflecting the physical product. They underlined the need of keeping this all-encompassing strategy throughout, including data compiling. A digital twin can help simulations in addition to foresee problems and behavior. It also has to be precisely described and fairly depict the expected object (Menegon and Isatto, 2023).

Carefully planning their location and the data to be gathered is absolutely essential before installing sensors for contracts, maintenance, and facilities management. One can consider sensors for temperature, humidity, light, sound, pressure, ultrasounds, CO2, VOC, and motion; but, the volume and scope of data have to be carefully evaluated. Besides, the selected system should effectively compile real-time data (Tagliabue et al., 2021). Before they are ever built, modeling, evaluating, and designing buildings and cities helps one to generate more vivid, durable, and efficient structures when tested. Digital twin technologies, data-intensive techniques, and machine learning/artificial intelligence help one to do this. With the digital twin acting as a sophisticated system based on real-time huge data sets, a unified approach to new forms of modeling and analysis is under development. It entails building platforms or monitoring, modeling, and optimizing actual systems. Integrated with IoT and artificial intelligence, the digital twin updates data as needed by including analytics and machine learning. Live digital simulation models that continuously change to reflect the condition of the real system in almost real-time are thus created. Learning and updating itself using data from many sources, the digital twin becomes (Zhang et al., 2021).

2.4 Digital Twin Technology and Its History

In the last ten years, substantial progress in computation and communication has propelled the mechanization of society. Concepts including cloud computing, big data, smart cities, machine learning, and artificial intelligence characterize this development. Furthermore, the concept of a digital twin has surfaced, which serves as an intricate replica of the efficacy of a physical process in real time (Batty, 2018).In numerous industries, the development and proliferation of novel digital technologies including artificial intelligence, virtual reality, digital twins, and the Internet of Things are facilitating the introduction of fresh service models. Out of all the technologies considered, the Digital Twin exhibits the most potential. The Digital Twin enables the instantaneous integration of data in both directions to depict the state of a physical entity virtually.

A digital twin, which is outfitted with sensors, indicators, measurement devices, lasers, vision systems, and white light scanning, is capable of perceiving experiential data from the real world regarding a physical entity. It is capable of providing feedback to the system, accurately predicting potential defects, and reacting in accordance with alerting information.

The utilization of the digital counterpart provides the capability to obtain information and consistently oversee all project procedures for the duration of a physical entity lifecycle (Ozturk, 2021). By leveraging the computational and analytic capabilities of computers, digital twin technology simulates and forecasts parallel production activities in the virtual domain relative to the physical world. This maximizes the value of information and conserves substantial physical resources (Zhou et al., 2021).

A digital twin is a set of tools used to gather, analyze, and show data. Modern technological developments are used in creation and maintenance; digital technologies are its key constituents. Among these technologies are the Internet of Things, 5G technology, artificial intelligence and Big Data Analytics, Visualization Tools, Digital Platforms, Social Sensing, Participatory Sensing, Spatio-temporal Fluctuation, Semantic Model Approach, Machine Learning Approach, and Energy Comparison Approach (Greeshma and Edayadiyil, 2021). By including digital technologies into the physical environment, facility management has been transformed and "smart" buildings have resulted. When integrated with learning features and internet-based technologies, BIM has great advantages. Furthermore, developments in IoT and artificial intelligence produce fresh goods relevant in practical situations (Alshammari et al., 2021).

2.2 IoT (Internet of Things)

Originally developed in the 1990s, the Internet of Things (IoT) idea entails the building of a worldwide network enabling the link of physical and virtual things across several technologies. This network has increased capabilities for storing, accessing, exchanging, and processing data, therefore acting as an infrastructure converting analog to digital information processing. These advances not only lower prices but also greatly speed up sensor processing, hence launching the Internet of Things era.

IoT technology also affects many other procedures including sensing and purchasing control. Studies by Deng et al. (2021) and Han et al. (2022) show how dynamically integrated real-time data from the Internet of Things with Building Information Modeling (BIM) provides to building operations and management. This paradigm change creates new opportunities for data collecting and feedback systems as well as a notable progress in the building industry. multiple industrial items today have multiple sensors since IoT technology is developing and sensor prices are declining. By means of optimization, these sensors help the products to perceive their surroundings, analyze data, and prevent failures so improving user experience (Wang et al., 2022). IoT in a working environment consists in several elements like RFID tags, sensors, and actuators capable of interacting without particular human involvement. It covers objects or tools, data transfer, real-time multi-sensor surveillance, and smart monitoring using application technologies (Alvarez et al., 2021).

2.3 CPS (Cyber Physical Systems)

CPS works through feedback loops whereby physical processes affect computations. Considered as embedded systems, it is distinguished as dynamic systems interacting with physical input and output. The "two-way communication" these systems engage is absolutely vital. Widely used CPS has uses in transportation, healthcare, defense systems, electronics, and critical infrastructure industries. Combining computation as a network with physical processes, it represents a development of embedded systems with an eye toward integration. CPS stresses in industrial environments flexibility, adaptability, interaction, and increased functionality (Hasan et al., 2022).

2.4 Blockchain

Blockchain technology's development has large raised the credibility of transactions, logistics, and personal contacts. Collaborative computing is built on this creative technology,

which is particularly powerful when combined with 5G and enables quick reactions. Blockchain technology finds uses in many fields including finance, insurance, logistics, energy, architecture, manufacturing, and transportation; it depends on protocols, hashings algorithms, and public key encryption. It guarantees security and ownership by combining ideas like information and algorithms and records behavior between digital twins. Blockchain technology supports empowerment and sharing by means of block-based and 5G-based IoT connectivity, therefore fostering interconnectedness among future physical entities. In digital twin cities, 5G-based IoT services and devices are attracting tremendous interest from both citizens and decision-makers who should gain from their integration (Deng et al., 2021).Blockchain technology combined with digital twins (DT) has the ability to greatly enhance data interchange, centralizing, security, and interoperability across stakeholders. By allowing safe and quick financial transactions, blockchain technology can help building firms gain value (Sepasgozar, 2021).

2.5 RFID (Radio Frequency Identification)

Over the past two decades, RFID technology used for object identification and tracking has acquired great momentum. It is extensively used in many different sectors, allowing RFID tags to use radio waves to send short messages to readers, therefore transmitting small quantities of data over a distance. RFID tags come primarily in two forms: active and passive. Whereas a passive tag lacks both an internal power source and a transmitter, an active tag does. Affixed to surfaces, RFID tags are appropriate for a variety of environment including damp or hostile circumstances. Usually, either adhesively or embedding, passive RFID tags with unique identification numbers are attached to pre-production goods. Either a mobile RFID portable device or a stationary RFID gateway reads the data on the RFID tags. GPS capabilities help the reader to find their location; if a Wi-Fi network is available, the data is sent right away to the backend computer system (Chen et al., 2021).

2.6 Applications and Functions of Digital Twins

The utilization of DT technology in the management, maintenance, monitoring, and logistical activities of a facility is done with the intention of improving the comfort of the users and optimizing the architecture of the building. Analysis for energy modeling and project optimization is part of it. DT facility managers apply it to set operations and maintenance procedures, apply performance management, and make wise energy usage decisions. Through data collecting in real-time, this technology allows predictive maintenance, hence improving operational efficiency. Furthermore crucial for maintenance planning optimization and problem discovery is DT's monitoring of work surroundings for temperature and humidity. Through task prioritizing, it also helps to allocate resources. By allowing real-time energy evaluation, interior environmental monitoring, thermal comfort assessment, space management, and danger monitoring all of which help to achieve sustainable buildings DT technology ultimately helps to the effective completion of design and construction activities depends on the cooperation among managers, engineers, and architects. Their responsibilities include controlling several elements like quality, budget, time, and resources. Although management depends much on efficient monitoring and controls, physical on-site monitoring can be subjective, time-consuming, and expensive. Accurate visualization of real-time data for the building and project life cycles depends much on the idea of Digital Twin (DT) technology. During it is often used in planning, designing, supplying, commissioning, decommissioning, and in the operations and maintenance phases that follow the building phase (Barbarosoglu and Milner, n.d.).

Digital and physical systems are integrated in the Fourth Industrial Revolution also known as Industry 4.0. Unlike other industrial revolutions, Industry 4.0 emphasizes more on enhancing monitoring and control aspects than on merely raising efficiency. It makes use of

IoT that is, the linking of many computers, smart devices, and other items. This phenomena is somewhat recent and entails the automation of daily operations by means of data analysis from human interaction or system operation, therefore reducing disruptive incidents. A significant component of Industry 4.0 (Hasan et al., 2022) are cyber-physical systems IoT, big data, sophisticated visualization, AR, VR and simulation, system integration, cloud computing, autonomous systems, and cybersecurity among other supporters of Industry 4.0 Rahimian et al., 2022.

Along with data analytics, virtual and augmented reality, sophisticated BIM applications, cloud and edge computing technologies, artificial intelligence and robots have been rather integrated in recent years thanks to the development of digitalization. Driven by the need of information sharing and data protection, these digitalization efforts have grown essential in many different industrial and research fields. Especially, Building Information Modeling (BIM) has become a key tool guaranteeing digitization all through the building life. BIM addresses the important demand for safe data storage and interchange by encouraging cooperation and building confidence inside networked systems. Furthermore, the confluence of BIM with newly developing technologies including artificial intelligence, cloud computing, and blockchain offers great opportunities for digital transformation in the building sector. This combination improves data storage and interchange security and efficiency, thereby supporting secure multidisciplinary collaboration and real-time coordination (Celik et al., 2021).

The manufacturing, security, and healthcare sectors are among those where digital twins find expanding application. Their application is still under development even if their acceptance in the building sector is rising. Reaching ideal interoperability when Building Information Modeling (BIM) meets the Internet of Things (IoT) presents one major obstacle (Chen et al., 2021). Digital twins are already seen in many different industrial uses. Because of the significant volume of resultant data emerging from the growth of BIM and IoT in civil engineering, the idea of digital twins has become accepted (Wenner et al., 2021). Reviewing the difficulties and needs for various uses of BIM (Reja, Varun and Varghese, Koshy, 2022), past research have also prepared the basis for the idea of building digital twins.

Combined with associated technologies such GPS, smart sensors, and sensor networks, DT solutions help to analyze and detect design flaws as well as to effectively manage materials, programs, and general quality control. Moreover, these technologies enable real-time evaluation of construction quality, material tracking and employee position tracking, and monitoring of building development. Effective and effective project delivery depends on this all-encompassing attitude to project management (Kit, 2022).

Industry 4.0 is having a biggest influence on the AEC sector as new industrial and manufacturing buildings arise. These buildings highlight continuous innovation and experimentation, which shapes their construction and the whole built environment. The AEC has mostly concentrated on building systems in recent years, stressing especially on integrating smart technology and building automation for efficient energy management. This change in the system idea has produced cognitive buildings that can learn and adapt to behavior, smart buildings able of analyzing energy use, and autonomous buildings able of showing fundamental performance indicators. As observed by La Russa and Santagati in 2020, the Cognitive Context (CB) idea integrated with sensing technologies, artificial intelligence, IoT, and the DT concept linked by Michael Grieves in 2002 has had a significant influence on several sectors at different stages of development.

The effectiveness and control of energy systems depend much on data transformation (DT). The future of the energy sector is digitalization of energy systems; digital twins are the most developed and all-encompassing way to monitor and properly run intricate systems such as future solutions. Widespread electrification for consumption and the integration of Renewable Energy Sources (RES) are progressively guiding the design of the present energy systems. In terms of demand and production especially, depend on technical components to

track and coordinate energy flows. Practical implementation of this technology can be turned into a collection of sensors connected into a system providing specialized databases and algorithms to evaluate different oscillations at any given instant. Smart measuring tools and Internet of Things (IoT) devices have been adopted rather widely in the building industry recently. Future growth of this trend is expected to allow better understanding and monitoring of the energy system. Lamagna et al., 2021 is the reference for a 2021 publication by Lamagna and associates.

3. The Benefits of Digital Twins

3.1 Higher Effectiveness

Digital twins improve performance throughout building operations. Better analysis made possible during the design process helps to avoid mistakes. Workflows may be maximized during construction, so saving time and money. On a building site, for example, tracking labour and material use helps to spot and fix inefficiencies.

3.2 Real-Time observing

Digital twins let one monitor building projects in real time. This lets project managers react fast to possible problems and base choices on instantaneous data. On a building site, for instance, real-time monitoring of safety hazards lets quick intervention possible.

3.3 Repair and Maintenance Easyness

Digital twins help buildings' maintenance and repair operations. Forecasting maintenance needs utilizing real-time data helps to develop predictive maintenance plans, so saving long-term costs. For instance, proactive maintenance allows one to monitor the operation of an elevator system and forecast possible faults, therefore preventing them.

3.4 Energy Usefulness

Energy usage of a building is watched over and optimized using digital twins. In terms of cost as much as environmental sustainability, energy efficiency offers major benefits. One can monitor and maximize the heating and cooling systems of a building, for instance, therefore lowering energy use.

4. The Challenges of Digital Twins

4.1 Security and Data Management:

Effective usage of digital twins calls for the gathering and organization of a lot of data. A major difficulty is guaranteeing the safe processing and storage of this data. Breaches of data security can compromise user safety as well as project success. An attack on the digital twin of a building, for instance, might impair building system control.

4.2. Exensive Expenses

Using digital twin technology comes with great expenses. Software solutions, data collecting tools, and sensors all demand large initial outlay of funds. For initiatives of small to medium scale, these expenses can be prohibitive. For instance, the software and sensors required to keep an eye on every system within a structure might be somewhat expensive.

4.3. Requirements for Technical Expertise

Using digital twins effectively calls both technical knowledge. Project teams must be knowledgeable and competent enough to apply this technology. This calls for further skill development initiatives and training. For example, a team running building operations with digital twin technology would require specific instruction to properly apply the technology.

4. 4. Data Integration

The efficiency of digital twins depends much on the ability to combine data from several sources. Processes of data integration can be complicated, and problems of compatibility between several systems could develop. For instance, combining and evaluating information from several systems housed within a building can call for sophisticated data integration techniques.

5. Conclusion

The building industry has great possibilities and advantages from the application of digital twin technology. Still, effective application of this technology calls for overcoming particular difficulties. Issues include data management and security, expensive expenses, and the necessity of technical knowledge could impede the general acceptance of digital twins. Still, the benefits of digital twins better efficiency, real-time monitoring, simplicity of maintenance and repair, and energy economy justify the work required to meet these obstacles.

Digital twin technology has major chances and advantages in the construction industry. Still, good application of this technology calls for overcoming many challenges. Digital twins could struggle with data management and security, expensive expenses, and technological knowledge needs. Still, the efficiency gains, real-time monitoring, simplicity of maintenance and repair, and energy savings provided by digital twins make it reasonable to overcome these challenges.

Future integration of digital twins with artificial intelligence, machine learning, IoT, blockchain, and big data will improve the potency of this technology even more. The implementation of these technologies taken together will allow more creative and effective building sector projects.In the end, reaching sustainability and efficiency targets will mostly depend on the broad acceptance of digital twin technology in the building industry. The chances and advantages this technology offers will help to enhance decision-making and enable the effective completion of building projects at all levels.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

ALONSO, R., BORRAS, M., KOPPELAAR, R. H., LODİGİANİ, A., LOSCOS, E.,& YÖNTEM, E. (2019). SPHERE: BIM digital twin platform.Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings, 20(1), 9.

ALSHAMMARİ, K., BEACH, T., & REZGUİ, Y. (2021). Cybersecurity for DigitalTwins in the Built Environment: Research Landscape, Industry Attitudes andFuture Direction. International Journal of Civil and Environmental Engineering, 15(8), 382-387.

ALSHAMMARİ, K., BEACH, T., & REZGUİ, Y. (2021). Cybersecurity for digital twins in the built environment: current research and future directions. Journal of Information Technology in Construction, 26, 159-173.

ALVAREZ, A. P., ORDİERES-MERÉ, J., LOREİRO, Á. P., & DE MARCOS, L. (2021). Opportunities in airport pavement management: Integration of BIM, the IoT and DLT. Journal of Air Transport Management, 90, 101941.

BARBAROSOGLU, B. V., & MİLNER, B. CSC-3831 Advancing Project Management with Multi-Dimensional Project Controls and Digital Twin.

BATTY, M. (2018). Digital twins. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 45(5), 817-820.

HASAN, S. M., LEE, K., MOON, D., KWON, S., JİNWOO, S., & LEE, S. (2022). Augmented reality and digital twin system for interaction with construction machinery. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 21(2), 564-574

KİT, K. T. (2022). The paradigm of Digital Twin Application in Project Management in Architecture, Engineering and Construction. International Journal of Civil and Architectural Engineering, 16(4), 122-127.

LA RUSSA, F. M., & SANTAGATİ, C. (2020). Historical sentient–building information model: a digital twin for the management of museum collections in historical architectures. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 43, 755-762.

WANG, W., GUO, H., Lİ, X., TANG, S., Lİ, Y., XİE, L., & LV, Z. (2022). BIM information integration based VR modeling in digital twins in industry 5.0. Journal of Industrial Information Integration, 28, 100351.

WANG, W., GUO, H., Lİ, X., TANG, S., XİA, J., & LV, Z. (2022). Deep learning for assessment of environmental satisfaction using BIM big data in energy efficient building digital twins. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 50, 101897

XİA, H., LİU, Z., MARİA, E., LİU, X., & LİN, C. (2022). Study on city digital twin technologies for sustainable smart city design: A review and bibliometric analysis of geographic information system and building information modeling integration. Sustainable Cities and Society, 104009.

ZHANG, X., SHEN, J., SAİNİ, P. K., LOVATİ, M., HAN, M., HUANG, P., & HUANG, Z. (2021). Digital twin for accelerating sustainability in positive energy district: a review of simulation tools and applications. Frontiers in Sustainable Cities, 3, 35.

ZHAO, R., WU, Y., LOU, J., CHEN, Z., WU, L., XUE, F., ... & XUE, F. (2021,OCTOBER). Comparison of BIM Collaboration Paradigms for Digital Twin Readiness: Centralized Files, Decentralized Clouds, and Distributed Blockchains. In Proc. of the Conference CIB W78 (Vol. 2021, pp. 11-15).

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Supporting Occupational Health and Safety with Lean 5s System

Gökmen TAK[1]
Fatih ÖZTÜRK[2]

Abstract

By applying different production methods and techniques in different business lines in the manufacturing industry, physical, chemical, biological, etc. Many activities involving transactions are carried out. During the performance of these activities, many dangers, large or small, arise and are considered as risks. Hazards may arise from one factor or may arise due to more than one factor. While these hazards can arise from the layout of the working environment, machinery, chemicals, environmental factors, the characteristics and deficiencies of the equipment and devices used, they can also often arise from people's faulty behavior. Lack of tidiness in the working environment, lack of order and poorly defined working methods and styles reveal situations and behaviors that endanger occupational health and safety. By adding a Sixth S to the steps of SORT (Seiri), SET IN ORDER (Seiton), SHINE (Seiso), STANDARDIZE (Seiketsu) and SUSTAIN (Shitsuke), which are the principles of the lean 5S system, the contribution of the 6S (+safety) method to occupational health and safety in workplaces was evaluated.

Keywords: Lean 5S, Occupational Health and Safety, 6S

1 PhD Student, Istanbul Medeniyet University, Occupational Health and Safety, Orcıd: 0000-0001-7168-7573
2 Assoc. Prof. Dr., Istanbul Medeniyet University, Industry Engineering, Orcıd:0000-0003-4113-055X

ISBN: 978-625-372-170-1

1.INTRODUCTION

The aim of occupational health and safety studies is to prevent work accidents and occupational diseases and to provide a healthy working environment (Celik, 2017). At the same time, it is to increase production efficiency by ensuring facility safety (Ozturk et al., 2023). In this context, occupational health and safety has begun to be given due importance with the legislation enacted in recent years. The seriousness of occupational health and safety is increasingly understood both in our country and in many countries around the world. Various legislations were enacted and the issue was brought to official levels. These regulations are the same for all sectors, but they need to be examined separately for each sector. Because each sector has its own dangers and risks (Korkmaz, 2016). Although automation systems have begun to be used instead of humans in industry with the development of technology, human labor is still indispensable in many production systems (Tarakçı et al., 2020)

By applying different production methods and techniques in different business lines in the manufacturing industry, physical, chemical, biological, etc. Many activities are carried out involving transactions (Ayvaz vd., 2018). During the performance of these activities, many dangers, large or small, arise and are considered risks. Hazards may arise from one factor or may arise due to more than one factor. While these hazards may arise from the layout of the working environment, machinery, chemicals, environmental factors, and the characteristics and deficiencies of the equipment and devices used, they may also arise from people's faulty behavior. Lack of tidiness in the working environment, lack of order and order, and poorly defined working methods and styles reveal situations and behaviors that endanger occupational health and safety. (Ozturk, 2014). In addition, situations such as faulty production, overproduction, excess stock, unnecessary transportation, unnecessary movement, unnecessary waiting and unnecessary actions, which are the 7 wastes in lean production, directly or indirectly create unsafe work conditions and cause work accidents and occupational diseases, thus causing both financial and financial losses. causes moral losses. In this context, the aim of the thesis is to create a certain order and harmony in the working environment and ways of doing business in order to improve occupational health and safety in the manufacturing industry, to eliminate unnecessary actions and movements and to create a method to improve occupational health and safety by providing safe working conditions.

The concept of lean manufacturing emerged as a philosophy put forward by John Krafick in 1988, aiming to guide an organization to overcome unpredictable competition in the industrial environment by using fewer resources. (Koçali, 2023). The drive to be lean has often led to misapplication of lean manufacturing principles and lean manufacturing goals, leading to significant risks for worker safety. Occupational safety is a critical element in lean manufacturing efforts to ensure processes are better, faster, less wasteful and safer. This integration is only possible if lean manufacturing concepts and safety concerns of the machines are addressed simultaneously (Main et al., 2008). The prerequisite for today's businesses to adapt to changing and developing technology and respond to customer demands and expectations is continuous improvement. Cost savings are only possible with continuous improvement, that is, lean production. One of these production practices is 5S (Tekin et al., 2018). The principles of the Lean 5S system are SORT (Seiri), SET IN ORDER (Seiton), SHINE (Seiso), STANDARDIZE (Seiketsu) and SUSTAIN (Shitsuke), and the 6S method for occupational health and safety in workplaces has been evaluated by adding the Sixth S

(+SAFETY). It is a workplace organization method used in lean production and was developed by adding occupational safety to the widely used 5S method (Çukurluöz et al., 2020).

Tablo4: The development of 5S (Marria et al., 2014)

Period	Activity	Injury	Years	Productivity
1. (1950 – 1955)	2S	44.08 24.49	1950 1955	1
2. (1956 – 1972)	3S	22.99 7.25	1956 1972	3.6 times up from the previous period
3. (1973 – 1980)	4S	7.25 3.59	1972 1980	1.4 times up from the previous period
4. (1981 – 1998)	5S	3.23 1.75	1981 1998	1.5 times up from the previous period

Table 1 shows the evolution of 5S and its importance in increasing productivity and reducing industrial accidents (Marria et al., 2014).

2.LITERATURE RESEARCH

(Koçali, 2023) The aim of the study on improving occupational health and safety in a company operating in the automotive sub-industry with the 6S system is to completely eliminate work accidents and occupational diseases by creating a 6S model. He carried out 6S studies in a department of the company for 20 weeks. According to the results they obtained, it was revealed that the company was in a better situation than it was before starting work, and that this model would contribute to the establishment of the zero accident principle in occupational health and safety by applying it quickly and simply.

(Jimenez et al., 2019), Their study aimed to increase the level of occupational health and safety by adding occupational health and safety to the 5S system and expanding the system to 6S. In this direction, they created a 6S flow chart and applied it in an area they chose. They made an evaluation by creating an audit form and achieved a success rate of 83%.

(Gnanaguru et al., 2010), In their research within the scope of 6S audits in an aircraft company, they carried out 5S studies with 5 experienced auditors in 18 different regions of the workplace, including 6 workshops, 6 stores and 6 offices. The audit form was used common for all areas. Similarly, in the same 18 regions, they implemented their new 6S comprehensive audit forms on the same day with 5 experienced auditors. They then calculated the standard deviations of the 5S and 6S audit forms and showed that the 6S audit scores were consistent and the deviation was much less than the 5-S audit. They concluded that the decrease in standard deviation also reveals the accuracy of the audits performed.

(Sari et al., 2017), In their previous 5S audits at the Ergonomics Laboratory, they made a 6S assessment due to workplace irregularity in occupational safety issues, potential dangers of room partitions, placement of fire extinguishers, lack of fire escape routes and gathering areas in case of fire, and lack of awareness of stakeholders. According to the results of this evaluation, they recorded an increase of 37 points. They determined that while 75 points were collected in the 5S study, 107 points were collected in the 6S studies. They concluded that this makes people comfortable in the laboratory area, saves time in searching for tools and materials, provides safe workplace and also improves the 6S culture and spirit on the staff due to better and safer working environment.

(Domiguez et al., 2021) In their research, they discussed the integration of HACCP, a food safety management system, and lean 6S in a unified system. Through the study, they found that non-food industrial production is not much different from food production and in many

cases absorbs protocols and ideas already working in the food industry. After integrative analysis, the article proposes a common lean 6S-HACCP model that can be used in both food production and non-food industrial production.

(Sukdeo, 2017), In their study on the application of 6S methodology as a lean improvement tool in an ink manufacturing company, they investigated the application of 6S methodology as a lean tool to reduce waste, increase quality, increase productivity and increase organizational performance. Two data collection methods are used to ensure the correct implementation of the Lean 6S methodology. Within the framework of this case study, a 6S audit was carried out for a period of 8 weeks and the audit score increased from 50 points in the first week to 90 points in the 8th week. They took before and after photographs of the lean 6S application and used this as a research tool. At the end of the study, they concluded that a significant improvement could be achieved in safety, productivity, job satisfaction, quality initiatives, efficiency and cleanliness by applying the 6S methodology.

(Jilcha & Kitaw, 2016), In their study, they shed light on how lean workplace health and safety is improved and inefficient occupational health and safety management is reduced through 6S techniques.

3.CONCLUSION

While the 5S method, which consists of the steps of Select, Sort, Delete, Standardize, Maintain, plays an active role in production processes on its own among lean production methods, in most cases the activities carried out ignore occupational safety and can cause occupational safety risks in most cases. Based on this, researchers have carried out studies on the basis that 5S applications should be developed by taking occupational safety into account. They addressed the 6S method by adding the title of Safety to the Lean 5S system. Studies conducted to evaluate the effects of 6S have shown that the 6S method contributes to the development of occupational health and safety in workplaces.

REFERENCES

Ayvaz, B., Kuşakçı, A. O., Öztürk, F., Sırakaya, M., 2018, Biyodizel Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı İçin Çok Amaçlı Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli Önerisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4), 55-70

Celik N., Öztürk, F., (2017),'' The Upcomingissuesofindustry 4.0 on occupationalhealth and safetyspecialized on turkeyexample'', *International Journal of Economics, Business and Management Research*, Volume 1, No. 05; 2017, ISSN 2456-7760, pp.236-256

Çukurluöz, S., Birgoren, B., Yalçınkaya, M., & Orcanlı, K. (2020). Yalın Üretimde 6S Uygulamaları için Yeni bir Performans Denetim Yöntemi Önerisi A New Performance Audit Methodology for 6S Applications in Lean Manufacturing.

Domiguez, R. A., Espinosa, M. D. M., Dominguez, M., & Romero, L. (2021). Lean 6s in food production: Haccp as a benchmark for the sixthsixth s "safety." *Sustainability (Switzerland)*, *13*(22). https://doi.org/10.3390/su132212577

Gnanaguru, R., Puvaneswari, K., Mallick, J., Jegadheesan, C., Sivakumar, V. M., & Devadasan, S. R. (2010). An investigation into 6-S auditing in an aircraft company. *International Journal of Productivity and Quality Management*, *6*(4), 495–517. https://doi.org/10.1504/IJPQM.2010.035894

Jilcha, K., & Kitaw, D. (2016). Lean Influence on Occupational Safety and Health in Manufacturing Industries. *Global Journal of Researches in Engineering: G Industrial Engineering Volume*, *16*(1), 0–8.

Jimenez, M., Romero, L., Fernandez, J., Espinosa, M. del M., & Dominguez, M. (2019). Extension of the Lean 5S methodology to 6S with an additional layer to ensure occupational safety and health levels. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(14), 1–18. https://doi.org/10.3390/su11143827

Koçali, K. (2023). 6S (5S + Safety) Sistemi ile Otomotiv Yan Sanayiinde Faaliyet Gösteren Bir İşletmede İş Sağlığı ve Güvenliğinin Geliştirilmesi Improving of the Occupational Health and Safety in a Business Operating in the Automotive Sub-Industry with the 6S (5S + Safe. 14(1), 93–113.

Korkmaz, E. (2016). Doğalgaz sayaç üretim tesisinde 5S sistemi tabanında iş sağlığı ve güvenliği değerlendirmesi. In *İstanbul Teknik Üniversitesi FBE*.

Main, B., Taubitz, M., & Wood, W. (2008). You Cannot Get Lean Without Safety: Understanding the common goals. *Professional Safety*, *53*(1), 38–42.

Marria, P., Williams, S. J., & Naim, M. (2014). 6S: Creating an efficient and safer work environment Abstract. *Total Quality Management & Business Excellence*, *25(11–12)*, 1410–1428. https://doi.org/10.1080/14783363.2012.704281

Sari, A. D., Suryoputro, M. R., & Rahmillah, F. I. (2017). A study of 6S workplace improvement in Ergonomic Laboratory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *277*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/277/1/012016

Sukdeo, N. (2017). The Application of 6S Methodology as a Lean Improvement Tool in an Ink Manufacturing Company. *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1666–1671.

Tarakçı, E., Can, E., Sakallı, A. E., & Tak, G. (2020). The Ergonomic Risk Analysis With REBA Method In Production Line. *Ergonomi*, *3*(2), 96–107. https://doi.org/10.33439/ergonomi.743276

Tekin, M., Arslandere, M., Etlioğlu, M., & Tekin, E. (2018). *Büyük ölçekli bir işletmede 5S Uygulaması*. *74*(4), 1045–1050.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

A Literature Review on the Analysis of the Factors Affecting the Readiness of Cities for Autonomous Vehicles

İlknur Senem ÇAYIROĞLU[1]

Abstract

With the rapid increase and development of autonomous vehicle technologies, the integration of these vehicles into cities has become important. Vehicles have been shown to have an impact on various aspects of cities and urban life. The integration and adoption of autonomous vehicles in urban environments involves a multifaceted process that includes issues such as mobility models, infrastructure development and traffic management. With the widespread use and adoption of electric vehicles, the transition to autonomous vehicles in cities has accelerated, and the amount of carbon emissions in the transportation sector has decreased. The widespread use of autonomous vehicles in smart cities is important in shaping the future of urban transportation systems and sustainability. The use of autonomous vehicles in cities will cause an urban transformation, especially the city infrastructure. Therefore, how autonomous vehicles will affect urban mobility and the city usability of developing technology becomes important. This research aims to provide a comprehensive overview of the factors affecting the readiness of smart cities for the use of autonomous vehicles in the future, based on a review of the relevant literature. With the adaptation of autonomous vehicles to cities, urban transportation will be reshaped and sustainability and traffic safety in cities will increase. Therefore, in this study, by examining the readiness of cities for autonomous vehicles according to the literature with examples from the world and our country, answers to the research questions were sought: what are the factors affecting the adoption of autonomous vehicles in cities and to what extent do these factors affect the acceptance of autonomous vehicles in cities.

Keywords: city readiness, autonomous vehicles, smart cities, criterias

[1] Tofaş Türk Otomobil Fabrikası, Ar-Ge, ilknur.senemcayiroglu@tofas.com.tr, 0000-0003-1298-2411

ISBN: 978-625-372-170-1

Introduction

In recent years, there has been an immense amount of interest in and research towards the development of autonomous vehicles (AVs). The development of autonomous cars continues to grow and has the potential to completely transform transportation through enhanced accessibility, efficiency, convenience, and safety (Paden et al., 2016). As self-driving car technology has advanced, intelligent transportation systems that can sense and react to their surroundings to ensure safe and automated driving have been developed (Guo, 2023). Three main components are used by these vehicles to be functioned: perception, planning, and control (Muthalagu et al., 2021).

Several investigations have been conducted on how well-received and widely used AVs are. For the autonomous vehicles to be widely used, public acceptability is crucial. The perception and acceptability of self-driving cars are influenced by psychological barriers, emotions experienced when operating a conventional vehicle, and ethical considerations of the behavior of both human and self-driving automobiles in challenging environments (Nordhoff et al., 2018; Shariff et al., 2017; Raue et al., 2019; Kallioinen et al., 2019). Prevailing these challenges is needed for the successful integration of autonomous vehicles into society.

Improvements in self-driving car technology have prompted arguments on the ethical implications of their design and deployment. The ethical considerations encompassing self-driving cars have become a topic of interest, with a focus on decision-making, philosophy of science, and transport engineering (Davnall, 2019). Engineers and policymakers are urged to consider the ethical aspects of autonomous vehicles to ensure the safety of all road users (Bonnefon et al., 2019). The development of autonomous cars has also led to advancements in traffic flow and road safety. AVs are expected to relieve drivers from boring tasks, increase road safety, improve traffic flow, and reduce environmental impacts (Yang et al., 2017; Chen, 2017). The introduction of self-driving cars into the transportation system is seen as a significant step towards enhancing overall traffic efficiency and safety.

Advantages of autonomous cars in urban areas are various and impactful. Self-driving cars have the potential to significantly enhance urban transportation systems by offering numerous benefits. Firstly, self-driving cars can enhance safety of road by decreasing accidents caused by human error (Guo, 2023; Alsubaei, 2022). They are designed to follow traffic rules meticulously and react suddenly to potential hazards, thereby enhancing overall safety on city roads. Additionally, self-driving cars can enhance traffic flow efficiency, reducing congestion and travel times (Chen, 2017; Nees, 2016; Shamsi, 2020). By transmitting information with one other and traffic infrastructure, autonomous vehicles can optimize routes and minimize delays, leading to smoother traffic operations in urban areas.

The widespread use of connected and automated vehicles (CAVs) in cities are restrained due to the challenges, thereby it is crucial to investigate factors impacts CAV integration for seamless deployment.Therefore, this study aims to contribute to the knowledge gaps by investigating factors affecting the CAV deployment in the urban settings and specific research question is:

1. What are the factors affecting the adoption of connected and autonomous vehicles in cities?

2.Literature Review

Factors influencing city readiness for the adoption of CAVs include a variety of considerations that impact the successful integration of these technologies into urban environments. The degree of the public trust and acceptance of autonomous vehicles is significant factor that impacts city's readiness for their adoption (Choi & Ji (2015), Othman, 2021). The assessment of cities' preparedness for CAVs is investigated through an analytic hierarchy process (AHP) method involving multiple stakeholders' perspectives. The study examines factors such as infrastructure, policy frameworks, technological capabilities, and public acceptance to evaluate cities' readiness for the deployment of CAV in urban settings. The AHP provides a structured assessment considering various stakeholder perspectives and enables prioritization of the criterias based on their importance for seamless readiness of CAVs (Jiang et al. 2022).

The adoption of autonomous vehicles can positively affect use of land in the urban areas and design (Yiğitcanlar et al., 2019; Zomarev & Rozhenko, 2020). Cities may experience transformations in infrastructure planning and development with the potential decreased parking needs and changes in transportation demand patterns. This positive shift can lead to more efficient land use and improved urban design, fostering sustainable and livable cities. Although there are various advantages of deployment of self-driving cars in urban areas, there are challenges in the integration of connected and autonomous vehicles in cities and it requires careful consideration of various factors. One substantial challenge is the need for important investment in infrastructure to create secure environment for the autonomous vehicles integration (Crayton & Meier, 2017). Governments face difficulties in ensuring that road infrastructure is adequately maintained and equipped to support the integration of connected and autonomous vehicles effectively.

Another critical challenge is the increased bandwidth and scalability requirements of vehicular networks for the widespread deployment of connected vehicles (Sepulcre & Gozalvez, 2021). The introduction of connected and automated vehicle poses challenges in terms of communication network capacity and efficiency, it requires improvements in communication technologies to support increasing demands and the deployment of connected vehicles in urban areas.

Additionally, a major challenge in the deployment on public roads is to ensure the safety and security of autonomous vehicles in critical traffic conditions (Parseh et al., 2021). Addressing concerns related to collision severity and maneuver control is crucial to instilling public trust in the safety of autonomous vehicles and facilitating their widespread adoption in urban settings. It is essential to address considerations regarding crash severeness and maneuver control to build public trust in the safety of autonomous vehicles and to ease widespread adoption of the self-driving cars in the urban areas. Furthermore, the integration of connected and autonomous vehicles brings up privacy concerns related to data sharing and individual interactions of drivers and road users with the autonomous and connected vehicles (Xiong et al., 2022). Protection of data privacy and assuring secure communication channels are essential facets that need to be addressed to protect user information and maintain the trust in connected and autonomous vehicle technologies for successful deployment.

3.Method

Infrastructure Readiness

Infrastructure readiness is a crucial factor influencing a city's preparedness for the integration of CAV. The CAV integration requires vehicle networks which will transmit V2X data to cloud infrasture, smart grids, devices and other connected vehicles (Park & Park, 2022). Connectivity is essential for to allow CAVs to communicate one another to exchange traffic information such incidients, speed limits, traffic density. Specific infrastructural components

such as Dedicated Short-Range Communications (DSRC) technology and 5G networks are necessary to support connection between vehicles and Intelligent Transportation Systems (ITS) infrastructure for the CAV deployment in the cities (Liu et al., 2014) and Guevara & Cheein (2020). Furthermore, DSRC technology enables communication between vehicles and infrastructure (V2I) by using components like traffic lights, street signs, and roadside sensors (RSUs) suppoting the coordination and effectiveness of CAV operations (Liu et al., 2014). Additionally, 5G technologies support smart cities and ITS to enable simulatanenous connections and network ubiquity in complex urban settings (Guevara & Cheein, 2020).

Secure infrasture is essential part of widespread CAV integration, which eventually leads to eliminate urban pain points such as traffic congestion with optimized vehicle routing and urban planning through vehicular communication (Mahrez et al., 2022). It is emphasized that LiDAR-enhanced connected infrastructures for perception and transmitting high-resolution traffic information in smart citie (Lv et al., 2019). Specific components e.g. LiDAR integrated infrastructure, DRSC, RSUs, optimized vehicle route planning and urban planning are necessary fort he deployment of CAVs in urban settings.

Regulations and policies readiness

Effective policies and regulations are necessary to address aspects of the CAV deployment, to support safety, efficiency, and integration with current transportation systems (Milakis et al., 2017). Regulations related to autonomous driving levels, such as L3 (Conditional Automation) or L4 (Highly Automation), need to be substantiated to regulate the use of the CAVs in urban areas (Miao et al., 2021). Regulations should also consider the inclusion of CAV deployment on traffic flow, network mobility, and road safety within the urban areas (Meneses-Cime et al., 2022; Mehr & Horowitz, 2020). By establishing comprehensive policies and regulations, cities can take advantage of the benefits of the connected self-driving cars.

Tablo 5 – *Regulations and policies for city readiness*

Key regulations and policies	Description	References
Safety regulations	Implementation of regulations governing the safety standards and protocols for CAV technology to operate AVs in cities	Rojas-Rueda et al., 2020
Traffic management policies	Develoment of policies for CAVs deployment in urban traffic management systems, including intersection management and traffic flow optimization	Vasirani & Ossowskí, 2012
Public health considerations	Establish regulations for potential health risks regarding with the CAVs, such as air pollution and noise	Crayton & Meier, 2017
Urban planning guidelines	Establishing regulations for urban planning and growth to accommodate CAVs, taking into account the impacts on urban distribution, use of public transportation, and the design of city layout	Anastasiadou et al., 2021
Smart city integration	Development of regulation which will be facilitated the CAVs use together with smart city initiatives, leveraging CAV technology to improve urban mobility, transportation efficiency of transportation, and sustainability	Anastasiadou et al., 2021

Regulation of autonomous driving levels	Definition of regulations levels of autonomous driving to control how CAVs operate safely in urban settings	Kang & Kim, 2019
Shared mobility services	Cover the CAV integration with smart city energy and communication systems to make sure sustainable AV operation	Kang & Kim, 2019
Energy and communication grid integration	Address the integration of CAVs with energy and communication grids of smart cities to ensure efficient and sustainable operation of autonomous vehicles	Anastasiadou et al., 2021
Policy flexibility	Establish flexible policies that can adapt to emerging technologies like CAVs, enabling cities to harness the benefits of these vehicles while addressing evolving challenges	Kang & Kim, 2019

Public acceptability

User trust in self-driving cars directly influences the demand for the AVs' technologies in urban areas (Haddad et al. (2020)Sallis et al., 2016). Public acceptance has impact on the adoption of CAVs, therefore cities' readiness to accept these technologies and the overall market demand are shaped by public acceptability. Moreover, behavioral shifts and inclinations toward green modes of transportation, including shared AVs and public transit, can be influenced by public acceptability (Mesch & Dodel, 2022; Zhang et al., 2021). Additionally, public acceptability and perceptions of safety and confidence in AVs are strongly correlated with one another (Yun et al., 2021; Tarkowski & Puzdrakiewicz, 2021). Additionally, preferences for sustainable transportation options like shared autonomous vehicles and public transportation might be influenced by acceptance of the public (Hulse et al.2018; Kapser & Abdelrahman, 2020).

Deployment rate of CAVs are driven by positive perception of the users and the acceptance, which also affects market demand generally and cities' preparedness to accept the CAVs to be integrated. User acceptability is a crucial component in city readiness since city planners and policymakers take into account the opinions and preferences of the public when they build essentials of the infrastructure and laws that facilitate the implementation of AVs technology (Huang, 2023; Acheampong & Cugurullo, 2019).

4.Conclusions

Last but not least, the evolution of autonomous vehicles has seen immediate advancements in technology, with a focus on enhancing safety, efficiency, and convenience in transportation. Public acceptance, ethical considerations, and traffic infrastructures are key areas of research that are shaping the future of self-driving cars. In conclusion, the adaptation of the autonomous vehicles in cities offers a range of benefits, such as increased traffic flow, safer roads, environmental sustainability, and favorable effects on urban planning and design.

In conclusion, the deployment of connected and autonomous vehicles in cities presents main challenges related to infrastructure investment, policy and regulations and user acceptability, thereby these are the factors that affect city readiness for the CAV deployment.. Addressing these challenges requires a multidisciplinary approach involving stakeholders from government, industry, and academia to ensure the successful integration of CAVa into urban areas.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

Hulse, L., Xie, H., & Galea, E. R. (2018). Perceptions of autonomous vehicles: relationships with road users, risk, gender and age. Safety Science, 102, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.001

Kapser, S. and Abdelrahman, M. (2020). Acceptance of autonomous delivery vehicles for last-mile delivery in germany – extending utaut2 with risk perceptions. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 111, 210-225. https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.12.016

Huang, T. (2023). Psychological factors affecting potential users' intention to use autonomous vehicles. Plos One, 18(3), e0282915. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282915

Acheampong, R. A. and Cugurullo, F. (2019). Capturing the behavioural determinants behind the adoption of autonomous vehicles: conceptual frameworks and measurement models to predict public transport, sharing and ownership trends of self-driving cars. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 62, 349-375. https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.01.009

Paden, B., Čáp, M., Yong, S. Z., Yershov, D. S., & Frazzoli, E. (2016). A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 1(1), 33-55. https://doi.org/10.1109/tiv.2016.2578706

Guo, S. (2023). Automatic driving model based on machine learning agents. Fifth International Conference on Computer Information Science and Artificial Intelligence (CISAI 2022). https://doi.org/10.1117/12.2667914

Muthalagu, R., Bolimera, A., Duseja, D., & Fernandes, S. (2021). Object and lane detection technique for autonomous car using machine learning approach. Transport and Telecommunication Journal, 22(4), 383-391. https://doi.org/10.2478/ttj-2021-0029

Nordhoff, S., Winter, J., Kyriakidis, M., Arem, B., & Happee, R. (2018). Acceptance of driverless vehicles: results from a large cross-national questionnaire study. Journal of Advanced Transportation, 2018, 1-22. https://doi.org/10.1155/2018/5382192

Shariff, A., Bonnefon, J., & Rahwan, I. (2017). Psychological roadblocks to the adoption of self-driving vehicles. Nature Human Behaviour, 1(10), 694-696. https://doi.org/10.1038/s41562-017-0202-6

Kallioinen, N., Pershina, M., Zeiser, J., Nezami., F., Stephan, A., Pipa, G., … & König, P. (2019). Moral judgements on the actions of self-driving cars and human drivers in dilemma situations from different perspectives.. https://doi.org/10.31219/osf.io/k4fgh

Davnall, R. (2019). Solving the single-vehicle self-driving car trolley problem using risk theory and vehicle dynamics. Science and Engineering Ethics, 26(1), 431-449. https://doi.org/10.1007/s11948-019-00102-6

Bonnefon, J., Shariff, A., & Rahwan, I. (2019). The trolley, the bull bar, and why engineers should care about the ethics of autonomous cars [point of view]. Proceedings of the Ieee, 107(3), 502-504. https://doi.org/10.1109/jproc.2019.2897447

Yang, L., Liu, T., Zhao, X., & Wu, P. (2017). Analysis of the impact of self-driving cars on traffic flow. Destech Transactions on Computer Science and Engineering, (aiea). https://doi.org/10.12783/dtcse/aiea2017/14946

Chen, Z. (2017). Traffic flow models for road network with intersections. https://doi.org/10.2991/emim-17.2017.311

Guo, S. (2023). Automatic driving model based on machine learning agents. Fifth International Conference on Computer Information Science and Artificial Intelligence (CISAI 2022). https://doi.org/10.1117/12.2667914

Alsubaei, F. S. (2022). Reliability and security analysis of artificial intelligence-based self-driving technologies in saudi arabia: a case study of openpilot. Journal of Advanced Transportation, 2022, 1-25. https://doi.org/10.1155/2022/2085225

Chen, Z. (2017). Traffic flow models for road network with intersections. Proceedings of the 7th International Conference on Education, Management, Information and Mechanical Engineering (EMIM 2017). https://doi.org/10.2991/emim-17.2017.311

Nees, M. A. (2016). Acceptance of self-driving cars. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 60(1), 1449-1453. https://doi.org/10.1177/1541931213601332

Shamsi, A. A. A. (2020). Acceptance of self-driving cars in united arab emirates. Global Journal of Computer Science and Technology, 19-63. https://doi.org/10.34257/gjcsthvol20is2pg19

Yiğitcanlar, T., Wilson, M., & Kamruzzaman, M. (2019). Disruptive impacts of automated driving systems on the built environment and land use: an urban planner's perspective. Journal of Open Innovation Technology Market and Complexity, 5(2), 24. https://doi.org/10.3390/joitmc5020024

Zomarev, A. and Rozhenko, M. (2020). Impact of self-driving cars for urban development. Foresight and STI Governance, 14(1), 70-84. https://doi.org/10.17323/2500-2597.2020.1.70.84

Crayton, T. and Meier, B. M. (2017). Autonomous vehicles: developing a public health research agenda to frame the future of transportation policy. Journal of Transport &Amp; Health, 6, 245-252. https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.04.004

Sepulcre, M. and Gozálvez, J. (2021). Heterogeneous v2v communications in multi-link and multi-rat vehicular networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, 20(1), 162-173. https://doi.org/10.1109/tmc.2019.2939803

Parseh, M., Asplund, F., Svensson, L. E. O., Sinz, W., Tomasch, E., & Törngren, M. (2021). A data-driven method towards minimizing collision severity for highly automated vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 6(4), 723-735. https://doi.org/10.1109/tiv.2021.3061907

Xiong, A., Cai, Z., & Wang, T. (2022). Drivers and passengers maybe the weakest link in the cav data privacy defenses. Proceedings Fourth International Workshop on Automotive and Autonomous Vehicle Security. https://doi.org/10.14722/autosec.2022.23024

Choi, J. K. and Ji, Y. G. (2015). Investigating the importance of trust on adopting an autonomous vehicle. International Journal of Human-Computer Interaction, 31(10), 692-702. https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1070549

Othman, K. (2021). Public acceptance and perception of autonomous vehicles: a comprehensive review. AI and Ethics, 1(3), 355-387. https://doi.org/10.1007/s43681-021-00041-8

Jiang, L., Chen, H., & Chen, Z. (2022). City readiness for connected and autonomous vehicles: a multi-stakeholder and multi-criteria analysis through analytic hierarchy process. Transport Policy, 128, 13-24. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.09.012

Park, S. and Park, H. (2022). Pier: cyber-resilient risk assessment model for connected and autonomous vehicles. Wireless Networks. https://doi.org/10.1007/s11276-022-03084-9

Mahrez, Z., Sabir, E., Badidi, E., Saad, W., & Sadik, M. (2022). Smart urban mobility: when mobility systems meet smart data. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(7), 6222-6239. https://doi.org/10.1109/tits.2021.3084907

Liu, N., Cheng, N., Zhang, N., Shen, X., & Mark, J. W. (2014). Connected vehicles: solutions and challenges. IEEE Internet of Things Journal, 1(4), 289-299. https://doi.org/10.1109/jiot.2014.2327587

Guevara, L. and Cheein, F. A. (2020). The role of 5g technologies: challenges in smart cities and intelligent transportation systems. Sustainability, 12(16), 6469. https://doi.org/10.3390/su12166469

Lv, B., Xu, H., Jian, W., Tian, Y., Zhang, Y., Zheng, Y., & Tian, S. (2019). Lidar-enhanced connected infrastructures sensing and broadcasting high-resolution traffic information serving smart cities. IEEE Access, 7, 79895-79907. https://doi.org/10.1109/access.2019.2923421

Milakis, D., Arem, B. v., & Wee, B. v. (2017). Policy and society related implications of automated driving: a review of literature and directions for future research. Journal of Intelligent Transportation Systems, 21(4), 324-348. https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1291351

Miao, L., Virtusio, J. J., & Hua, K. (2021). Pc5-based cellular-v2x evolution and deployment. Sensors, 21(3), 843. https://doi.org/10.3390/s21030843

Meneses-Cime, K., Aksun-Güvenç, B., & Güvenç, L. (2022). Optimization of on-demand shared autonomous vehicle deployments utilizing reinforcement learning. Sensors, 22(21), 8317. https://doi.org/10.3390/s22218317

Mehr, N. and Horowitz, R. (2020). How will the presence of autonomous vehicles affect the equilibrium state of traffic networks?. IEEE Transactions on Control of Network Systems, 7(1), 96-105. https://doi.org/10.1109/tcns.2019.2918682

Yun, Y., Oh, H., & Myung, R. (2021). Statistical modeling of cultural differences in adopting autonomous vehicles. Applied Sciences, 11(19), 9030. https://doi.org/10.3390/app11199030

Haddad, C. A., Chaniotakis, E., Straubinger, A., Plötner, K., & Antoniou, C. (2020). Factors affecting the adoption and use of urban air mobility. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 132, 696-712. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.12.020

Sallis, J. F., Bull, F., Burdett, R., Frank, L. D., Griffiths, P., Giles-Corti, B., … & Stevenson, M. (2016). Use of science to guide city planning policy and practice: how to achieve healthy and sustainable future cities. The Lancet, 388(10062), 2936-2947. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(16)30068-x

Tarkowski, M. and Puzdrakiewicz, K. (2021). Connectivity benefits of small zero-emission autonomous ferries in urban mobility—case of the coastal city of gdańsk (poland). Sustainability, 13(23), 13183. https://doi.org/10.3390/su132313183

Mesch, G. S. and Dodel, M. (2022). The acceptance of driverless cars: the roles of perceived outcomes and technology usefulness. American Behavioral Scientist, 67(14), 1736-1754. https://doi.org/10.1177/00027642221127250

Zhang, S., Jing, P., & Xu, G. (2021). The acceptance of independent autonomous vehicles and cooperative vehicle-highway autonomous vehicles. Information, 12(9), 346. https://doi.org/10.3390/info12090346

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Zeytin Çekirdeği ve Külünün Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Dayanımına Etkisi

İmren DOĞRU [1]
Umur Korkut SEVİM [2]
Duygu KIRKYAŞAROĞLU [3]

Özet

Çimento esaslı kompozitler en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden olup, gerek çevresel faktörler, gerek maliyet azaltma, gerekse enerji tüketimi açısından iyileştirilmesi gereken önemli konulardan biridir. Yapı sektöründe sürdürülebilirlik çalışmaları doğrultusunda çimento ve agreganın olumsuz etkilerini azaltmak için alternatif malzeme arayışı sürmektedir. Ancak alternatif malzeme ile çimento ve agrega azaltılıp sürdürülebilirlik sağlanırken mekanik dayanıma olan etkisi göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir. Bu çalışmanın amacı zeytin çekirdeği ve zeytin çekirdeği külünün çimento esaslı kompozitlerin mekanik dayanımına etkisini araştırarak, farklı alanlarda kullanılabilirliğinin incelenmesidir. Çalışmada Zeytin çekirdeği ile agrega %10, %20, %30 oranlarında, zeytin çekirdeği külü ile çimento %1, %3, %5 oranlarında kısmi ağırlıkça yer değiştirilip harç üretilmiştir. Karışımlar, kontrol harcı, zeytin çekirdekli harç, zeytin çekirdeği küllü harç, hem zeytin çekirdekli hem de zeytin çekirdeği küllü harç olarak 9 farklı karışım üretilmiştir. Karışımlar kiriş numune (40*40*160 mm) kalıplarına doldurulup havada ve suda olmak üzere iki farklı şekilde kürlenmiştir. Numuneler kürlendikten sonra 7, 28, ve 90. günlerde basınç ve eğilme testlerine tabi tutulup mekanik dayanımları incelenmiştir. İncelemeler sonucunda zeytin çekirdeği küllü karışımların işlenebilirliğinin daha iyi olduğu ve bununla beraber numune dayanım sonuçlarının kontrol harcına kıyasla daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Agrega yerine zeytin çekirdeği kullanımının basınç ve eğilme dayanımında azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir. Ancak zeytin çekirdeği içeren karışımlara zeytin çekirdeği külü ilavesiyle karışımların mekanik dayanımlarının olumlu yönde etkilendiği görülmüştür.

Keywords: Sustainability, Olive Seed, Olive Seed Ash, Cement-Based Composite, Strength

[1] İnşaat Mühendisi, İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, https://orcid.org/0009-0001-7335-2977
[2] Prof.Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, https://orcid.org/0000-0002-6268-4909
[3] İnşaat Mühendisi, İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, https://orcid.org/0009-0002-1640-2170

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ:

Çimento esaslı kompozitler yapı sektöründe kullanımı yaygın yapı malzemelerindendir. Kompozitlerde çimento bağlayıcılığıyla matris malzeme ve agrega betona kattığı özellikleriyle takviye malzemesi olarak görev yapar. Dünya genelinde yapı sektöründe önemli yer tutan bu iki malzemenin her geçen gün tüketiminin artması beraberinde çevre tahribatı ve fazla enerji tüketimi gibi bazı sorunları getirmektedir. Özellikle ülkemizde depremden sonra çimento ve agrega üretiminde yaşanan artışla beraber, çimento üretiminde ortaya çıkan CO_2 salınımını, agrega temin edilirken tüketilen fazla enerji ve maliyeti azaltmak için alternatif malzeme arayışı sürmektedir. Bu kapsamda puzolanik katkılar betona kattığı iyileştirici özellikleri ve enerji tasarrufu nedeni ile verimli yan ürünlerdir. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silika dumanı, volkanik tüf, volkanik kül gibi malzemeler doğal ve yapay puzolan başlıkları altında hali hazırda kullanılan ürünlerdir. Ancak alternatif malzeme arayışı bununla sınırlı kalmamış, teknolojinin de gelişmesiyle beraber farklı alanlardan farklı yan ürünlerin yapı sektöründe kullanılabilirliğinin incelenmesi ve betonun farklı özelliklerine etkilerinin araştırılması devam etmektedir.

Diğer yandan Tarımsal-Endüstriyel yan ürünler ve fabrika atık ürünleri de, çimento esaslı kompozitlerin sürdürülebilirliği ve gelişimi açısından kullanılabilecek malzemelerdir. Aynı zamanda ülkemizde fabrika ve endüstriyel iş alanlarının artmasıyla beraber ortaya çıkan fazla atıkların sebep olduğu çevre sorunlarının da önüne geçilebilmesi için önemli bir adımdır. Literatürde sürdürülebilirlik adına çimentoyu kısmen pirinç kabuğu külü, mısır samanı külü, fındık kabuğu külü, zeytin atığı külü gibi alternatiflerle, agreganın fabrika atıkları ile yer değiştirmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak alternatif malzeme kullanımında dikkat edilmesi gereken en önemli konu alternatif ürünlerin de en az çimento ve agreganın sağladığı dayanım ve mukavemet kadar etki etmesi gerektiğidir.

Hakeem ve arkadaşları (2022), yaptıkları çalışmada pirinç kabuğu külü (RHA) ve zeytin atık külünü (OWA) birlikte kullanılmasının etkilerini araştırmışlardır. Pirinç kabuğu külünü %0, %5, %10, %15, %20, %25 oranlarında, zeytin atık külünü %0, %2.5, %5, %7.5 oranlarında kütlece çimento ile yer değiştirmiştir. Bu kapsamda 21 adet karışım hazırlamış ve bu karışımlar çökme testi, 7-28.gün basınç dayanımları, yarma çekme testi, eğilme dayanımı, elastisite modülü testi, SEM ve EDX testleri ve donatı saplanan betonun bağ kuvveti deneyleri yapılmış. Deneyler sonucunda katkı oranları arttıkça çökme değerleri ve işlenebilirlik azalmıştır. Ayrıca %5 OWA ve %20 RHA yer değiştirme oranları kontrol karışımına kıyasla en yüksek mekanik iyileştirmeyi göstermiş; sıkıştırma, yarma dayanımı, eğilme ve bağ kuvvetlerini sırasıyla yaklaşık %58,7, %41,33, %37,50 ve %60 oranlarında arttırdığı, karışımda yer değiştirmenin %5 OWA ve %20 RHA oranlarında ideal sonuçları gösterdiği gözlemlenmiştir.

Alkheder ve arkadaşları (2016), yaptıkları çalışmada zeytin atıklarının külünü Portland çimentosu ile kütlece %3 ile %15 arasında %3 lük artışlarla yer değiştirmiş, fiziksel ve kimyasal özelliklerini kontrol betonuna kıyasla incelemişler. Karışımların her biri için normal kıvam, priz süresi, eğilme-basınç dayanımları, kütle yoğunluğu, sağlamlık ASTM standartları kullanılarak belirlenmiş. Deney sonuçlarına göre, zeytin atığı külü miktarı arttıkça normal kıvam düşme eğilimi göstermiştir. Bunun nedenini zeytin atıklarının düşük su emmesine bağlamışlar. İlk sertleşme süresi zeytin atık külünün artmasıyla artmıştır. Bunun nedeni çimentonun azalmasıyla hidratasyonunda azalmasıdır. Sağlamlık test sonuçlarına bakıldığında katkılı harçların genleşmesinin katkısız harçlara göre daha düşük olduğu görülmüş, buna bağlı

olarak çatlama olasılığının düştüğü sonucuna varılmıştır. Basınç dayanımında katkılı harçlarda düşüş yaşanmıştır. Bunun nedeni katkıdan dolayı hidratasyonun gecikmesi olduğu düşünülmüştür. Bu çalışmanın sonucunda düşük ikame yüzdelerinde kullanılabilecek bir malzeme olduğu kanısına varılmıştır.

Antoun ve arkadaşları (2021), yaptıkları çalışmada, duvar bloklarında kum yerine kısmi olarak zeytin ağacı atıklarının (OWW) kullanılabilirliğini incelemişler. Bu kapsamda kuru ağırlık olarak %25, %50, %100 oranlarında yer değiştirmeyle döküm yapılmış, mekanik özellikleri incelenmiştir. Deneyler sonucunda, zeytin ağacındaki odun atığının kumdan kimyasal ve fiziksel olarak farklı olması nedeniyle basınç ve eğilme dayanımları düşüş göstermiştir. Zeytin ağacı atığı (OWW) nin katılmasıyla hidratasyon gecikmiş, priz süresi de artmıştır. Bunun nedeninin OWW'nin içeriğinde bulunan çinko ve sükroz olduğu düşünülmektedir. Hem süper akışkanlaştırıcı hem de priz hızlandırıcı kullanılan karışımlar en yüksek dayanımı göstermiştir. Çalışma sonucunda OWW atıklarının yük taşımayan beton birimler için mukavemet gerekliliklerini sağladığı görülmüştür. Yapısal olmayan alanlarda kullanılabileceği kanısına varılmıştır.

Al-Akhras ve diğerleri (2009), çalışmalarında zeytin atığı külü (OWA) içeren betonların yüksek sıcaklıklarda (400-600 °C) performansını incelemişlerdir. OWA, çimento ağırlığının %7, %15, %22 oranlarında yer değiştirmiştir. Çalışmada agrega olarak ezilmiş bazalt ve volkanik tüf, w/c oranı olarak 0.5, 0.7 ve hava içeriği olarak hava olmayan ve hava katılan deney parametreleri üzerinden incelenmiştir. Numuneler 90 günlük kür sonunda 2 saat yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış. Gözenekliliği ölçmek için betondan geçen elektrik yükünü ölçmek üzere hızlı klorür geçirgenlik testi yapılıp, beton numunenin bir yüzü sodyum hidroksit, diğer yüzü sodyum klorür ile doygun hale getirilmiştir. Çalışma sonucunda OWA nın dahil edilmesiyle yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan betonun çatlaması ve bozulması azalmıştır. Bu sonuca göre yangına maruz kalan yapılarda OWA kullanılmasının olumlu sonuç verdiğini söyleyebiliriz. Tüf içeren katkısız ve OWA katkılı beton, bazalt içeren katkısız ve OWA katkılı betona göre yüksek sıcaklıklara karşı daha iyi performans sergilemiştir. Ayrıca hava katılmış ve 0.7 den küçük w/c içeriğine sahip betonlar daha iyi performans göstermiştir. Bu çalışmanın sonucunda OWA katkısının betonu yüksek sıcaklıklara karşı direncini iyileştirdiğini söyleyebiliriz.

Ferkous ve diğerleri (2022), çalışmalarında kumla kısmen yer değiştirmiş zeytin değirmeni atığıyla (OMW) yapılan ve yerel agrega kullanılan asfalt beton karışımının kayma direncini araştırmaktadır. Zeytin değirmen atığı %5, %7, %10, %15 oranlarında kumla yer değiştirmekte, harçların mekanik performanslarını ölçmek için Marshall ve Duriez testleri uygulanmıştır. Hızlandırılmış parlatma cihazı ve kayma direncini ölçmek için İngiliz sarkaç test cihazı (BPT) kullanılmış, OMW nin sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla SEM elektron mikroskobu kullanılmıştır. Toplam 8 numune üretilmiştir. Marshall ve Duriez testlerine göre %10 a kadar OMW katkısı kullanılabilir olup istenilen özellikleri karşılamaktadır. Mekanik ve patinaj testlerin sonucunda % 10 OMW kullanımı için optimum sınır bulunmuştur. Bu durum Cezayirdeki patinaj direnci sorunlarını çözebileceği için kullanımı önerilmektedir.

Moraes-Pinheiro ve arkadaşları (2018), çalışmalarında zeytin çekirdeği biyokütle külünün (OBA) yüksek fırın cürufu (BFS) üzerindeki aktivasyon etkisini araştırmışlardır. Deneyde zeytin çekirdeği külü, yüksek fırın cürufu, kefalit, potasyum hidroksit ve sodyum hidroksit kullanılmıştır. Isı üretmek için yakılan zeytin çekirdekleri İspanyadan alınıp demir bilyelerle öğütülüp inceltilmiştir. İlk numuneler farklı oranlarda NaOH ve KOH içeren alkali aktive çözeltiler ile hazırlanmıştır. İkinci numuneler BFS ye OBA karıştırılması veya BFS nin OBA ile yer değiştirmesi ile üretildi. BFS nin %20-%35 oranlarında OBA ile yer değiştirmesi KOH-BFS karışımından daha yüksek basınç dayanımı değerleri vermiştir. OBA nın mikro yapı üzerindeki etkisi incelendiğinde ise gözenek çapındaki küçülmeler dikkat çekmiştir. Ayrıca NaOH ile OBA arasında bir eşlik söz konusudur. (Örn. %15,8 OBA yer değiştirmesi 4M NaOH çözeltisine eşdeğer) Çalışma sonucunda OBA malzemesinin kullanılabilirliği yönünde olumlu

sonuçlar bulunmuştur. Daha sürdürülebilir Alkali Aktif Malzemeler için kimyasal reaktiflerin azaltılması yönünde iyileşme kaydedilebilir.

Barreca ve Fichera (2013), çalışmalarında çimento-kireç karışımında ısı yalıtımını iyileştirmek ve nihai yoğunluğu azaltmak için zeytin çekirdeğinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Zeytin çekirdeği İtalya'da sürekli ekstrasyon işlemini yapan fabrikalardan temin edilmiştir. Zeytin çekirdeği 0 %20, %40, %50, %60, %70 oranlarında karıştırılmıştır. Zeytin çekirdeği ilavesi yoğunluğu azaltırken, daha fazla su emilimine neden olmaktadır. Zeytin çekirdeğinin eklenmesiyle termofiziksel özelliklerde iyileşme görülmüş olup ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilmektedir. Ancak çekirdeğin nemli ortamlarda çürüme olayının olmaması için uygun oranda sodyum silikat eklenerek etkisiz hale getirilebilir. Ayrıca nem olmaması ve ısıl özelliklerini sağlayabilmesi için betonun geçirmez hale getirilmesi veya dıştan kaplanması gerekmektedir.

Literatürde de incelenen malzemelerden zeytin çekirdeği ve zeytin posası kurusu ile elde edilen pirina malzemesi bazı çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak da kullanılmaktadır. Böylelikle atık değerlendirmesi amacıyla fabrika atığının çevreye yaydığı kötü koku ve çevre kirliliği gibi sorunları aza indirgenebilmektedir.

Tarımsal endüstriyel fabrika ve demir-çelik sanayi ile atık üretimi açısından Hatay ili çeşitli bir bölgedir. TÜİK (2016) verilerine göre zeytin üretimi bakımından Hatay ili ülkemizde 8.sırada yer almaktadır. Bu kapsamda birçok zeytinyağı presshanesi Hatay' da faaliyet göstermektedir. Çalışmada kullanılan zeytin çekirdeği ve külü Hatay'ın Arsuz Akçalı mevkiinde bulunan Karasürmeli Zeytinyağı Fabrikasından temin edilmiştir. Zeytin Çekirdeği posasından ayıklanarak kırıldıktan sonra fabrikada sıcak su temini için kazanda yakıt olarak kullanılıp atık konumunda bulunan zeytin çekirdeği külü elde edilmektedir.

Bu çalışmada Zeytin çekirdeği ve zeytin çekirdeği külünün çimento esaslı kompozitlerde mekanik dayanıma etkisi araştırılmıştır. Zeytin çekirdeği ile agrega, zeytin çekirdeği külü ile çimento kısmi ağırlıkça yer değiştirerek harç üretimi yapılmıştır. Literatürde zeytin atık külü araştırmaları bulunurken zeytin çekirdeği ve külünün çimento esaslı kompozitlerde kullanımının farklı niteliklerin incelenmesiyle alakalı araştırma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı zeytin çekirdeği ve külünün yapı sektöründe sağlayabileceği yararları inceleyip, mekanik davranışlarını gözlemleyerek farklı alanlarda kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

YÖNTEM:

Çalışma kapsamında alternatif katkı olarak Zeytin Çekirdeği (ZÇ) ve Zeytin Çekirdeği Külü (ZK) kullanılmıştır. Zeytin Çekirdeği (ZÇ) agrega ile %10, %20, %30 oranlarında ağırlıkça yer değiştirmiştir. Zeytin Çekirdeği külü (ZK) ise çimento ile ağırlıkça %1, %3, %5 oranlarında ikame edilmiştir. Zeytin Çekirdeği Külü demir bilyalı değirmende çimento inceliğine en yakın haline gelene kadar öğütüldükten sonra karışıma eklenmiştir. Toplamda 9 farklı karışım elde edilmiş olup, her bir karışım seti 7, 28 ve 90. günlerde basınç dayanımı ve 3 noktalı eğilme dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Karışım adlandırmaları aşağıda Tablo-1 de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan zeytin çekirdeğinin özgül ağırlığı 1,265 gr/cm^3 iken zeytin çekirdeği külü ise 2,36 gr/cm^3 özgül ağırlığına sahiptir. Karışımlarda agrega 0-4 mm inceliğinde 2,631 gr/cm^3 özgül ağırlığında doğal kırmataş agregası, çimento CEM I 42,5 R Portland çimentosu ve karışım suyu olarak musluk suyu kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,485 ve çimento:kum oranı 1:2,75'tir. Zeytin çekirdeği külü fabrikadan temin edildiğinde blaine değeri 962 cm^2/gr iken demir bilyalı değirmende çimento inceliğine kadar öğütülmüştür. Belirli aralıklarda inceliği eleme yöntemi ile kontrol edildikten sonra öğütme işlemi tamamlanmıştır. Karışıma katılan zeytin çekirdeği külü 4557 cm^2/gr blaine değerindedir. Numuneler kiriş numunesi olup 40*40*160 mm boyutlarında üretilmiştir. Karışımlar Pan tipi harç karıştırma makinesinde karıştırılmıştır. Betoniyerin içi nemli bir bezle silindikten sonra kuru malzemeler hassas terazide tartılıp betoniyerin içine eklenmiştir. Kuru karışım işleminden sonra, tartılmış

su da ilave edilip karıştırmaya devam edilmiştir. Tüm malzemeler karışıp homojen hale geldikten sonra önceden yağlanan kiriş kalıplara dökülmüştür. Her bir numune 20 saniye vibratörde sıkıştırıldıktan sonra priz alması için ortama bırakılmıştır. Her karışım için aynı adımlar uygulanmıştır. 24 saat sonrasında priz alan numuneler kalıplardan çıkarılıp sayıca yarısı hava kürüne, yarısı ise su kürü için kür tankına 7, 28 ve 90 gün süresince ayrı ayrı kürlenmek üzere bırakılmıştır. İki farklı şekilde kürlenen numuneler 7., 28. ve 90. günlerinde sudan çıkarılıp doygun yüzey kuru haline geldikten sonra basınç ve 3 noktalı eğilme dayanımı testlerine tabii tutulmuştur. 3 noktalı eğilme dayanımı testi makinesinde mesnet arasına yerleştirilen numuneler düşey yönde 5 kN/s lik yük yükleme hızı ile kırılmıştır. Numunelerin eğilme anındaki en yüksek değerleri MPa cinsinden kaydedilmiştir. Eğilme dayanımı sonrasında 2 parçaya ayrılan numuneler pres cihazında 2,5 kN/slik sabit yükleme hızı ile basınç uygulanıp, basınç dayanımı değerleri MPa cinsinden kaydedilmiştir. Her bir karışım için 7., 28., 90. günlerde hava ve su küründe ayrı ayrı 3 ‘er adet kırılan numunelerin aritmetik ortalaması alınıp aşağıdaki Tablo-3 de verilmiştir.



Şekil 1.1 *3 noktalı eğilme dayanımı testi*



Şekil 1.2 Basınç dayanımı testi

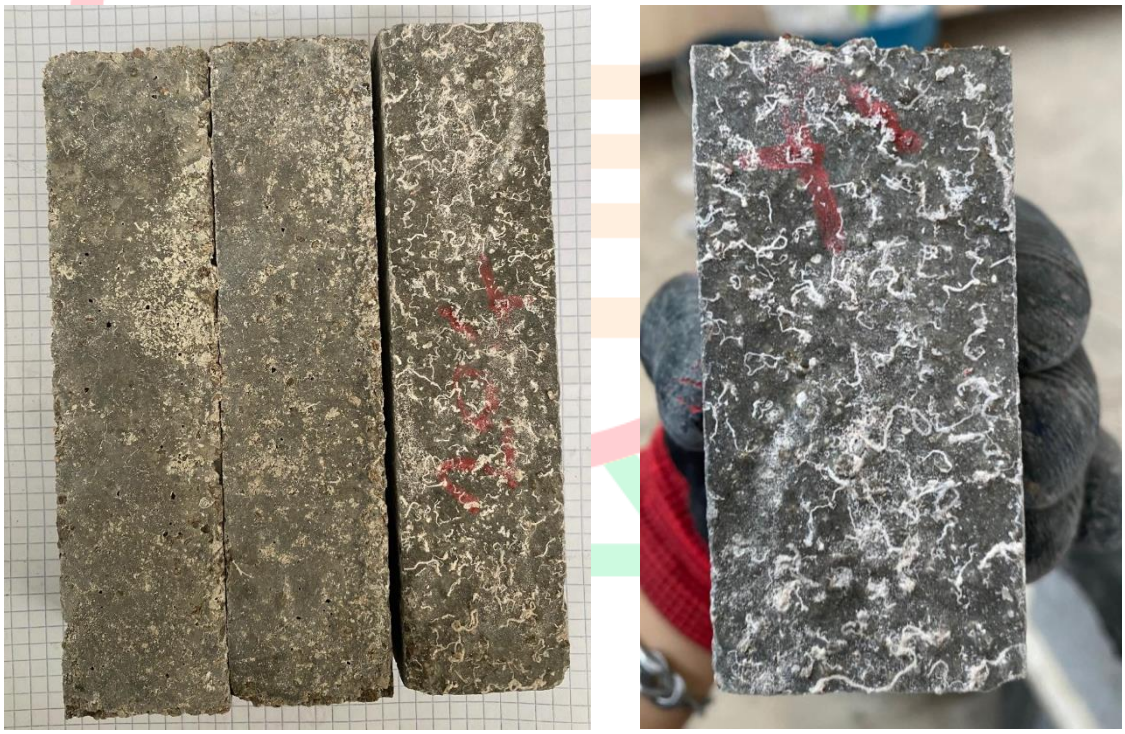
Tablo-1 Karışımların Adlandırması

Karışım Adı	**Açıklama**
K	Kontrol Harcı
ZK1	Zeytin Çekirdeği Külünün Çimento ile %1 oranında ağırlıkça yer değiştirilmesiyle elde edilen karışım
ZK3	Zeytin Çekirdeği Külünün Çimento ile %3 oranında ağırlıkça yer değiştirilmesiyle elde edilen karışım
ZK5	Zeytin Çekirdeği Külünün Çimento ile %5 oranında ağırlıkça yer değiştirilmesiyle elde edilen karışım
ZÇ10	Zeytin Çekirdeğinin Agrega ile %10 oranında ağırlıkça yer değiştirilmesiyle elde edilen karışım
ZÇ20	Zeytin Çekirdeğinin Agrega ile %20 oranında ağırlıkça yer değiştirilmesiyle elde edilen karışım
ZÇ30	Zeytin Çekirdeğinin Agrega ile %30 oranında ağırlıkça yer değiştirilmesiyle elde edilen karışım
ZÇ20K3	Zeytin Çekirdeğinin Agrega ile %20 oranında, Zeytin Çekirdeği Külünün Çimento ile %3 oranında yer değiştirilmesiyle elde edilen karışım
ZÇ20K5	Zeytin Çekirdeğinin Agrega ile %20 oranında, Zeytin Çekirdeği Külünün Çimento ile %5 oranında yer değiştirilmesiyle elde edilen karışım

Tablo-2 Harç Karışım Tasarımı

Karışım Adı	ÇİMENTO (kg)	0-4 mm AGREGA (kg)	Z.Ç KÜLÜ (kg)	Z.ÇEKİRDEĞİ (kg)	SU (kg)
K	6	16,5	-	-	2,91
ZK1	5,94	16,5	0,060	-	2,91
ZK3	5,82	16,5	0,180	-	2,91
ZK5	5,7	16,5	0,300	-	2,91
ZÇ10	6	14,85	-	1,650	2,91
ZÇ20	6	13,2	-	3,300	2,91
ZÇ30	6	11,55	-	4,950	2,91
ZÇ20K3	5,82	13,20	0,180	3,300	2,91
ZÇ20K5	5,7	13,20	0,300	3,300	2,91

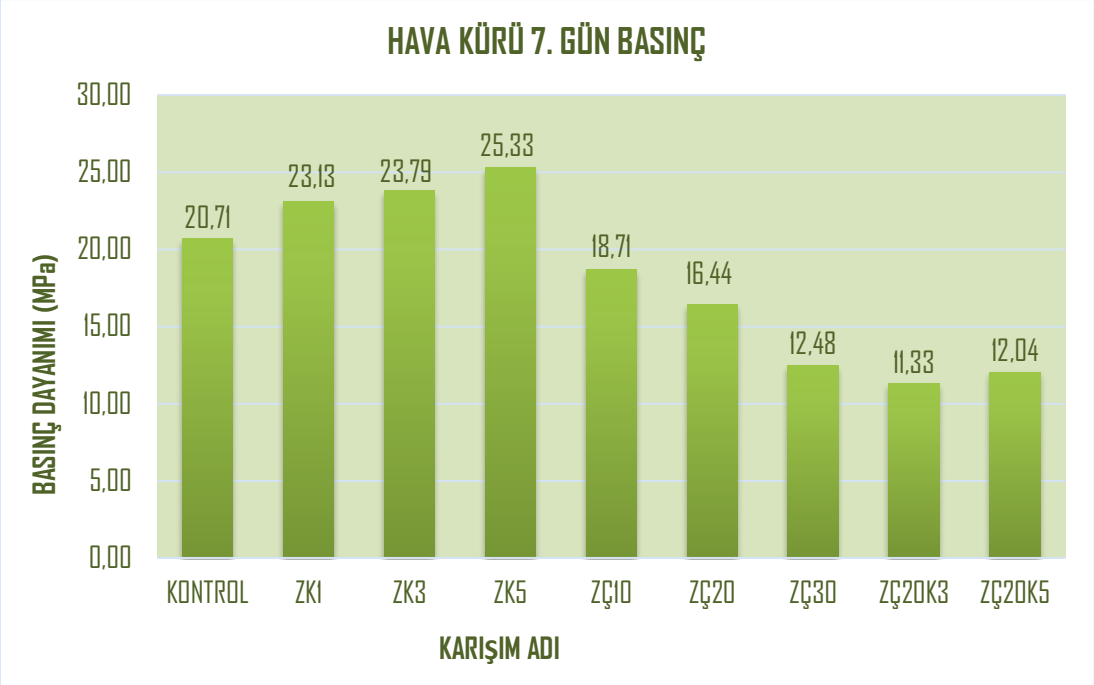
BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 1.3. *Zeytin çekirdeği katkılı numunelerin zamana bağlı kimyasal değişimleri*

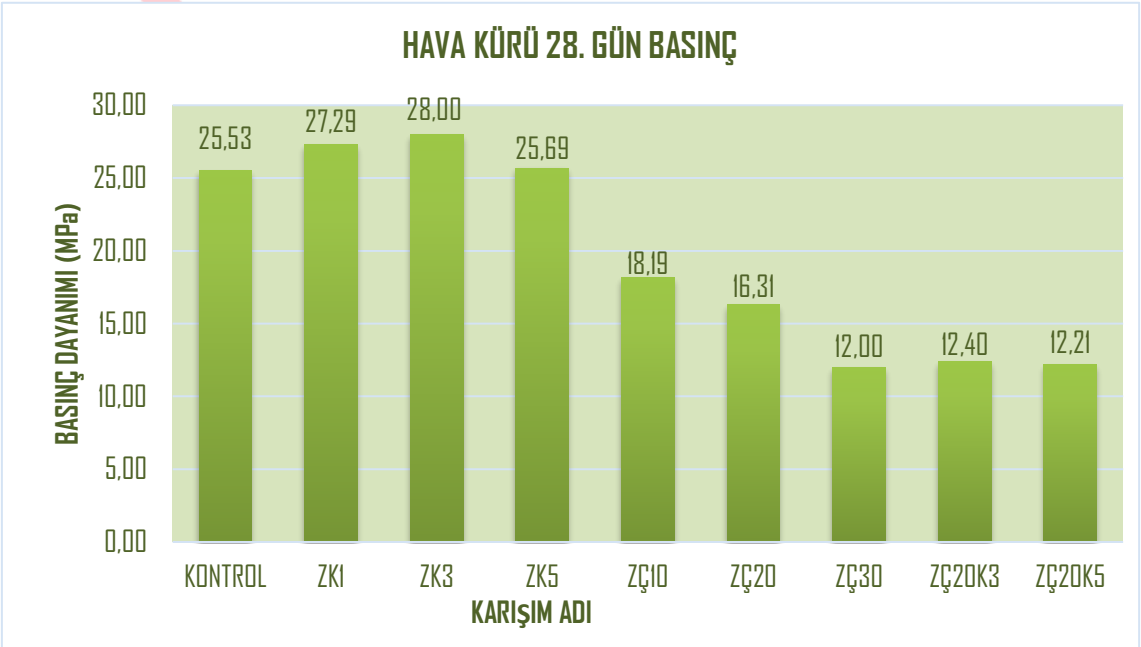
Zeytin çekirdeği ile agreganın yer değiştirdiği ZÇ serisi numunelerinde su küründen çıktıktan sonra bazı değişimler gözlemlenmiştir. Organik ve kimyasal hiçbir işlem görmeyen zeytin çekirdeklerinin zamanla bazı tepkimelere maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum zeytin çekirdeğinde bulunan asit oranıyla ilişkilendirilebilir. Bu konuda net açıklama

yapabilmek için uzun süreli bir araştırmayla zeytin çekirdeklerinin betonda meydana getirebileceği kimyasal tepkiler gözlemlenebilir.
Üretilen numunelerin 7,28 ve 90 gün boyunca kürlendikten sonra zamana bağlı basınç, eğilme dayanım sonuçları ve değerlendirmeleri sırasıyla verilmiştir.



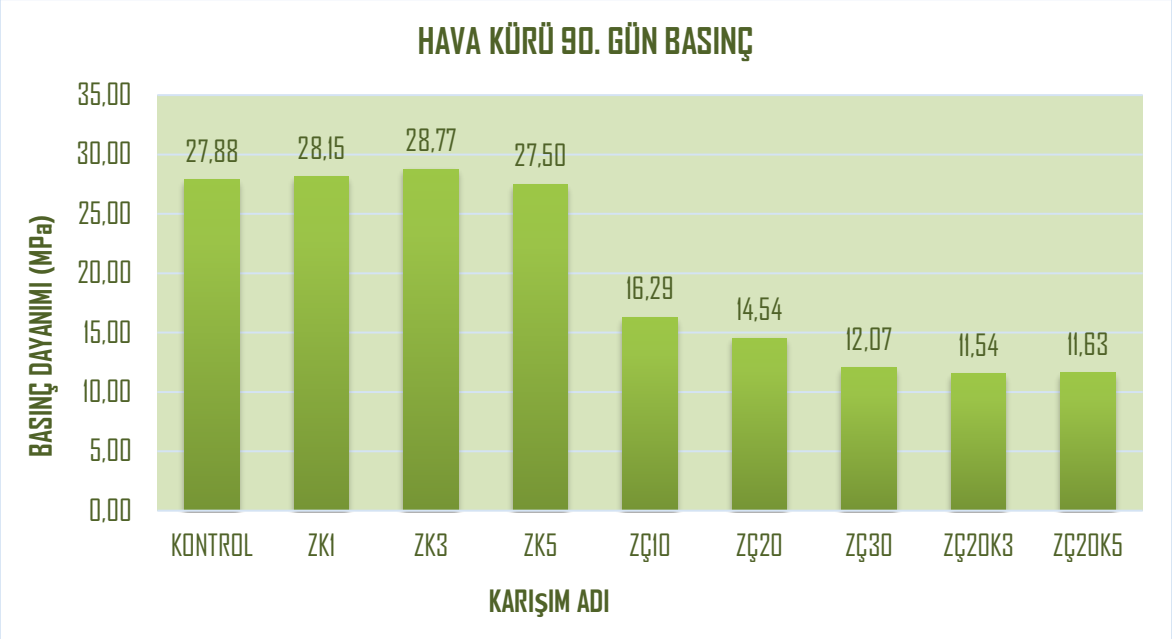
Şekil 2.1. *Hava ile kürlenen karışımların 7.gün basınç dayanımları*

Şekil 2.1. Üretilen 9 farklı karışımın sadece hava kürüne bırakılan numunelerinin 7.gün sonunda gösterdikleri basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında zeytin çekirdeği külü katkılı harçların katkı oranıyla doğru orantılı şekilde dayanımlarının da arttığı görülmüştür. Ayrıca kontrol betonuna kıyasla zeytin çekirdeği külü içeren ZK1, ZK3 ve ZK5 harçlarının dayanımda iyileşme gösterdiği gözlemlenmiştir. Zeytin çekirdeğinin agrega ile yer değiştirdiği harçlara bakıldığında ise küle kıyasla dayanımı olumsuz etkilediği incelenmiştir.



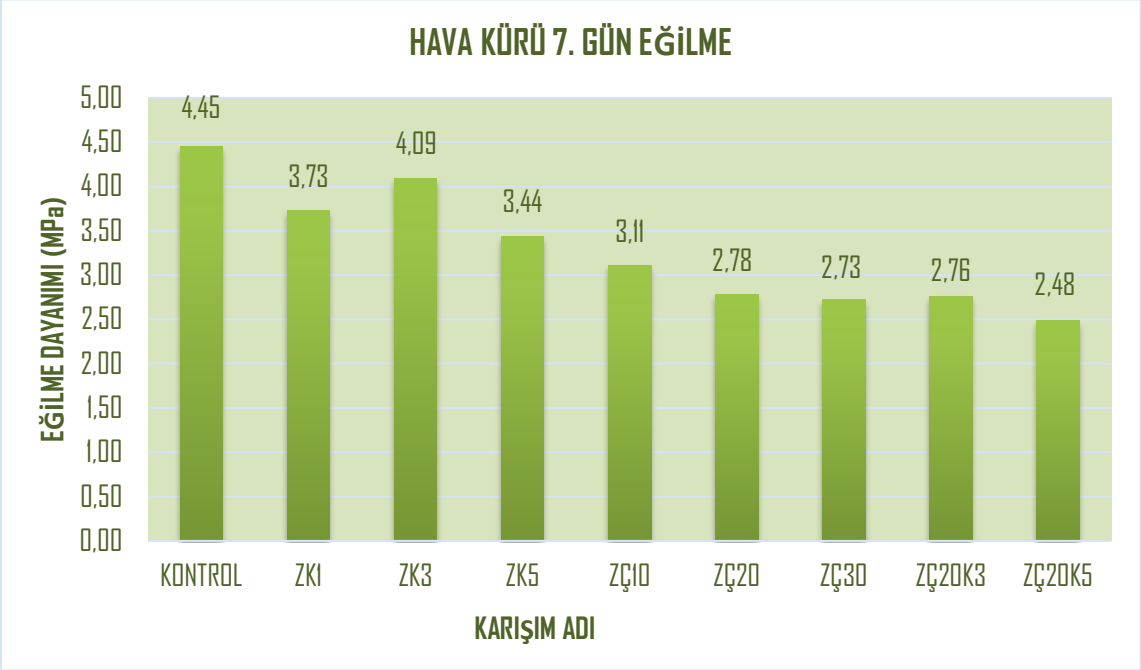
Şekil 2.2. *Hava ile kürlenen karışımların 28.gün basınç dayanımları*

Şekil 2.2. hava kürüne bırakılan numunelerin 28.gün basınç dayanım sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında 7.gün sonuçlarından farklı olarak ZK5 numunesinin kontrol betonuna yakın ancak ZK1 ve ZK3 numunelerinden daha az gelişme gösterdiği gözlemlenmiştir. Zeytin çekirdeği katkılı numunelerin %20 ve %30 oranlarının dayanımlarında gerileme olduğu incelenmiş olup, diğer çekirdek içeren harçların çok az gelişme gösterdiği görülmektedir. Özellikle zeytin çekirdeği içeren numunelerde boşluklu yapı gözlemlenmiş, çekirdeğin agregaya kıyasla sertliğinin daha düşük olduğundan dayanımı düşürdüğü düşünülmektedir. Hava kürüne bırakılan numunelerin çimento hidratasyon süreçlerinin verimli ilerleyememesinden ve su kaybından dolayı zamana bağlı az değişim gösterdiği düşünülmektedir. Zeytin çekirdeği içeren harçların dayanım sonuçlarının düşük olmasının sebebi karışım sürecinde de görülen yüksek yüzey alanının fazla su emme özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. (Hakeem vd., 2022: 9)



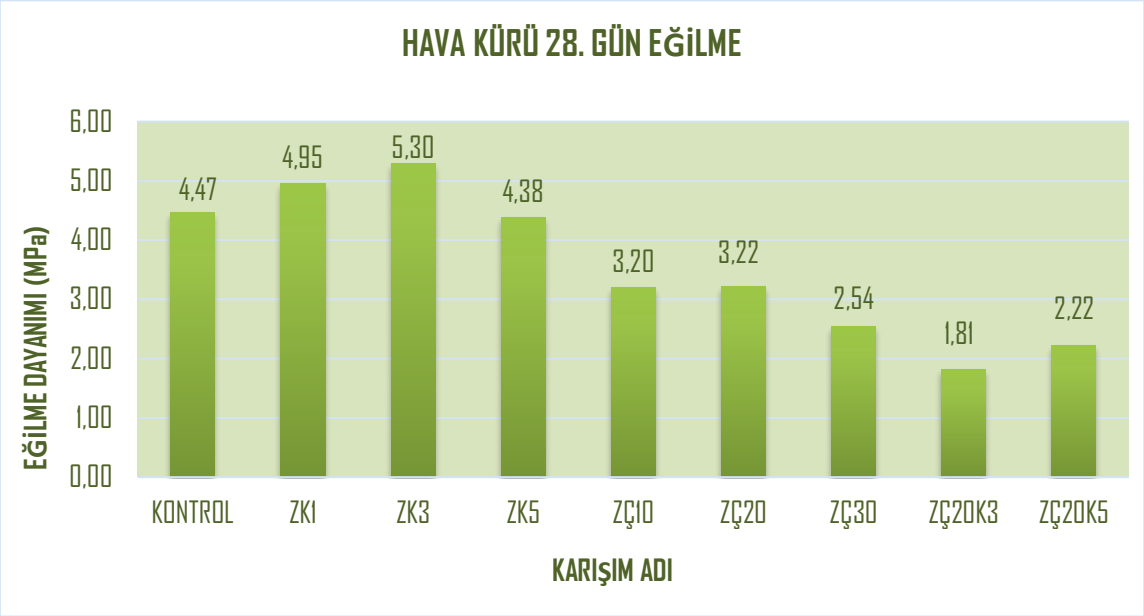
Şekil 2.3. *Hava ile kürlenen karışımların 90. gün basınç dayanımları*

Şekil 2.3. hava ile kürlenen numunelerin 90. gün basınç sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında 90. günde kül numunelerinden ZK3 numunesinin en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. ZK1 numunesinin de kontrol betonuna yakın sonuç verdiği görülmüştür. ZK5 numunesine bakıldığında ZK1 ve ZK3 numunelerine göre az iyileşme gösterdiği ancak kontrol betonuna yakın sonuç verdiği gözlemlenmiştir. ZÇ10, ZÇ20 ve ZÇ30 numunelerinde zamana bağlı dayanımda azalma görülmüştür. Hem çekirdek hem de kül içeren KR203 ve KR205 numunelerinin de zamanla azalma gösterdiği görülmüş, zeytin çekirdeğinin betonu olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Zeytin çekirdeği içeren numunelerdeki dayanım kaybının Şekil 1.3' de de gösterilen biyolojik ve kimyasal değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 2.4. *Hava ile kürlenen karışımların 7.gün eğilme dayanımları*

Şekil 2.4. hava ile kürlenen numunelerin 7 günlük eğilme dayanım sonuçlarını göstermektedir. Grafikte de görüldüğü üzere en yüksek dayanımı kontrol harcı numunesi göstermiştir. Zeytin çekirdeği külü içeren numunelerin kontrol betonuna yakın sonuçlar verdiği, zeytin çekirdeği katkılı numunelerin ise eğilme dayanımını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Özellikle %3 kül içeren ZK3 numunesinin kontrol betonuna en yakın dayanım sonucu olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.5. *Hava ile kürlenen karışımların 28.gün eğilme dayanımları*

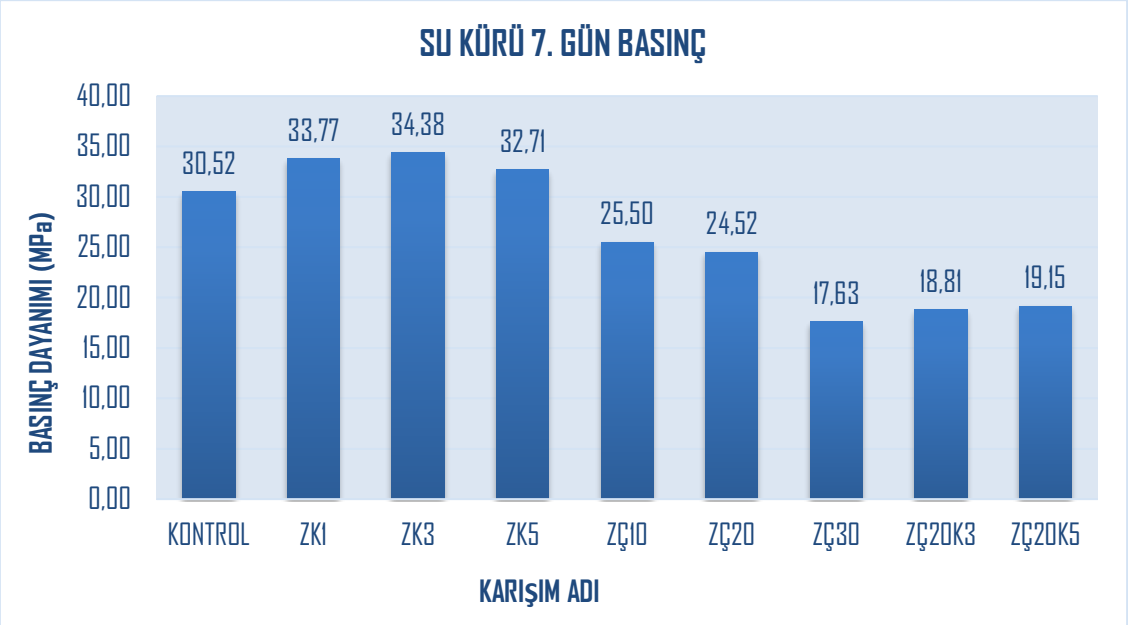
Şekil 2.5. 28 günlük hava kürüne bırakılan numunelerin eğilme dayanım sonuçlarını göstermektedir. 28.gün eğilme dayanım sonuçlarına bakıldığında ZK1 ve ZK3 numunelerinde gözle görülür bir iyileşme gözlenmiştir. %5 kül katkılı ZK5 numunesinin de kontrol betonuna yakın sonuca ulaştığı görülmektedir. Çekirdek içeren Ç10 ve Ç20 sonuçları incelendiğinde 7.güne göre Ç20 numunesinin diğer çekirdek içeren numunelere göre en iyi dayanıma ulaştığı

görülmüştür. Hem çekirdek hem kül içeren numunelerde ise gözle görülür bir gerileme meydana gelmiştir.



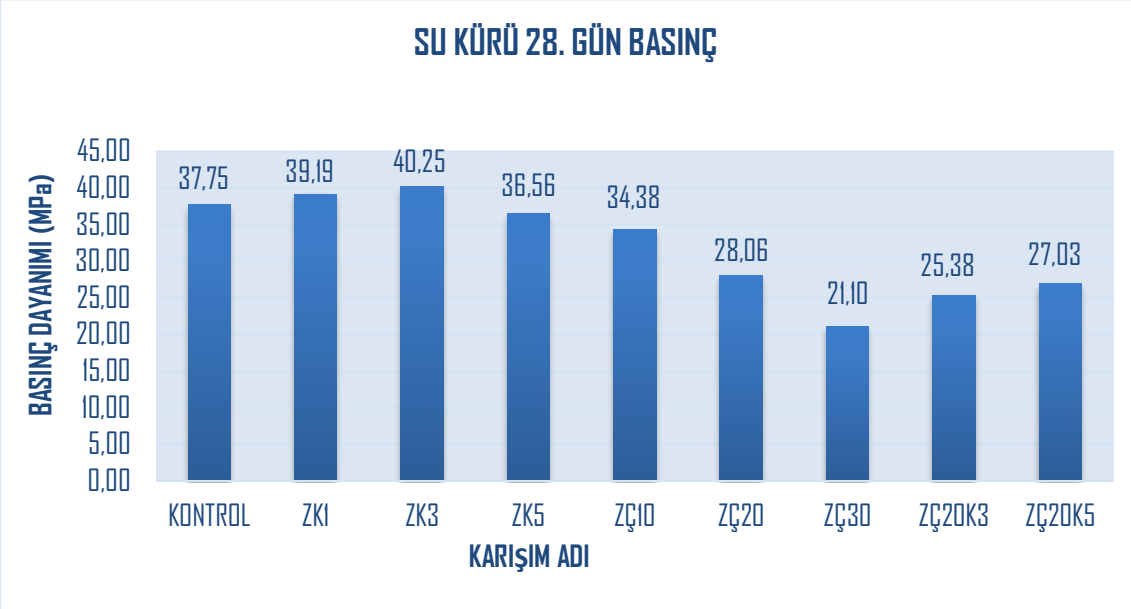
Şekil 2.6. *Hava ile kürlenen karışımların 90.gün eğilme dayanımları*

Şekil 2.6. da verilen sonuçlara bakıldığında kontrol, ZK1,ZK3 ve ZK5 numunelerinde 28.güne göre az bir gelişme görülmüş, en yüksek dayanım ZK3 numunesindedir. Çekirdek içeren Ç10, Ç20, Ç30 numunelerinde gerileme meydana gelmiştir. Hem kül içeren hem de çekirdek içeren numunelerde sadece çekirdek içeren numunelere kıyasla olumlu değişim gözlemlenmiştir. Bu durum külün dayanımda iyileştirme etkisine örnek niteliğindedir.



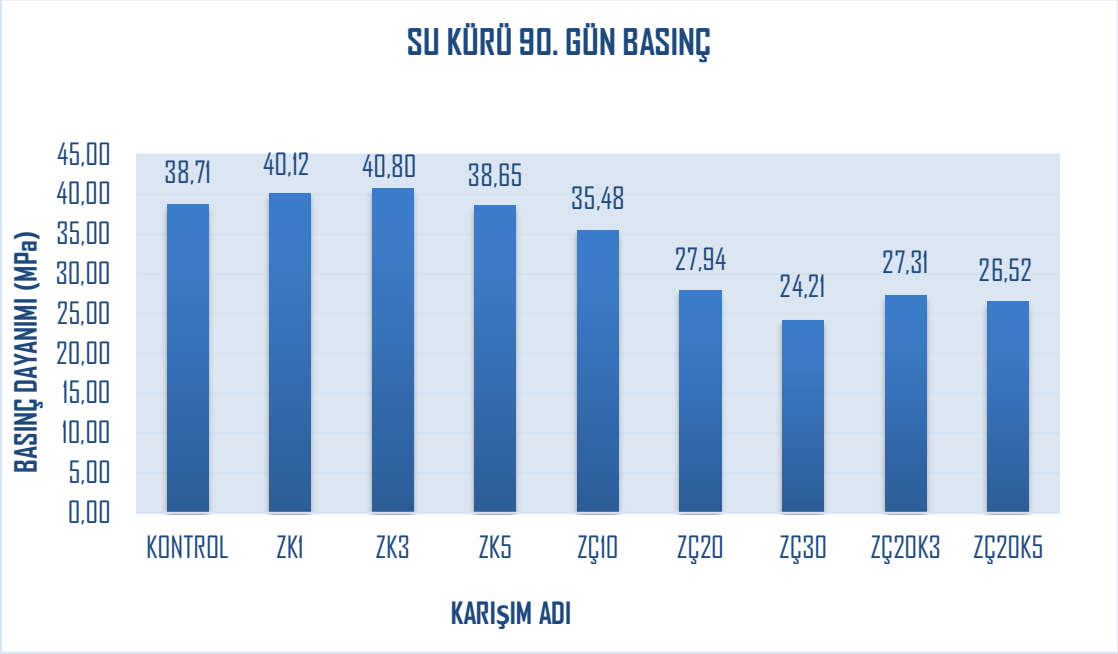
Şekil 2.7. *Su ile kürlenen karışımların 7.gün basınç dayanımları*

Şekil 2.7 su küründe 7 gün bekletilen numunelerin basınç dayanım sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında ZK1,ZK3 ve ZK5 kül içeren numunelerin dayanımlarının kontrol betonuna kıyasla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Hava küründe de gözlemlendiği gibi ZK3 numunesi en iyi dayanımı göstermiştir. Çekirdek içeren numunelere bakıldığında çekirdek oranının artmasıyla dayanımda azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 2.8. *Su ile kürlenen karışımların 28.gün basınç dayanımları*

Şekil 2.8 su ile kürlenen numunelerin 28 günlük basınç dayanım sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında 7.güne kıyasla tüm numunelerde gelişme görülmüş ZK3 numunesi diğer sonuçlarda da olduğu gibi en iyi gelişmeyi göstermiştir. ZÇ20K3 ve ZÇ20K5 karışımlarına bakıldığında ZÇ30 numunesinden daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.



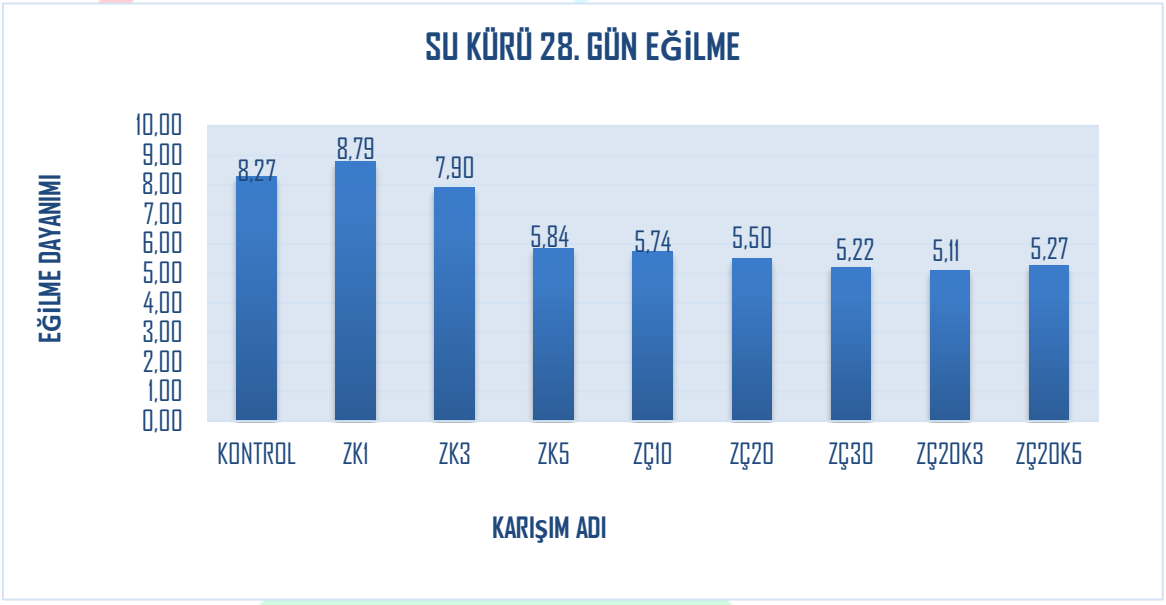
Şekil 2.9. *Su ile kürlenen karışımların 90.gün basınç dayanımları*

Şekil 2.9. 90.gün su kürü basınç dayanım sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde zeytin çekirdeği külü içeren karışımlarda en yüksek dayanıma ZK3 numunesi ulaşmıştır. ZK1 ve ZK5 numuneleri de kontrol numunesine yakın sonuç vermiştir. Zeytin çekirdeği içeren harçlarda çekirdek oranı arttıkça dayanım azalmaktadır. ZÇ20K3 ve ZÇ20K5 numunelerine bakıldığında ZK3 te olduğu gibi %3 oranında kül daha iyi dayanım sonucu göstermiştir.



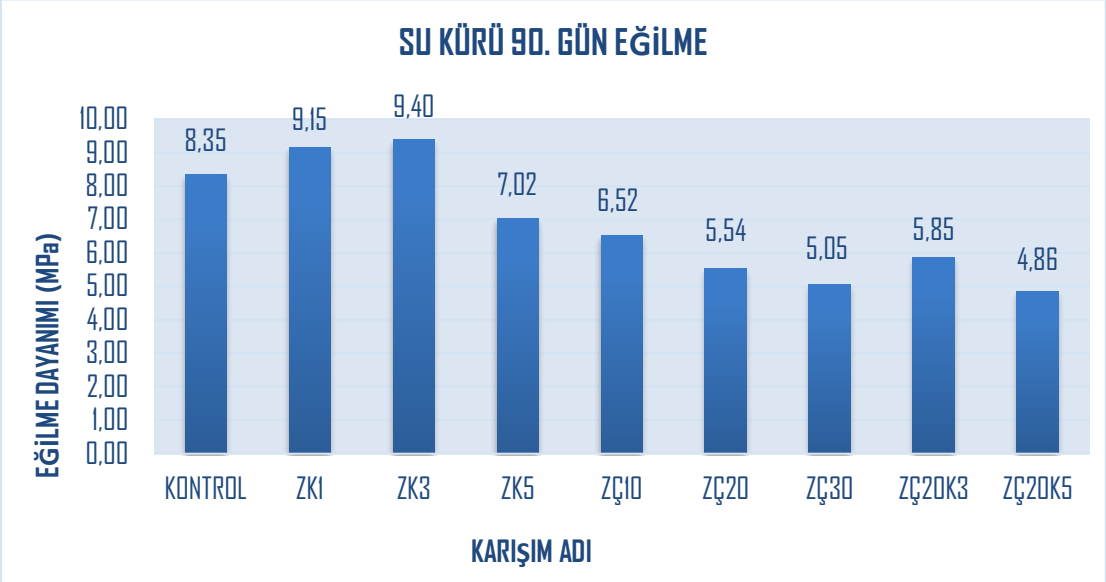
Şekil 2.10. *Su ile kürlenen karışımların 7.gün eğilme dayanımları*

Şekil 2.10. grafiğine bakıldığında ZK1 kontrol betonuna kıyasla en iyi dayanım sonucunu vermiştir. ZK3 numunesi kontrol numunesine yakın dayanım gösterirken, ZK5 numunesi gözle görülür bir farkla dayanımda azalma göstermiştir. Çekirdek oranı arttıkça dayanım azalırken hem %20 çekirdek içeren hem de %5 kül içeren ZÇ20K5 numunesi ZÇ20 numunesine kıyasla daha yüksek dayanıma ulaşmıştır.



Şekil 2.11. *Su ile kürlenen karışımların 28.gün eğilme dayanımları*

Şekil 2.11'deki 28.gün eğilme dayanım grafiği incelendiğinde ZK3 numunesi kontrol numunesine kıyasla daha az dayanıma ulaşırken, ZK1 en yüksek dayanım konumundadır. Diğer sonuçlarda da olduğu gibi çekirdeğin dayanımı azalttığı Şekil 2.11. de de görülmektedir.ZÇ20K5 karışımı %3 kül oranlı ZÇ20K3 karışımına kıyasla daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 2.12. *Su ile kürlenen karışımların 90.gün eğilme dayanımları*

Şekil 2.12. su kürüne bırakılan numunelerin 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını göstermektedir. ZK1 ve ZK3 numuneleri yüksek dayanım göstermiştir. Çekirdek içeren numuneler çekirdek oranı arttıkça azalma eğilimindedir. ZÇ20K3 numunesi ZÇ20 numunesine kıyasla daha yüksek dayanım göstermiştir. Buradan kül katkısının iyileştirme etkisi olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Eğilme ve basınç dayanım sonuçlarındaki ZK3 ve ZK5 numunelerinin kontrol numunesinden daha iyi sonuç vermesi zeytin çekirdeği külü katkısının mekanik dayanımı olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Çekirdeğin tüm sonuçlarda daha düşük dayanım göstermesi zamana bağlı kimyasal tepkimeler gerçekleştirebileceği sebebine ve üretim aşamasında da görüldüğü gibi su tutma özelliğinden kaynaklandığı düşünülebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çimento esaslı kompozitlerde sürdürülebilirlik başlığı altında alternatif hammadde arayışı sürmektedir. Bu kapsamda özellikle tarımsal endüstriyel atıkların özellikleri ve kullanılabilirliği araştırmaları sürmektedir.

Bu çalışmada çimento esaslı kompozitlerde zeytin çekirdeği ve zeytin çekirdeği külünün iki ayrı kür ortamında mekanik dayanıma olan etkileri araştırılmıştır.

Araştırmaların sonucunda hava küründe zamana bağlı çok az dayanım kazanma görülebilirken su kürü zamana bağlı farklı değişiklikler göstermiştir. Hava kürünün az değişim göstermesinin nedeni hidratasyon sürecinde su kaybından dolayı sürecin sağlıklı bir şekilde ilerleyememesinden kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda hava küründe bırakılan numunelerde su kaybı sonucu bir miktar büzülme meydana geldiğinden dayanımın olumsuz etkilendiği düşünülmektedir.

Her iki kür ortamında da zeytin çekirdeği külü içeren numunelerin kontrol numunesine kıyasla dayanımı olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. %1 kül katkısıyla dayanımda gelişme gözlemlenebilirken %3 katkıyla bu gelişme daha bariz ortaya çıkmaktadır. %5 kül katkılı numunelerde bazı yaşlarda kontrol numunesine yakın sonuçlar elde edilse de genel olarak dayanımlarda düşüş meydana getirmiştir. Zeytin çekirdeği külünün harcın işlenebilirliğini en iyi %3 katkı oranında arttırdığı da gözlemlendiğinden alternatif malzeme olarak farklı alanlarda kullanılabileceği ve %3 katkı oranında optimum seviyede olduğu söylenebilir.

Zeytin çekirdeğinin agrega yerine kullanıldığı karışımlarda tüm sonuçlarda oran artmasıyla dayanımda büyük kayıplar görülmesi, çekirdeğin su tutma özelliği ve harçların daha boşluklu yapıda gözlemlenmesinden kaynaklandığı gibi çekirdekten kaynaklı kimyasal ve biyolojik reaksiyonlardan da kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çalışma sonucunda zeytin

çekirdeğinin alternatif malzeme olarak elverişli bir malzeme olmadığı görülmüştür. Kapsamlı bir çalışmayla başka alanlarda kullanılabilirliği incelenebilir.

Hem zeytin çekirdeği hem zeytin çekirdeği külü içeren karışımlarda bazı sonuçlarda sadece çekirdek katkılı olan numunelere kıyasla iyileşme gösterdiği görülmektedir. ZÇ20K3 ve ZK20K5 karışımlarından net bir çıkarım yapılamamasının sebebinin çekirdeğin kimyasal reaksiyonundan dolayı verdiği tepkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKLAR:

Hakeem, I. Y. Agwa, I. S., Tayeh, B. A. ve Abd-Elrahman, M. H. (2022) Effect of using a combination of rice husk and olive waste ashes on High-strength concrete properties, Case Studies in Construction Materials, Volume 17, pages 3-10 , ISSN 2214-5095

Alkheder, S., Obaidat, Y. T., Taamneh, M., Effect of olive waste (husk) on behavior of cement paste, Case Studies in Construction Materials, Volume 5, 2016, Pages 2-6 , ISSN 2214-5095

Antoun, M., Issa C. A., Aouad, G. ve Gerges, N., (2021), Sustainable masonry blocks: Olive wood waste as substitute for fine aggregates, Case Studies in Construction Materials, Volume 15, pages 2-12 ISSN 2214-5095

Al-Akhras, N. M.,. Al-Akhras, K. M. ve Attom, M. F.,(2009), Performance of olive waste ash concrete exposed to elevated temperatures, Fire Safety Journal, Volume 44, Issue 3, , Pages 2-6 , ISSN 0379-7112

Ferkous, S. A., Soudani, K. ve Haddadi S., (2022), Laboratory study of the skid resistance of asphalt concrete made of local low performances aggregates by partially replacing sand with olive mill waste, Construction and Building Materials, Volume 324, pages 2-9, 126657, ISSN 0950-0618

Moraes-Pinheiro, S. M., Font, A., Soriano, L., Tashima, M. M., Monzó, J., Borrachero, M. V. ve Payá, J., (2018) Olive-stone biomass ash (OBA): An alternative alkaline source for the blast furnace slag activation, Construction and Building Materials, Volume 178, Pages 2-12, ISSN 0950-0618

Barreca, F. ve Fichera, C.R. (2013). Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation, Energy and Buildings, Volume 62, Pages 2-12, ISSN 0378-7788

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Sığ Tünellerin Tahkimatında Tek Sıra ve Çift Sıra Şemsiye Süren Kullanımının Yüzey Oturmalarına Etkisi: Dudullu-Bostancı Metro Hattı Yolcu Tüneli Örneği

İnci Nur ÇAKAR[1]
Murat Ergenokon SELÇUK[2]

Özet

Şehir içi tünelciliğinde, özellikle yaygınlaşan metro tasarım ve inşa süreçlerinde gerek yüzeye çıkan giriş-çıkış yapıları için gerekse yaya geçişlerinin sağlanabilmesi için iki ucu birbirine bağlayan yolcu tünelleri için sıklıkla sığ tünellerin tasarım ve inşa süreçleri ile karşı karşıya kalınmaktadır. Metro inşaatlarında yapılan derin kazılar ile derin kazıların altıda mekanik ya da makine kazı yöntemleri ile inşa edilen tüneller içinde üzerinde kalan zemin örtü kalınlığına göre sığ tünel olarak adlandırılabilmektedirler.

Tünel sistemlerinde, tünel üzerinde bulunan örtü kalınlığı ne kadar fazla ise kemerlenme etkisiyle birlikte tünel kesitinin kendi içinde dengeye ulaşması daha kolay olmaktadır. Aynı zamanda zemin içinde derine inildikçe tünelin inşa edileceği zeminin biriminin dayanım parametrelerine ait değerlerde de artış görünmektedir.

Sığ olmayan ve dayanımı nispeten orta-iyi olan zemin/kaya birimlerinde klasik tünelcilik yöntemleri ile tahkimatlar sürdürülebilirken sığ ve killi-kumlu zeminlerde tünel tahkimatı için klasik destek yöntemlerinin sıklaştırılması ve bazen inşa edilecek tünele özel tahkimat sistemleri geliştirilmesi gerekebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, şehir içinde yer alan, kil bir zemin tabakasında bulunan, örtü kalınlığı 6m olan sığ bir tünel için tek sıra ve çift sıra şemsiye süren ile tasarımın yapıldığı analiz modelleri hazırlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, sığ bir tünelde, şemsiye süren imalatlarının iki katına çıkarılarak tünel kemerinin rijitliği arttırıldığında, tünel kemerinde ve yüzeyde oluşması beklenen oturmalarının nasıl etkilendiğine ilişkin kıyaslamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tünel, Sığ Tüneller, Tahkimat, Şemsiye Süren, Plaxis 2D

[1] Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, e-mail: (incicakarx@gmail.com), Orcıd: 0009-0007-0877-4317
[2] Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, e-mail: (mselcuk@yildiz.edu.tr), Orcıd: 0000-0003-1890-7965

ISBN: 978-625-372-170-1

1.GİRİŞ

Büyük şehirlerde yaygınlaşan raylı sistem ağları ile birlikte, birçok farklı zemin koşullarında, farklı derinliklerde mekanik ya da makine kazılarıyla tüneller inşa edilmektedir. Tünelcilik faaliyetlerinin şehir içinde hızlı gelişimi ile birlikte yumuşak zeminlerde tüneller yapılmasını da ihtiyaçlar doğrultusunda beraberinde getirmiştir.

Tünellerin en kesitlerinden bağımsız olarak, tünelin üzerinde bulunan örtü kalınlığı miktarı ve bulunduğu zemin-kayaç birimi, tünelin dayanımı ve uygulanacak olan tahkimat için avantaj ya da dezavantaj sağlayabilmektedir. Sığdan derine gidildikçe, yumuşak zemin birimlerinden sert kayaçlara geçişler sağlanmaktadır. Bu şekilde bakıldığında tünellerin açıldığı ortamlar yumuşak zemin birimleri, ayrışmış zayıf kayaçlar, az ayrışmış sert kayaçlar şeklinde gruplandırılabilmektedir.

Sığ tünellerde olarak adlandırılabilen, yumuşak zemin birimlerinde yer alan tüneller için en büyük problemler zeminlerin sahip olduğu düşük dayanımlar, düşük dayanımlar neticesinde meydana gelen hızlı ve kolay deformasyonlar, yer altı suyunun dinamiği şeklinde sıralanabilir. Tünel imalatları sırasında yer altı suyundan kaynaklı olarak meydana gelebilecek olumsuzlukların önlenebilmesi için yer altı suyunun düzenli olarak drene edilmesi ya da galeriler yardımı ile çalışma alanından uzaklaştırılmalıdır. Yer altı suyunun oluşturabileceği problemlerin yanında tünelin açılacağı zemin biriminin hangi zemin malzemesine ait olduğu ve imalat sürecinde davranışının öngörülebilmesi için malzemenin karakteristik özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir. Ön tasarım süreçlerinde zeminin karakteristiği ve yer altı suyuna ait davranışın irdelenmemesi durumunda tünel imalatı aşamalarında tünel çeperinde ve yüzeyde deformasyonlar meydana gelebilir, tünel ve üst yapılar zarar görebilir.

Üç bölümde incelenen bu çalışma kapsamında, şehir içinde yapılacak olan, killi zemin biriminde yer alan sığ bir tünel için yüzey oturmalarını sınırlandırmaya çalışırken, ön tasarımda kullanılacak olan şemsiye sürenin tek sıra ve çift sıra uygulanması ile oturma miktarlarındaki değişim miktarı irdelenmektedir.

Çalışmanın ilk bölümünde, literatürde yapılan benzer çalışmalardan derlemeler yapılarak kullanılacak olan tünel destek elemanlarının dayanım değerleri ve analiz modeli sınırlarının belirlenmesi açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, killi zemin içerisinde ilk bölümde belirlenen analiz modeli sınırlarına göre hazırlanan analiz modellerine ait ilerleme adımları ve sonuç çıktıları paylaşılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümde ise, ikinci bölümde çıktıları paylaşılan analizlere dair detaylı değerlendirmeler ve killi zemin biriminde yer alan sığ bir tünel için tek sıra ya da çift sıra şemsiye süren kullanımının tünel kemerinde ve yüzeyde beklenen oturma değerlerine etkisi kıyaslanmıştır. Yapılan kıyas ve değerlendirmelere göre öngörüler ve öneriler açıklanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI ve YÖNTEM

Yapılan tasarım ve saha çalışmalarında, tünel destek sistemlerinde geleneksel olarak tek sıra şemsiye süren uygulandığı bilinmektedir. Perveroğlu Şat vd. (2023)'de yapılan çalışmada da bahsettikleri gibi, Tan (2005), Miwa ve Ogasawara (2005) yapmış oldukları çalışmalarda 2-5m örtü kalınlığına sahip sığ tüneller için çift sıra şemsiye kemer uygulamasının değerlendirilebileceği fakat yapılacak olan analiz modellerinden elde edilen sonuçlarda yüzey

oturmalarında kayda değer bir fark olmayabileceği gibi gerçek değerler ile örtüşmeyebileceğine vurgu yapılmıştır.

Perveroğlu Şat vd. (2023)'te yapmış oldukları çalışmalarında da yaklaşık 5 m örtü kalınlığı bulunan tünelin tasarım çalışmalarında değerlendirilen çift sıra şemsiye süren tasarımının analiz sonuçları da yine literatürü destekler şekilde yüzey oturmalarında teorik olarak bir fark oluşturmamıştır. Yapılan bu çalışmada, nümerik analizlere ilave olarak uygulama esnasında aynı zemin birimi ve benzer örtü kalınlıkları için tek sıra ve çift sıra şemsiye süren uygulamasına ait gerçek oturma değerleri kıyaslandığında, çift sıra şemsiye sürenin oturma değerleri üzerinde uygulamada pozitif etkisi olduğundan bahsedilmiştir.

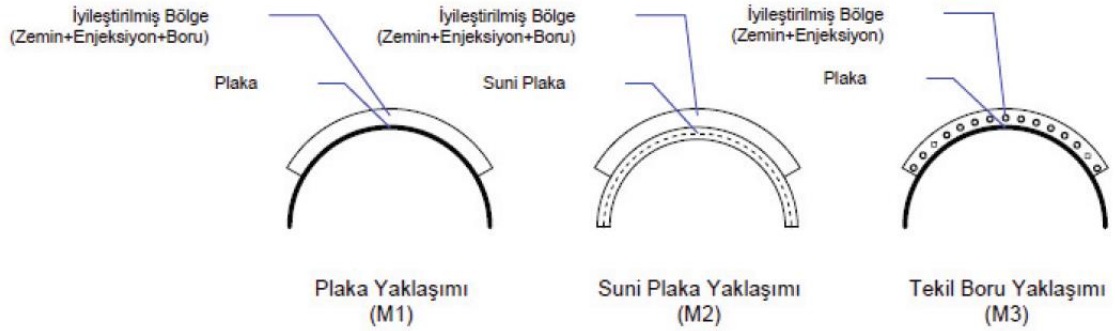
Literatürdeki bu çalışmalara ilave olarak, yapılacak olan bu çalışmada, tünel killi zemin birimleri içerisinde yer almakta olup örtü kalınlığının üzerinde aktif bir araç-yaya sirkülasyonu olup, tünelin etki alanında yoğun bir yapı stoğu mevcut olan ortamlarda, tünelin üzerinde bulunan örtü tabakasında herhangi bir iyileştirme çalışmasının yapılması mümkün olamayacağından, benzer çalışma ortamları için detaylı ön tasarım çalışmaları yapılmıştır.

Yapılacak olan analiz modellerine tanımlanacak olan zemin-kayaç birimleri ve bunlara ait dayanım parametreleri **Tablo 6**'de paylaşılmaktadır.

Tablo 6 *– Tasarım için Seçilen Geoteknik Parametreler*

Zemin Birimi	**Birim Hacim Ağırlık (γ) (kN/m³)**	**İçsel Sürtünme Açısı (ϕ')**	**Kohezyon (c') (kN/m²)**	**Elastisite Modülü (E) (MPa)**
Dolgu	18	27 °	5	10
Çakıllı Kil	20	28 °	5	15
Killi Silt	19	30 °	5	20
Arkoz	24	30 °	50	80

Tünel tahkimat elemanı olan şemsiye kemerin analiz modellerine Tan (2005)'te plaka ve tekil boru, Ağbay (2019) ve Norouzi (2020)'de plaka, Güneş (2021)'de ise suni plaka olarak yansıtılmaktadır. Şemsiye kemer uygulaması, sayısal olarak üç farklı yaklaşım ile: (i) plaka (M1), (ii) suni plaka (M2), (iii) tekil boru (M3) olarak modellenebilmektedir. (Ergincan vd. 2023) Hazırlanan analiz modellerinde, şemsiye süren ve iksa sistemlerinin modellemesi için Norouzi (2020)'de kullanılan plaka yöntemi tercih edilmiştir.



Şekil 14 *– Şemsiye Kemerin Sayısal Modelleme Yaklaşımları (Ergincan vd. 2023)*

Norouzi (2020)'de de kullanılan plaka yöntemi ile tünel kemerinde iyileştirilen bölgenin elastisite modülü; zemin, enjeksiyon ve süren borularının elastisite modüllerinin, kapladıkları alana göre ağırlıklı ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Tünel kaplaması için ise yine benzer şekilde plaka yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır.

Sayısal analizlerde tünel kaplaması, plaka eleman olarak modellenmekte, püskürtme beton ve kafes iksa dayanım değerleri eşdeğer alan yöntemi ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalarda kullanılan eşitlikler aşağıdaki gibidir.

$$EA = E_{eq}\ (h\ x\ 1000) \quad (1)$$

$$EI = E_{eq}\left(\frac{h^3\ x\ 1000}{12}\right) \quad (2)$$

$$E_{eq} = \frac{\left(E_{\emptyset}\left(\frac{A_{\emptyset_1} + A_{\emptyset_2} + A_{\emptyset_3}}{d}\right) + E_{PB}\left((h\ x\ 1000) - \left(\frac{A_{\emptyset_1} + A_{\emptyset_2} + A_{\emptyset_3}}{d}\right)\right)\right)}{(h\ x\ 1000)} \quad (3)$$

$$W_{plate} = (\gamma_{beton} - (0.5\ \gamma_{zemin}))\ d_{eq} \quad (4)$$

EA : Uzama rijitliği
EI : Eğilme rijitliği
E_{eq} : Eşdeğer elastisite modülü
$E_{Ø}$: İksa donatısı elastisite modülü
$A_{Ø1\text{-}2\text{-}3}$: İksa donatısı çapları
d : Kafes iksa aralığı
E_{PB} : Püskürtme beton elastisite modülü
h : Püskürtme beton kalınlığı
W_{plate} : Tek yüzü gömülü olan plate eleman ağırlığı
γ_{beton} : Beton birim hacim ağırlığı
γ_{zemin} : Zemin birim hacim ağırlığı
d_{eq} : Eşdeğer destek elemanı *(püskürtme beton + kafes iksa)* kalınlığı

Sayısal analizlerde püskürtme beton ve kafes iksa için kullanılan parametreler **Tablo 7**'de, yukarıda verilen eşitliklere göre hesaplanan parametreler ise **Tablo 8**'de verilmiştir.

***Tablo 7** – Püskürtme Beton ve Kafes İksa Malzeme Özellikleri*

İksa Donatısı Elastisite Modülü	MPa	**$E_{Ø}$ =**	20000
İksa Donatısı Çap-1	mm	**$Ø_1$ =**	20
İksa Donatısı Çap-2	mm	**$Ø_2$ =**	20
İksa Donatısı Çap-3	mm	**$Ø_3$ =**	26
İksa Aralığı	mm	**d =**	600
Püskürtme Beton Elastisite Modülü	MPa	**E_{PB} =**	15000
Püskürtme Beton Kalınlığı	mm	**h =**	300
Eşdeğer destek elemanı kalınlığı	mm	**d_{eq} =**	300

***Tablo 8** – Plaka Eleman Analiz Parametreleri*

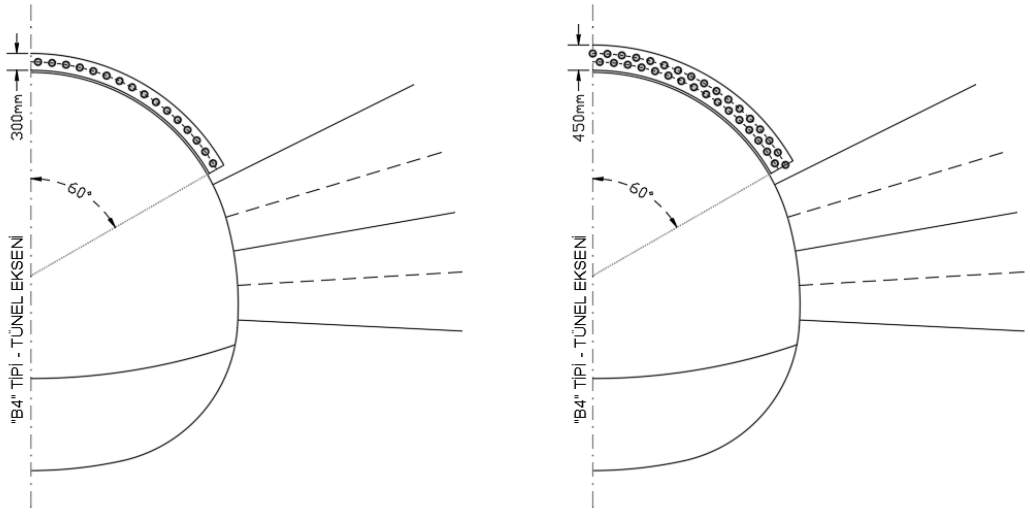
Eşdeğer Elastisite Modülü	GPa	**E_{eq} =**	16.19
Uzama Rijitliği	kN/m	**EA =**	$4.86x10^6$
Eğilme Rijitliği	kPa/m	**EI =**	$3.64x10^4$
Tek Yüzü Gömülü Eleman Ağırlığı	kN/m	**W_{plate} =**	4.5

Tünel kemeri üzerinde ön tasarım çalışması yapılacak olan tek sıra ve çift sıra şemsiye süren uygulamasının eşdeğer alan yöntemine göre modül hesapları denklem (5)'e göre yapılmıştır.

$$E_{eq} = \frac{(n\ x\ E_{ç}\ x\ A_{ç}) + \left(n\ x\ E_g\ x\ (A_d - A_{ç})\right) + \left(E_z\ x\ \left(A - (n\ x\ A_{ç})\right)\right)}{A} \quad (5)$$

E_{eq} : Eşdeğer elastisite modülü
n : Tünel kemeri üzerine gelen şemsiye süren adedi
$E_{ç}$: Süren elastisite modülü
E_g : Enjeksiyon elastisite modülü
E_z : Zemin elastisite modülü
A_d : Delgi alanı
$A_{ç}$: Süren alanı
A : Kemer üzeri iyileştirilmiş bölge alanı

Tünel tahkimatında, kemer bölgesinde iyileştirilen zeminin kalınlığı, zeminin türüne, enjeksiyonuna bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Burada şemsiye süren için iyileştirilmiş bölge kalınlıkları seçilirken, boruların üst örtü kalınlığı da göz önüne alınarak ortalama bir değer kabulü yapılmış; tek sıra için 300mm, çift sıra için 450mm iyileştirilmiş alan kalınlığı kabulü yapılmıştır.



***Şekil 15** – Şemsiye Süren için İyileştirilmiş Zemin Kalınlıkları Şematik Gösterimi*

Sayısal analizlerde şemsiye süren için kullanılan parametreler
Tablo 9 ve **Tablo 10**'de, yukarıda verilen eşitliğe göre hesaplanan eşdeğer elastisite modülleri ise **Tablo 11**'da verilmiştir.

***Tablo 9** – Tek Sıra Şemsiye Süren için Malzeme Özellikleri*

Delgi Çapı	mm	**Ø =**	125
Çivi Çapı	mm	**Ø =**	26
Enjeksiyon Elastisite Modülü	MPa	**E =**	22000
Çivi Elastisite Modülü	MPa	**E =**	200000
Kemer Üzerine Düşen Eleman Adedi	adet	**n =**	16
İyileştirilmiş Zemin Bölgesi	m^2	**A =**	1.199
Zemin Birimi Elastisite Modülü	MPa	**E =**	15

***Tablo 10** – Çift Sıra Şemsiye Süren için Malzeme Özellikleri*

Delgi Çapı	mm	**Ø =**	125
Çivi Çapı	mm	**Ø =**	26
Enjeksiyon Elastisite Modülü	MPa	**E =**	22000
Çivi Elastisite Modülü	MPa	**E =**	200000
Kemer Üzerine Düşen Eleman Adedi	adet	**n =**	32
İyileştirilmiş Zemin Bölgesi	m^2	**A =**	1.834
Zemin Birimi Elastisite Modülü	MPa	**E =**	15

***Tablo 11** – Şemsiye Süren Eşdeğer Elastisite Modülleri*

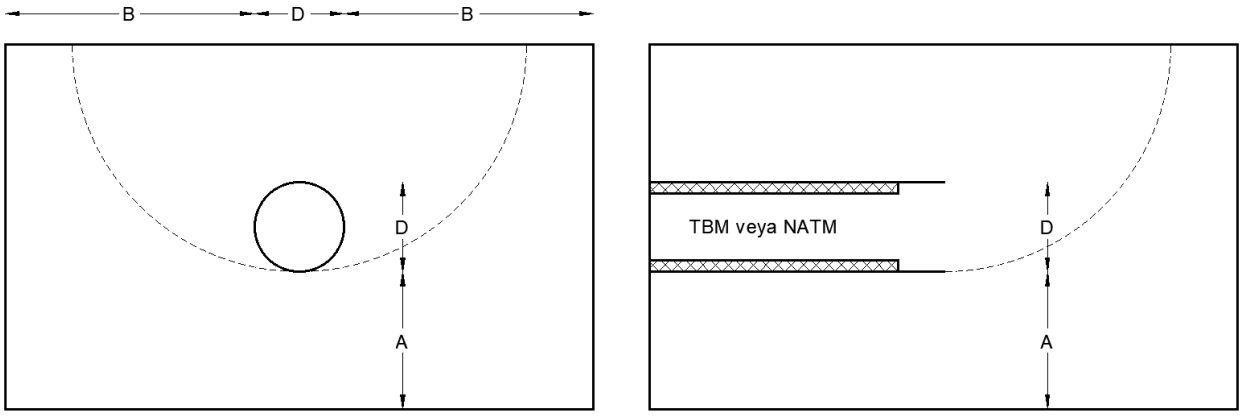
Tek Sıra Şemsiye Süren	GPa	**E_{eq} =**	4.88
Çift Sıra Şemsiye Süren	GPa	**E_{eq} =**	6.37

Tünel kazı adımlarında kullanılacak olan zemin çivisi, şaşırtmalı olarak 6-4 şeklinde, bir dilimde 6 zemin çivisi, bir sonraki dilimde 4 zemin çivisi olacak şekilde sıralı olarak uygulanacaktır. 2D analiz modelinde bu adımların birebir tanımlanma imkânı olmadığı ve şemsiye sürenin tasarıma dâhil edilebilmesi için sağlanması gereken koşulların yeterliliğini kontrol amaçlı hazırlandığından sistemin elverişli durumu analiz modeli olarak hazırlanmıştır. Bu sebeple, analiz modeli içerisinde dikkate alınan tip kesitte 6 adet zemin çivisi tanımlanmıştır.

***Tablo 12** – Zemin Çivisi Malzeme Özellikleri*

Ø (mm)	**E (kN/m^2)**	**γ (kN/m^3)**	**Uzunluk (m)**	**Aralık**		**T_{skin} (kN/m)**
				Boyuna (m)	**Radyal (m)**	
26 - 125	300000000	25	4	0.60	1.20	100

Analiz sınırlarının belirlenmesinde, kullanılan yazılımların ve yapılan çalışmaların neticesinde Plaxis 2D yazılımında tünel analizleri için kullanılması önerilen sınır değerler **Şekil 16**'te gösterilmektedir. Hazırlanan analiz modelinde üst örtü kalınlığı çalışma alanı ile uyumlu olacak şekilde 6m alınmış olup diğer sınır değerler tünelin etki alanını kapsamayacak şekilde düzenlenmiştir.



***Şekil 16** – Plaxis 2D Tünel Analizlerinde Dikkate Alınan Sınır Koşulları*

Alın Stabilitesi : A>1/2D ve B≥2D
Yapı Kuvvetleri : B≥2D

3. TASARIM ÇALIŞMALARI

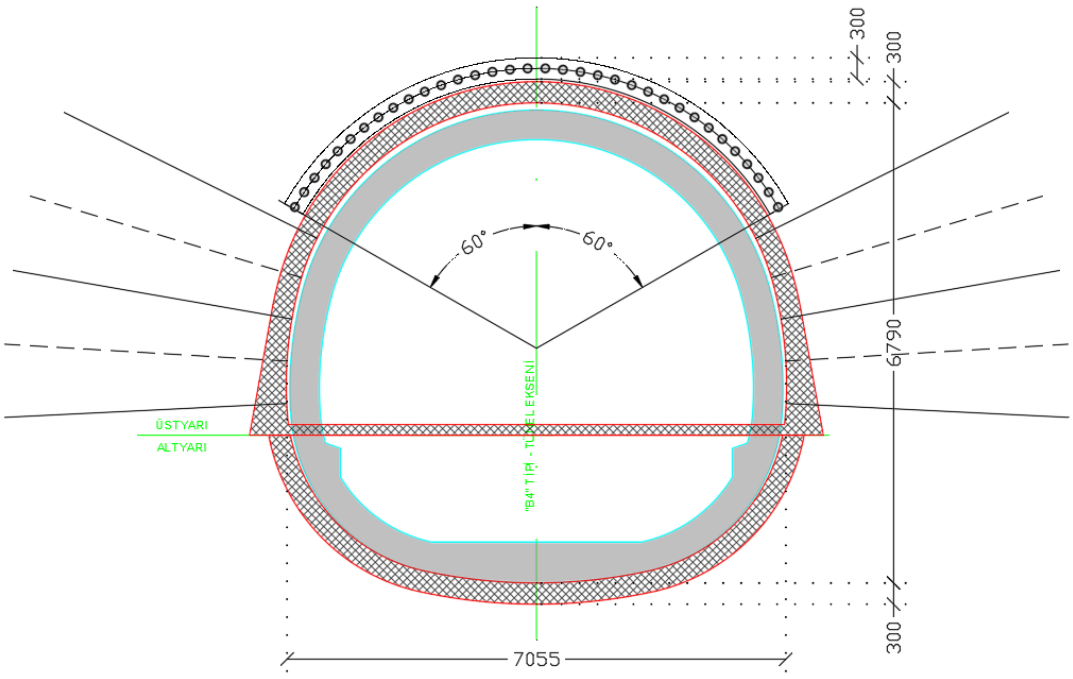
3.1. Tek Sıra Şemsiye Süren

Analiz modeline tanımlanacak olan şemsiye sürenler, literatürde kabul görmüş eş değer alan yöntemi ile şemsiye sürenin rijitleştirdiği kemer bölgesi Plaxis 2D'de soil eleman olarak tanımlanmış ve analiz aşamalarından Faz-2'de belirlenmiş olan bu kısım **(Şekil 20)** rijitliği arttırılmış eş değer soil eleman olarak seçilmiştir.

Tünel kemerinde 120^{o}'lik bir açı içerisinde şemsiye süren uygulaması yapılarak tünelin kemer bölgesi iyileştirilmiş bölge olarak tanımlanmaktadır.

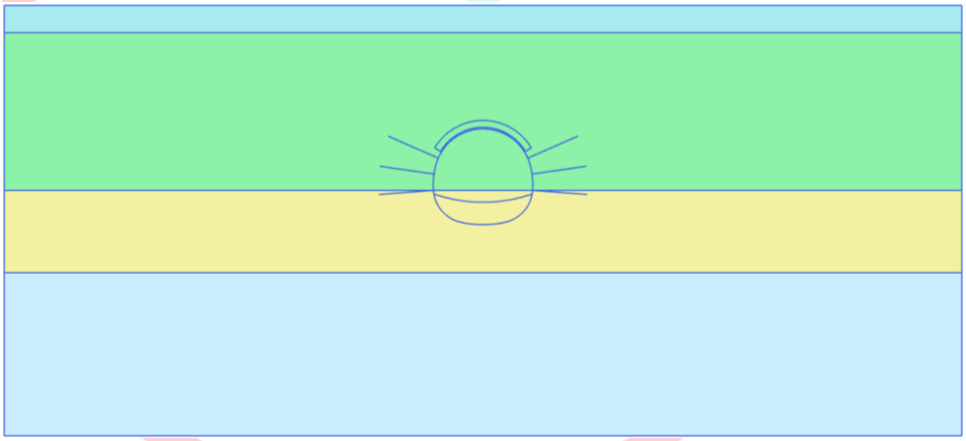
Aşağıda Plaxis programında hazırlanmış olan iki boyutlu analiz modelinin analiz aşamaları boyunca ilerlemesini gösteren adımlar şekil olarak paylaşılmıştır. Sayısal model aşamaları aşağıdaki sırada ilerletilmiştir:

- Başlangıç Fazı: Birincil Gerilmelerin Oluşturulması
- Faz-1: Sürşarj Yükünün Aktif Edilmesi
- Faz-2: Şemsiye Süren İmalatının Yapılması
- Faz-3: Üst Yarı Kazısının Yapılması
- Faz-4: Üst Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması
- Faz-5: Zemin Çivilerinin Uygulanması
- Faz-6: Alt Yarı Kazısının Yapılması
- Faz-7: Alt Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması

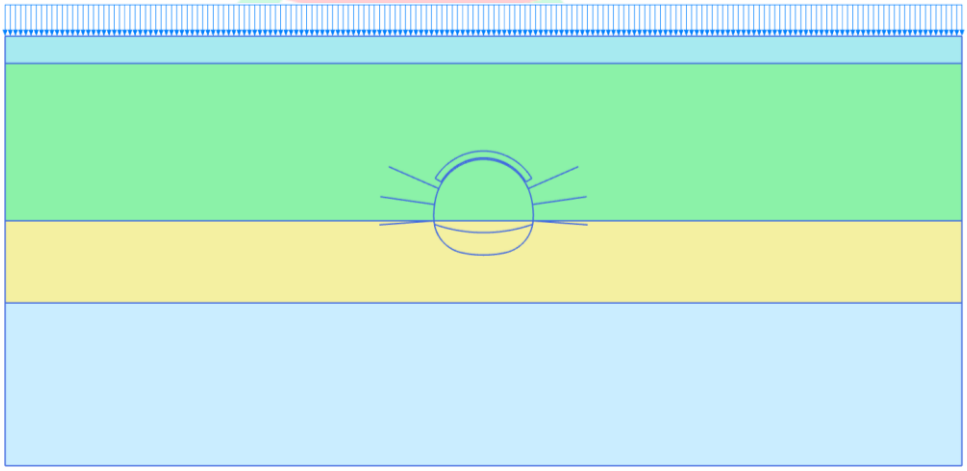


***Şekil 17** – Tek Sıra Şemsiye Süren için Tünel Enkesiti*

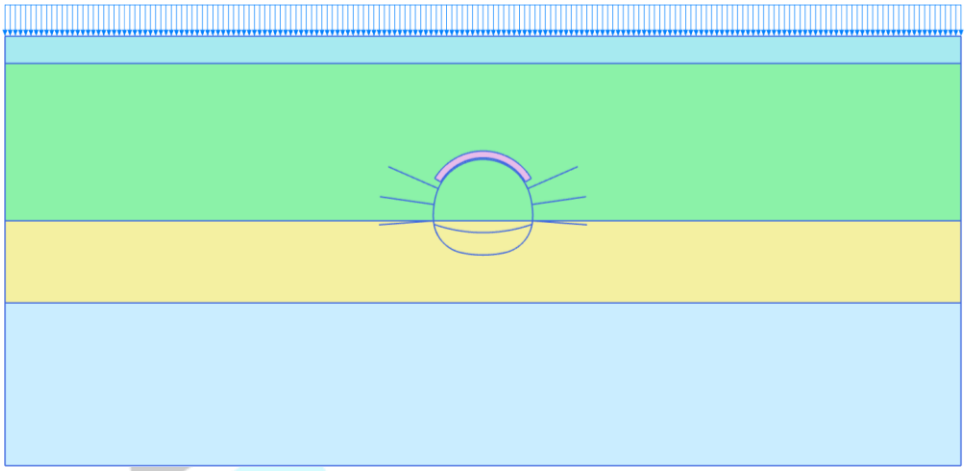
Yukarıda maddeler halinde tanımlanan ilerleme aşamalarına ait program görüntüleri aşağıda paylaşılmaktadır. Analiz modelinde çevresel yapı yükleri ve aktif trafik sirkülasyonu dikkate alınarak sürşarj yükü 20 kPa olarak kabul edilmiştir.



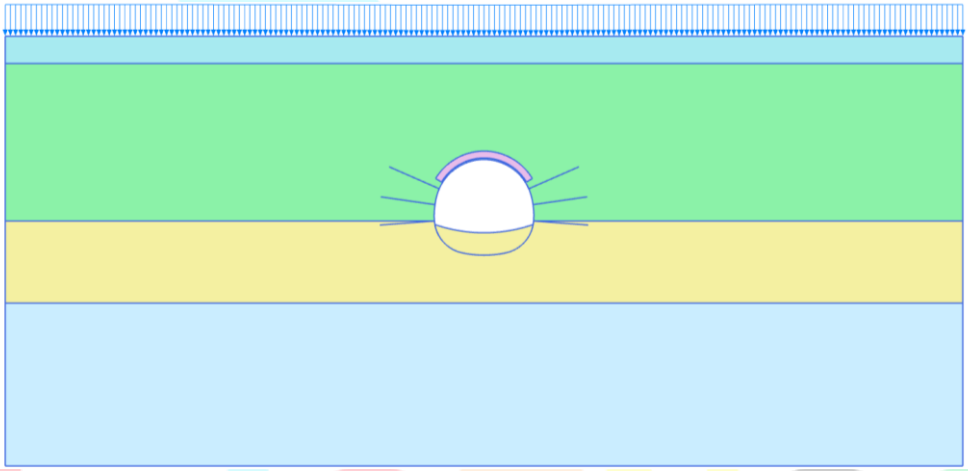
***Şekil 18** – Başlangıç Fazı: Birincil Gerilmelerin Oluşturulması*



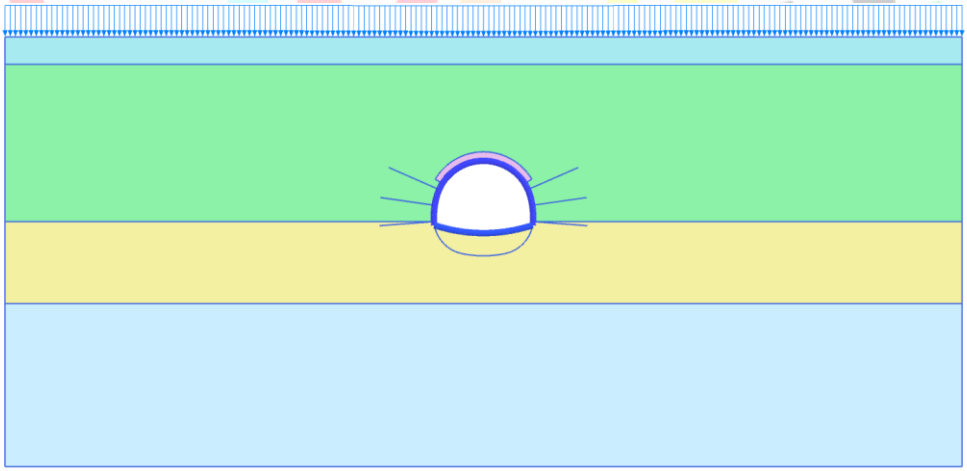
***Şekil 19** – Faz-1: Sürşarj Yükünün Aktif Edilmesi*



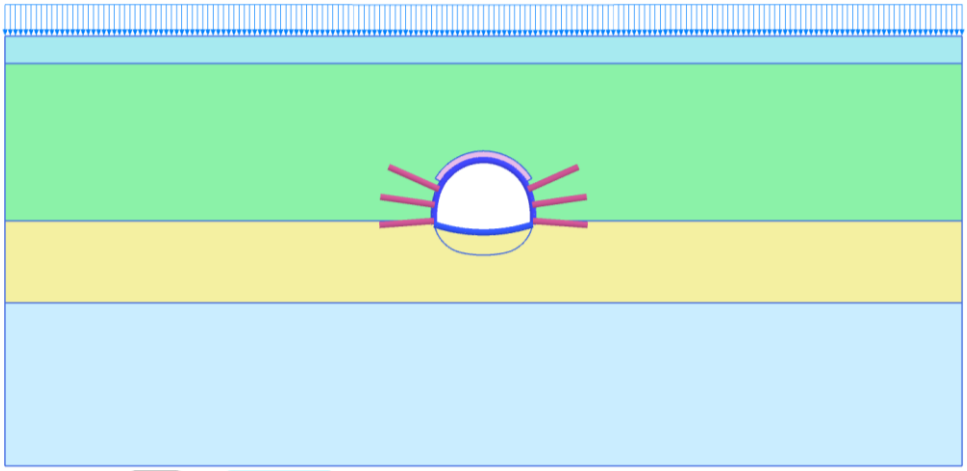
***Şekil 20** – Faz-2: Şemsiye Süren İmalatının Yapılması*



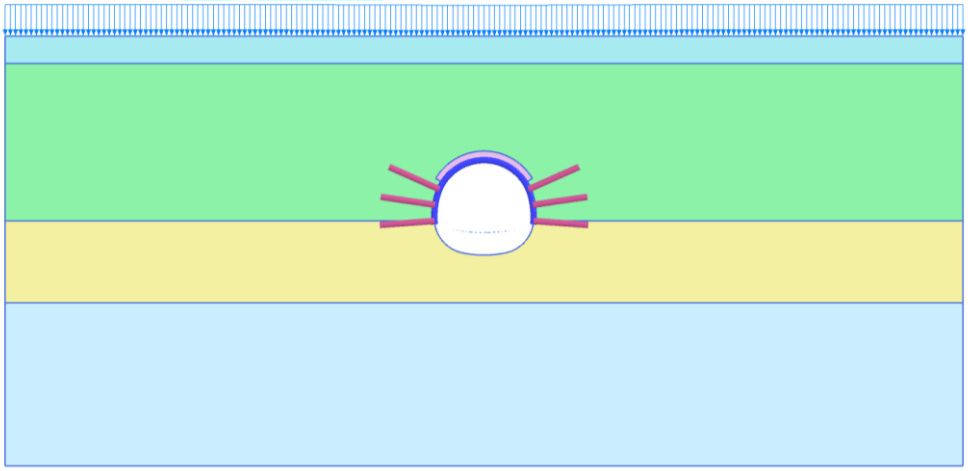
***Şekil 21** – Faz-3: Üst Yarı Kazısının Yapılması*



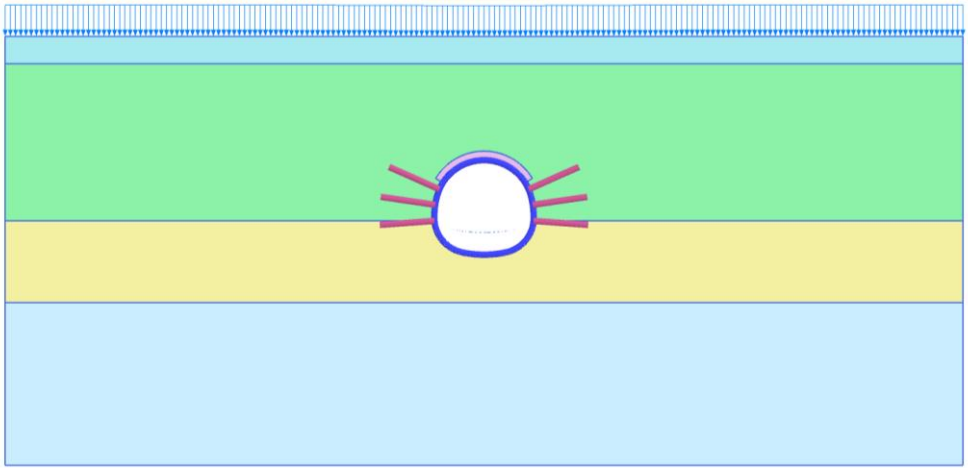
***Şekil 22** – Faz-4: Üst Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması*



Şekil 23 *– Faz-5: Zemin Çivilerinin Uygulanması*

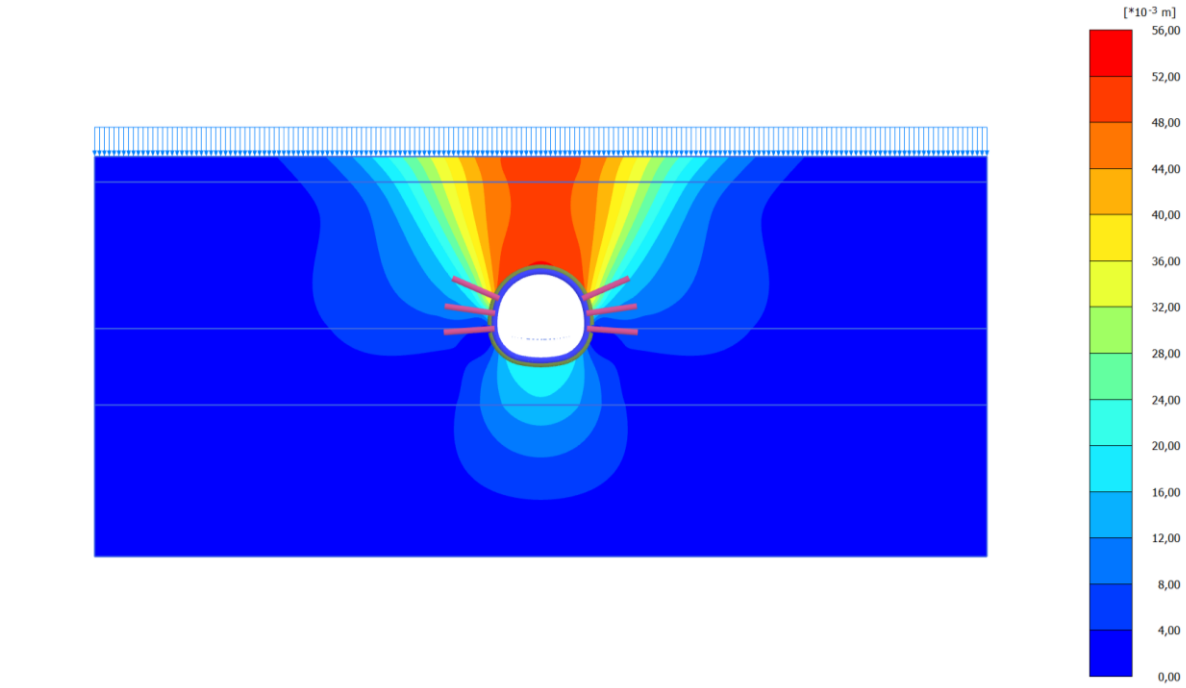


Şekil 24 *– Faz-6: Alt Yarı Kazısının Yapılması*

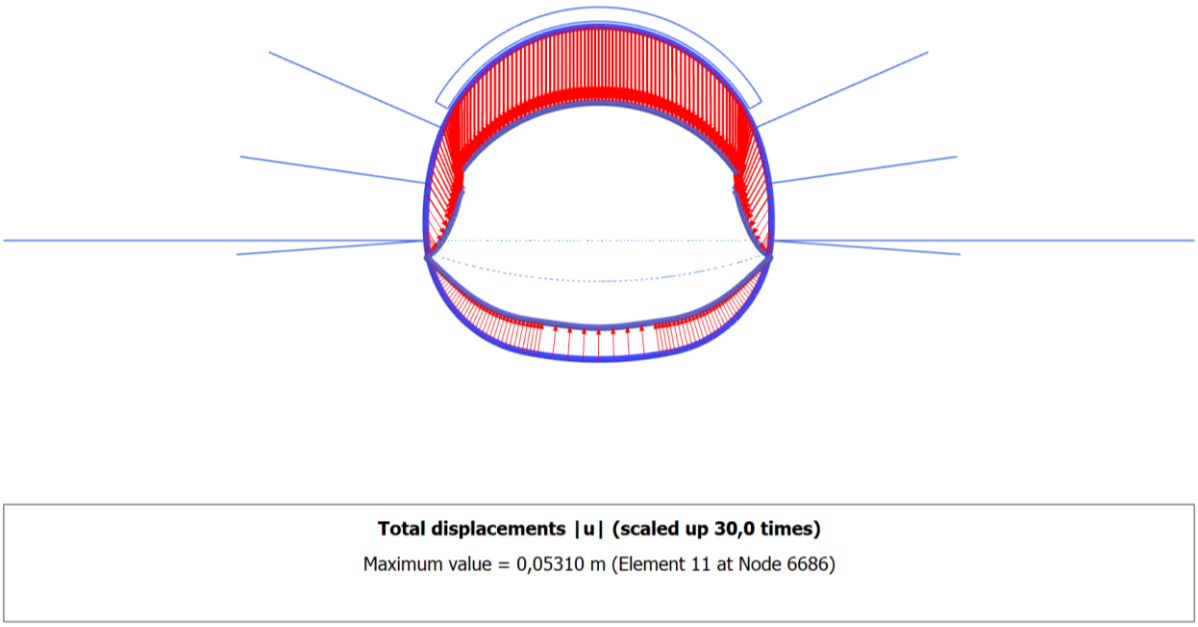


Şekil 25 *– Faz-7: Alt Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması*

Sayısal analizler, yüzeyde ve tünel kaplamasında okunan oturmaların yaklaşık 5.4 cm mertebesinde olduğunu göstermektedir (**Şekil 26**, **Şekil 27**). Toplam deplasmanlar x ve y yönlerinde değerlendirildiğinde, tünel yatayda yaklaşık 1.7 cm kadar sıkışmaya maruz kalırken (**Şekil 28**) düşey yönde oluşan oturma miktarı toplam oturma miktarlarına eşit görünmektedir (**Şekil 29**).

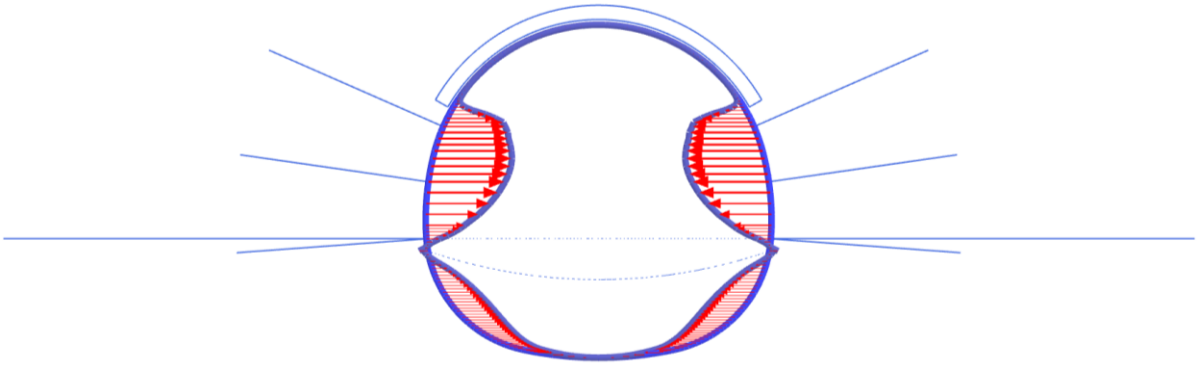


Şekil 26 *– Tek Sıra Şemsiye Süren için Tünel Kazısında Oluşan Toplam Deplasmanlar*



Şekil 27 *– Tünel Kaplamasında Oluşan Toplam Deplasmanlar*

Tek sıra şemsiye süren için yapılan tasarım çalışmasında elde edilen oturma değerleri, değerlendirildiği iş sözleşmeleri kapsamında izin verilebilir oturma değerinin yaklaşık olarak iki katı durumundadır.

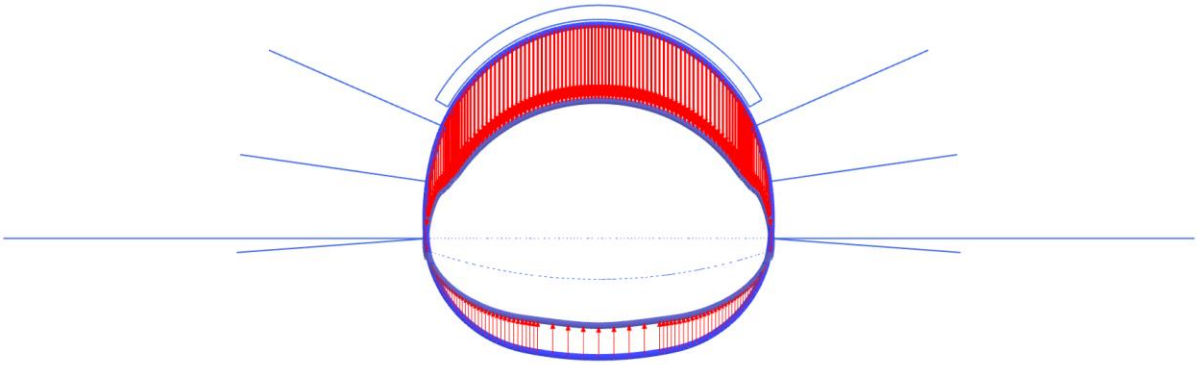


Total displacements u_x (scaled up 100 times)

Maximum value = 0,01681 m (Element 26 at Node 10120)

Minimum value = -0,01682 m (Element 25 at Node 14520)

Şekil 28 *– Tünel Kaplamasında (x) Yönünde Oluşan Deplasmanlar*



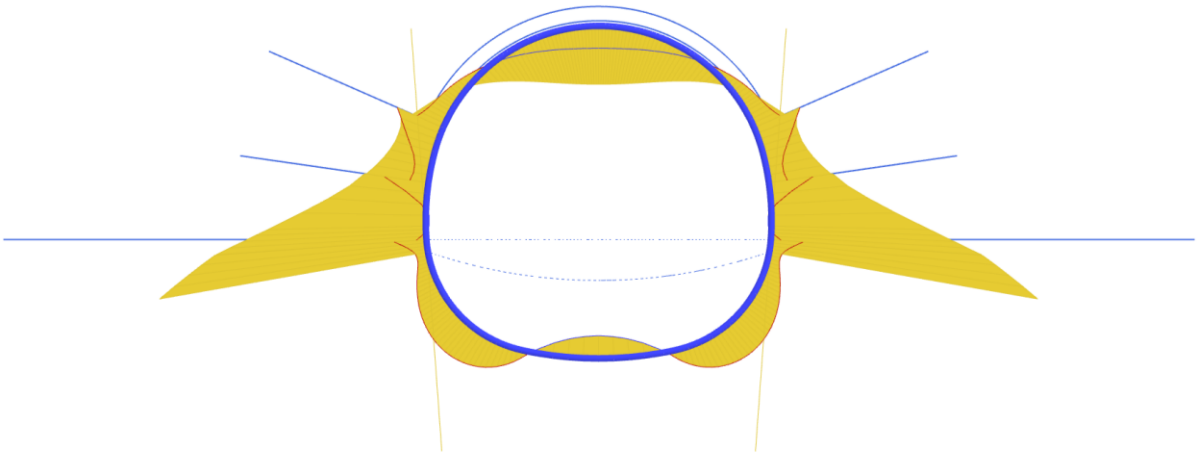
Total displacements u_y (scaled up 30,0 times)

Maximum value = 0,02274 m (Element 66 at Node 16372)

Minimum value = -0,05310 m (Element 11 at Node 6686)

Şekil 29 *- Tünel Kaplamasında (y) Yönünde Oluşan Deplasmanlar*

Tek sıra şemsiye süren uygulamasında, tünel kaplamasında oluşan eğilme momenti 114.7 kNm, kesme kuvveti ise 107.5 kN'dur. Bu moment ve kesme kuvveti değerleri tünel kesiti için geçici invert kısmında, birleşim bölgesinde oluştuğu görülmektedir (**Şekil 30**, **Şekil 31**). Bir noktada oluşan lokal bir değer olduğu için kesit hesaplarında ihmal edilebilir.

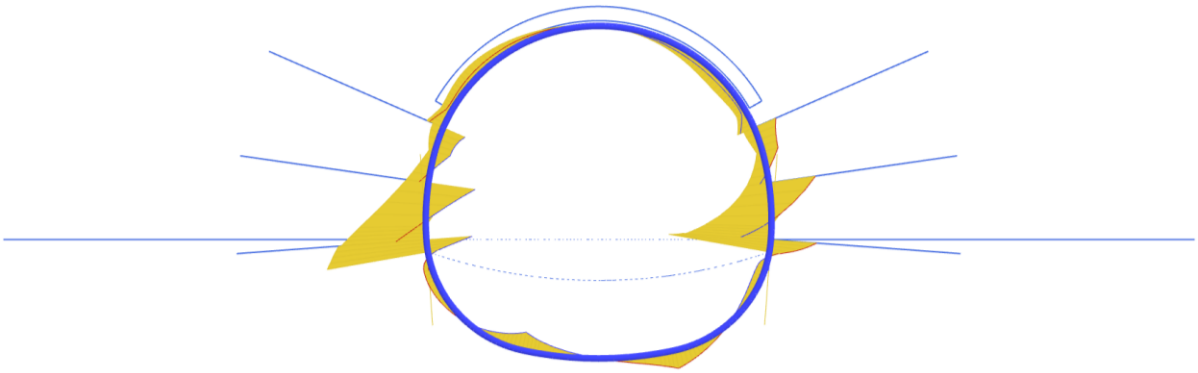


Envelope of Bending moments M (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 24,54 kN m/m (Element 11 at Node 6686)

Minimum value = -114,7 kN m/m

***Şekil 30** - Tünel Kaplamasında Oluşan Eğilme Momenti (Zarf)*

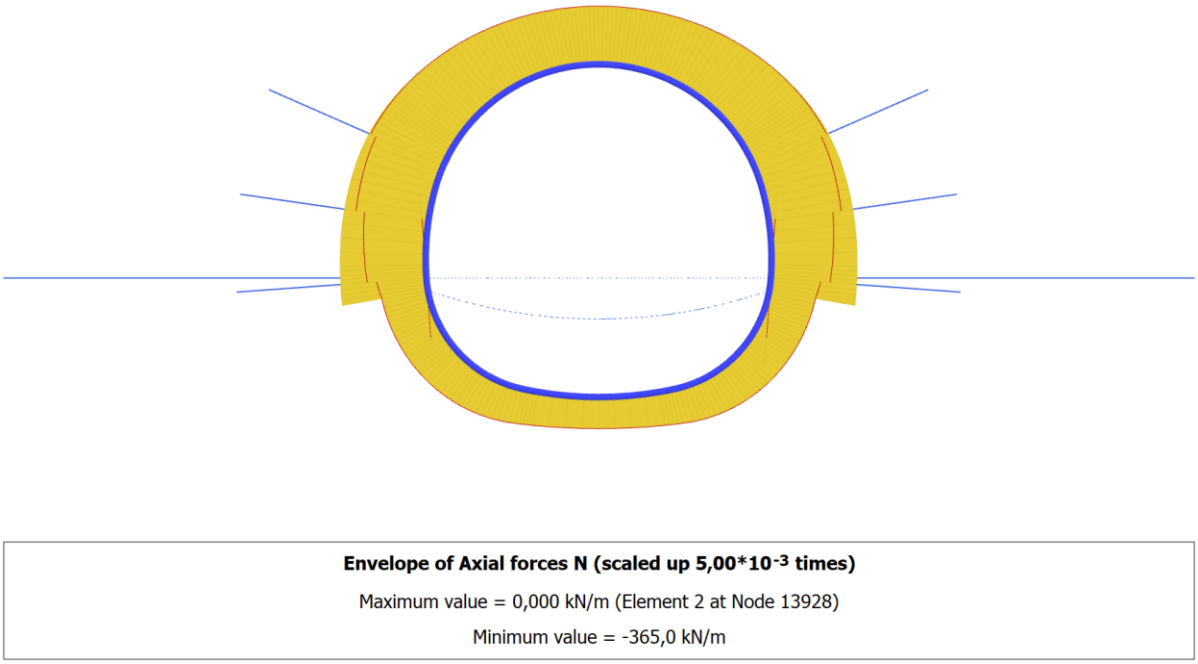


Envelope of Shear forces Q (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = 107,5 kN/m (Element 33 at Node 14904)

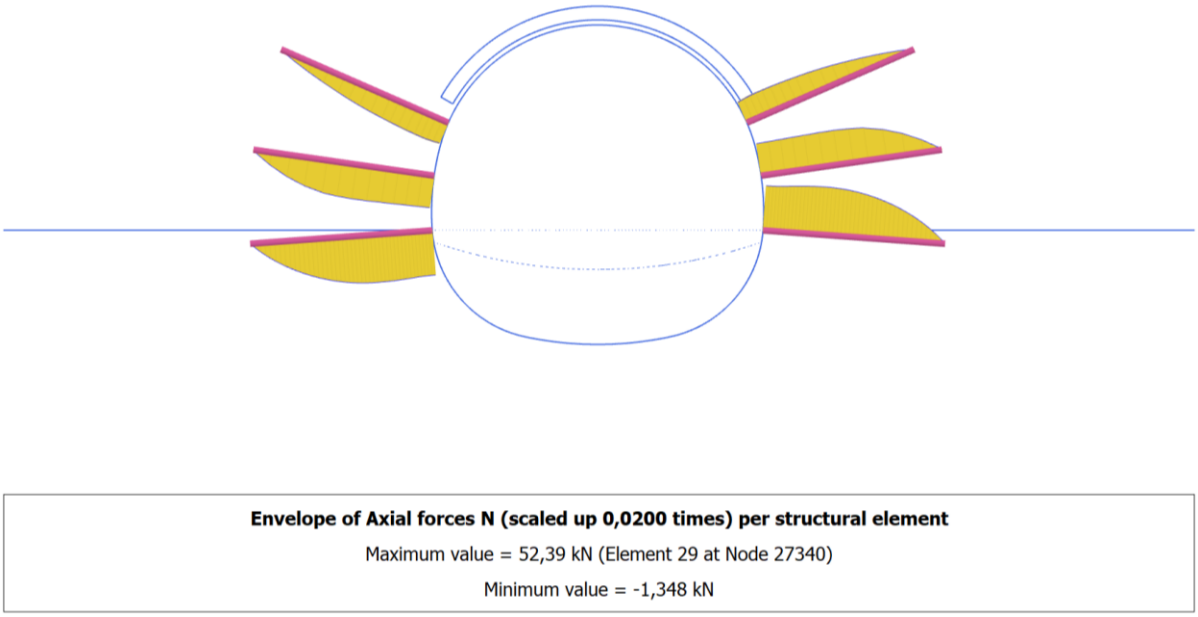
Minimum value = -107,5 kN/m

***Şekil 31** - Tünel Kaplamasında Oluşan Kesme Kuvvetleri (Zarf)*



***Şekil 32** - Tünel Kaplamasında Oluşan Eksenel Kuvvetler (Zarf)*

Bu analiz modelinde oluşan sıkışma ve gerilmelerin etkisiyle birlikte zemin çivilerinde meydana gelen eksenel gerilme en alt sıra çivilerde 52.39 kN olarak okunmaktadır **(Şekil 33)**.

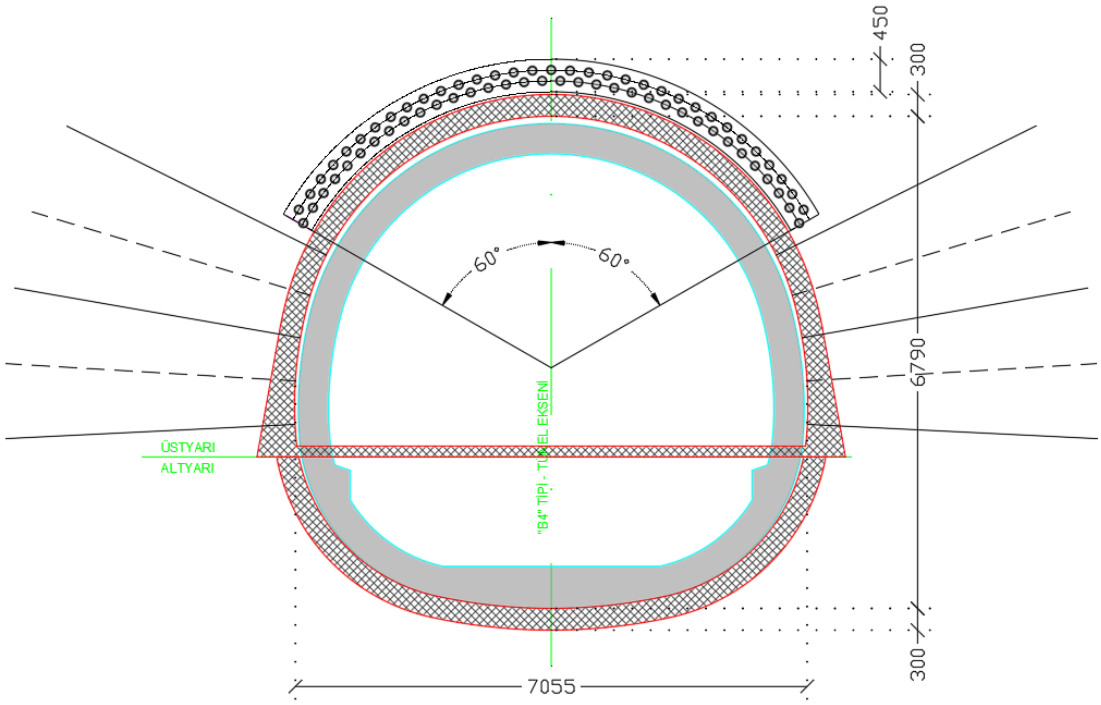


***Şekil 33** - Zemin Çivilerine Etki Eden Eksenel Kuvvetler (Zarf)*

3.2. Çift Sıra Şemsiye Süren

Şemsiye sürenlerin rijitleştirdiği kemer bölgesinin elastisite modülü için yapılan ilk analizinde de kullanılan eş değer alan yöntemi ile ilerlenmiştir. Şemsiye sürenin rijitleştirdiği kemer bölgesi Plaxis 2D'de soil eleman olarak tanımlanmış ve analiz aşamalarından Faz-2'de belirlenmiş olan bu kısım **(Şekil 37)** rijitliği arttırılmış eş değer soil eleman olarak seçilmiştir.

Tek sıra şemsiye süren analiz modelinde de olduğu gibi tünel kemerinde 120º'lik bir açı içerisinde şemsiye süren uygulaması yapılarak tünelin kemer bölgesi iyileştirilmiş bölge olarak tanımlanmaktadır. Sürşarj yükü için yapılan 20 kPa kabulü bu analizde de sürdürülmüştür.

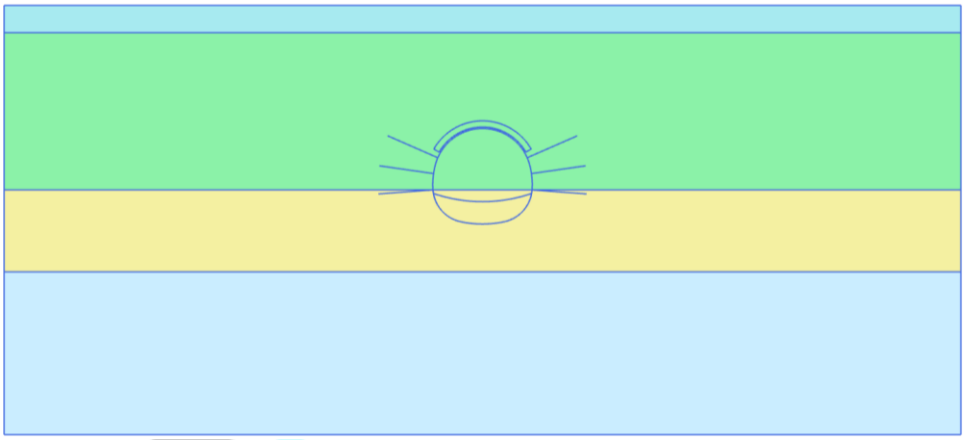


Şekil 34 *– Çift Sıra Şemsiye Süren için Tünel Enkesiti*

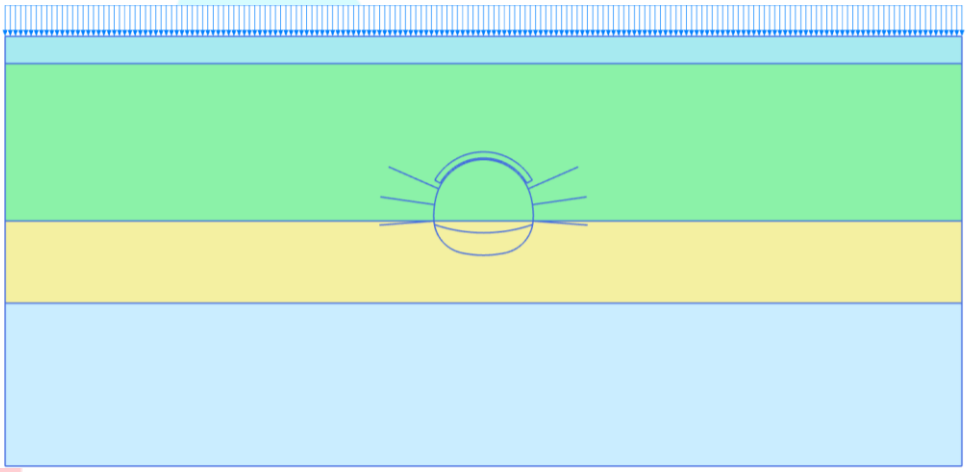
Aşağıda Plaxis programında hazırlanmış olan iki boyutlu analiz modelinin analiz aşamaları boyunca ilerlemesini gösteren adımlar şekil olarak paylaşılmıştır. Sayısal model aşamaları aşağıdaki sırada ilerletilmiştir:

- Başlangıç Fazı: Birincil Gerilmelerin Oluşturulması
- Faz-1: Sürşarj Yükünün Aktif Edilmesi
- Faz-2: Şemsiye Süren İmalatının Yapılması
- Faz-3: Üst Yarı Kazısının Yapılması
- Faz-4: Üst Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması
- Faz-5: Zemin Çivilerinin Uygulanması
- Faz-6: Alt Yarı Kazısının Yapılması
- Faz-7: Alt Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması

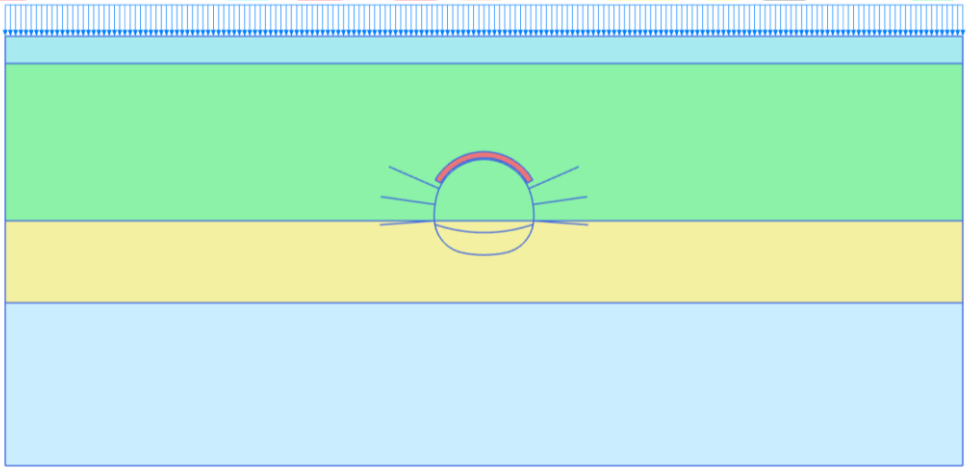
Yukarıda maddeler halinde tanımlanan ilerleme aşam ait program görüntüleri aşağıda paylaşılmaktadır.



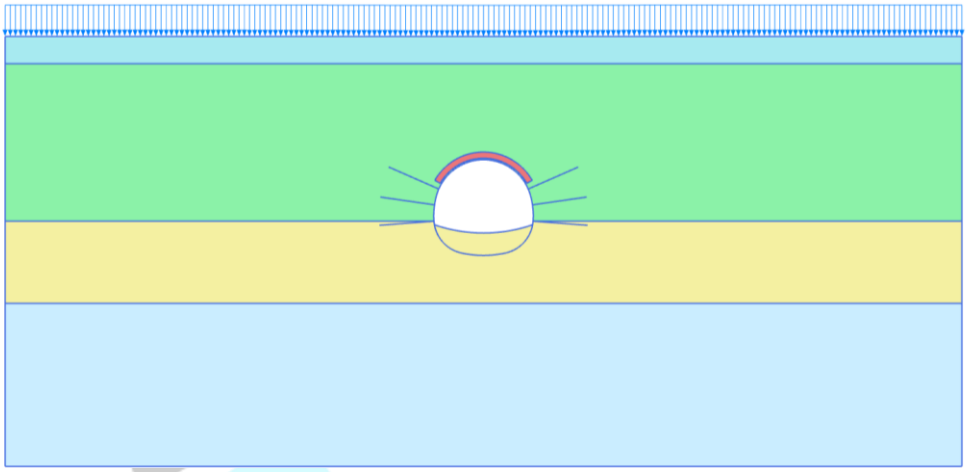
Şekil 35 *– Başlangıç Fazı: Birincil Gerilmelerin Oluşturulması*



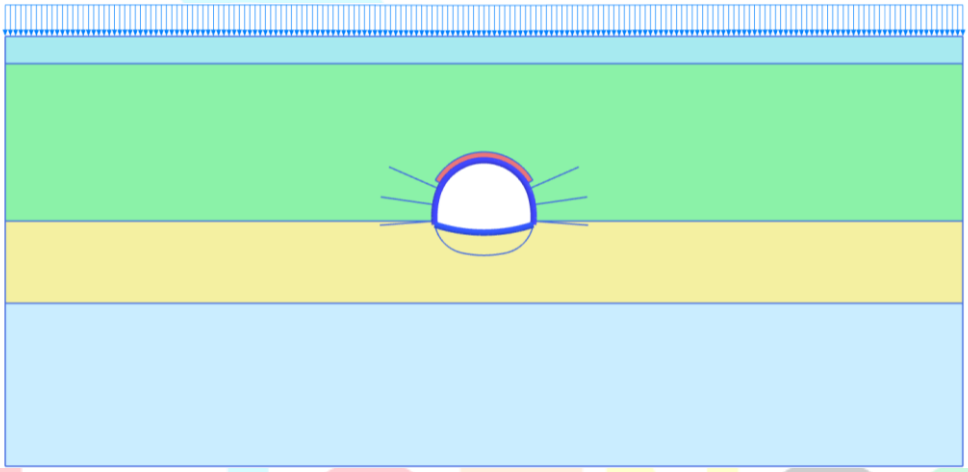
Şekil 36 *– Faz 1: Sürşarj Yükünün Aktif Edilmesi*



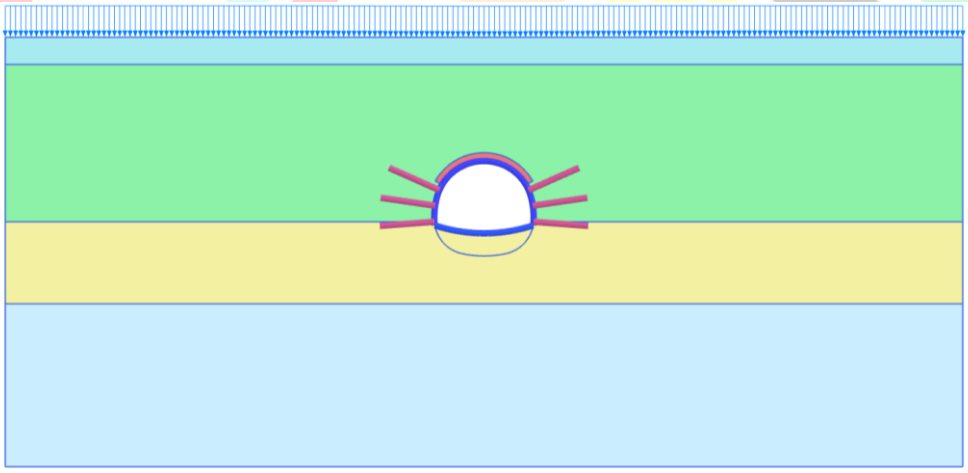
Şekil 37 *– Faz 2: Şemsiye Süren İmalatının Yapılması*



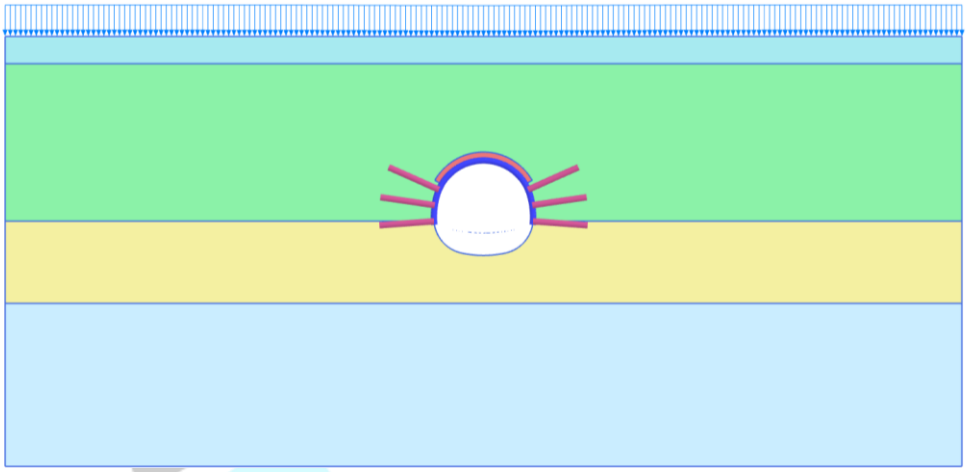
Şekil 38 *- Faz-3: Üst Yarı Kazısının Yapılması*



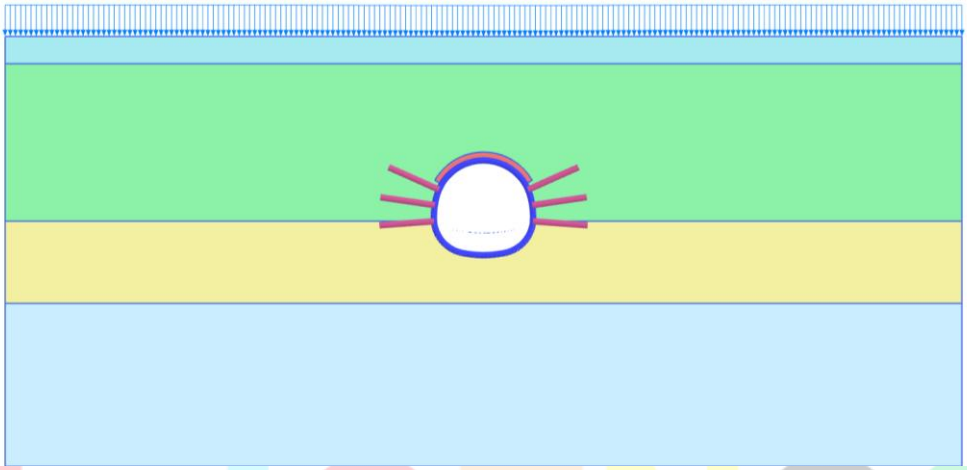
Şekil 39 *- Faz-4: Üst Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması*



Şekil 40 *- Faz-5: Zemin Çivilerinin Uygulanması*

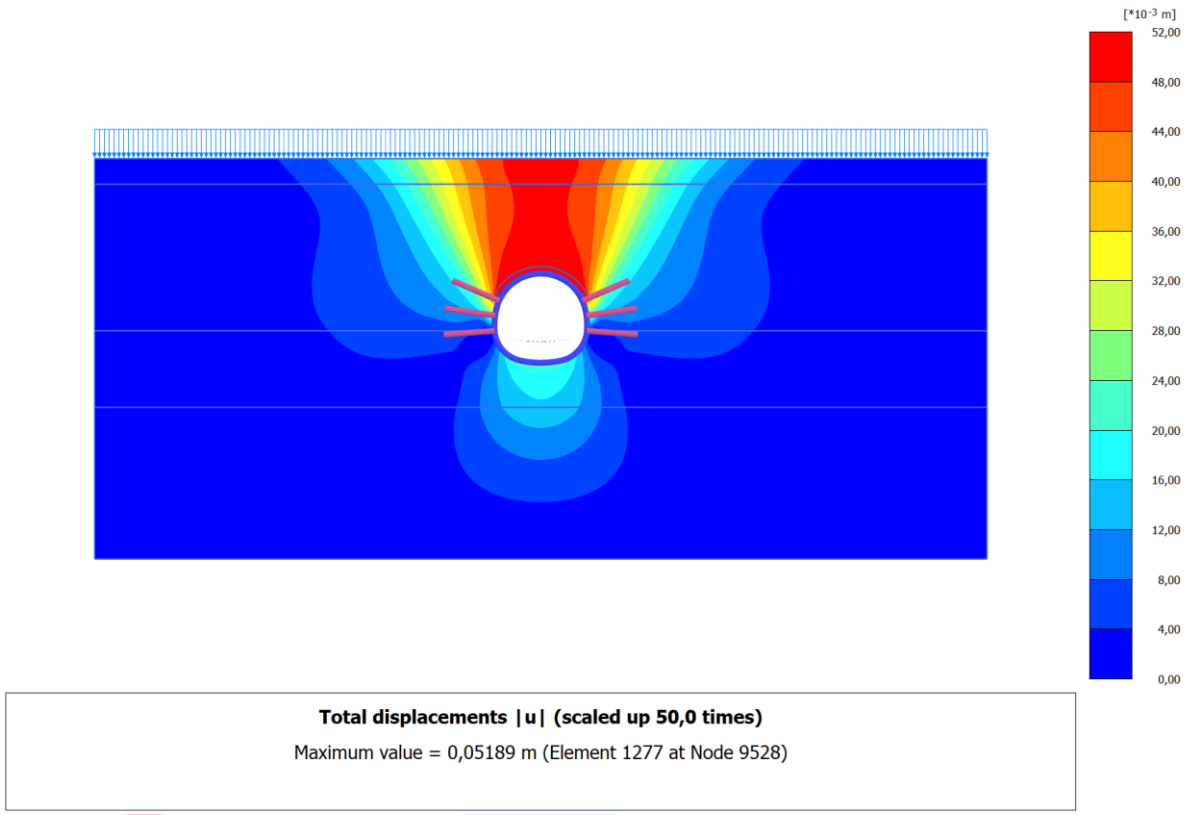


Şekil 41 *- Faz-6: Alt Yarı Kazısının Yapılması*

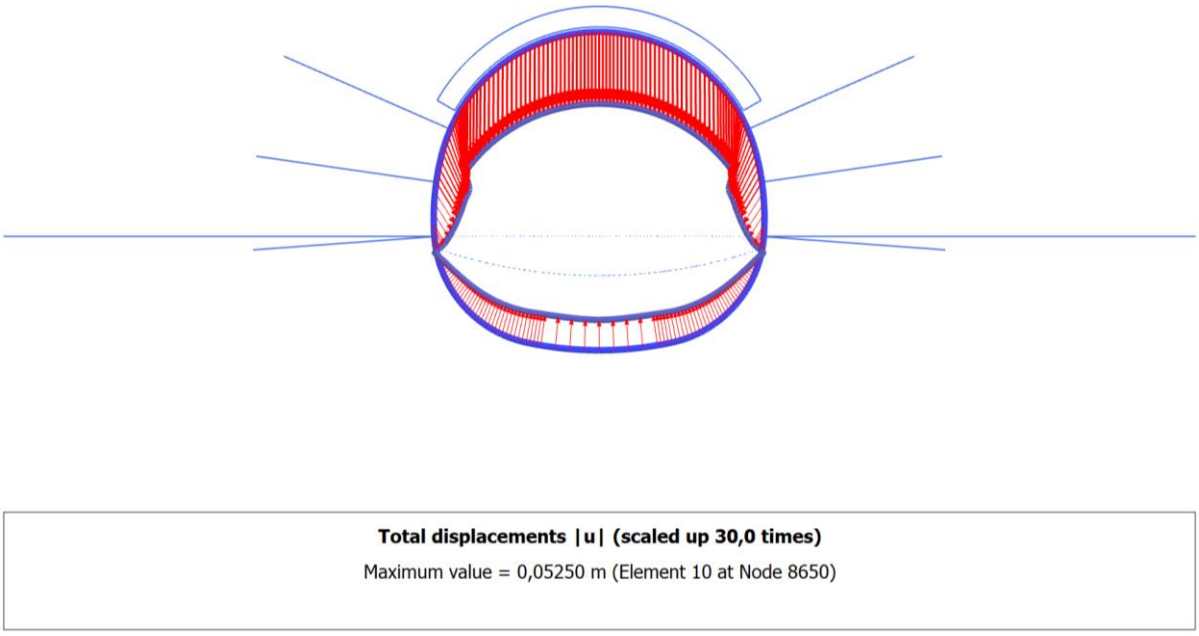


Şekil 42 *- Faz-7: Alt Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması*

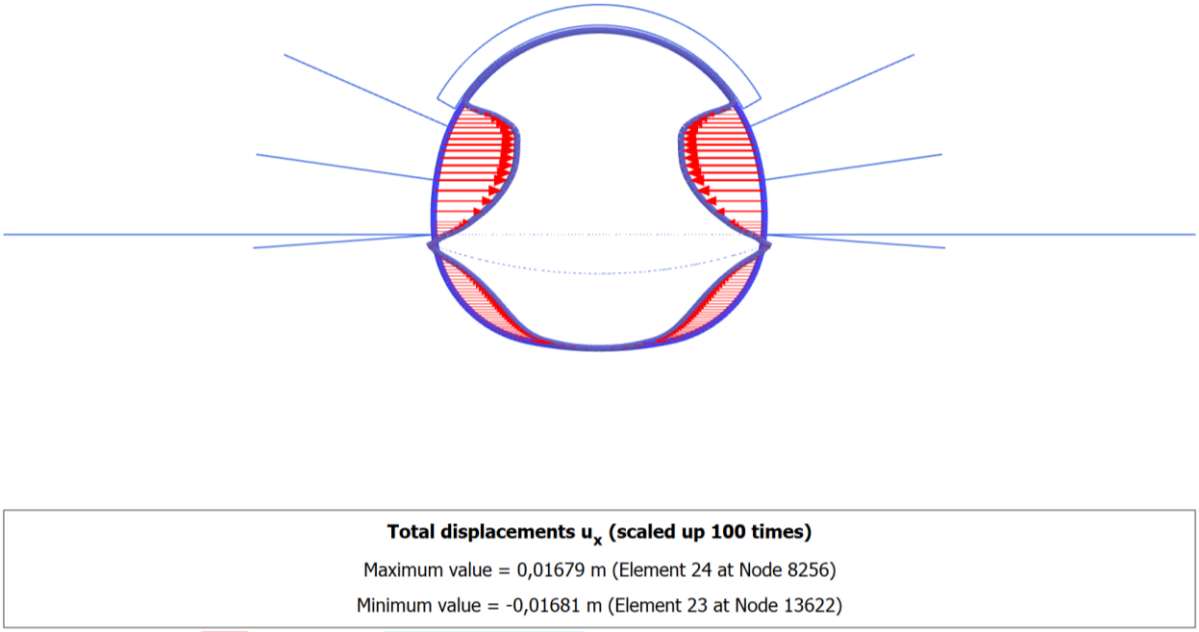
Sayısal analizler, yüzeyde ve tünel kaplamasında okunan oturmaların yaklaşık 5.2 cm mertebesinde olduğunu göstermektedir (**Şekil 43**, **Şekil 44**). Toplam deplasmanlar x ve y yönlerinde değerlendirildiğinde, tünel yatayda yaklaşık 1.7 cm kadar sıkışmaya maruz kalırken (**Şekil 45**) düşey yönde oluşan oturma miktarı toplam oturma miktarlarına eşit görünmektedir (**Şekil 46**).



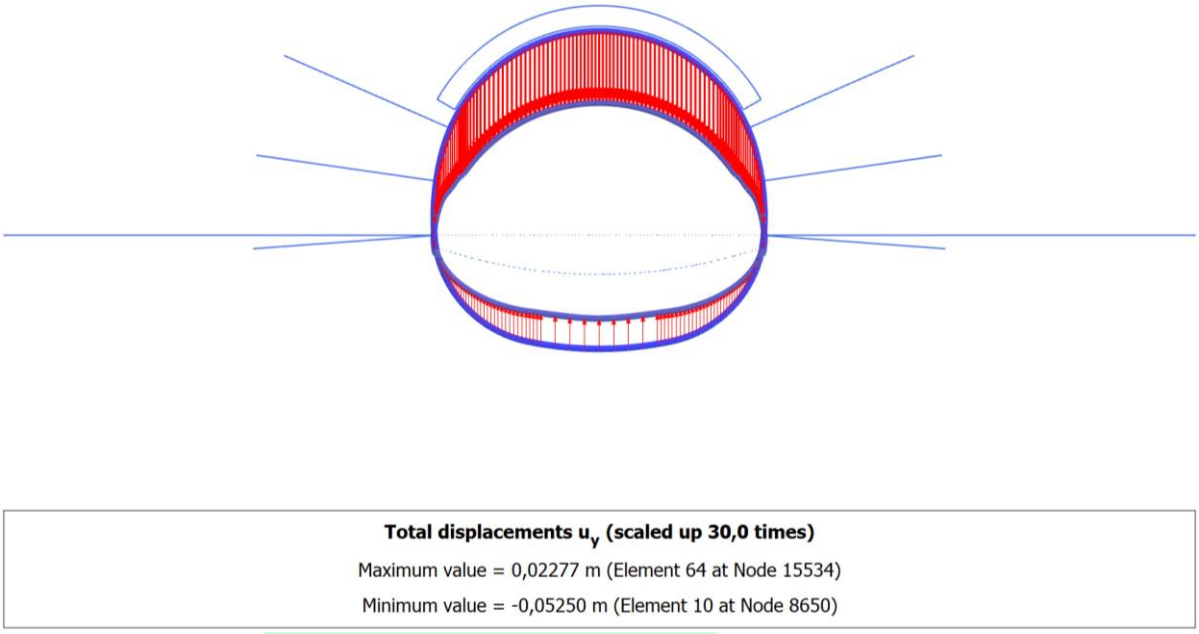
Şekil 43 *- Çift Sıra Şemsiye Süren için Tünel Kazısında Oluşan Toplam Deplasmanlar*



Şekil 44 *- Tünel Kaplamasında Oluşan Toplam Deplasmanlar*



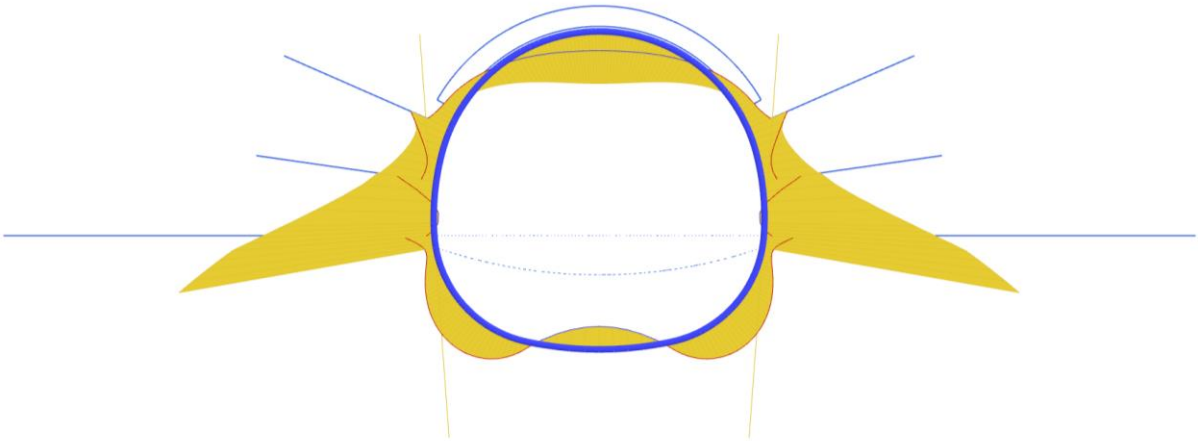
***Şekil 45** - Tünel Kaplamasında (x) Yönünde Oluşan Deplasmanlar*



***Şekil 46** - Tünel Kaplamasında (y) Yönünde Oluşan Deplasmanlar*

Çift sıra şemsiye süren ile yapılan analizler neticesinde ortaya çıkan oturma miktarları da değerlendirildiği iş sözleşmeleri kapsamında izin verilebilir oturma değerinin yaklaşık olarak iki katı durumundadır.

Çift sıra şemsiye süren uygulamasında da tek sıra şemsiye süren uygulamasına benzer şekilde, tünel kaplamasında oluşan eğilme momenti 114.7 kNm, kesme kuvveti ise 108.0 kN'dur. Bu moment ve kesme kuvveti değerlerinin tünel kesitinin birleşim bölgesinde oluştuğu görülmektedir (**Şekil 47**, **Şekil 48**). Bir noktada oluşan lokal bir değer olduğu için kesit hesaplarında ihmal edilebilir.

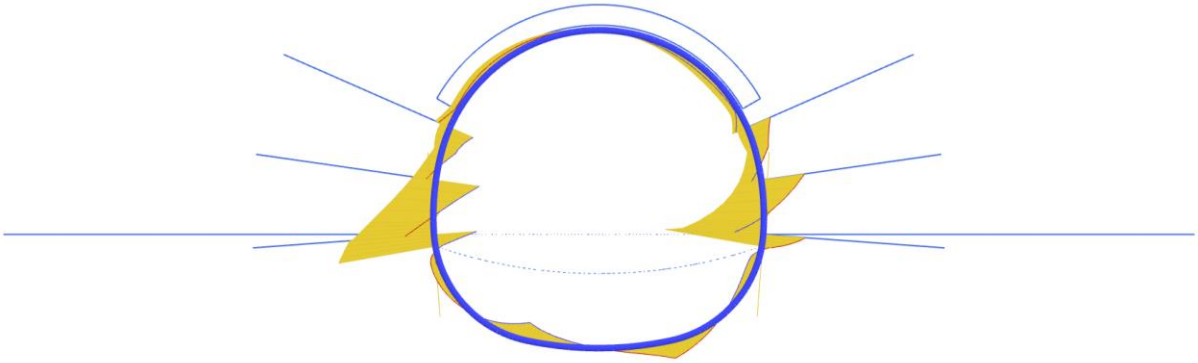


Envelope of Bending moments M (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 22,85 kN m/m (Element 10 at Node 8650)

Minimum value = -114,7 kN m/m

***Şekil 47** - Tünel Kaplamasında Oluşan Eğilme Momenti (Zarf)*

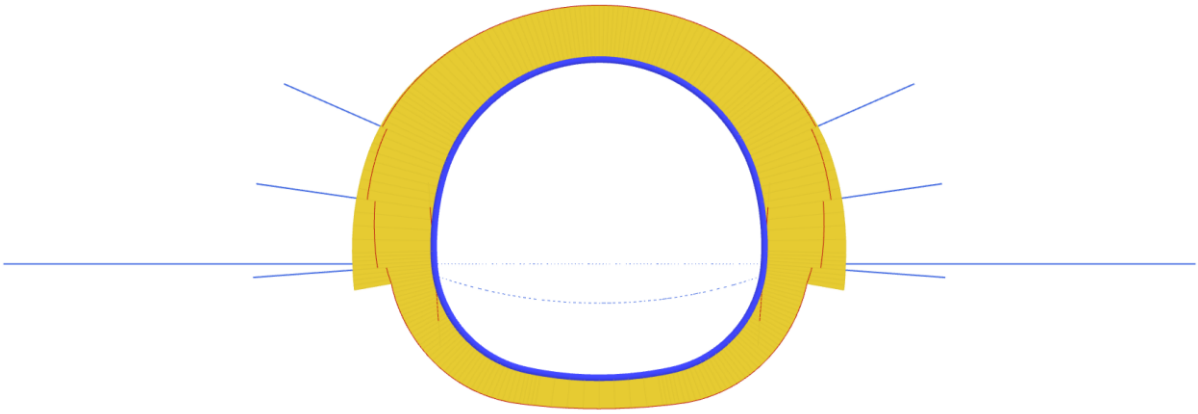


Envelope of Shear forces Q (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = 107,9 kN/m (Element 31 at Node 13992)

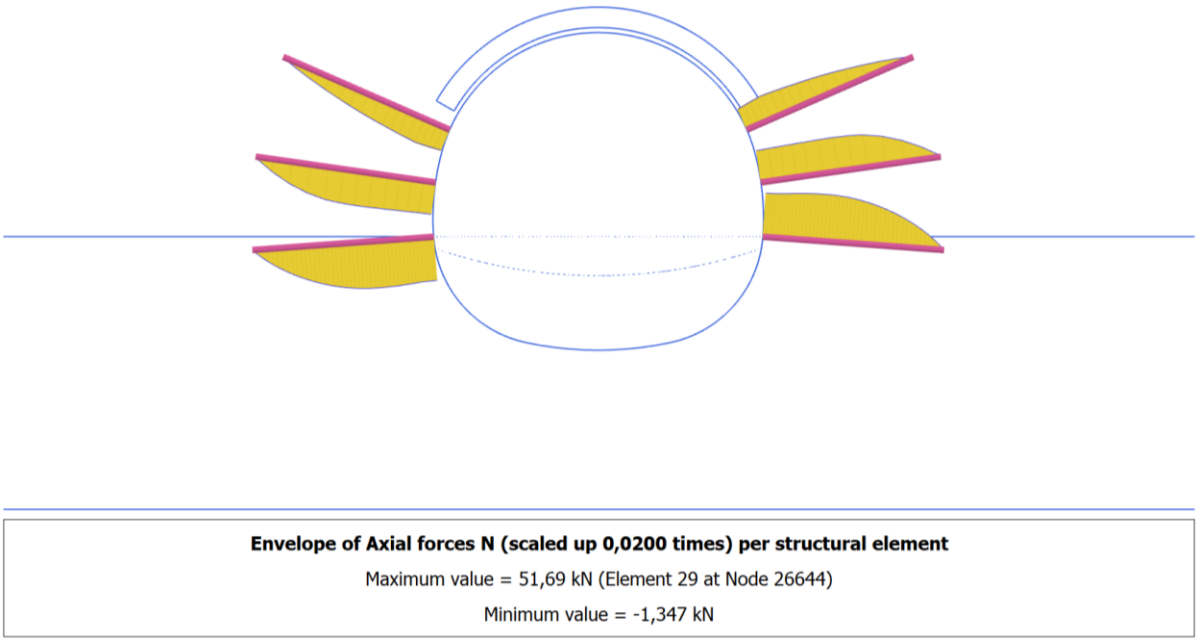
Minimum value = -108,0 kN/m

***Şekil 48** - Tünel Kaplamasında Oluşan Kesme Kuvvetleri (Zarf)*



***Şekil 49** - Tünel Kaplamasında Oluşan Eksenel Kuvvetler (Zarf)*

Çift sıra şemsiye süren analiz modelinde zemin çivilerinde meydana gelen eksenel gerilme en alt sıra çivilerde 52.39 kN olarak okunmaktadır (**Şekil 50**).



***Şekil 50** - Zemin Çivilerine Etki Eden Eksenel Kuvvetler (Zarf)*

4. DEĞERLENDİRME

Killi zemin birimde yer alan sığ bir tünel için şemsiye süren uygulaması tek sıra ve çift sıra olarak uygulanmış, uygulama sonucunda genel olarak deformasyon ve iç kuvvet değerleri kıyaslanm ıştır. Yapılan analiz modellerinden elde edilen yüzey oturmaları, tünel konverjans değerleri, destek elemanlarında oluşan iç kuvvetleri özet olarak **Tablo 13**'da gösterilmiştir.

Tablo 13 - Analiz Sonuçları

	Tek Sıra Şemsiye Süren	Çift Sıra Şemsiye Süren
Toplam Yüzey Deplasmanları	5.253 cm	5.189 cm
Tünel Konverjansı	5.310 cm	5.250 cm
"x" Yönünde Oluşan Deplasmanlar	1.682 cm	1.681 cm
"y" Yönünde Oluşan Deplasmanlar	5.310 cm	5.250 cm
Tünel Kaplaması Eğilme Momenti	114.7 kNm	114.7 kNm
Tünel Kaplaması Kesme Kuvveti	107.5 kN	108.0 kN
Tünel Kaplaması Eksenel Kuvveti	365.0 kN	363.6 kN
Zemin Çivileri Eksenel Gerilmesi	52.39 kN	51.69 kN

Analiz sonuçlarının paylaşıldığı **Tablo 13**'da da görüleceği üzere, Tan (2005), Miwa ve Ogasawara (2005) yapmış oldukları çalışmalarda sığ tüneller için çift sıra şemsiye kemer uygulamasının değerlendirilebileceği fakat yapılacak olan analiz modellerinden elde edilen sonuçlarda yüzey oturmalarında kayda değer bir fark olmayabileceğine vurgu yapılmış ve yapılan çalışmalar ile benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Sığ tüneller için yapılan çalışmalarda olduğu gibi tek sıra yerine çift sıra şemsiye süren uygulanması deformasyon değerlerinde teorik olarak kayda değer bir etkiye neden olmamış, deplasman değerlerinde milimetrik değerlerde küçük değişiklikler okunmuştur.

Ön tasarım çalışmaları yürütülen tünel için iş sözleşmeleri kapsamında izin verilebilir maksimum deformasyon miktarı 3 cm'dir ve elde edilen sonuçlar ile tünel tahkimatının tek sıra ya da çift sıra şemsiye süren ile yapılması analizler neticesinde teorik olarak mümkün görünmemektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Dudullu Bostancı Metro Hattı Kayışdağı İstasyonun yolcu tüneli olarak ön tasarımı yürütülen tünelin killi zemin birimleri içerisinde yer alması, üzerinde bulunan örtü yükü itibariyle sığ bir tünel olması, tünelin yapılması planlanan konum için aktif trafik yükü ve etki alanında yapı stoğunun bulunmasından dolayı yüzey oturmalarının detaylı olarak incelenmesi, iş şartnamelerince izin verilebilir oturma sınır değerleri içerisinde kalacak bir tasarım yapılması amaçlanmıştır.

Yapılan sayısal analizlerde, şemsiye sürenin tünel kemerinde denk geldiği bölgenin elastisite modülü eşdeğer alan yöntemi ile belirlenmiş, analiz modellerine ayrı ayrı yansıtılmıştır. Şemsiye süren haricinde, tahkimat sisteminde bir değişiklik yapılmamış ve şemsiye sürenlere ait seçimlerin yüzey oturmalarına etkisi irdelenmiştir. İki boyutlu analizlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde (**Tablo 13**), tek sıra şemsiye süren yerine çift sıra şemsiye süren uygulanması, killi zemin biriminde yer alan sığ bir tünel için yüzey oturmalarına pozitif bir etki sağlamamıştır

KAYNAKÇA

Ağbay, E. (2019). *Assessment of twin tunnel induced ground deformation by empirical and numerical analyses (Eurasia tunnel: Natm part, Istanbul, Turkey)* [PhD, Middle East Technical University, Ankara, Turkey]. open.metu.edu.tr. https://open.metu.edu.tr/handle/11511/28033

Çeçen, E. E., & İncecik, M. (2011). Metro Tünellerinde Uygulanan Şemsiye-Kemer Yönteminin Sayısal Analizi. *İTÜDERGİSİ*, *7*(4). http://itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi_d/article/view/301

Ergincan, H. E., Özüdoğru, T. Y., & Yıldırım, İ. Z. (2023). Şemsiye Kemer Uygulamasındaki Sayısal Modelleme Yaklaşımlarının Karşılaştırılması. *5. Uluslararası Yeraltı Kazıları Sempozyumu*, 140–151. https://doi.org/10.1061/9780784485347.015

Güneş, A. (2021). *Numerical assessment of tunnel advancement in problematic soil conditions: A case study* [MSc, Middle East Technical University, Ankara, Turkey]. open.metu.edu.tr. https://open.metu.edu.tr/handle/11511/89604

Hounyevou Klotoé, C., & Bourgeois, E. (2019). Three dimensional finite element analysis of the influence of the umbrella arch on the settlements induced by shallow tunneling. *Computers and Geotechnics*, *110*, 114–121. https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2019.02.017

Miwa, M., & Ogasawara, M. (2005). Tunnelling through an embankment using all ground fasten method. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *20*(2), 121–127. https://doi.org/10.1016/j.tust.2003.12.001

Morovatdar, A., Palassi, M., & Ashtiani, R. S. (2020). Effect of pipe characteristics in umbrella arch method on controlling tunneling-induced settlements in soft grounds. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, *12*(5), 984–1000. https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.05.001

Norouzi, H. (2020). The Effect of Loading Type on the Amount of Effect of Loading on the Surface Settlement During Forepoling Tunnel Excavation in Different Geotechnical Conditions. *Journal of Applied Engineering Sciences*, *10*(1), 55–60. https://doi.org/10.2478/jaes-2020-0009

Perveroğlu Şat, T., Türkoğlu, A., & Şahin, H. İ. (2023). Aynı Jeolojik Formasyona Sahip NATM İmalatlarında Tek ve Çift Sıra Boru Kemer Uygulamasının Yüzey Oturmalarına Etkisi; Çekmeköy-Sultanbeyli Metro Örneği.

Tan, W. L. (2005). *Numerical analysis for shallow tunnels in weak ground supported by umbrella arch method* [MSc, Nanyang Technological University, Singapore]. CrossRef.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Mobil Robotlarda Görsel SLAM Uygulamaları

Mehmet Fatih KOÇ[1]
Barış GÖKÇE[2]

Abstract

Mobile robots have made significant progress in the past decades, and their use has become widespread in a wide range of areas, from production to logistics, from aviation to military areas, from the service sector to homes. Position estimation and simultaneous mapping are solved using SLAM techniques so that mobile robots can perform tasks in an unfamiliar environment. In this context, the visual SLAM technique was born with the idea of using cameras instead of the traditional SLAM method used. The advantages of the visual SLAM technique, such as low-cost sensors and intense environmental information, have attracted researchers to this field in recent years, and developments have been made on various algorithms and techniques. Although the developed methods have achieved serious success, there are still problems that need to be solved. Among these problems, there are many external factors that affect the performance of Visual SLAM algorithms. There are many factors such as the lighting of the environment, the texture and structural features of the surrounding objects, the speed and sudden harsh maneuvers of the system, crowded and dynamic environments.

In this study, in order to increase V-SLAM performance, image enhancement was carried out with an emphasis on ambient lighting and image lighting algorithms for low-light environments. System performances and efficiencies of the algorithms were compared on a platform designed with algorithms that have achieved good results in the literature. In this context, the algorithms and camera sensors used were evaluated with error metrics such as global optimization performances, loop closure detection used to correct the error accumulated during robot movement, absolute orbit error and relative position error. In the future, it is planned to integrate deep learning algorithms for V-SLAM and focus on studies on semantic-based approaches.

Keywords: Visual SLAM, Localization, Mobile Robots, Navigation, Mapping

[1] Mekatronik Mühendisi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, Orcıd: 0000-0002-3087-6658
[2] Doç. Dr., Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, Orcıd: 0000-0001-6141-7625

ISBN: 978-625-372-170-1

1.GİRİŞ

Geçtiğimiz on yılda mobil robotik sistemler alanında ciddi mesafeler katettiği gözlemlenmiştir. Özellikle imalat, askeriye, lojistik, tarım ve tıp gibi alanlarda verimliliği arttırmak ve sistemleri otonom hale getirmek için önemli katkılar sağladı. Endüstride tekrarlanan görevler, riskli ortamlar, hız ve verimlilik gerektiren işler için önemli bir araç haline gelmiştir. Konvansiyonel üretim tekniklerindeki sabit ve belirli işleri yapan makinelerin yerini, işbirlikçi, kendi kendine karar verebilen ve esneklik sağlayabilen mobil robotik sistemler almıştır(Merzlyakov vd., 2021). Özellikle yapay zekanın ve çevre algılama sistemlerinin gelişimi ile robotlar sürü halinde hareket ederek işleri oldukça verimli ve hızlı yapabilme kabiliyeti kazanmışlardır.

Mobil robotların otonom bir şekilde hareket kabiliyeti kazanması açısından bulunduğu ortamı algılaması ve tanıması gerekmektedir. Üzerinde barındırdığı sensörler sayesinde yerelleştirme problemine çözüm sağlaması ve ben neredeyim sorusuna cevap araması beklenir. SLAM problemi tam olarak bu konuda devreye girmektedir. SLAM problemi robotun bilmediği ortamı haritalandırması ve bu harita üzerinde giderken eş zamanlı bir şekilde kendini konumlandırması olarak ele alınır. Bu fikrin temelleri ilk olarak 1986 yılında IEEE Robotik ve Otomasyon Konferansında Smith tarafından atılmıştır(Smith, 1986). Problemin çözümü için ilk yıllarında Genişletilmiş Kalman Filtresi tabanlı çözümler, olasılıksal yaklaşımlardan Rao-Blackwelllized parçacık filtresi gibi yöntemler üzerine durulmuştur.

Problemin çözümüne yönelik ilerleyen aşamalarında kamera kullanılması fikri ile Görsel SLAM fikri doğmuştur. Kameralar ucuz maliyetleri, kolay erişilebilir olmaları, zengin veriye sahip olmaları gibi avantajları bulunmaktadır. Bu gibi avantajlarından dolayı araştırmacıların dikkatini çekmiş ve bu yönde çeşitli algoritmaların çıkmasına öncülük etmişlerdir. Görsel SLAM de kameralardan alınan görsel verilerin geometrik özellikleri ele alınıp bunun üzerinden kendini konumlandırması esasına dayanır(Taketomi vd., 2017). Konsept genel anlamda ön uç ve arka uç olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Ön uç adımında görüntü sensöründen gelen veriler ile görüntüden özellik çıkarımı ve takibi ile görsel odometre verileri elde edilir. Arka uçta ise konumlandırma esnasında biriken hataları optimizasyon teknikleri ile düzeltme sağlanmaktadır. Görsel SLAM de sensör girişleri için çeşitli tiplerde kameralar ve bu kameralara göre farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Bunlar arasında monoküler ve stereo kameralar kullanılarak geliştirilen görsel SLAM uygulamaları vardır. Bu kameraların yanında IMU sensörü kullanılarak görüntü sensörünün ve çevre gürültülerin önüne geçilmeye çalışılan Görsel-Ataletsel SLAM yaklaşımları ve RGB-D kameralar kullanılarak ham derinlik bilgilerini ele alan RGB-D SLAM yaklaşımları bulunmaktadır. Görsel SLAM de Durrant-White ve Bailey ile başlayan öncü görsel SLAM yaklaşımları günümüze kadarki ilerlemeler ve gelişmeler ile geleneksel yaklaşımlardan derin öğrenme temelli semantik V-SLAM sistemlerine doğru gelişim sağlamıştır.

Görsel SLAM çalışmalarındaki ilk konsept Davison ve arkadaşları tarafından önerildi(Davison, 2003). Çalışmada monoküler kamera ile Shi-Tomasi köşe detektörü kullanarak ortamın 3B haritası çıkarılmıştır. Durum tahmini için Genişletilmiş Kalman Filtresinden yararlanılmış ve GKF'nin hesaplama maliyeti için sınırlı örnekler seçilip kullanılmıştır. 2007 yılına gelindiğinde çalışmalarının devamı niteliğinde Davidson ve arkadaşları tarafından monoSLAM önerildi(Davison vd. , 2007). Çalışma ilk gerçek zamanlı vSLAM algoritması olarak kabul edilmektedir. Önceki çalışmalardaki gibi görüntüden özellik çıkarımı için Shi-Tomasi köşe dedektörü kullanılır. Durum tahmini için ise genişletişmiş

kalman filtresinden yararlanılır. Algoritmada küresel konumlandırma için optimizasyon teknikleri ve döngü tespiti kullanılmadığı için hassas doğruluk gerektiren uygulamalar için dezavantajlı olmaktadır. Aynı yıllarda ki bir diğer önemli çalışmada Paralel İzleme ve Haritalandırma (PTAM) algoritmasıdır(Klein ve Murray, 2007). PTAM temelde SLAM problemine iki faklı iş parçacığı şeklinde ele alarak işlem yeteneğini arttırabilen bir yaklaşımdır. İlk iş parçacığı olan ön uçta FAST detektörü kullanarak özellik çıkarma ve kamera hareket tahmini çıkarmaktadır. Diğer iş parçacığı olan arka uçta ise doğrusal olmayan optimizasyon kullanarak hatanın büyümesinin önüne geçmektedir.

2015 yılında Mur-Artal ve arkadaşları tarafından özellik tabanlı önemli bir algoritma olan ORB-SLAM önerildi(Mur-Artal vd. , 2015). Algoritma PTAM'e dayalı olarak yeni geliştirmeler eklenerek oluşturulmuştur. Sistem genel olarak izleme, yerel haritalama ve döngü kapanışı olarak üç aşamada çalışmaktadır. Özellik çıkarımı için ORB özellik eşleştirmesinden faydalanılmıştır. Yerel haritalama aşamasında haritaya yeni noktalar eklenip tekrar edenler kaldırılır. Döngü kapama aşmasında DBoW (kelime çantası) denilen yöntem kullanılarak hızlı bir şekilde döngü tespit edilip harita optimize edilmektedir. Aynı ekip devam eden yıllarda geliştirmeler devam ederek ORB-SLAM2(Mur-Artal vd. , 2017) ve ORB-SLAM3'ü(Campos vd. , 2021) yayınladılar.

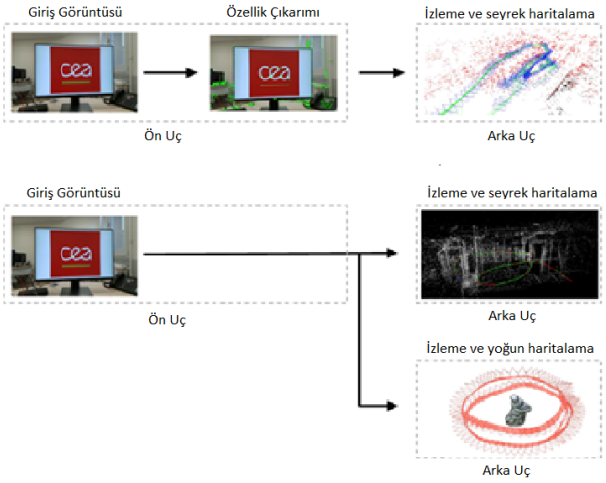
ORB-SLAM'deki gelişmeler doğrultusunda 2017 yılında ORB-SLAM2 ve 2021 yılında ORB-SLAM3 yayınlanmıştır. Monoküler, Stereo ve RGB-D kameralar için uygulanabilen ORB-SLAM3 kolay entegrasyonu, yüksek hassasiyeti ve sağlam yapısıyla öne çıkmaktadır. Sistem gerçek zamanlı olarak yörünge hesaplama ve 3 boyutlu sahne yeniden oluşturma yapabilmektedir. Sistem hem iğne deliği(pinhole) hem de balıkgözü(fisheye) lens modellerini desteklemekte ve monoküler, stereo ve görsel-ataletsel sistemleri desteklemektedir.

2015 yılında Leutenegger ve arkadaşları tarafından OKVIS önerildi(Leutenegger vd. , 2015). Optimizasyon temelli olan algoritma re-projeksiyon hatası ve IMU hatalarını optimize ederek bir amaç fonksiyonunda birleştirir. 2018 yılına gelindiğinde Hong Kong Bilim ve Teknoloji Üniversitesinden ekip Monoküler Görsel-Ataletsel Sistem (VINS-Mono) önerildi(Qin ve Shen, 2018). Algoritma hesaplamaya özellik çıkarımı ve takibi, IMU verilerinin ön işlenmesi ile başlar. Sistem yeniden konumlandırma için döngü tespiti ve pose-graph optimizasyonu modülü ile IMU ve özellik çıkarımını birleştirmektedir. Algoritma monoküler kamera ile IMU, stereo kamera ile IMU ve yalnızca stereo gibi çoklu sensör tiplerini desteklemektedir. İlerleyen süreçteki çalışmada GPS destekli sürüm olan VINS-Fusion da yayınlanmıştır.

Görsel SLAM probleminde, çevresel etkenler, SLAM performansına yönelik olumsuz etkileri bulunmaktadır. Düşük aydınlatma koşulları, karmaşık, dinamik, yapılandırılmamış ve büyük ölçekli ortamlara karşı daha gelişmiş çözümler aranmaktadır. Bu kapsamda literatürde önemli yer edinmiş ORB-SLAM3 algoritması kullanılarak, oluşturulan veri setleri üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir. Özellikle ışık patlamalarının olduğu ve düşük aydınlatma koşullarındaki ortamlarda toplanan veriler üzerine görüntü iyileştirme yöntemleri uygulanmıştır. Uygulanan yöntem üzerinden sistem performansları etkileri, yörünge hataları gibi kriterleri değerlendirilmiştir.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

Görsel SLAM kavramı SLAM probleminin çözümü için kullanılan sensörlerden birincil olarak kamerayı kullanan yaklaşımdır. Sistem kullanılan sensörün pozisyonunu ve yönelimini belirlerken aynı zamanda çevrenin haritasını da çıkarabilmektedir. Probleme temelinde şekil 1'de verilen iki önemli yaklaşım olan özellik tabanlı ve doğrudan yöntem ile yaklaşmaktadır.



Şekil 1. Özellik ve Doğrundan tabanlı yöntem (Macario Barros, 2022)

Özellik tabanlı yöntem, anahtar noktalar adı verilen çevrenin belirli geometrik şekillerine göre(köşeler, düzlemler, çizgiler) özellik çıkarımı ve eşleştirme yaparak kamera konumunu, yönelimini hesaplayan ve bu bilgiler ile ortamın haritasını çıkarabilen bir yöntemdir. Sistemin ilk zamanlarında özellik çıkarımı için FAST, Harris, GFTT gibi köşe bulma algoritmaları kullanılsa da bu algoritmaların basit, yapılandırılmamış ortamlardaki karasızlıklarından dolayı farklı özellik çıkarımı yapan algoritmalara yönlenmiştir. Bu yöntemlerin başında SIRF, SURF ve ORB gibi özellik çıkartma yöntemleri gelmektedir.

Doğrudan yöntemde özellik tabanlı yöntemin aksine kameradan alınana verilerin ön işleme alınmadan doğrudan sisteme verilmektedir. Görüntüdeki her pikselin yoğunluğu ele alınarak ve fotometrik hata azaltılarak çalışır. Böylelikle hesaplama maliyetleri açısından daha verimlidir. Ayrıca yapılandırılmamış düz dokulu ortamlarda daha iyi performans göstermektedir.

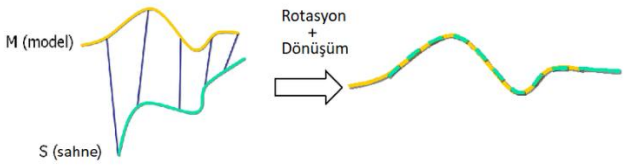
Özellik Çıkarımı ve Eşleme

Görsel SLAM in en önemli bileşenlerinden biride özellik çıkarımı ve eşlemedir. Görsel SLAM in ön uç adımında robotun pozisyon ve yönelimini tahmin etmek için görsel odometre çıkarımı yapılmakatadır. Özellik tespiti görüntüdeki farklı bölgeler ve nokta özelliklerin tespitini yaparak hareket tahmininde bulunabilmeyi sağlamaktadır. Özellik çıkarımı için SIFT, SURF, FAST, BRIEF, ORB vb. çeşitli algoritmalar bulunmaktadır.

Döngü Kapama

Döngü kapama sistemi SLAM problemindeki daha önceden ziyaret edilen bölgeyi tespit edilebilmesi sağlayan konsepte verilen isimdir. Bu işlem için mevcut görüntü ile hafızadaki görüntünün eşleştirilmesi denetlenmektedir. Sistem özellikle büyük ortamlarda birken konumlandırma hatalarını optimize etmesi için önemli bir bileşendir. Literatürde döngü kapama sistemleri için LIDAR ve görüş tabanlı iki önemli yaklaşım mevcuttur.

LIDAR tabanlı döngü kapama sisteminde kullanılan en önemli yaklaşım Yinelemeli En Yakın Nokta(ICP) algoritmasıdır. ICP algoritması iki nokta bulutları arasındaki eşleşmeyi sağlayan algoritmadır(Chen ve Medioni, 1992). Özellikle robot konumlandırması için 2B veya 3B nokta bulutlarını kullanarak hedef ile referans verileri arasında dönüşümü sağlayabilmektedir. Bir referans veri seti P ile hedef veri seti Q arasındaki eşleme için Q'daki her bir noktanın P'deki en yakını bulunur. Daha sonra eşleşen noktalar arasındaki öklid mesafelerinin toplamı hata hedefi fonksiyonu için hesaplanır ve hatayı en aza indirmek, rotasyon ve ötelemeyi hesaplamak için tekil değer ayrıştırması(SVD) kullanılır. Şekil 2'de algoritma işleyişi gösterilmiştir.



Şekil 2. ICP algoritması (Molero vd., 2011)

Görüş tabanlı döngü kapama sistemlerinde görüntüden çıkarılan özellikler kullanılarak kaynak görüntü ile arasındaki benzerlikler eşik değer referans alınarak karşılaştırılır. Özellik çıkarımı ve eşleştirme için kullanılan yöntemler daha önce bahsedilen SURF, SIFT, ORB gibi özellik çıkarımı yöntemler kullanılır. Döngü tespitinde önemli bir yöntem olan BoW(Bag of Word) yöntemi yakalanan dijital görüntüleri vektörler şeklinde temsil ederek görsel bir kelime ağacı oluşturan bir tekniktir. Yakalanan her bir yeni özellik kelime ağacında kök noktasından en küçük Hamming mesafesine sahip noktalara gidecek şekilde büyür. Her bir düğümde ki veriler hesaplanarak görüntü vektörü oluşturulur. Aşağıda denklem 1'de tanımlanmıştır.

$$w_t^i = tf(i, I_t) \times idf(i), w_t^i = w_t^i \,/\, \sum w_t^{-1} \qquad (1)$$

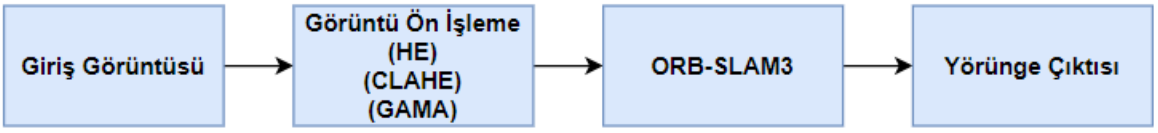
Elde edilen vektör temsilleri ile kaynak görüntüdeki temsil edilen vektörler ile karşılaştırma yapılarak döngü tespitinde bulunulmaktadır. Bu yöntemin dezavantajlarına bakıldığında ise değişen çevre koşulları, ışıklandırma, görüntüdeki gürültüler vs. gibi olaylardan etkilenmesidir. Bu gibi sorunlar için FAB-MAP(Hızlı Görünüm Tabanlı Haritalama) gibi algoritmalar önerilmiştir.

Görsel Odometre

Görsel odometre(Visual Odometry), kameradan alınan görüntü girdilerini kullanarak kameranın hareketini tahmin etme işlemidir. Görsel odometre terimi ilk olarak Nister tarafından 2004 yılındaki makalesinde önerildi(Nister vd., 2004). Görüntüden pozisyon çıkarma fikri ilk olarak 1980'lerde Moravec öne sürdü(Moravec, 1980). Görsel odometre üzerine yapılan ilk uygulamalar NASA'nın Mars Rover aracı üzerinde olmuştur. Görsel odometre, bir araçta tekerleğin dönüş miktarını ölçen teker odometresi sistemine benzer bir çalışma prensibiyle pozisyondaki değişimleri tahmin eder. Sistem tekerlek odometresinde ki patinaj durumları gibi pozisyon ölçümünde hata oluşturacak etkilere karşı etkilenmez fakat düzgün bir şekilde çalışabilmesi için ortamda ışıklandırılmanın iyi düzeyde olması ve sabit dokulu nesnelerin olmaması gereklidir.

Görüntü Ön İşleme

Görsel SLAM performansını etkileyen dış etkenler olarak ortamın ışıklandırılması, ortamda bulunan doku ve yapısal özellikler, robotun hareket hızı ve sistem üzerindeki titreşimler, ani sert hareketler, merdivenler, yürüyen merdivenler, asansörler, insan kalabalığı gibi birçok etken vardır. Bu çalışmada ortam ışıklandırılması üzerinde durularak görüntü iyileştirme ve düşük ışıklandırmalı ortamlar için görüntü aydınlatma algoritmaları üzerinden SLAM performansı değerlendirmesi yapılmıştır. Bu kapsamda toplanılan görüntüler üzerinden görüntü ön işleme gerçekleştirilmiştir. Sistem şekil 3'de gösterildiği gibi görüntü ön işleme için alınan ham verilere histogram eşitleme ve gama düzeltmesi uygulanmıştır.



Şekil 3. *Sistem adımları*

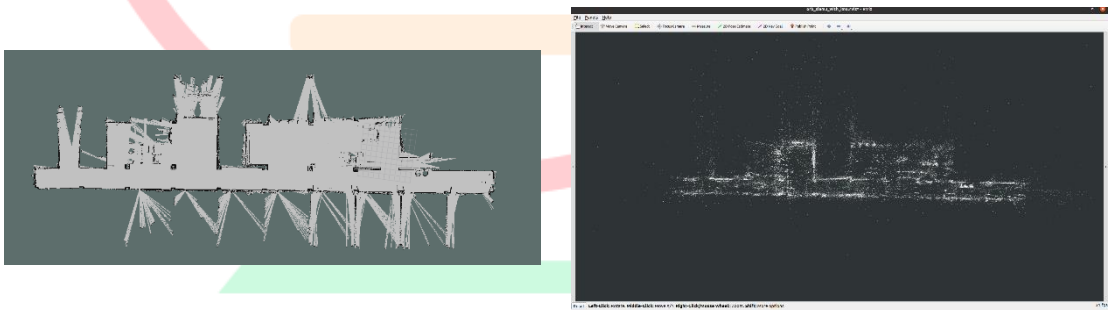
Histogram, bir görüntünün yoğunluk dağılımının grafiksel bir temsilidir. Histogram eşitleme ise, görüntünün yoğunluk değerlerini yayarak görüntünün kontrastını iyileştirmek için kullanılan bir tekniktir. Uyarlamalı histogram eşitlemede ise görüntü yerel parçalar ayrılır(Reza, 2004). Daha sonra bu parçalara eşitleme uygulanır. Ancak bu yöntemde görüntünün homojen bölgelerindeki gürültüyü aşırı yükseltme eğilimindedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için kontrast sınırlaması uygulanır. Herhangi bir histogram bölmesi belirtilen kontrast sınırının üzerindeyse, bu pikseller histogram dengeleme uygulanmadan önce kırpılır ve diğer bölmelere eşit şekilde dağıtılır. Eşitlemeden sonra çift doğrusal enterpolasyon uygulanır.

3.BULGULAR

Çalışma kapsamında Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesindeki farklı ortamlardan veriler toplanmıştır. Tüm bu ortamlar için stereo kamera çifti, IMU ve ortam ışık şiddeti verileri farklı zaman ve ışıklandırma koşulları altında kayıt edilmiştir. Ayrıca V-SLAM algoritmalarını test etmek için kullanılan açık kaynaklı veri seti EuRoc gibi en sık kullanılan veri seti üzerinde test yapıldı.

Toplanan veri setleri, farklı aydınlatma koşullarında farklı lux değerlerinde, toplanan görüntülerden oluşmaktadır. Her bir ortam için 640x480 piksel çözünürlükte, 30 FPS'te stereo kamera görüntüsü, 200 Hz frekansta IMU sensöründen veriler alınmıştır. Kamera görüntüsü parametrelerinden pozlama ve ışık dengesi sabit tutulmuştur.

Oluşturulan veri setleri üzerinde ORB-SLAM3 algoritması çalıştırılıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda sensör konfigürasyonu olarak stereo-imu ve monocular-imu verileri ile farklı ortam koşullarında yazılımlar çalıştırılmıştır. Şekil 4'de SLAM harita çıktıları verilmiştir. Performans analizi ve değerlendirme ölçeği için mutlak yörünge hatası(ATE) ve göreceli pozisyon hatası(RPE) ölçekleri kullanılmıştır.



Şekil 4. *Fakülte 2D SLAM ve V-SLAM harita çıktıları.*

Göreceli pozisyon hatası(RPE) belirlenen bir Δ zaman aralığına bağlı olarak, yörüngenin yerel doğruluğunun bir ölçüsüdür. Göreceli pozisyon hatası, özellikle görsel odometre sistemlerinin değerlendirilmesi için yörüngeden sapmanın göstergesidir. Bu tanıma göre *i* zaman adımındaki göreceli poz hatası denklem 2'de verilmiştir.

$$E_i := (Q_i e^{-1} Q_i + \Delta)^{-1} (P_i^{-1} P + \Delta) \qquad (2)$$

N tane kamera pozu dizisi boyunca göreceli poz hataları şu şekilde elde edilir: $m = n - /Delta$. Öteleme bileşeninin genel zaman endeksleri olan ortalama karesel hatanın kökü (RMSE) denklem 3'de verildiği şekilde hesaplanır:

$$RMSE(E_{1:n}, \Delta) := \left(\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \|\text{trans}(E_i)\|^2\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Göreceli pozisyon hatası E_i'nin öteleme bileşenleri trans(E_i) ile gösterilir. Ölçülen aykırı değerlerin daha az etkilenmesi için bazı durumlarda ortalama hata yerine, kök ortalama kare hatası kullanılır. Bazı durumlarda ise ortalama yerine medyanı hesaplamak da tercih edilir, böylelikle aykırı değerlerin etkisi azaltılmış olunur.

Ardışık çerçeveleri eşleştirmeye çalışan sistemler için, çerçeve başına kaymayı $RMSE(E_{1:n})$ gösteren $\Delta = 1$ zaman parametresinin kullanılması gerekir. Bir sistemde birden fazla önceki çerçeve kullanıldığında, daha büyük Delta dağılımları uygun olabilir. Örnek olarak $\Delta = 20$, 20 Hz'de kaydedilen bir dizi görüntü için saniyedeki kaymayı verir. Başlangıç noktası ile bitiş noktasını karşılaştırmanın sıklıkla seçilen yöntemlerinden biri, Δ = n değerini ayarlamaktır. Bu ölçüm yörüngenin sonuna doğru dönme hatalarını daha fazla cezalandırdığı için aldatıcı olmaktadır(Kümmerle vd., 2009). SLAM sistemlerini değerlendirmek için tüm zaman aralıkları Δ üzerinden ortalama almak kullanışlıdır. Bunun için denklem 4 kullanılır.

$$RMSE(E_{1:n}) := \frac{1}{n}\sum_{\Delta=1}^{n} RMSE\,(E_{i:n}, \Delta) \quad (4)$$

Bu ifade yörünge uzunluğu açısından ikinci dereceden hesaplama karmaşıklığına sahiptir. Bunun için, sabit sayıda konumlardan bir dizi göreceli pozisyon örneği alınarak yaklaşık olarak tahmin edilebileceği önerilmiştir (Burri vd., 2016).

Mutlak yörünge hatası (ATE) V-SLAM sistemleri için, algoritmanın çıkardığı yörünge ile gerçek yörünge arasındaki mutlak mesafedir. Tahmin edilen yörünge ile gerçek yörünge arasındaki tutarlılığı belirlemek için kullanılan önemli ölçümdür. Her iki yörüngenin de herhangi bir koordinat çerçevesinde başlaması nedeniyle aralarındaki farkı hesaplayabilmek için hizalanması gereklidir. Bu sorunun çözümü için Horn yöntemi kullanılarak(Horn, 1987), en küçük kareler çözümünü ile tahmin edilen yörüngeyi $P_{i:n}$ temel gerçek yörüngeye $Q_{i:n}$ eşleyen bir katı cisim dönüşümü S elde edilebilir. Dönüşümden elde edilen mutlak yörünge hatası denklem 5'e göre hesaplanabilir:

$$F_i = Q_i^{-1} S P_i \quad (5)$$

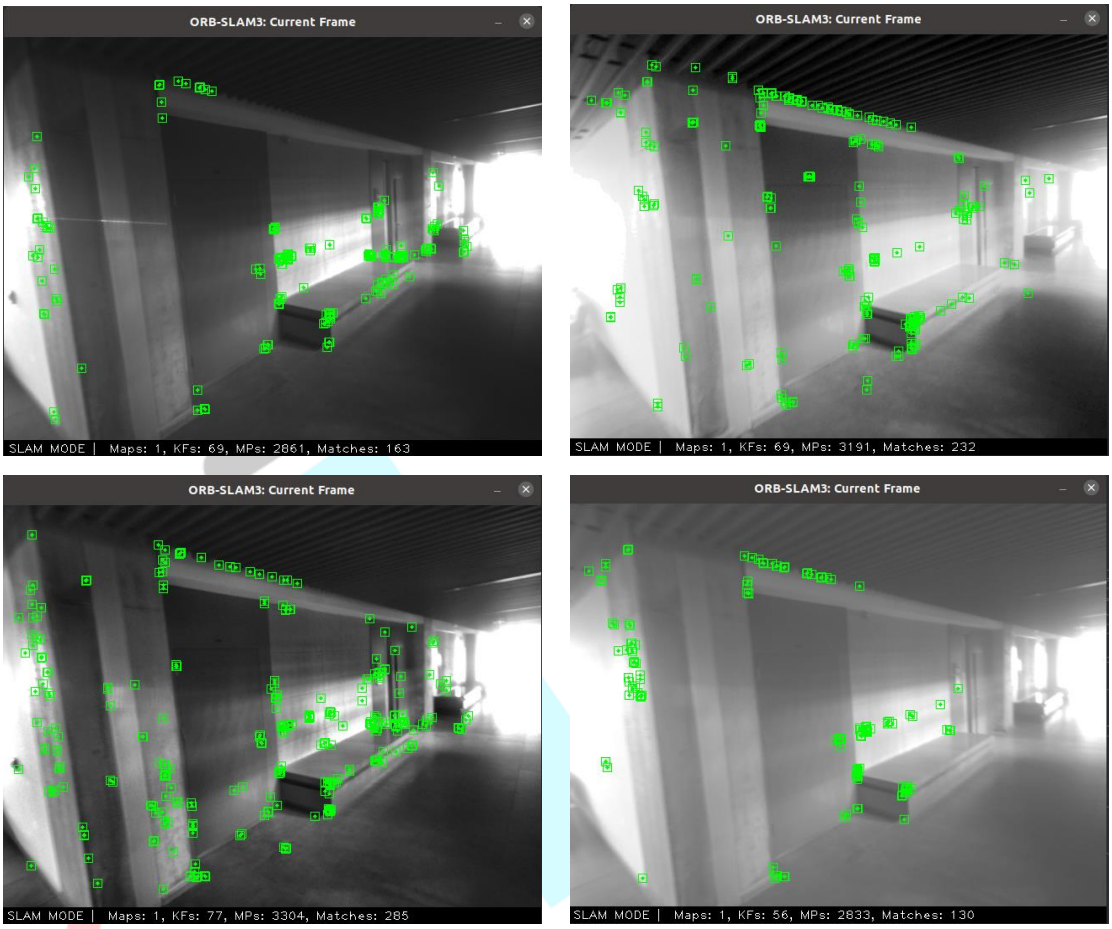
Öteleme bileşenleri için, her bir bileşen tüm zaman endekslerinde ortalama karekök hatasının hesaplanması ise denklem 6'da verilmiştir.

$$RMSE(E_{1:n}, \Delta) := \left(\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \|\text{trans}(F_i)\|^2\right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

RPE, bir yörüngenin genel hatasını değerlendirmek için olası tüm zaman aralıklarındaki verilerin ortalamasını alarak da kullanılabilir. Çeviri ve dönme hataları RPE tarafından önemliyken, yalnızca çeviri hataları ATE tarafından ele alınır. Bu nedenle RPE metriği, dönme ve öteleme hatalarını tek bir ölçümde birleştirmenin uygun bir yolunu sağlar. Ancak ATE genellikle dönme hatalarını dolaylı olarak da algılar çünkü bunlar yanlış çevirilerde ortaya çıkar.

Çalışmada toplanan veri setinde yer gerçeğini ölçmek için LIDAR ve IMU sensörlerinden faydalanılmıştır. Çalışma ortamındaki koşullar farklı ışık şiddetini içeren verilerden oluşmaktadır. SLAM performansı iyileştirmesi için görüntü iyileştirme yöntemlerinden histogram eşitleme, kontrast kısıtlamalı uyarlanabilir histogram eşitleme ve gama düzeltme ile değerlendirilmiştir. Yapılan iyileştirmeler özellik çıkarımı algoritmaları üzerinden test edilip sonuçlar gözlemlenmiştir.

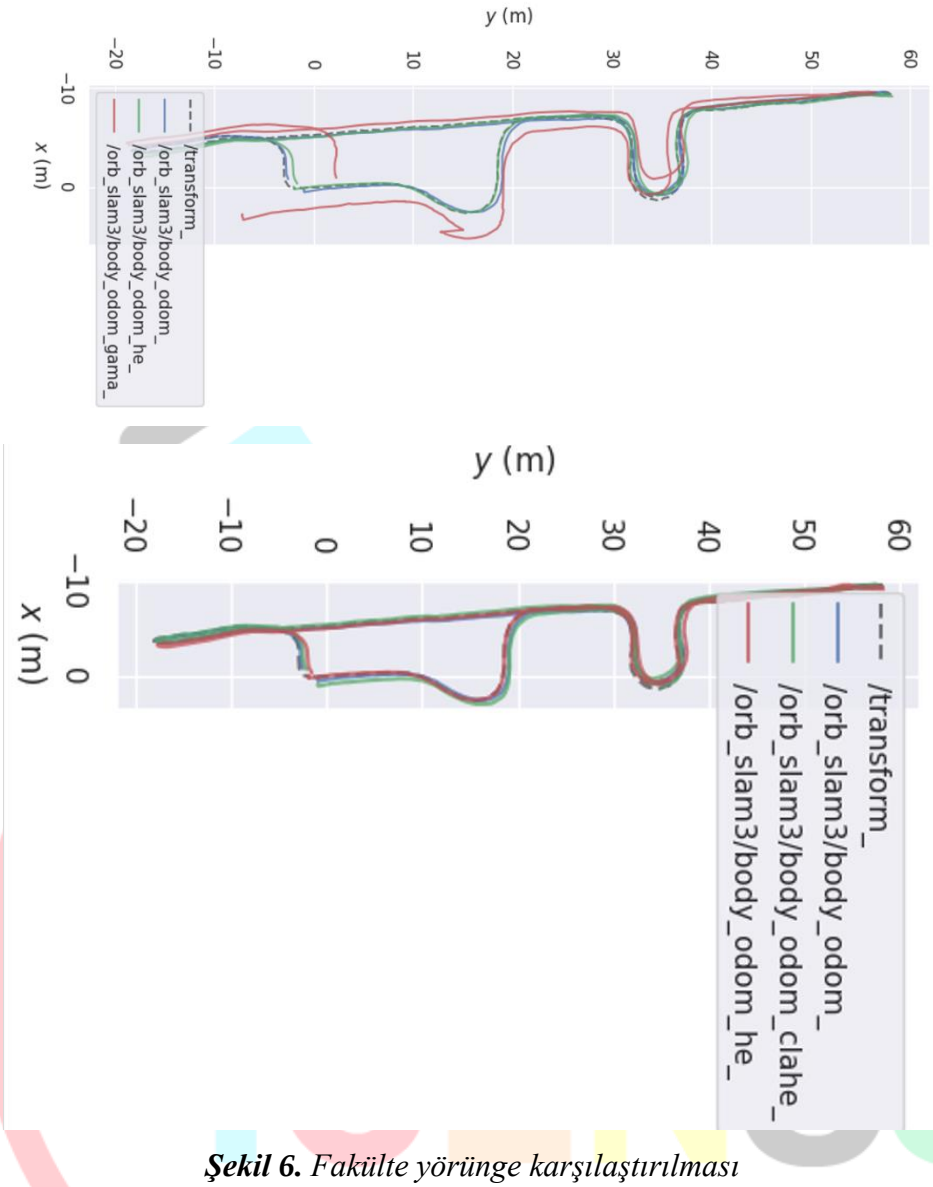
Farklı ortamlardan alınan görüntülerin ön işleme tabi tutulmuştur. Çıkarılan sonuçlar üzerinden görüntüler ORB özellik tespiti algoritmasındaki sonuçları aşağıda şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. *Görüntü iyileştirme uygulandıktan sonraki ORB özellikleri (sol üst orijinal, sağ üst histogram eşitleme, sol alt kontrast sınırlamalı histogram eşitleme, sağ alt gama düzeltme)*

Düşük ışık şiddetinin olduğu ortamlarda SLAM algoritması görüntüdeki özellik noktalarını belirlemesi zorlaşır ve bu da hareket takibini engeller. Sistemde eklenen görüntü aydınlatma ile karanlık ve loş ortamlarda daha iyi özellik noktaları belirlenerek sistemin daha sağlam yapıda olması beklenmektedir. Histogram eşitleme ve gama düzeltmesi üzerinden elde edilen görüntü çıktıları ORB-SLAM3 algortimasına verilmiştir. Algoritmanın ürettiği özellikler açısından en fazla eşleşme kontrast kısıtlamalı uyarlanabilir histogramda, ikinci olarak histogram eşitelemede, üçüncü olarak orijinal görüntüde, en az eşleşme ise gama uygulanmış görüntüde elde edilmiştir.

SLAM yörünge performans sonuçları için tahmini konumları ile yer gerçeği arasındaki tutarlılığı mutlak yörünge hatası(ATE) ve göreceli pozisyon hatası(RPE) üzerinden değerlendirilmiştir. Fakütede toplanan stereo-imu verilerinin ORB-SLAM3 yörünge çıktıları şekil 6'de verilmiştir.



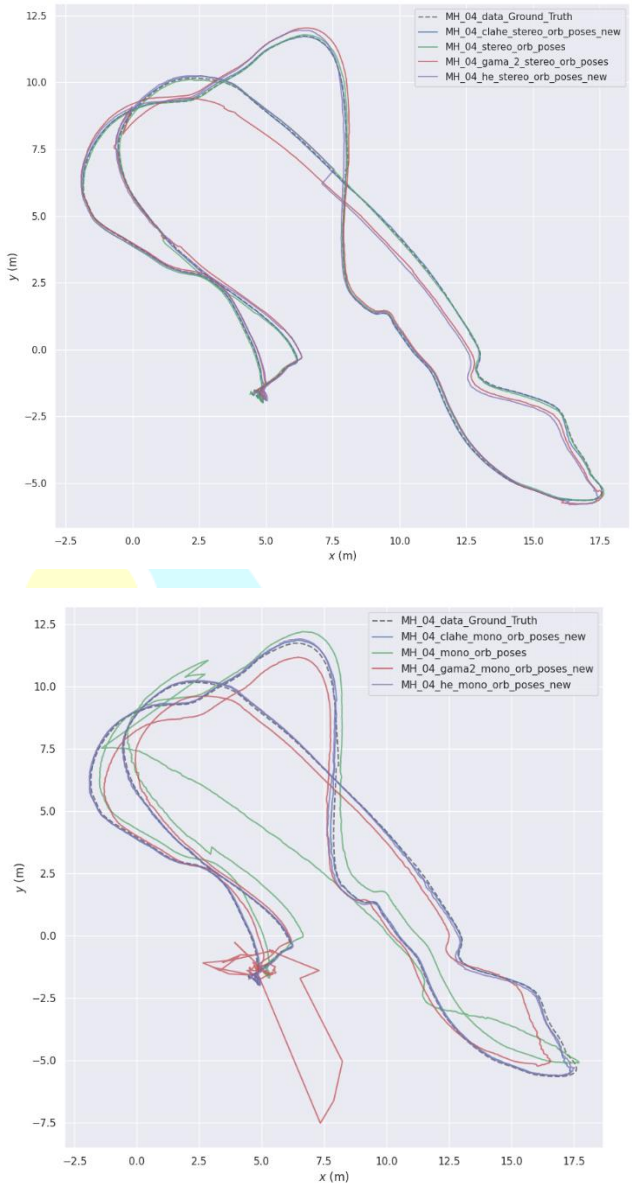
Şekil 6. *Fakülte yörünge karşılaştırılması*

Çizelge 1 incelendiğinde kontrast kısıtlamalı uyarlanabilir histogram eşitleme en iyi sonucu elde etmiştir. Ham veriler ile normal histogram eşitlemede ise birbirine yakın sonuçlar çıkmıştır. Gama düzelteme uygulanan görüntülerde ise SLAM performansını bozduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 1. *SLAM sonuçları*

		ORB-SLAM3			
Kamera Tipi	Metrik	Ham veri	Histogram Eşitleme	Kontrast Kısıtlamalı HE	Gama Düzeltme
Stereo	ATE	1.7532	1.9996	1.7329	1.9998
	RPE	0.3545	0.4065	0.3218	0.8963

İnsansız hava araçları için üretilmiş euroc açık kaynak veri setinden MH_04 olan veri setinin yörünge sonuçları şekil 7'de verilmiştir. Veri setinde özellikle ışıklandırmanın zayıf olduğu bölümler bulunduğu için deneyle uyumlu olması beklenmektedir.



Şekil 7. *Yörünge karşılaştırılması*

Veri setinden alınan görüntüler ham, histogram eşitleme, kontrast kısıtlamalı histogram eşitleme ve gama düzeltmesi uygulanmış şekilde ORB-SLAM3 algoritmasına verilmiştir. Kullanılan kamera parametresi ise stereo ve monoküler olmak üzere iki çeşittir. Çizelge 2'de yer alan sonuçlar incelendiğinde hem stereo hem monoküler haritalama yönteminde kontrast kısıtlamalı histogram eşitleme uygulanan veri setinin diğerlerine göre daha iyi sonuçlar çıkardığı görülmüştür. İkinci olarak en iyi sonuç gösteren monoküler için normal histogram eşitleme uygulanan veri seti, stereo için ise ham veriler daha iyi sonuç vermiştir. Fakülte ortamında toplanan verilerin daha çok ışık patlamalarının olduğu görüntülerden oluştuğu göz önüne alındığında dengesiz ışıklı ortamlarda kontrast kısıtlamalı histogram eşitleme daha doğru bir yaklaşım olarak gözükmektedir.

Çizelge 2. *SLAM sonuçları*

		ORB-SLAM3			
Kamera Tipi	Metrik	Ham veri	Histogram Eşitleme	Kontrast Kısıtlamalı HE	Gama Düzeltme
Monoküler-IMU	ATE	1.2683	0.1106	0.08445	1.8234
	RPE	0.1389	0.0721	0.0716	1.3336
Stereo-IMU	ATE	0.0765	0.2199	0.0608	0.2917
	RPE	0.0751	0.0852	0.0078	0.0852

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma kapsamında eş zamanlı haritalama ve konumlandırma problemi için görsel SLAM yöntemi ele alınmıştır. Görüntü işleme tekniklerinin gelişimi ile SLAM problemindeki gelişmeler uzun süredir araştırmacılar tarafından ilgi görmüştür. Derin öğrenme tekniklerinin gelişimi, düşük maliyetli donanımlara erişimin kolaylaşması ve robotiğe artan ilgi ile birlikte görsel SLAM alanında ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir. Mobil robotların ile insanlar arasında iş birliği içinde çalışması adına artan yüksek gereksinimler ile robotların gelişmiş çevre algısı ve semantik yöntemler kullanımı giderek önem kazanmıştır.

Gerçek dünya koşulları ele alındığında görsel SLAM performansını etkileyen birçok dış etkenler vardır. Ortam ışıklandırması, çevrede bulunan doku ve yapısal özellikler, robotun hareket hızı ve sistem üzerindeki titreşimler, ani sert hareketler, sık değişen dinamik ortamlar gibi birçok olumsuz etken vardır. Bu gibi sorunların üstesinden gelmek için birçok araştırmalara devam edilmektedir.

Yapılan çalışmasında literatürde kendini kanıtlamış algoritmalar çerçevesinde görüntü iyileştirme algoritmaları kullanarak SLAM performansını arttırmaya yönelik çalışma gerçekleştirilmiştir. İyi bir SLAM performansı için görsel SLAM'in sensör verilerini aldığı ön uç kısmında görüntüden özellik çıkarımı önemli bir adımdır. Bu adımda daha çok özellik çıkarımı sistemin devamlılığı ve sağlam olması adına önem arz etmektedir. Bunun için sensör girdilerine yönelik iyileştirme sistemi kararlı olmasına destek olmaktadır. Bu amaçla çalışmada özellikle düşük aydınlatma koşullarındaki bir ortam için görüntü iyileştirilmesine odaklanılmıştır. Görüntü iyileştirmesi algoritmaları kullanılıp özellik çıkarımı ve SLAM performansına olan etkileri ele alınmıştır. Farklı aydınlatma seviyelerinde ve farklı ortamlardan toplanan veriler üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir. Monoküler kamera, stereo kamera ve IMU dan alınan verilere gerekli kalibrasyonlar yapılıp, ORB-SLAM3 algoritmasındaki performansları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları mutlak yörünge hatası ve göreceli pozisyon hatası üzerinden değerlendirilmiştir. Deney sonuçları ele alındığında görüntü üzerinde yapılan iyileştirmelerin SLAM performansı için iyileştirme sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sensör konfigürasyonu olarak stereo-IMU kullanılan yaklaşımda en iyi sonuçlar alınmıştır.

Görsel SLAM uzun yıllardır gelişimiyle birlikte, robotik ve farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Bununla birlikte, SLAM çevresel etkenler, karmaşık, dinamik, yapılandırılmamış ve büyük ölçekli ortamlara karşı keşfedilmeyi bekleyen çözümler aranmaktadır. Son yıllara da gelişen derin öğrenme tabanlı sistemler bu konuya el atsa da hala çözümü bekleyen birçok sorunla karşı karşıyadır. Derin öğrenmenin daha da gelişmesiyle birlikte gelecekte, SLAM bu alana kayarak semantik V-SLAM'in geliştirilmesi ve uygulanması beklenmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKLAR

Burri, M., Nikolic, J., Gohl, P., Schneider, T., Rehder, J., Omari, S., ... & Siegwart, R. (2016). The EuRoC micro aerial vehicle datasets. The International Journal of Robotics Research, 35(10), 1157-1163.

Campos, C., Elvira, R., Rodríguez, J. J. G., Montiel, J. M., & Tardós, J. D. (2021). Orb-slam3: An accurate open-source library for visual, visual–inertial, and multimap slam. IEEE Transactions on Robotics, 37(6), 1874-1890.

Chen, Y., & Medioni, G. (1992). Object modelling by registration of multiple range images. Image and vision computing, 10(3), 145-155.

Davison. (2003, October). Real-time simultaneous localisation and mapping with a single camera. In Proceedings Ninth IEEE International Conference on Computer Vision (pp. 1403-1410). IEEE.

Davison, A. J., Reid, I. D., Molton, N. D., & Stasse, O. (2007). MonoSLAM: Real-time single camera SLAM. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 29(6), 1052-1067.

Durrant-Whyte, H., & Bailey, T. (2006). Simultaneous localization and mapping: part I. IEEE robotics & automation magazine, 13(2), 99-110.

Engel, J., Schöps, T., & Cremers, D. (2014, September). LSD-SLAM: Large-scale direct monocular SLAM. In European conference on computer vision (pp. 834-849). Cham: Springer International Publishing.

Evans, J., Krishnamurthy, B., Pong, W., Croston, R., Weiman, C., & Engelberger, G. (1989). HelpMate™: A robotic materials transport system. Robotics and Autonomous Systems, 5(3), 251-256.

Horn, B. K. (1987). Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions. Josa a, 4(4), 629-642.

Klein, G., & Murray, D. (2007, November). Parallel tracking and mapping for small AR workspaces. In 2007 6th IEEE and ACM international symposium on mixed and augmented reality (pp. 225-234). IEEE.

Kümmerle, R., Steder, B., Dornhege, C., Ruhnke, M., Grisetti, G., Stachniss, C., & Kleiner, A. (2009). On measuring the accuracy of SLAM algorithms. Autonomous Robots, 27, 387-407.

Leutenegger, S., Lynen, S., Bosse, M., Siegwart, R., & Furgale, P. (2015). Keyframe-based visual–inertial odometry using nonlinear optimization. The International Journal of Robotics Research, 34(3), 314-334.

Macario Barros, A., Michel, M., Moline, Y., Corre, G., & Carrel, F. (2022). A comprehensive survey of visual slam algorithms. Robotics, 11(1), 24.

Merzlyakov, A., & Macenski, S. (2021, September). A comparison of modern general-purpose visual SLAM approaches. In 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (pp. 9190-9197). IEEE.

Molero, R., Scherer, S., Chamberlain, L., & Singh, S. (2011). Navigation and control for micro aerial vehicles in GPS-denied environments.

Montemerlo, M., Thrun, S., Koller, D., & Wegbreit, B. (2002). FastSLAM: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem. Aaai/iaai, 593598.

Montemerlo, M., Thrun, S., Koller, D., & Wegbreit, B. (2003, August). FastSLAM 2.0: An improved particle filtering algorithm for simultaneous localization and mapping that provably converges. In IJCAI (Vol. 3, No. 2003, pp. 1151-1156).

Moravec, H. P. (1980). Obstacle avoidance and navigation in the real world by a seeing robot rover. Stanford University.

Mur-Artal, R., Montiel, J. M. M., & Tardos, J. D. (2015). ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system. IEEE transactions on robotics, 31(5), 1147-1163.

Mur-Artal, R., & Tardós, J. D. (2017). Orb-slam2: An open-source slam system for monocular, stereo, and rgb-d cameras. IEEE transactions on robotics, 33(5), 1255-1262.

Qin, T., Li, P., & Shen, S. (2018). Vins-mono: A robust and versatile monocular visual-inertial state estimator. IEEE Transactions on Robotics, 34(4), 1004-1020.

Rehder, J., Nikolic, J., Schneider, T., Hinzmann, T., & Siegwart, R. (2016, May). Extending kalibr: Calibrating the extrinsics of multiple IMUs and of individual axes. In 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 4304-4311). IEEE.

Reza, A. M. (2004). Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real-time image enhancement. Journal of VLSI signal processing systems for signal, image and video technology, 38, 35-44.

Smith, R. C., & Cheeseman, P. (1986). On the representation and estimation of spatial uncertainty. The international journal of Robotics Research, 5(4), 56-68.

Taketomi, T., Uchiyama, H., & Ikeda, S. (2017). Visual SLAM algorithms: A survey from 2010 to 2016. IPSJ transactions on computer vision and applications, 9, 1-11.

hrun, S. (1998). Learning metric-topological maps for indoor mobile robot navigation. Artificial Intelligence, 99(1), 21-71.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Atıksuların remediasyonunda alglerin kullanımı ile kirleticilerin giderimi

Mehmet Mustafa DENİZ[1]
Murat TOPAL[2]

Özet

Su kirliliği son yıllarda oldukça artan ve her geçen gün daha da endişe verici hale gelen çevre sorunlarından biridir. Endüstriyel faaliyetlerden, tarımsal uygulamalardan ve evsel kullanımlardan kaynaklanan atıksular yüksek miktarda besin maddesi, ağır metaller ve kimyasal içeriğinden dolayı toprak, hava ve su gibi çevresel varlıkların doğal özelliklerini bozmakta, insan ve hayvan sağlığına da ciddi zararlar vermektedir. Atıksuların bileşimi her geçen gün daha karmaşık hale gelmekte ve arıtma proseslerinde etkili, kolay uygulanabilir ve çevre dostu uygulamalar giderek önem kazanmaktadır. Doğada bir taraftan doğal veya antropojenik yollarla gelen akışlar farklı sayıda ve değişik konsantrasyonlarda kirleticileri alıcı ortamlara taşırken diğer taraftan sulu ortamlarda doğal olarak yetişen algler ise organik ve inorganik bileşenleri çeşitli mekanizmalarla sulu ortamlardan uzaklaştırmaktadır. Algler sulu ortamlarda sadece besinleri, ağır metalleri ve toksinleri gidermekle kalmaz, aynı zamanda ortama oksijen sağlayarak aerobik bakterilerin organik kirleticileri mineralize etmesini de kolaylaştırır. Alglerin doğada her yerde bulunmaları ve çok çeşitli habitatlara iyi adapte olmaları sayesinde büyüyerek çoğalan biyokütle değerli ürün olarak birçok sektörde kullanım alanına sahip olabilmektedir. Alglerin kullanımı ile remediasyon stratejisi, atıksu arıtımında maliyetli ve çevreye zararlı kimyasalların kullanımından kaçınmak için de oldukça etkilidir. Alglerin atıksu arıtımında kullanılması ile atıksulardaki kirletici maddeler, algleri besleyen besinler olarak görünmekte ve böylece fosfatların, nitratların, ağır metallerin, pestisitlerin, hidrokarbonların, nitrojenin ve fosforun giderimi sağlanmaktadır. Bu amaçla bu çalışmada atıksuların remediasyonunda alglerin kullanımı ile kirleticilerin giderimi tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atıksuların remediasyonu, Algler, Kirleticilerin giderimi, Fikoremediasyon, Su kirliliği.

[1] Doktora Öğrencisi, Munzur Üniversitesi, Stratejik Hammaddeler ve İleri Teknoloji Uygulamaları Anabilim Dalı,
[2] Doç. Dr., Munzur Üniversitesi Tunceli Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0222-5409

ISBN: 978-625-372-170-1

Giriş

Büyük bir hızla ve gün geçtikçe artan dünya nüfusu, bilim ve teknolojideki ilerlemeyle birlikte kaynak kullanımını da artırmıştır. Bu durum atıksu arıtma ve işlemede zorluklar meydana getirmektedir. Zengin içerikli atıksuyun uygun arıtma yapılmadan su ortamlarına boşaltılması, ötrofikasyona ve su kalitesinin bozulmasına katkıda bulunur. Atıksu arıtımında biyolojik prosesler, kimyasal arıtma, membran sistemleri vb. birçok arıtma yöntemi kullanılmaktadır. Ancak bu uygulamalarının çoğu yüksek enerji ihtiyacı, işletme ve bakım maliyetleri, yetersiz verimlilik, kimyasal kullanım ve çamur yönetimindeki zorluklar gibi sebeplerle pek tercih edilmemektedir. Bu nedenle fazla insan gücü gerektirmeyen, hemen hemen her türlü su kütlesine uygulanabilen, işletme ve enerji maliyeti düşük olan doğal arıtma sistemleri, kirleticilerin gideriminde kullanılabilmektedir (Topal vd., 2017; Park ve Craggs, 2010). Algler evsel atıksu, hayvan atıkları, tarımsal-endüstriyel atıklar gibi birçok atık ortamlarında çoğalabilmektedir (Abdel-Raouf vd., 2012). Alg biyokütlesi, çok yönlü olması ve atıksu arıtma endüstrilerinde kullanılabilmesi nedeniyle son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir (Wang vd., 2010).

Algler doğada yaşayan ve ekosistemde önemli görevleri olan canlılardır. Bu canlıların genel yaşam alanları sulu alanlar olup yaşadıkları ortamdaki besin maddelerini kullanarak gelişimlerini sürdürürler. Bu sayede ekosistemin devamlılığı ve işleyişinde önemli görev üstlenirler. Algler gelişimi için ortamda besin maddelerinin yanında ışık, uygun sıcaklık, pH değeri ve tuzluluk gibi şartlara da gereksinim duyarlar. Sudaki karbon ve azotu büyüme için birincil kaynak olarak kullanırlar. Alg büyümesi, besin içeriğinin ve mevcudiyetinin doğrudan bir temsilidir. Yerel koşullar altında, yerel suşların, yerel olmayan suşlara göre büyüme ve biyolojik iyileştirme açısından daha iyi performans gösterdiği tahmin edilmektedir. Atmosferden CO_2 azaltma kabiliyeti sayesinde algler CO_2 emisyonlarının azaltılmasında çok faydalıdır. Atıksuyun algler tarafından parçalanması ilk olarak 1960 yılında biyodizel üretimi ve alg biyokütlesi yetiştiriciliği ile birlikte fark edilmiştir. Farklı ülkelerde, atıksuların yönetimi için oksidasyon havuzları kullanılmakta olup, bu havuzlarda bakteri ve algler yetiştirilerek atıksuların oksitlenmesi, O_2 salınımı ve CO_2 tutulması sağlanmaktadır (Priyadharshini vd., 2021).

Kahverengi algler (*Phaeophyceae*), yeşil algler (*Chlorophyceae*), kırmızı algler (*Rhodophyceae*) ve diatomlar (*Bacillariophyceae*) dahil olmak üzere algler genel olarak iki ana türe ayrılabilir: mikroalgler ve makroalgler. Mikroalgler ve makroalgler arasındaki ayrım öncelikle boyuta dayanır; mikroalgler mikroskobiktir ve makroalgler ise bir mikroskopun yardımı olmadan da görülebilir. Hem mikroalgler hem de makroalgler su ekosistemlerinde önemli roller oynarlar ve gıda ve tarımdan, biyoteknoloji ve çevre yönetimine kadar birçok endüstride çeşitli uygulamalara sahiptirler. Mikroalgler, çoğalmak için atıksudan hem organik karbonu hem de besin maddelerini kullanırlar. Atıksudaki mikroalg yetiştiriciliği, tatlı su gereksiniminin yanı sıra besin harcamalarını da önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle, kirlenmiş suyun aynı anda arıtılmasının fizibilitesini belirlemek amacıyla mikroalg yetiştirmek için endüstriyel atıksuyun kullanılması, tatlı su ihtiyacının ve fazla besin maddelerinin azaltılması için uygun bir çözüm haline gelmektedir. Bu nedenle mikroalgler, endüstriyel atıksuların neden olduğu kirliliğin azaltılmasında kritik bir işlevi yerine getirme yeteneğine sahiptir. Alg biyokütlesi, çeşitli biyo-dönüşüm yolları aracılığıyla çeşitli uygulamalara sahiptir. Kirlenmiş atıksuyun arıtılması için büyük ölçekli alg üretimi, yüksek ısı değerine sahip olan ve kömür veya yakıt ikamesi olarak kullanılabilen biyokömür ve biyogaz gibi bir dizi uygulamaya

öncülük edebilir. Algal biyogübrelerin toprak gübrelemesi ve döngüsel ekonomiye faydaları oldukça fazladır. Alglerden çeşitli yenilenebilir kaynaklar, yani biyodizel, biyo-etanol ve biyo-hidrojen üretilebilir (Vijayaram vd., 2024; Priyadharshini vd., 2021).

Alg sistemleri potansiyel bir ikincil ve üçüncül arıtma prosesi olarak önerilmektedir. Üçüncül proseste organik iyonların uzaklaştırılması biyolojik ve kimyasal olarak gerçekleşir ve bu da arıtma maliyetini artırır, uygulama zorlaşır ve ikincil kirlilik oluşur. Atıksu arıtımı son derece maliyetli bir iştir ve her ilave proses maliyeti birkaç kat daha artırmaktadır. Genellikle her ilave proses için arıtma maliyetinin iki katına çıktığı gözlemlenmiştir. Nitrat, fosfat veya amonyağın giderilmesini amaçlayan üçüncül biyoarıtma, birincil arıtmadan yaklaşık dört kat daha pahalıdır; dolayısıyla mikroalglerle yapılan biyoarıtma, büyümeleri için inorganik nitrojen ve fosforu kullanarak üçüncül prosese ucuz ama iyi bir çözüm sağlamaktadır (Srivastava ve Srivastava, 2021).

Atıksulardaki kirleticilerin gideriminde alglerin kullanımı

Atıksular genel çerçevede evsel, tarımsal ve endüstriyel içerikli olarak sınıflandırılabilir ve bu atıksuların su kütlelerine boşaltılması ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde zararlı ve tehlikeli etkiler doğurur. Arıtılmış ve iyi kontrol edilen akışların ise zararlı etkileri elbette daha az olacaktır. Çeşitli kaynaklardan gelen atıksulardaki besinleri, toksik kimyasalları ve kirleticileri azaltabilen veya biyolojik olarak dönüştürebilen makro veya mikroalgal organizmaların kullanılması tekniği fikoremediasyon olarak adlandırılmaktadır. (Singh vd., 2023). Fikoremediasyon, besinleri ve organik maddeleri giderirken aynı anda atıksudan ağır metalleri de uzaklaştıran uygun maliyetli bir tekniktir. Bu teknik sayesinde çamur biyokütle üretimi için kullanılabilir. Biyolojik arıtma için bakterilerin veya mikroalgler gibi diğer doğal mikroorganizmaların kullanımı uygun maliyetlidir, erişilebilirdir ve az bakım gerektirir. Atıksuyun mikroalg kullanılarak biyolojik olarak arıtılması aynı zamanda atıksuyun fiziksel ve kimyasal arıtımıyla ilgili sorunların da üstesinden gelmektedir. Diğer geleneksel arıtma yöntemleriyle karşılaştırıldığında fikoremediasyon, alglerin kullanıldığı basit ve pratik bir atıksu arıtma tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır. (Apandi vd., 2019). Bakteri suşlarının kullanıldığı biyolojik arıtmanın atıksu arıtma tesislerinde geniş bir uygulaması olmasına rağmen, bazı sınırlamaları olması nedenle ikincil arıtma için kullanılabilecek alternatif biyolojik organizmalar ararken mikroalglerin kullanılması fikri ortaya çıkmıştır. O zamandan bu yana, kirleticileri atıksudan etkili bir şekilde uzaklaştırabilen çok sayıda mikroalgal/siyanobakteriyel suş tanımlanmıştır. Bazı araştırmacılar ayrıca alg biyokütlesinin yalnızca atmosferden karbondioksit alıp oksijen vererek bir karbon havuzu görevi görmekle kalmayıp aynı zamanda ticari kullanım için ondan elde edilebilecek birçok katma değerli ürün için yenilenebilir bir kaynak olduğunu da keşfetmiştir (Sengupta vd., 2023).

Her biri benzersiz özelliklere ve potansiyel uygulamalara sahip binlerce mikroalg cinsi ve türü bulunmaktadır. Mikroalg biyoçeşitliliğinin incelenmesi ve araştırılması, çeşitli endüstriler ve çevresel uygulamalar için tam potansiyellerinin ortaya çıkarılmasında büyük değer taşımaktadır.

Ağır metallerin algler ile giderimi

Ağır metal içerikli atıklar doğal veya antropojenik kaynaklı olarak çevresel su ortamlara yayılmaktadır. Bu kirleticiler bozunamayan kirleticilerdir ve biyolojik sistemler üzerinde zararlı etkilerden kaçınmak için çevreye deşarjından önce mutlaka tamamen giderilmesi veya güvenli bir sınır olduğu varsayılan belirli bir konsantrasyona indirilmesi gerekmektedir.

Ağır metal birikimi tarımsal ilaçlama ve endüstiyel atıksuların deşarjı gibi sebeplerle meydana gelmekte ve bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerinde toksik etki yaratabilmektedir. Ağır metaller, atom ağırlıkları (63,5g/mol - 200,6g/mol) arasında değişen ve temel ağırlıkları 5,0'dan büyük olan elementler olup, toksisiteleri ve canlılarda daha yüksek düzeyde birikme eğilimleri nedeniyle tehlikeli hale gelebilen, bozunamayan elementlerdir. Son yıllarda ağır

metallerden kaynaklanan kirlilik önemli bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Hızlı hareket edebilmeleri, bozunmalarının az olması ve tüm canlılarda birikme potansiyelinin yüksek olması nedeniyle ağır metaller ekosistemler ve halk sağlığı için tehdit oluşturabilir. Ayrıca çevrede düşük konsantrasyonlarda bulunmalarına rağmen hücre, doku ve organlardaki temel işlevlere zarar veren biyolojik süreçlere katılarak hastalıkları teşvik edebilirler. Bu nedenle araştırmacılar, ağır metallerin kirli sulardan uzaklaştırılması için güvenli, düşük maliyetli ve daha etkili alternatif teknikler bulmaya sürekli ihtiyaç duymaktadır. Ucuz maliyet ve yüksek etkinlik dahil olmak üzere çok sayıda faydası nedeniyle biyosorpsiyonun, ağır metallerin atıksudan uzaklaştırılmasında güçlü bir alternatif yöntem olduğu düşünülmektedir. Mikroalgler hem prokaryotik (*Cyanophyceae*) hem de ökaryotik (*Chlorophyta*) organizmalardan oluşan tek hücreli organizmalardır ve tatlı su, atıksu ve deniz ortamı gibi nemli ortamlarda hızla büyüyebilmektedirler. Çeşitli mikroalgler arasında *Scenedesmus, Chlorella* vb. gibi seçilmiş birkaç tür, en zorlu ortamlarda (örneğin yüksek sıcaklık ve yüksek CO_2) hayatta kalma kapasitesine sahiptir. Mikroalglerin ağır metalleri uzaklaştırma ve detoksifiye etme yeteneği, doğal mekanizmalarının sonucudur. Ağır metallerle kirlenmiş suyun arıtılmasında bu doğal güçten yararlanmak son derece umut verici bir stratejidir (Joseph vd., 2024).

Fikoremediasyon, ağır metalleri atıksudan uzaklaştırmak için mikroalg veya mikroalgal biyokütle kullanılması temelinde çalışır. İşlem sırasında mikroalgler, üç yaklaşım kullanarak atıksudan ağır metalleri alır. Ağır metaller, mikroorganizmalardan gelen ekzo-polisakaritlerle kovalent olarak bağlanabilir, mikroalgal hücre duvarı iyonlarıyla toksinleri değiştirebilir ve katyonik ağır metal, mikroorganizmalarda bulunan anyonik üronik asitlere yapışabilir. Mikroalgal hücre duvarı, kirli sudan katyonik ağır metale bağlanan sülfhidril, amino, fosfat, hidroksil ve karboksil kısımları dahil anyonik fonksiyonel gruplara sahip lipitlere, proteinlere ve karbonhidratlara sahiptir. Biyosorpsiyon yoluyla ölü veya canlı mikroalgal biyokütle, difüzyon, adsorpsiyon, şelasyon ve iyon değişimi gibi işlemler yoluyla ağır metalleri atıksudan uzaklaştırır. Biyoakümülasyonda ağır metaller, canlı mikroalgler tarafından sitoplazmalarına ve vakuollerine tutulur (Nyika ve Dinka, 2023).

Yapılan bir çalışmada ağır metallerin giderilmesinde Scenedesmus mikroalgleri kullanılarak gıda hazırlama faaliyetlerinden kaynaklanan atıksuyun arıtılmasında fikoremediasyon teknolojisinin kullanılmasının ağır metal kirleticilerini etkili bir şekilde azaltma kapasitesine sahip olduğu bildirilmiştir (Ahmad Latiffi vd., 2015).

Endüstriyel atıksuların arıtımında alglerin kullanımı

Endüstriyel atıksular, çevre için risk oluşturan yüksek konsantrasyonda tehlikeli kirleticileri içermektedir. Bu kirleticilerin arıtılması zor olabilir, ancak son zamanlarda mikroalglerin kullanımı bu soruna potansiyel bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Mikroalg bazlı atıksu arıtımı, geleneksel yöntemlere göre daha düşük işletme maliyetleri ve çevre dostu avantajlar sunar. Mikroalglerin endüsriyel atıksuyun biyolojik oksijen ihtiyacını, askıda katı madde, patojenler, azot ve fosfor gibi kirleticilerin giderilmesinde etkili olduğu çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur. Ayrıca, mikroalgler lipit ve nişasta biriktirerek endüstiyel atıksuları biyolojik olarak iyileştirebilir. Mikroalglerin besin giderimi verimliliği, alg türüne, biyoreaktör sisteminin seçimine ve atıksudaki besin maddesinin türüne ve konsantrasyonuna bağlıdır. Algal bazlı arıtımın temel prosesleri adsorpsiyon, akümülasyon, immobilizasyon ve besin kullanımını içerir. Endüstriyel atıksuyun bileşimi ve mikroalg türlerinin çeşitliliği, alg yetiştiriciliğindeki kritik konular arasındadır. Düşük biyokütle üretkenliği, toksisite, yüksek enerji talebi ve finansal uygulanabilirlik, alg yetiştiriciliğinin önündeki engellerdir. Uygun mikroalgal türlerin seçimi, esneklik, kirletici birikimi ve biyokütle üretimi değişkenliği açısından önemlidir. Atıksu bileşimi, alg türlerinin biyoyakıt üretim kapasitesini etkileyebilir; karbonhidrat bakımından zengin türler biyoetanol veya biyo-hidrojen, lipid bakımından zengin türler ise biyodizel üretimi için uygundur. Mikroalglerin kullanımı, atıksuların kompozisyonuna göre optimize edilerek, kirleticilerin giderilmesinde ve biyokütle üretiminde

etkili olabilir. Geliştirilmiş entegre sistemler, mikroalg yetiştiriciliğinde uygun bir strateji olabilir ve yüksek besin giderim oranı ve biyokütle üretimi sağlayabilir (Alazaiza vd., 2022).

Cladophora glomerata ve *Vaucheria debaryana* alg türlerinin kompozit endüstriyel atıksular için uygun maliyetli ve çevre dostu fikoremediatörler olarak kullanımını araştırmak amacıyla gerçekleştirilen bir çalışmada alg türlerinin iyileştirmede önemli bir rol oynadığı ve kirlilik yükünü etkili bir şekilde azalttığı sonucuna varılmıştır (Khan vd., 2023).

Nütrientlerin algler ile giderimi

Alg hücreleri, atıksudaki ağır metallerin yanı sıra fosfor, nitrojen, amonyum gibi besin maddelerini de uzaklaştırma yeteneğine sahiptir. Alglerin büyümesi için karbon, nitrojen, fosfor ve kükürt gibi elementlerin yanı sıra az miktarda eser metaller de gereklidir. Alglerin büyümesi için gerekli bu besin maddeleri atıksularda fazlaca bulunmakta olup alg yetiştiriciliğinde atıksu ortamları yaygın olarak kullanılmaktadır. Nitrojen ve fosforun alımı alg büyümesi için kritik öneme sahiptir. Ototrofik mikroalgler, fotosentez yoluyla atmosferdeki karbonu biyolojik olarak sabitler. Mikroalgler ayrıca büyümeleri için, karbonatın doğrudan alımı veya bir karboanhidraz aktivitesi yoluyla karbonatın serbest CO_2'ye dönüştürülmesi yoluyla, çözünebilir karbonat formundaki karbonu kullanabilir. Atıksudaki azot amonyak, nitrit ve nitrat formunda bulunur. İnorganik nitrojenin organik formlara dönüşümü ökaryotik mikroalgler tarafından asimilasyon yoluyla gerçekleştirilebilir. Lipidlerde, nükleik asitlerde ve proteinlerde ve ayrıca karbonhidrat metabolizmasının ara maddelerinde bulunan fosfor, fosfor alımının bir sonucudur. Fosfat formundaki inorganik fosfor, alg hücrelerinin büyümesinde ve ayrıca enerji metabolizmasında önemli bir rol oynar. Alg metabolizması çoğunlukla hidrojen fosfat ve dihidrojen fosfat formundaki inorganik fosfora dayanır; bu fosfor, daha sonra enerji girdisiyle birlikte organik bileşiklere dahil edilir. Solunum substratlarının oksidasyonu, mitokondrinin elektron taşıma sistemi veya ışık (fotosentez) enerji girişinin kaynaklarıdır. Fosfatlar kullanım için alg hücrelerinin plazma zarı boyunca aktarılır. Atıksudaki nitrat ve fosfat, mikrokapsül membranın matris gözenek yüzeyi yoluyla adsorbe edilir. Bundan sonra, büyüme için hareketsizleştirilmiş mikroalg hücreleri tarafından nitrat ve fosfat iyonunun alımı ve asimilasyonu meydana gelir ve atıksudaki azot ve fosfor içeriğinin azalmasına neden olur ve deşarj için atıksuyun kalitesini daha da artırır. Dolayısıyla atıksuların verimli bir şekilde arıtılmasında fikoremediasyonun hayati bir rolü vardır (Emparan vd., 2019).

Alg bazlı atıksu arıtma tamamen alglerin biyokütledeki besinleri depolama yeteneğine dayanır. Bu nedenle giderim verimliliği biyokütle verimliliğiyle orantılıdır. Alg bazlı atıksu arıtımı, alg yetiştiriciliğinde üretim maliyetini yani alternatif besin ve su kaynaklarını azaltırken aynı zamanda sürdürülebilir bir atıksu arıtma yöntemi yani geleneksel aktif çamura alternatif bulma konseptinden ortaya çıkmıştır. Doğal olarak hem mikroalg hem de makroalgler büyümek için sudan besin alırlar. Bu nedenle, laboratuvar çalışmaları alg ekimi yoluyla besin gideriminin başarılı olduğunu göstermiştir. Ayrıca alg türlerinin seçimi, yetiştirme sistemlerinin tasarlanması, farklı atıksu kaynaklarının değerlendirilmesi, pilot ve büyük ölçekli sistemlerde performansın değerlendirilmesine yönelik önemli sayıda çalışma yapılmıştır. Hem teknik hem de ekonomik zorluklar nedeniyle alg bazlı atıksu arıtma tesislerinin tam ölçekli adaptasyonu sınırlıdır. Teknik zorluk, istikrarlı ve uzun süreli performans için canlı alg kültürünün korunmasını içerir. Büyük ölçekli atıksu arıtımı için alg ekimini yoğunlaştıracak tekniklere ihtiyaç vardır. Şu anda en uygun yol, alg ekiminin, esas olarak besin gideriminin bir kısmını desteklemek için kullanıldığı mevcut atıksu arıtma tesisi ile aynı yerde gerçekleştirilmesidir. Bu yaklaşım mevcut süreçteki karışıklığın minimum düzeyde olmasını sağlayabilir (Nguyen vd., 2022).

Mikroplastiklerin algler ile giderimi

Mikrokirleticiler, insan aktiviteleri sonucu su kaynaklarına karışan ve litre başına mikrogram düzeyinde bulunan kimyasal veya biyolojik kirleticilerdir. Son yıllarda su

ekosistemindeki mikroplastik kirliliğin nasıl azaltılacağı küresel ilgi odağı haline gelmiştir. Çevre ve halk sağlığı için risk oluşturan bu kirleticiler, genellikle yeni tespit edilen veya kontrol altına alınmamış organik bileşiklerdir. Tarım, evsel atıklar ve endüstriyel faaliyetler gibi çeşitli kaynaklardan gelirler ve su kütlelerine farklı yollarla ulaşırlar. Atıksu arıtma tesisi çıkış sularından mikroplastiklerin uzaklaştırılması hususu her geçen gün artarak gündeme gelmektedir. Bir çözüm olarak algler, mikroplastiklerin uzaklaştırılmasında çevre dostu bir iyileştirme stratejisi olarak kullanılmaktadır. Atıksulardaki mikroplastikler, algler tarafından yakalama (interception), tutma (capture) ve dolanma (entanglement) yoluyla uzaklaştırılabilir ve ayrıca alglerle heterojen kütleler oluşturarak serbest süspansiyonlarını azaltabilir. Algler aracılığıyla mikroplastiklerin uzaklaştırılması, atıksu akış hızından, mikroplastik türlerinden ve kirleticilerden etkilenir. Mikroplastikler yalnızca algler tarafından fiziksel olarak sabitlenir ve kaynak ve kapasite geri kazanımı sırasında mikroplastiklerin çevreye yeniden girmemesini sağlamak da bu teknolojinin uygulanmasını sınırlayan önemli bir faktördür. Algler, evsel atıksulardaki azot ve fosfor ile birlikte mikroplastikleri de giderebilir, bu da enerji geri kazanımını gerçekleştirebilir ve atıksuyun ekolojik risklerini azaltabilir. Alg kombine üçüncül evsel atıksu arıtması mikroplastiklerin uzaklaştırılması için yeşil bir teknoloji olarak ümit vericidir. Algler, yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve dirençli yapısıyla organik kirleticileri, ağır metalleri ve farmasötik bileşikleri etkin bir şekilde giderebilir ve aynı zamanda biyoyakıt gibi değerli ürünler üretebilir (Liu vd., 2023; Alazaiza vd., 2022).

Tarımsal faaliyetler kaynaklı atıksulardaki kirleticilerin algler ile giderimi

Tarım alanları sıklıkla inorganik gübreler, insektisitler ve yüksek düzeyde azot, fosfor ve organik karbon içeren çiftlik gübresi ile işlenmektedir. Tarımsal akışlar ise pestisitler, ağır metaller ve besin maddeleri de dahil olmak üzere bu kirleticileri içermektedir. Tarımsal atıksuların arıtılması için çeşitli geleneksel fizyokimyasal yöntemler benimsenmiş olsa da, mikroalg bazlı atıksu arıtma teknolojisi uygulanabilir bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Mikroalgler, yüksek fotosentetik verimlilik, hızlı üreme ve dikkate değer çevresel adaptasyon gibi birçok özelliğe sahip olup tarımsal atıksulardaki besin maddelerini alg biyokütlesine dönüştürebilirler. Tarıma dayalı birçok endüstri, doğası ve işlediği hammaddeye bağlı olarak kirletici maddeler içeren muazzam miktarlarda atıksu üretmektedir. Bazı tarımsal sanayi atıksuları şunlardır: palmiye yağı fabrikası atıksuyu, kauçuk fabrikası atıksuyu, zeytinyağı fabrikası atıksuyu, hayvan gübreleri: hayvan çiftliği endüstrileri. Bu atıksularda yapılan çeşitli çalışmalar mikroalg kültürünün tarımsal endüstri atıksularının besin yükünü azaltmada ve daha sonra biyoyakıt üretimi ve değerli ürünler için kullanılmak üzere algal biyokütle üretiminde yararlı olduğunu göstermiştir (Alazaiza vd., 2022).

Sonuç

Atıksuların remediasyonunda alglerin kullanılması toksik madde gerektirmeyen ve üretmeyen, enerji düşük ve oldukça sürdürülebilir doğal arıtma sistemleridir. Geleneksel arıtma uygulamalarıyla karşılaştırıldığında, atıksuların arıtılması için sağlam alternatif stratejilerden biridir. Ayrıca uygulama sonunda hasat edilen algal biyokütleden enerji ve faydalı son ürün elde edilmesinin yanında değerli metallerin akümülasyonunda da kullanılabilir.

Atıksuların arıtımında alglerin kullanımı uygulamaları, zorlu çevresel koşullara uyum sağlama yetenekleri, yüksek karbondioksit tutma oranları, artan toleransları ve iyileştirme kapasiteleri nedeniyle giderek artan küresel su kirliliği ile başa çıkmak için mevcut alg çeşitliliğinden hiperakümülatör alg suşlarını taramayı ve geliştirmeyi amaçlamalıdır. Bunun için kirletici yüklerini etkin bir şekilde arıtabilecek titiz çalışmalara ihtiyaç vardır.

Kaynakça

Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., Ibraheem, I. B. M. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences, 19*(3), 257-275.

Ahmad Latiffi, N.A. Radin Mohamed, R. M. S., Mohd Apandi, N., Mohd Kassim, A. H. (2015). Application of phycoremediation using microalgae acenedesmus s p. As wastewater treatment in removal of heavy metals from food stall wastewater. *Applied Mechanics and Materials, 773-774.* 1168-1172. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1168

Alazaiza, M. Y. D., Albahnasawi, A., Ahmad, Z., Bashir, M. J. K., Al-Wahaibi, T., Abujazar, M. S. S., Abu Amr, S. S., Nassani, D. E. (2022). Potential use of algae for the bioremediation of different types of wastewater and contaminants: Production of bioproducts and biofuel for green circular economy. *Journal of Environmental Management, 324*, doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116415

Dayana Priyadharshini, S., Suresh Babu, P., Manikandan, S., Subbaiya, R., Govarthanan, M., Karmegam, N. (2021). Phycoremediation of wastewater for pollutant removal: A green approach to environmental protection and long-term remediation. *Environmental Pollution, 290*. doi: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117989

Emparan, M. Q., Harun, R., Danquah, M. K. (2019). Role of phycoremediation for nutrient removal from wastewaters: a review. *Applied Ecology and Environmental Research, 17*(1), 889-915. doi: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1701_889915

Joseph, I., David, B. C., Abershi, A. L. (2024). A review of phycoremediation of heavy metals in industrial waste water. *Journal of Multidisciplinary Science: MIKAILALSYS, 2*(1), 78-109. https://doi.org/10.58578/mikailalsys.v2i1.2660

Khan, S., Ullah, A., Ayaz, T., Aziz, A., Aman, K., Habib, M., Yilmaz, S., Farid, A., Yasmin, H., Ali, Q. (2023). Phycoremediation of industrial wastewater using Vaucheria debaryana and Cladophora glomerata. *Environmental Monitoring and Assessment, 195*, doi: https://doi.org/10.1007/s10661-023-11357-9

Liu, S., Jin, R., Zhang, J., Zhao, Y., Shen, M., Wang, Y. (2023). Are algae a promising ecofriendly approach to micro/nanoplastic remediation?. *Science of The Total Environment, 904*, doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166779

Mohd Apandi, N., Radin Mohamed, R. M. S., Al-Gheethi, E. I. A., Mohd Kassim, A. H. (2019). Wastewater Phycoremediation by Microalgae for Sustainable Bioproduct Production. *Handbook of algal technologies and phytochemicals.* (7-10). CRC press.

Nguyen, L.N., Aditya, L., Vu, H. P., Johir, A. H., Bennar, L. Ralph, P., Hoang, N. B., Zdarta, J., Nghiem, L. D. (2022). Nutrient removal by algae-based wastewater treatment. *Current Pollution Reports, 8*, 369–383. doi: https://doi.org/10.1007/s40726-022-00230-x

Nyika, J., ve Dinka, M.O. (2023). Factors and mechanisms regulating heavy metal phycoremediation in polluted water. *Discover water, 3.* doi: https://doi.org/10.1007/s43832-023-00041-1

Park, J. B. K., Craggs, R. J. (2010). Wastewater treatment and algal production in high rate algal ponds with carbon dioxide addition. *Water Science and Technology, 61*(3), 633–639. doi: https://doi.org/10.2166/wst.2010.951

Sengupta, S. L., Chaudhuri, R. G., Dutta, S. (2023). A critical review on phycoremediation of pollutants from wastewater—a novel algae-based secondary treatment with the opportunities of production of value-added products. *Environmental Science and Pollution Research, 30*, 114844–114872. doi: https://doi.org/10.1007/s11356-023-30470-3

Singh, S., Kumar, V., Shekar, S., Kapoor, D., Bhatia, D., Dhanjal, D. S., Ramamurthy, P.C., Sing, J. (2021). Phycoremediation of Wastewater. In: Rastogi, R.P. (Ed.) *Ecophysiology and Biochemistry of Cyanobacteria.* Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4873-1_13

Srivastava, D., Srivastava O.S. (2021). Phycoremediation in wastewater treatment. *Journal of Mechanical and Construction Engineering, 1*(2), 1-4.

Topal Arslan, I. E., Topal, M., Öbek, E. (2017). Evaluation of recovery of aquatic plants used in wastewater treatment and discharged as waste. *ISMSIT 2017 Posters Book* (21-22). Tokat.

Vijayaram, S., Ringoe, E., Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., Ahani, S., Chou, C. (2024). Use of algae in aquaculture: a review. *Fishes*, *9*(63), 1-21.

Wang, L., Li, Y., Chen, P., Min, M., Chen, Y., Zhu, J., Ruan, R. R. (2010). Anaerobic digested dairy manure as a nutrient supplement for cultivation of oil-rich green microalgae Chlorella sp.. *Bioresource Technology*, *101*(8), 2623–2628. doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.062

4TH INTERNATIONAL CONGRESS of ENGINEERING and NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Veritabanı Yönetim Sistemlerinin Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Otomasyonu

Meral ERGÜN[1]
Melih BALTA [2]
Bengisu ÇALIŞKAN[3]
Önder DEMİR[4]
Buket DOĞAN[5]

Özet

Veritabanı Yönetim Sistemleri (VTYS), günümüz işletmeleri için kritik bir öneme sahiptir. Verilerin analizi, karar verme süreçleri, tahminler ve maliyet azaltma gibi temel işlevleri ile VTYS'ler, işletmelerin stratejik kararlarında belirleyici bir rol oynar. Ancak, VTYS'lerin etkinliği, bir dizi karmaşık konfigürasyon parametresine bağlıdır ve bu parametrelerin optimal bir şekilde yapılandırılması oldukça zor olabilir. Bu durum, NP-hard problem sınıflandırması altında incelenir ve geleneksel çözümlerle genellikle zorlu bir hale gelir.

Bu zorlukların üstesinden gelmek için, otomatik veritabanı konfigürasyonu için makine öğrenme yöntemlerine başvurulmaktadır. Makine öğrenme algoritmaları, büyük veri kümelerindeki desenleri tanımlamak, optimum parametreleri belirlemek ve böylece VTYS performansını artırmak için etkili bir araç sunar. Bu bağlamda, Kişisel Verilerin Korunması Kanunu'na (KVKK) uygun gerçek müşteri verileri kullanılarak kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu veri seti, 45 farklı firmanın sağladığı ve 10 milyon satır ile 8 sütundan oluşan, 100 GB boyutundadır.

Bu araştırmada, hem gözetimli (Karar Ağacı) hem de gözetimsiz (Kümeleme, K-Means, Apriori) makine öğrenme algoritmaları uygulanmıştır. Bu algoritmaların sonuçları, VTYS performansını artırmak için otomatik dizin tanımlama, kritik parametrelerin belirlenmesi ve otomatik metrik değerlerin atanması gibi kilit süreçlerde değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları grafiklerle görselleştirilerek karşılaştırılmış ve en etkili algoritmalar belirlenmiştir. Bu başarılı algoritmalar, otomatik veritabanı yönetim sistemleri uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirme çalışmalarına dahil edilecektir. Bu çalışma, veri

[1] Doktora Öğrencisi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar ve Elektronik Eğitimi, Orcid: 0009-0003-4453-08988

[2] Lisans Öğrencisi, Marmara Üniversitesi - DataPlatform Bilgi Sistemleri A.Ş, Bilgisayar Mühendisliği, Orcid: 0009-0007-7129-5538

[3] Lisans Öğrencisi, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Orcid: 0009-0007-8368-3271

[4] Doç. Dr., Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-4540-663X

[5] Doç. Dr., Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-1062-2439

yönetimi alanında etkinliği artırma ve güvenliği sağlama hedefiyle önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Makine Öğrenmesi, Veritabanı Yönetim Sistemi, Otomasyon, Sınıflandırma, Kümeleme, Appriori, Anomali Tespiti

ISBN: 978-625-372-170-1

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve internet kullanımının artmasıyla birlikte oluşan yalnızca hacim olarak değil çeşitlilik, değişkenlik, hız, doğruluk, görsellik ve değer boyutlarıyla değerlendirilen ve Büyük Veri olarak adlandırılan kavramın temelini oluşturan veritabanlarının kullanımı hızla artarken veri, modern ekonomilerin ve bilgi toplumlarının en değerli varlıklarından biri haline gelmiştir. (Elmasri R., 2008; Khan M. vd., 2014:2). Bu verilerin depolanarak işlenmesi hem bilimsel çalışmalarda hem de iş hayatındaki farklı alanlarda (sağlık, finans, sosyal medya, pazarlama, eğitim, siber güvenlik, e-ticaret, vb) doğru kararlar almak, yeni tahminlerde bulunmak, iş gücünden tasarruf etmek ve maliyetleri düşürmek gibi konularda faydalanılması için analiz edildiği Veritabanı Yönetim Sistemlerinin yönetimi büyük önem arz etmektedir (Aken, 2021:18; Zhou, 2021:17). Veritabanı Yönetim Sistemleri veri yükü yüksek olan hemen hemen her alandaki Büyük Veri uygulamalarında kritik bir role sahiptir. Bu sistemlerin performansları temel olarak saniyede iletilen veri paketi sayısı ve taleplere ne kadar sürede cevap verdiklerini gösteren gecikme değerleri ile ölçülmektedir. Ancak VTYS hem geçmişte hem günümüzde çalışma zamanı performansını etkileyen yüzlerce değişken konfigürasyon parametrelerine sahip karmaşık sistemlerdir ve bu metrikler standart, bağımsız veya evrensel değildir(Zhang vd, 2019:2). Ayrıca bu veriler gerçek (real-world) olduklarından sürekli artan ve değişen verilerdir. Ayrıca sistemlerin CPU, Ram, Disk Boyutu, Öncellek (Cache) Bellek, I/O değerleri gibi fiziki özellikleri de farklılık göstermekte, hatta bulut sistemlerde bu değerler sistem yöneticileri tarafından ihtiyaca göre manuel olarak da değiştirilebilmektedir. Konfigürasyon metrikleri seçilirken ve değerleri belirlenirken kaynak kullanımlarında veritabanı sahibi ile yapılan kaynak kullanım sözleşmeleri dikkate alınarak maksimum veri transferi minimum zamanda ve minimum maliyetle yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla ideal bir konfigürasyonun bulunması tüm metrik değerlerinin ve kombinasyonlarının değerlendirilmesinin neredeyse imkânsız görülmesinden dolayı NP-hard problem olarak tanımlanmaktadır. Sistem üzerinde en etkili metriklerin tespit edilerek bu metriklerin anlık duruma göre ideal değerlerinin verilmesi deneyimli veritabanı yöneticileri için bile zor ve zaman alıcı bir işlemdir. Ayrıca çok büyük veritabanları için çalışacak veritabanı yöneticileri işletmeler için de ekstra bir maliyet oluşturmaktadır. Bu durum araştırmacıları otomatik veritabanı konfigürasyonu yapan sistemler geliştirmeye yönlendirmiştir. Arama-tabanlı yaklaşımlar ve makine öğrenimi-tabanlı metotlar olmak üzere farklı tekniklerle geliştirilen otomatik konfigürasyon sistemleriyle önemli metrikler tespit edilerek bu metriklerin ideal değerleri hesaplanabilmektedir. Böylelikle veritabanı yöneticileri tarafından yapılan konfigürasyonlara göre daha az maliyetli daha hızlı ve daha verimli sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılacak veri setinde farklı özelliklere sahip pek çok metrik bulunduğundan gözetimli ve gözetimsiz makine öğrenme algoritmalarından Karar Ağaçları, Kmeans, Korelasyon Matrisi ve Apriori algoritmaları ile çalışılarak konfigürasyon parametrelerinin sistemin anlık durumuna etkileri analiz edilmiştir. Böylelikle sistem performansının artırılması yönünde aykırı durumlara neden olabilecek değerler önceden tespit edilerek sistem tarafından gerekli önlemlerin alınması mümkün olabilecektir. Programlama dili olarak Python, veri tabanı sistemi olarak MS SQL kullanılmıştır. Makine öğrenim sürecinin planlanmasında Verilerin toplanması, Verilerin temizlenmesi ve işlenmesi, Özellik veya modelin seçilmesi, Verilerin görselleştirilmesi ve Modelin izlenmesi adımları takip edilmiştir.

Bu çalışmada makine öğrenme algoritmaları ve verisetine en uygun modellerin seçilip birleştirilerek uygulanmasıyla, farklı senaryolarda kendini güncelleyen algoritmalarla öğrenen bir veritabanı yönetim sistemine destek olacak bir yaklaşım hedeflenmektedir.

1.1. İlgili Çalışmalar

Veritabanı Yönetim Sistemlerinin (VTYS) otomatik konfigürasyon edilmesi yönünde farklı yöntemlerle çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Valavala vd, 2021). VTYS konfigürasyon metriklerinin otomatik olarak ayarlaması için geliştirilen araçlarda arama-tabanlı metotlar ve öğrenme tabanlı metotlar olmak üzere iki temel yaklaşım bulunmaktadır (Yuqing vd., 2017; Aken vd., 2017) .

İlk yaklaşım, kullanılan araçları geliştiren veya kullanan veritabanı yöneticilerinin uzmanlık ve deneyimlerine bağlı olarak oluşturulan sezgisel kurallara dayanır (Kwan vd., 2003; Yuqing vd, 2017:3). Metrik sayısı arttıkça arama uzayı da artacağından tüm metrikler için ideal değerlerin bulunması çok daha fazla zaman almaktadır. Bu teknik tekrarlanan iş yüklerinde oldukça iyi sonuçlar verirken sistemde bir değişiklik olduğunda veya yeni bir konfigürasyon talebi geldiğinde önceki deneyimlerden faydalanmadan tüm işlemler en baştan başlatılır.

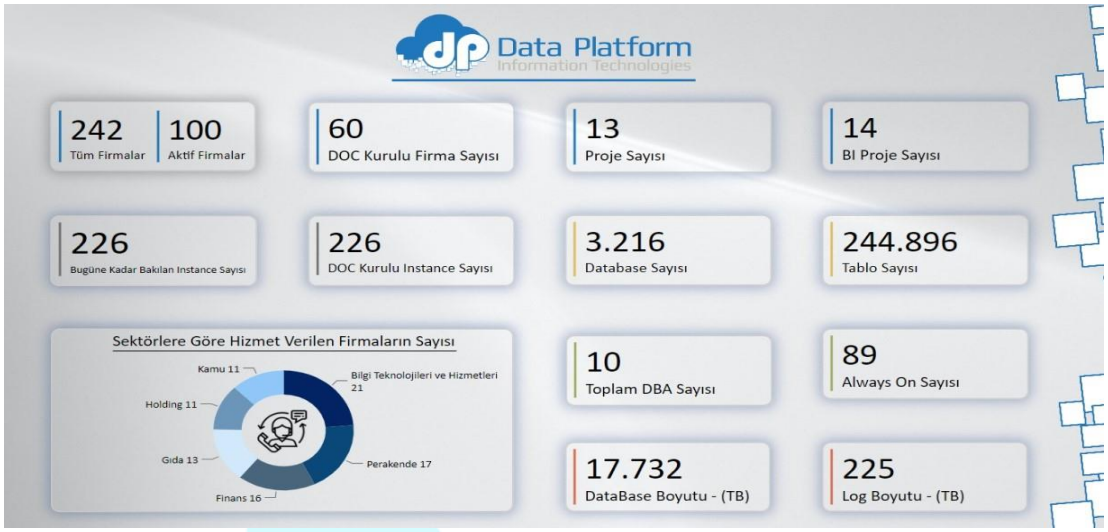
İkinci yaklaşım, bir VTYS'nin performansının gerçek gözlemlere dayalı olarak belirli bir uygulama için metriklerin nasıl yapılandırılacağını otomatik olarak öğrenen makine öğrenimi (ML) tekniklerini kullanmaktır (Aken vd., 2017; Zhang vd., 2019. Makine öğrenme tekniklerini kullanan araçlar, daha fazla metrik optimize edebildikleri ve aralarındaki doğal bağımlılıkları hesaba katabilecekleri için kural tabanlı araçlardan daha iyi performans elde etmektedir. Ancak makine öğrenme tabanlı araçların daha iyi sonuç verebilmesi için daha büyük eğitim veri setlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum da maliyeti ve gecikme süresini arttırmaktadır. iTuned (Duan vd., 2009) ve ResTune (Zhang vd., 2021:2102) Bayesyen Optimizasyon (Bayesian Optimization) makine öğrenme teknikleri, OtterTune (Aken vd.,2017) Gauss Süreç Regresyonu (Gaussian Process Regression) makine öğrenme teknikleri kullanarak daha az denemeyle optimal değerlere yakın sonuçlara ulaşmışlardır. CDBTune (Zhang vd., 2019) ve QTune (Li vd., 2019) Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning) makine öğrenme tekniği ve yapay zeka algoritmaları ile dahili metriklerle konfigürasyon değerleri arasında bir bağ kurarak VTYS metrik optimizasyonunda başarılı sonuçlar elde etmiştir. OnlineTune (Zhang, Xinyi, 2022) Gauss Süreç Regresyonu (Gaussian Process Regression) ve Bayesyen Optimizasyon (Bayesian Optimization) makine öğrenme tekniklerini kullanarak diğer yöntemlerden farklı olarak çevrimiçi öğrenme yaparak VTYS konfigürasyonu uygulamaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Veritabanı Yönetim Sistemi Otomasyon Sistemi Test Verisi

2.1.1. Veri Toplama

Veri tabanları alanında çeşitli sektörlerin lider firmalarına danışmanlık hizmeti sunan şirketin sistem performans verileri üzerinde kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. *Data Platform Firmasına Ait İstatiksel Bilgiler*

Şekil 1'de ekran görüntüsü görülen Data Platform firmasına ait VTYS sistemi performans verilerini toplayan, D.O.C (Database Operation Center) adlı yerli ve milli yazılımı sayesinde veri toplama aşamalarını standartlaştırmış ve verimi arttırmıştır. Firma tarafından geliştirilen D.O.C yapısında 'dbaHCDOC' iş(job)'ı 'DOCjobList' tablosunu kontrol eder. Her biri periyod haline getirilmiş işlerden zamanı gelen iş çalışır ve telemetri verileri toplanmaya başlar. Tablo 1'de telemetri verisini toplamak için kullanılan iş listesi ve açıklamaları görülmektedir.

Tablo 1 *- Telemetri verisi toplamak için çalıştırılan iş listesi*

İş (job) ismi	**Görevi**
[dbo].[spDOCbackupHistory]	Full Backup, Differantial Backup ve Log Backup'lardan alınan verileri elde etmek amacıyla kullanılan script. Stored Procedure 30 dakikada bir çalışmaktadır.
[dbo].[spDOCdiskStatus]	SQL Server file'larının bulunduğu disklerin bilgileri yer almaktadır.
[dbo].[spDOCple]	SQL Server BufferCache HitRatio ve PageLifeExpectancy değerleri ile sunucu üzerindeki RAM kullanımını ve sorguların planlarının RAM'de tutulma süreleri incelenmektedir. Store Procedure 10 saniyede bir çalışmaktadır.
[dbo].[spDOChaStatus]	SQL Server Always On özelliklerini ve Always On yapısında bulunan veri tabanlarının durumlarını göstermektedir.
[dbo].[spDOCdbInfo]	SQL Server üzerindeki veri tabanlarının bilgilerini vermektedir. Store procedure 12 saatte bir çalışmaktadır.
[dbo].[spDOCdatabaseSize]	SQL server üzerinde bulunan tüm veri tabanlarının boyut bilgileri bu script yardımı ile gözlemlenmektedir. Store procedure 1 saatte bir çalışmaktadır.

Bu çalışmada örneklem olarak alınan veri setinin özellikleri dikkate alındığında yapısal özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Firma yatırım hizmetleri ile uğraşmaktadır.
- En yoğun dönemleri hafta içi 9:30 ile 18:10 aralığındadır. En çok işlem bu zaman dilimlerinde gerçekleşmektedir.
- Üzerinde analiz yapılan veri, 69.967 satır ve 36 kolondan oluşmaktadır.

2.1.2. Veri Hazırlama

Veritabanında yer alan 36 kolon içinden 15 tanesi aşağıda aktarılmıştır. Geriye kalan 21 kolon ise firmaya ait özel işleri içermektedir.

Tablo 2 *- Data Platform telemetrik veriler - kolon bilgileri (DOCperformanceMonitor table)*

Değişken Adı	**Türü**	**Açıklama**	**Değerler**
DateKey	String	Y-A-G (Yıl – Ay -Gün) şeklinde tarih formatı	Değişken
CreateDate	String	Tarih ve Saat Bilgisi	Değişken
Page life expectancy	Nümerik	İşlemin bellekte kalma süresi	>= 0
Buffer cache hit ratio	Nümerik	Sorgular çalışırken execution planlarının ram'de kalma süresi	0-100
%processor time	Nümerik	Yüzdelik olarak işlemciye verdiği yük miktarı	0-100
%privileged time	Nümerik	Anlık CPU performans hızı değeri	0-100
%user time	Nümerik	Kullanıcı bazlı CPU yükselmesi değeri	0-100
Active Transaction	Nümerik	Aktif durumda olan veri tabanındaki transaction sayısı	>= 0
Transaction/sec	Nümerik	Saniyede gerçekleşen transaction sayısı	>= 0
Write transaction/sec	Nümerik	Saniyede gerçekleşen yazma işlemi yapan transaction sayısı	>= 0
Connection reset/sec	Nümerik	Saniyede reset atılan bağlantı sayısı	>= 0
Logical connections	Nümerik	Mantıksal bağlantı sayısı	>= 0
User Connections	Nümerik	Toplam kullancı bağlantı sayısı	>= 0
Current disk queue length	Nümerik	Disk üzerindeki işlenmeyi bekleyen işlem sayısı	>= 0
Avg. Disk queue length	Nümerik	Disk üzerindeki işlenmeyi bekleyen işlem sayısı ortalaması	>= 0

Tabloda yer alan PLE (page life expectancy) değeri, veri tabanında bir sorgunun bellekte ne kadar süreyle kaldığını gösterir ve bu, sistem performansını değerlendirmek için kritik bir metrik olarak kabul edilir. PLE, bir veri sayfasının bellek tamponunda kalma süresini saniye cinsinden ölçer ve yüksek bir PLE değeri, sayfaların bellekte daha uzun süre kaldığını, dolayısıyla diske daha az erişim yapıldığını gösterir. Bu, genel sistem performansını olumlu yönde etkiler.

Veri tabanı yöneticileri (DBA'lar) için PLE'nin düşmesi, genellikle sistemin bellek baskısı altında olduğunu gösterir. Örneğin, Veritabanı uzmanlarının önerisi, PLE değerinin 300 saniyenin altına düşmemesi gerektiğidir (Raiyani J., 2020:3). Ancak, modern sistemlerde bu

değer genellikle çok daha yüksek olabilir ve sistemin toplam bellek miktarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Belirli bir PLE eşiği olmamakla birlikte, Veritabanı uzmanları genellikle bellek tahsisini ve mevcut iş yükünü gözden geçirirler.

PLE'nin düşmesine neden olabilecek birkaç faktör arasında bellek yetersizliği, yüksek maliyetli işlemler ve güncel olmayan istatistikler olabilir. PLE değerlerinin izlenmesi ve gerektiğinde bellek eklenmesi, indekslerin yeniden oluşturulması veya sorgu optimizasyonu gibi önlemler alınarak sistem performansı iyileştirilebilir (Parikh A., 2020).

Bu bilgiler ışığında Etiket (Tag) kolonu veritabanı uzmanları tarafından belirtilmiş olan 0-300 değerleri arasındaki 'page life expectancy' değerlerinin bir aykırılık durumunu işaret etmek amacıyla Tablo 3'te bu çalışmada kullanılan verinin ufak bir kesiti gözükmektedir. PLE değeri 300 msn'nin altında olan değerler bir anomali olabileceği için değeri 1 olarak etiketlenmiştir.

Tablo 3 *- Telemetrik verilerin etiket kolonu ile gösterimi*

	örneklem No	oluşturulma Tarihi	sayfa ömrü beklentisi	% ayrıcalıklı zaman	işlem sayısı/saniye	yazma işlemi sayısı/saniye	mantıksal bağlantı sayısı	dbaHCDOC	dbaMaintanceIndex	dbaShrinkLog	dbaHCDOCeXportTxt	etiket
1	297	00:32.0	125	2.54	217.77	174.81	655	0	0	0	0	1
2	297	00:52.0	121	3.12	411.09	190.58	652	0	0	0	0	1
3	297	00:18.0	12167	3.32	420.75	336.8	658	0	0	0	0	0
4	297	00:43.0	12167	4.09	159.67	124.74	652	0	0	0	0	0

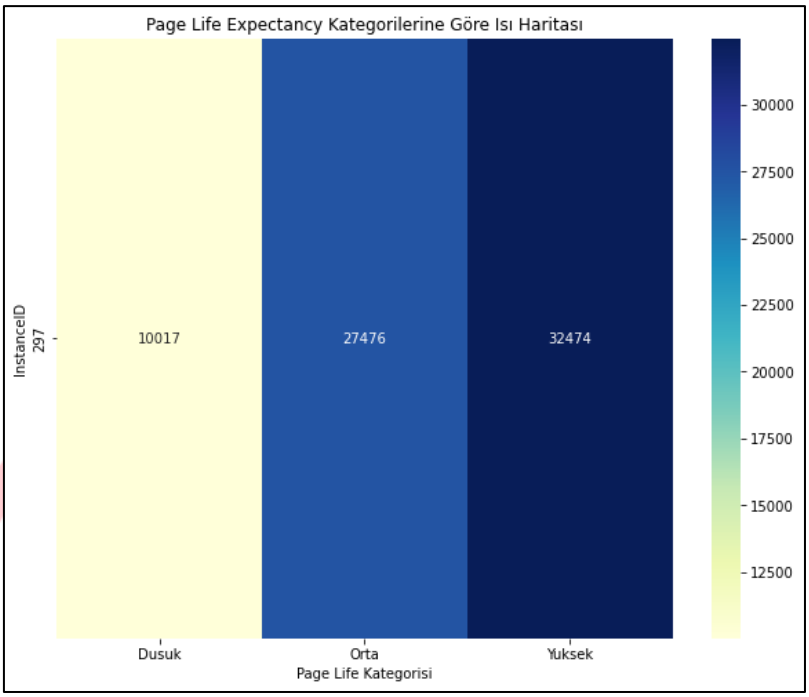
Performans tablosunda kolonlara göre yapılan analizde, Mod, Medyan, Standart Sapma, Ortalama, Minimum ve Maksimum değerleri incelenmiştir. Tablo 4'te bu çalışmada kullanılan verisetindeki niteliklerin tanımsal istatistik değerleri görülmektedir.

Tablo 4 *- Performans tablosu mod, medyan, standart sapma, ortalama, minimum ve maksimum değerleri*

	Özellik	**Mod**	**Medyan**	**Standart Sapma**	**Ortalama**	**Minimum**	**Maksimum**
0	page life expectancy	13547	4375.0	6041.4431	6423.2	0	24110
1	% privileged time	3.51	5.26	3.8973	6.2	0.39	46.98
2	transactions/sec	101.8 ve 129.7	421.43	1193.5528	799.7	4.99	12576.29
3	write transactions/sec	58.92	194.84	212.8958	264.9	0.0	2348.42
4	logical connections	589	626.0	114.4954	655.5	341	978

PLE değer aralıklarına göre incelenmiş ve firmanın veri uzmanlarından alınan görüşe dayanarak 3 kategoriye ayrılmıştır: 0-300 düşük(aykırı) değeri, 301-5000 orta değeri, 5000 ve üzeri yüksek değeri işaret etmektedir.

Bu kategorilere göre verinin ısı haritası çıkarıldığında aşağıdaki Şekil 2.'deki grafik elde edilmiştir. Verisetinde yaklaşık %15 oranında veri "Düşük" olarak tanımlanan sistem için kritik durum ortaya çıkaran aykırı bölgede yer almaktadır. Bu da sistem performansını önemli ölçüde olumsuz etkilemektedir.



***Şekil 2**. Page Life Expectancy Kategorilerine Göre Isı Haritası*

2.2. Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Uygulanması

Makine öğrenmesi, bilgisayar sistemlerinin belirli bir görevi veya problemi, doğrudan insan müdahalesi olmadan veriye dayalı olarak öğrenme ve geliştirme yeteneğidir. Bu, algoritmaların belirli bir görevi belirli bir performans ölçütüne göre optimize etmelerini sağlar. Makine öğrenmesi, genellikle büyük veri setlerini analiz ederek desenleri ve ilişkileri keşfetmek, tahminlerde bulunmak, kararlar almak veya belirli bir görevi gerçekleştirmek için kullanılır (Naqa vd., 2015). Bu öğrenme süreci, algoritmaların deneyimlerinden öğrenmelerine ve veri setlerindeki değişikliklere uyum sağlamalarına izin verir. Bu nedenle, makine öğrenimi genellikle önceden tanımlanmış kurallar yerine veriye dayalı öğrenme üzerine odaklanır, bu da sistemlerin esnekliklerini artırır ve daha geniş bir kullanım alanına sahip olmalarını sağlar.

Makine öğrenmesinde herhangi bir problemi çözmek üzere makineye verileri öğretmek için; değişken sayısı, veri tipleri, veri modeli gibi pek çok etkene göre değişkenlik gösteren birden fazla yol vardır.

Makine öğrenimi, birçok farklı yöntem ve teknikten oluşan geniş bir alandır. Makine öğrenmesi yöntemlerini aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

1. Gözetimli Öğrenme (Supervised Learning): Bu yöntemde, algoritma eğitim için etiketlenmiş veri kullanır. Veri seti, girdi (özellikler) ve çıktı (etiketler) çiftlerinden oluşur. Amacı, veri setindeki desenleri öğrenmek ve yeni girdiler için doğru çıktıları tahmin etmektir (Bansal vd. 2023). Örnek algoritmalar: Karar Ağaçları, Destek Vektör Makineleri, Yapay Sinir Ağları.

2. Gözetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning): Bu yöntemde, veri seti etiketlenmemiş verilerden oluşur. Algoritmanın amacı, veri setindeki gizli yapıları veya

desenleri bulmaktır (Rawat, 2023). Örnek algoritmalar: K-Means Kümeleme, Hiyerarşik Kümeleme, PCA (Principal Component Analysis).

Bu yöntemler, farklı veri türleri, problem alanları ve öğrenme hedefleri için kullanılabilir. Seçilen yöntemin, belirli bir problem için uygun olduğundan emin olmak önemlidir.

Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Makine öğrenimi, çeşitli algoritmaların kullanımıyla gerçekleştirilen birçok farklı teknikten oluşur. Bu çalışmada aşağıda kısaca açıklanan yöntemler verisetine uygulanmıştır.

1. K-means Kümeleme Algoritması : Veri noktalarını benzerliklerine göre gruplamak için kullanılır (Han vd., 2011). K-means kümeleme, veri kümesini K kümeye bölen bir bölme yöntemidir ve her küme kendi merkez noktası (ortalama) ile temsil edilir. K-means algoritmasının amacı, veri noktaları ile bunların ait olduğu küme merkezleri arasındaki kareler toplamını en aza indirmektir. Algoritma, her veri noktasını en yakın küme merkezine atayarak ve ardından merkezleri yeniden hesaplayarak çalışır; bu işlem, küme atamalarında artık değişiklik olmayana kadar tekrarlanır (Tan vd., 2005:487).

2. Karar Ağaçları (Decision Trees): Veri setlerindeki özelliklere dayalı olarak kararlar veren ağaç yapılarını kullanan bir sınıflandırma veya regresyon tekniğidir.

Karar ağaçları, sınıflandırma ve regresyon için güçlü ve popüler bir yöntem sağlar. Bu ağaçlar, veri kümesini girdi özelliklerinin değerlerine göre özyinelemeli olarak alt kümelere ayırarak çalışır(Bishop, 2006:660).

3. Appriori Algoritması: Veriler arasındaki ilişkiyi aşağıdan yukarıya doğru giden bir algoritmayla her veriyi tek tek ele alıp diğer verilerle ilişkisini tespit eder(Leskovec, vd ,2014:227).

4. Korelasyon Matrisi Analizi: Veri setindeki sütunlar arasındaki ilişkinin yönü ve şiddetini tespit etmek üzere geliştirilmiş bir yöntemdir(Han vd., 2011).

Bu algoritmalar, farklı veri türleri ve problemler için uygun olan çeşitli teknikler sunar. Seçilen algoritmanın veri setine ve problem alanına en uygun olanı olduğundan emin olmak önemlidir. Bu çalışmada sonraki bölümde detayları ile incelenen verisetinde sistem performansına etki eden kolonlar üzerinde çalışıldığından K-means algoritması ile parametrelerin benzer değerleri aldığı durumların tespit edilmesi, karar ağaçları ile sınıflandırma yapılarak birlikteliklerin incelenmesi, Appriori ve korelasyon matrisi algoritmaları ile birlikteliklerin incelenmesi hedeflenerek bu yöntemler uygulanmıştır.

Sistem mimarisinin belirlenmesiyle birlikte Makine Öğrenme aşamalarına katkı sağlayacak şekilde düzenlen veriler üzerinde denetimli ve denetimsiz öğrenme algoritmaları uygulanarak diğer kolonların PLE üzerindeki etkisi incelenerek bu değeri istenen aralıkta kalmasını sağlamak, aykırı değerlere sapmasını engellemek için en uygun algoritma tespit edilmek üzere ilgili çalışmalar yapılmıştır.

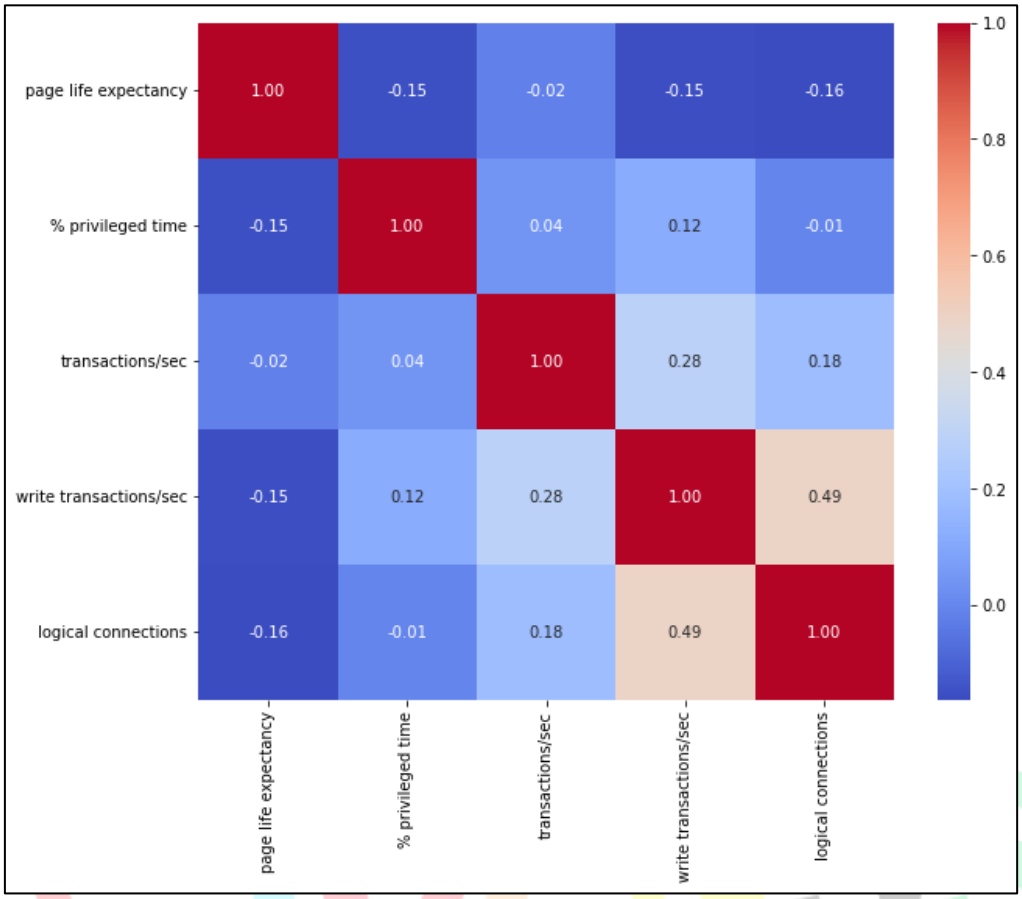
Makine öğrenimi için Python programlama dili kullanılmıştır. Kullanılan kütüphaneler: Numpy Kütüphanesi, Math Kütüphanesi, Scikit-learn Kütüphanesi, Pandas Kütüphanesi, Keras Kütüphanesi, PyTorch Kütüphanesi, TensorFlow Kütüphanesi, Seaborn Kütüphanesi, Mathplotlib Kütüphanesi'dir.

2.2.1. Korelasyon Matrisi

Phyton programlama dilinde *seaborn* kütüphanesi kullanarak ve bütün kolonların birbiri ile aralarındaki ilişkilerin gücünü ve yönünü bir renk paleti üzerinde gösteren Korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Korelasyon matrisinde ilişkiler -1 ila +1 arasında değerler alır. -1'e yakın değerler negatif korelasyon, +1'e yakın değerler pozitif korelasyon olarak değerlendirilir.

Veriseti üzerinde kolonların birbiri ile ilişkilerini tespit etmek üzere Şekil 3'te görülen korelasyon matrisi hesaplanmıştır. Bu korelasyon analizi, sistem performansını optimize etmek

ve aykırılık durumlarını önlemek için hangi kolonların izlenmesi gerektiğini belirlemede kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle, yazma işlemleri ve mantıksal bağlantılar gibi kolonlar üzerinde odaklanarak bellek ömrünün uzatılması sağlanabilir. Diğer yandan, "transactions/sec" gibi daha az etkili kolonların izlenmesi, genel performans üzerinde beklenenden daha az etkili olabilir. Bu tür bir analiz, sistem yöneticilerinin ve veri analistlerinin daha bilinçli kararlar almasına yardımcı olur.



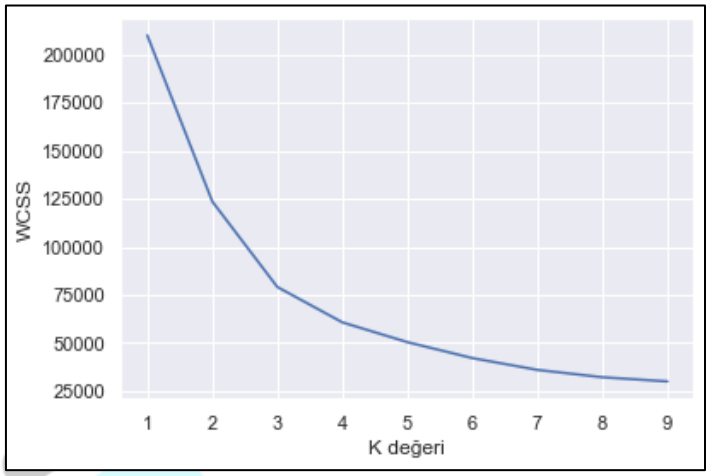
***Şekil 3**. Korelasyon Matrisi Grafiği*

2.2.2. K-Means Kümeleme Algoritması

Kümeleme (Clustering) veya küme analizi, denetimsiz bir öğrenme algoritmasıdır. Verilerdeki doğal gruplandırmayı otomatik olarak keşfetmeyi içerir. Genellikle, bir dizi örnekte bulunan anlamlı yapıyı, açıklayıcı temel süreçleri, üretken özellikleri ve gruplamaları bulmak için bir süreç olarak kullanılır. Mevcut uygulamada transactions/sec, write transactions/sec, %priviliged time, logical connections, maintanance reIndex parametrelerinin page life expectancy üzerindeki destek oranlarını sınıflandırarak grafiksel olarak görmek için k-means kümeleme algoritması uygulanmıştır.

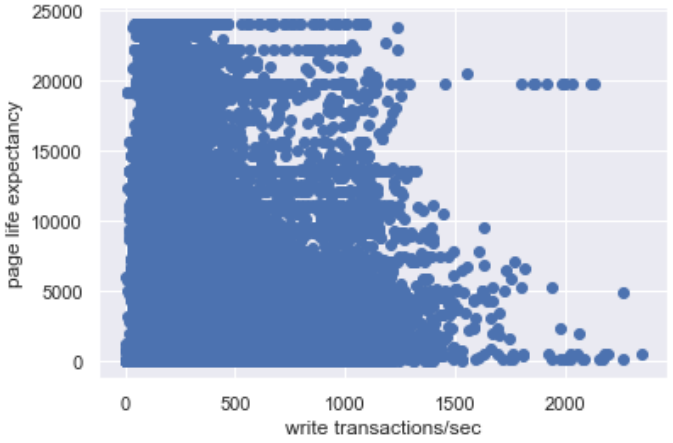
Çalışmada dirsek(elbow) metodundan faydalanılarak ple değeri düşük(aykırı)- orta-yüksek olmak üzere k=3 kümede incelenmiştir.

Dirsek Yöntemi, k-ortalamalı kümeleme algoritmasında kullanılacak ağırlık merkezi (k) sayısını belirlemek için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde k değerini belirlemek için k=1'den k=n'ye kadar sürekli yineleme yapılır (Burada n, gereksinimimize göre seçilen hiperparametredir). Her k değeri için küme içi kareler toplamı merkezler ve merkezler arasındaki uzaklıkların karelerinin toplamı (WCSS) değerini hesaplanır. Bu yönteme göre k değeri k=3 olarak seçilmiştir.

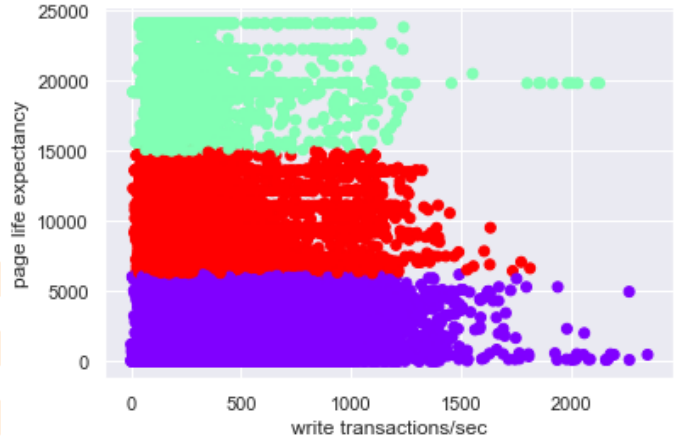


Şekil 4. *Dirsek metodu ile k(küme sayısı) değerinin belirlenmesi*

Phyton *scikit-learn* kütüphanesi kullanılarak k-means kümeleme algoritması uygulandığında verisetinde 'write transactions/sec' ile 'page life expectancy' arasındaki ilişki grafik üzerinde görülmektedir (Guido S., Mueller A., 2016). Yazma işlemleri sayısı arttıkça CPU performansı azalarak ple değerinin aykırı değerlere düştüğü görülmüştür. Kümeler ple'nin seviyelerine göre oluşmaktadır.



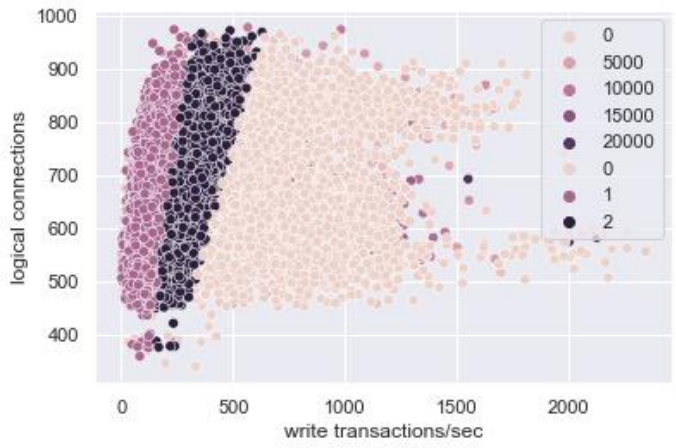
Şekil 5. k-Means uygulanmadan önce



Şekil 6. k=3 k-means uygulandıktan sonra



Şekil 7. k-Means uygulanmadan önce



Şekil 8. k=3 k-means uygulandıktan sonra

Şekil 8 ile gösterilen grafikte “logical connections” (mantıksal bağlantılar) ve “write transactions/sec” (saniye başına yazma işlemleri) ile “page life expectancy” (sayfa yaşam süresi) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafikte, noktaların rengi ve yoğunluğu, “page life expectancy” değerlerini temsil eder.

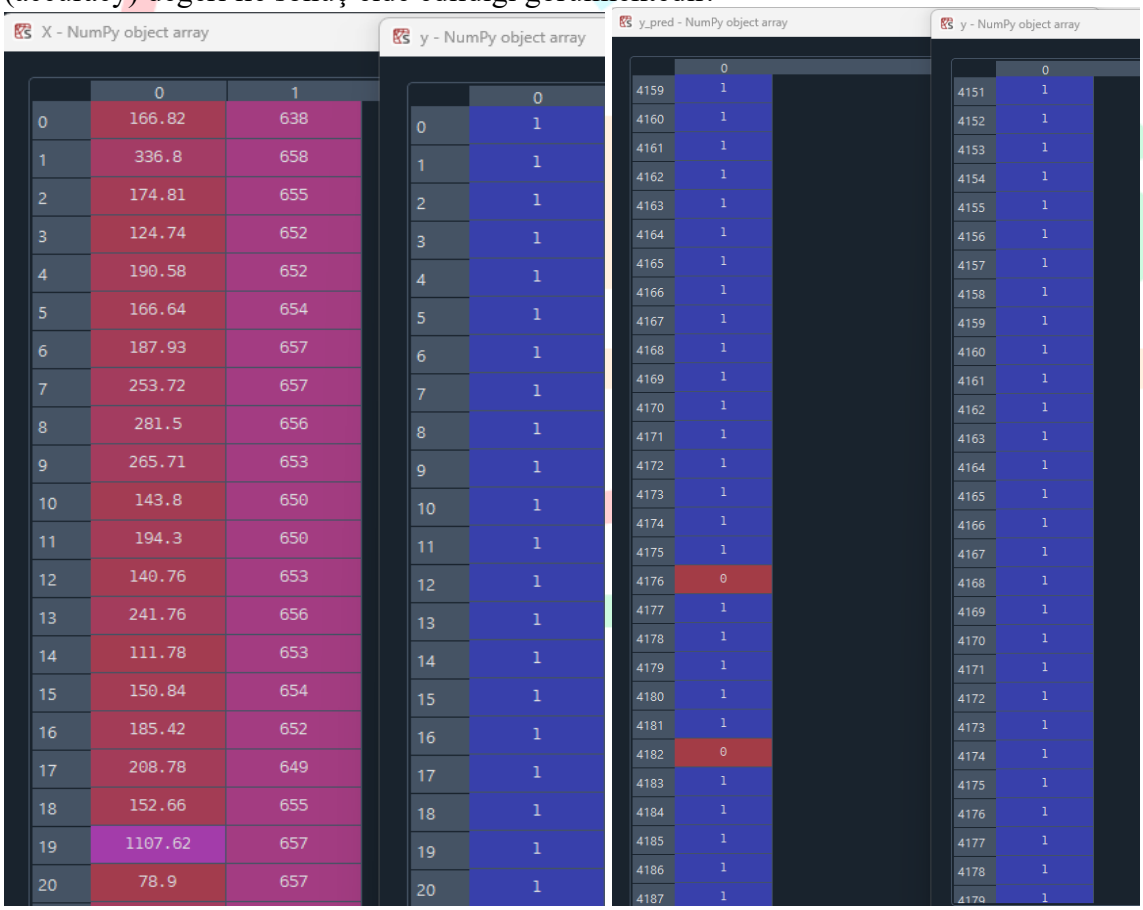
Yazma işlemlerinin artmasıyla, “page life expectancy” genellikle azalmaktadır. Bu, yüksek yazma işlemi yoğunluğunun bellek üzerindeki yükü artırarak sayfa yaşam süresini kısalttığını gösterir. Grafikteki noktaların yatay eksen boyunca yayılımı, daha fazla yazma işlemi yapılan sistemlerin genel olarak daha düşük “page life expectancy” değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.

Mantıksal bağlantı sayısı (Logical Connections) ile PLE arasındaki ilişki incelendiğinde mantıksal bağlantıların sayısı arttıkça, PLE değerlerinde değişiklik gözlemlenmektedir. Ancak, çok sayıda mantıksal bağlantı olması, bellek ömrünü doğrudan etkileyen bir faktör olmayabilir. Grafikteki noktalar, mantıksal bağlantıların sayısı ile bellek ömrü arasında daha karmaşık bir ilişki olduğunu göstermektedir. Genel olarak, daha yüksek mantıksal bağlantı sayıları ile orta seviyede PLE değerleri gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak daha fazla yazma işlemi, bellek ömrünü olumsuz etkilerken, mantıksal bağlantıların sayısı karmaşık ve doğrudan olmayan bir etkiye sahiptir.

2.2.3. Karar Ağacı(Decisison Tree) Algoritması

Sınıflandırmada kullanılan Karar Ağacı algoritması ile Şekil 9’da bir kesiti görülen verisetinde “write transactions/sec” ve “logical connections” kolonlarının PLE değerinin 300’den küçük olma durumuna göre 0 ve 1 değeri alan “Tag” sütunu üzerindeki etkisini ve tahminlerini incelendiğinde Şekil 10’da görülen karmaşıklık matrisi ile %81 doğruluk (accuracy) değeri ile sonuç elde edildiği görülmektedir.



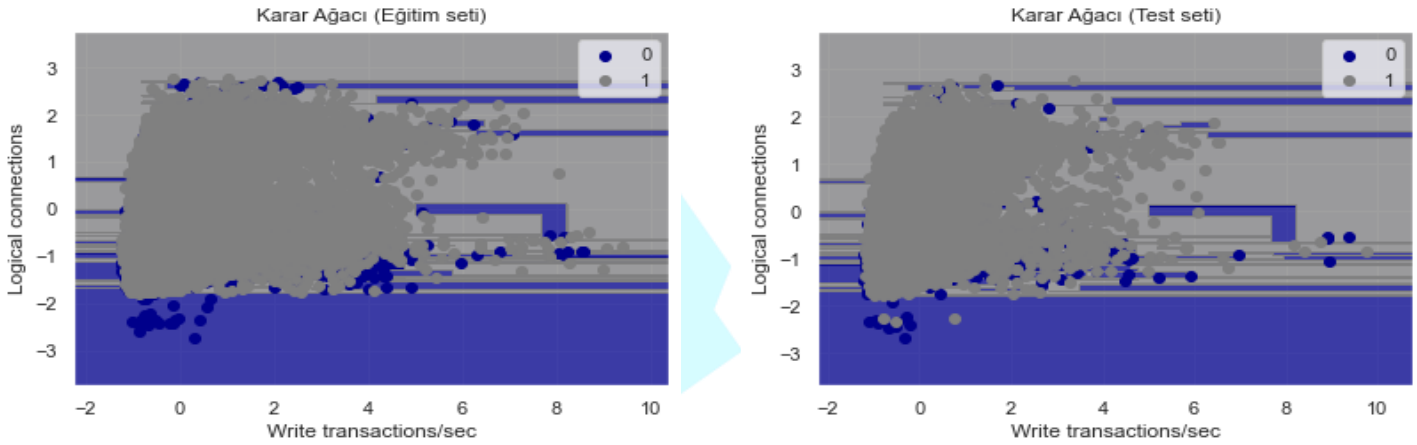
Şekil 9*. Karar ağacı algoritması uygulanmak üzere alınan x(“write transactions/sec” , “logical connections”) ve y(Etiket) kolonları ve algoritma tarafından tahmin edilen etiket değerleri*

```
[[  919  1562]
 [ 1681 13330]]
```

Şekil 10. *Karmaşıklık Matrisi*

Karar ağacı algoritması ile verisetinin %75'i eğitim seti olarak kullanılmış, %25'i test için ayrılmıştır. Buna göre yapılan etiket tahmininde çıkan sonuçlara göre Karmaşıklık matrisi (Confusion matrisi) incelendiğinde algoritmanın doğruluk oranının yaklaşık %80 olduğu görülmüştür.

"logical connections" ve "write transactions/sec" metrikleri ile PLE etiketi arasındaki ilişkiyi eğitim ve test setleri için gösteren grafik Şekil 11'de verilmiştir. Grafikteki noktaların rengi, PLE etiketini temsil eder; 0 etiketi mavi, 1 etiketi ise gri ile gösterilmiştir.



Şekil 11. Karar ağacı eğitim seti Karar ağacı test verisi

Eğitim seti grafiği, modelin eğitim sırasında öğrendiği verileri yansıtmaktadır. Gri ve mavi noktalar, farklı etiketlere sahip verilerin dağılımını göstermektedir. Görüldüğü üzere, daha yüksek sayıda yazma işlemleri ve mantıksal bağlantılar, genellikle daha düşük PLE ile ilişkilidir.

Test seti grafiği, modelin yeni veriler üzerindeki performansını değerlendirmektedir. Burada da benzer bir desen gözlemlenmiştir: Daha yüksek yazma işlemleri ve mantıksal bağlantılar, daha düşük PLE ile ilişkilidir.

Her iki grafik de, daha fazla mantıksal bağlantı ve yazma işleminin, PLE üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu göstermektedir. Model, bu iki değişkenin kombinasyonunu kullanarak sayfa ömrü beklentisini tahmin edebilmektedir. Eğitim seti grafiği ile test seti grafiği arasındaki benzerlik, modelin genelleme yeteneğinin iyi olduğunu ve yeni verilere de başarıyla uygulanabileceğini göstermektedir.

Bu grafikler, modelin performansını ve değişkenler arasındaki ilişkileri görselleştirerek, karar ağacı modelinin etkinliğini değerlendirmeye yardımcı olmaktadır.

2.2.4. Apriori Algoritması

Birliktelik kurallarından biri olan Apriori algoritması, bu çalışmada kullandığımız veritabanı gibi hareket bilgileri içeren veritabanlarında birliktelik özellikleri gösteren kolonları tespit etmek için kullanılır. Tekrarlayan bir yapıya sahip olduğundan geçmiş verilerin birlikteliklerini analiz ederek geleceğe yönelik çalışmalar yapılmasını destekler.

Bu çalışmada kullanılan parametreler için veri tabanı yöneticileri ile istişare edilerek kategori değerleri için uygulanan sınırlar Şekil 12'de listelenmektedir. Bu değerler ortalama ve standart sapma değerleri dikkate alınarak işleme alınmıştır.

% privileged time	list	3	[('Dusuk', 0, 15), ('Orta', 15, 25), ('Yuksek', 25, 50)]
logical connections	list	3	[('Dusuk', 0, 500), ('Orta', 500, 750), ('Yuksek', 750, 2000)]
page life expectancy	list	3	[('Yuksek', 0, 300), ('Orta', 300, 5000), ('Dusuk', 5000, 50000)]
transactions/sec	list	3	[('Dusuk', 0, 300), ('Orta', 300, 5000), ('Yuksek', 5000, 20000)]
write transactions/sec	list	3	[('Dusuk', 0, 500), ('Orta', 500, 1500), ('Yuksek', 1500, 5000)]

Şekil 12. *Kolon sınır değerleri*

Tabloda, her bir satır bir ilişki kuralını temsil eder ve her sütun, bu kurala ilişkin bir metriği veya ilgili öğeleri gösterir. Aşağıda her bir sütunun anlamı verilmiştir:

antecedents: Kuralın öncül kısmını (X) ifade eder. Bu kısmın gerçekleşmesi durumunda, ardıl kısmın (Y) gerçekleşme olasılığı değerlendirilir.

consequents: Kuralın ardıl kısmını (Y) ifade eder. Öncül kısmın gerçekleşmesi durumunda bu kısmın gerçekleşme olasılığı değerlendirilir.

antecedent support: Öncül kısmın (X) veri setinde görülme olasılığı.

consequent support: Ardıl kısmın (Y) veri setinde görülme olasılığı.

support: Hem öncül hem de ardıl kısmın birlikte görülme olasılığı.

confidence: Kuralın güvenilirliği. Öncül kısmın gerçekleştiği durumlarda ardıl kısmın gerçekleşme olasılığı.

lift: Kuralın güçlendirici etkisi. Öncül ve ardılın bağımsız olması durumunda, birlikte ortaya çıkma olasılığının beklenen değerine göre artış miktarını gösterir.

leverage: Kuralın rastgele birlikte görülme olasılığına göre artış miktarı.

conviction: Kuralın ardıl kısmının gerçekleşmemesi durumunda, öncül kısmın da gerçekleşmemesi olasılığını gösterir.

zhanos metric: Kuralın Zhanos metriği olarak bilinen bir metriğe göre değerlendirildiği bir değeri gösterir.

antecedents	consequents	antecedent support	equent sur	support	confidence	lift	leverage	conviction	zhanos metric
frozenset({'Orta'})	frozenset({'Dusuk'})	0.984836	0.995512	0.980348	0.995443	0.999931	-6.80548e-05	0.984836	-0.00455693
frozenset({'Dusuk'})	frozenset({'Orta'})	0.995512	0.984836	0.980348	0.984767	0.999931	-6.80548e-05	0.995512	-0.0152327
frozenset({'Yuksek', 'Orta'})	frozenset({'Dusuk'})	0.396744	0.995512	0.392642	0.989661	0.994122	-0.00232141	0.434069	-0.00970551
frozenset({'Yuksek', 'Dusuk'})	frozenset({'Orta'})	0.406177	0.984836	0.392642	0.966677	0.981562	-0.00737556	0.455073	-0.0306631
frozenset({'Yuksek'})	frozenset({'Dusuk'})	0.410279	0.995512	0.406177	0.990002	0.994465	-0.00226067	0.448877	-0.00934966
frozenset({'Yuksek'})	frozenset({'Orta'})	0.410279	0.984836	0.396744	0.96701	0.9819	-0.00731336	0.459669	-0.0303105
frozenset({'Yuksek'})	frozenset({'Orta', 'Dusuk'})	0.410279	0.980348	0.392642	0.957012	0.976197	-0.00957403	0.457159	-0.0397059

Şekil 13. *Apriori algoritması uygulandıktan sonra metrikler ile ilgili sonuçlar*

İlk satırdaki kuralı inceleyecek olursak burada "Orta" seviyesinde olan write transactions/sec'in "Düşük" seviyesinde olan PLE ile yüksek bir olasılıkla (0.995443) ilişkili olduğunu, ancak lift değerinin neredeyse 1 olması nedeniyle bu ilişkinin bağımsız olduğunu gösterir. Leverage değeri negatif, bu da iki olayın rastgelelikten daha az bir arada olduğunu göstermektedir. Her bir satır bu şekilde yorumlanarak kolonlar arasındaki ilişkiler tespit edilir. Genellikle, yüksek confidence ve lift değerleri, anlamlı ve güçlü kuralların göstergesidir. Leverage ve conviction gibi metrikler ise bu ilişkilerin daha detaylı analiz edilmesini sağlar. Kolonlar arasındaki ilişkilerin gücünü tespit etmek için kullanılan bu yöntem ile sistem performansını iyileştirmek için önemli ipuçları elde edilebileceği görülmüştür.

3. SONUÇ

Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda uygulanan yöntemlerle, veri uzmanları tarafından belirleyici alan olarak tanımlanan PLE kolonuna etki eden parametreler incelenmiştir. Bu bilgiler ışığında, aşağıdaki adımlar atılabilir:

1. Sürekli İzleme ve Uyarı Sistemleri: Bu değişkenlerin sürekli izlenmesi ve belirli eşik değerlerin aşılması durumunda uyarı sistemlerinin devreye girmesi sağlanabilir. Böylece, sayfa ömrü beklentisinin istenen aralık dışına çıkması engellenebilir.
2. Proaktif Müdahaleler: Bu veriler ve birliktelik kuralları kullanılarak, sistem yöneticileri proaktif müdahalelerde bulunabilir. Örneğin, belirli saatlerdeki işlem yoğunlukları ve bağlantı sayıları dikkate alınarak sistem kaynakları optimize edilebilir.
3. Makine Öğrenmesi Modelleri: Bu analizler, makine öğrenmesi modellerine entegre edilerek, sistem performansının öngörülmesi ve optimize edilmesi sağlanabilir. Bu modeller, belirli değişkenlerin belirli değerlere ulaştığında sistemin nasıl tepki vereceğini tahmin edebilir ve önleyici tedbirler alınabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, “write transactions/sec” ve “logical connections” değişkenlerinin “page life expectancy” üzerindeki etkilerini gösteren önemli bulgular sunmaktadır. Bu bulgular, sistem performansının izlenmesi ve iyileştirilmesi için değerli bilgiler sağlamıştır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Aken Dana Van, Pavlo Andrew, Geoffrey J. Gordon, and Bohan Zhang. (2017). *Automatic Database Management System Tuning Through Large-scale Machine Learning*. In Proceedings of the 2017 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD '17), Chicago, IL, May 2017.

Aken Dana Van. (2021). On Automatic Database Management System Tuning Using Machine Learning Dana Van Aken CMU-CS-21-104 February 2021.

Bansal, Mansi, and Dolly Sharma. (2023). *Comparison of Machine Learning Algorithms for Prediction of Stock Prices.* 2023 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE), Jan. 2023, pp.

Bishop, C. M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. Springer

Duan Songyun, Thummala Vamsidhar, and Babu Shivnath. 2009. *Tuning Database Configuration Parameters with iTuned*. Proc. VLDB Endow. 2, 1 (2009), 1246–1257.

Elmasri, R. (2008). Fundamentals of database systems. Pearson Education India.

Guido S., Andreas C. Mueller. (2016) Introduction to Machine Learning with Python

Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann. 464-468

Khan, M. A., Uddin, M. F. ve Gupta, N. (2014). *Seven V's of Big Data understanding Big Data to extract value.* Conference of the American Society for Engineering Education, IEEE, DOI: 10.1109/ASEEZone1.2014.6820689, Bridgeport, CT, USA

Khan, R., Usman, M., & Moinuddin, M. (2024). The Big Data Revolution: Leveraging Vast Information for Competitive Advantage. Revista Espanola de Documentacion Cientifica, 18(02), 65-94.

Kwan E., Lightstone S., Storm A., and Wu. L. (2002) *Automatic configuration for IBM DB2 universal database*. Technical report, IBM, jan 2002

Leskovec, J., Rajaraman, A., & Ullman, J. D. (2014). *Mining of Massive Datasets*. Cambridge University Press.

Li Guoliang, Zhou Xuanhe, Li Shifu, and Gao Bo. (2019). *QTune: A Query-Aware Database Tuning System with Deep Reinforcement Learning*. Proc. VLDB Endow. 12, 12 (2019), 2118–2130.

Naqa El, Issam, and Martin J. Murphy. (2015). *"What is machine learning?." machine learning in radiation oncology.* Springer, Cham, 2015. 3-11.

Parikh A., (2020), *Monitoring Page Life Expectancy in SQL Server*, Erişim Tarihi: 24.05.2024, https://www.spotlightcloud.io/blog/monitoring-page-life-expectancy-in-sql-server

Raiyani J., (2020), *Page Life Expectancy (PLE) in SQL Server*, Erişim Tarihi: 24.05.2024, https://www.sqlshack.com/page-life-expectancy-ple-in-sql-server/

Rawat, P. et al. (2023). *A Comprehensive Analysis of the Effectiveness of Machine Learning Algorithms for Predicting Water Quality*. 2023 International Conference on Innovative Data Communication Technologies and Application (ICIDCA), Innovative Data Communication Technologies and Application (ICIDCA), 2023 International Conference on, [s.l.], p. 1108–1114, 2023.

Tan, P.-N., Steinbach, M., & Kumar, V. (2005). *Introduction to Data Mining*. Pearson Addison Wesley

Valavala Mounicasri, Dr. Wasim Alhamdani (2021). *Automatic Database Index Tuning Using Machine Learning*, Proceedings of the Sixth International Conference on Inventive Computation Technologies [2021 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)] IEEE Xplore Part Number: CFP21F70-ART; ISBN: 978-1-7281-8501-9

Yuqing Zhu, Jianxun Liu, Mengying Guo, Yungang Bao, Wenlong Ma, Zhuoyue Liu, Kunpeng Song, and Yingchun Yang, 2017, *BestConfig: Tapping the Performance Potential of Systems via Automatic Configuration Tuning*. In Proceedings of the ACM Symposium on Cloud Computing (SOCC '17), Santa Clara, CA, September 2017

Zhang Ji, Liu Yu, Zhou Ke, Li Guoliang, Zhili Xiao, Bin Cheng, Jiashu Xing, Yangtao Wang, Tianheng Cheng, Li Liu, Minwei Ran, and Zekang Li. *An End-to-End Automatic Cloud Database Tuning System Using Deep Reinforcement Learning*. In Proceedings of the 2019 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD '19), Amsterdam, Netherlands, July 2019.

Zhang Xinyi, Wu Hong, Chang Zhuo, Shuowei Jin, Jian Tan, Feifei Li, Tieying Zhang, and Bin Cui. (2021). ResTune: Resource Oriented Tuning Boosted by Meta-Learning for Cloud Databases. In SIGMOD Conference. ACM, 2102–2114.

Zhang, Xinyi. (2022). *Towards dynamic and safe configuration tuning for cloud databases.* Proceedings of the 2022 International Conference on Management of Data. 2022.

ZHOU, Z.-H. *Machine Learning*. 1st ed. (2021). Springer Nature Singapore, 2021. ISBN 9789811519673.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Allelopathic Potential of Lupin (*Lupinus* spp.)

Merve BARUT [1]
Murat KARACA [2]

Abstract

Weeds are plants that we do not want to be found in or outside agricultural areas and that cause more damage than benefit. They compete with cultivated plants for water, light and nutrients, causing yield loss and quality. For this reason, it is important to control weeds. The most common method used to minimize yield and quality loss is chemical control. However, the use of pesticides brings with it many problems such as negative effects on human health and the environment. As a result of intensive and unconscious use, the pesticide itself or its components may remain in food, soil, water and air. The risk of residues in agricultural products and their negative effects on the environment that may occur as a result of the use of pesticides, which are an integral part of the agricultural system all over the world, is an issue that should be carefully considered. Although these negative effects are not taken seriously by producers, they can actually cause significant yield losses. For this reason, studies in the field of Allelopathy as an alternative to chemical control have gained importance. On the other hand, the goal of reducing the amount of pesticides used in the European Union by 50% by 2030 also supports this.

Lupins (*Lupinus* spp.), with their high protein content and ability to grow in marginal areas where other legumes do not grow, are an important legume plant of the Fabaceae (Leguminosae) family. Lupins are known as Termiye or Lupine in Türkiye. It contains various allelochemicals. There are many herbicides used to manage weeds. Due to the negative aspects of herbicides, many studies have been conducted recently on the use of environmentally friendly bioherbicides. It is aimed to use these allelochemicals secreted by plants as an alternative to pesticides. That is why allelopathy is important in the interaction of weeds with each other and with cultivated plants. When we evaluate the lupin plant from this perspective, various allelopathic reactions have been reported and it is a promising plant in this regard.

Keywords: Lupin, *Lupinus* spp., Allelopathy, Weed management, Bioherbicide.

[1] Agricultural Engineer, Selcuk Univ. Plant Protection Dept. Konya-Türkiye, Orcıd: 0009-0005-4220-5586
[2] Assist. Prof. Dr. Selcuk Univ. Plant Protection Dept. Konya-Türkiye, Orcıd: 0000-0002-8561-5199

ISBN: 978-625-372-170-1

INTRODUCTION

Weeds can occur in all kinds of areas with or without agricultural production. If they are not controlled, they can completely prevent crop yield (Tozlu et al., 2010: 169). Weeds are plants that we do not want to be in and out of agricultural areas and whose harm is greater than their benefit (Tozlu et al., 2010: 169). Weeds are plants that compete with cultivated plants for light, water, space and nutrients. The loss they cause in agricultural production worldwide is 150 billion dollars every year (Cited in Çolak et al., 2019: 24).

Since weeds are more competitive than cultivated plants, they are often in a strong position when not managed. However, it is one of the most important factors limiting agricultural production (Gibson et al., 2015: 1065-1070). For this reason, it is important to control weeds. The most common method used to minimize the yield loss caused by weeds is chemical control. However, pesticide applications have many negative effects on both human health and the environment. Unconscious and excessive use of pesticides can cause pesticides or their components to remain in soil, food, water and air. Residue risk in agricultural products is an issue that needs attention due to its negative effects on human health and the environment (Topal, 2011: 25; Tiryaki et al., 2010: 156).

Herbicides cause deaths in bees, fish, birds, microorganisms and invertebrates, a decrease in the reproductive potential of these creatures (cited in Mengüç, 2018: 62), and side effects such as changes in the structure of the ecosystem and disruption of species numbers (Tiryaki, 2010: 162).When using herbicides, exceeding the dose and number of applications, applying the wrong herbicide mixtures and applying under unsuitable environmental conditions cause toxicity in cultivated plants. Although these situations are ignored by farmers, they can actually cause significant yield losses (Mengüç, 2018: 63). Accordingly, studies in the field of allelopathy have gained importance as an alternative to chemical control.

Allelopathy, which is etymologically formed from the combination of the Greek words "Allelo" and "Pathos", meaning "mutual suffering", has a complex genetics, physiology and mechanism; secondary chemicals secreted through different organs in the plant prevent or stop plant growth by interacting (cited in Gürsoy et al., 2013: 116). Allelopathy in the control of weeds is the use of natural mulch, cover crops, crop rotation crops, mixed planting, green manure, toxic extracts from allelopathic plants, natural herbicides and allelopathic crop varieties (Arıkan and Elibüyük, 2015, 47-48).

Identification of Lupin

In our country, lupin is known by different names such as lupin, lupine, lupin madice, gavur lupin, wolf lupin, corn lupin, jewish lupine, tirmis (Davulcu, 2013: 8) and commonly known as termiye (as cited in Hakkı et al., 2007: 2). Lupin (*Lupinus* sp.), which has a high protein content and can grow in areas where other legumes do not grow, is a legume plant that constitutes one of the important species of the Fabaceae (Leguminosae) family (as cited in Yorgancılar et al., 2020: 90).

It can grow up to 1 meter in length. Its leaves are fragmented and covered with fine hairs. Its fruit has a dirty yellow color and is flat and almost round (Davulcu, 2013: 8). It contains about 300 species and is an annual herbaceous plant (Güldemir, 2013: 549). 3000 years ago, the cultivation of some species began, and most of the wild species grow around the Mediterranean and in North America (Güloğlu, 2023: 50). Its origin is the Mediterranean Region (Okuyucu, 2008: 60).

Lupins are widely produced and used in different ways in Germany, Poland, Portugal, Hungary, Denmark, the Netherlands, France, Italy, Spain, South Africa, New Zealand, South America and the southern states of the United States (Aydın, 2015: 1). Since Lupin is sensitive to calcareous soils, its cultivation is generally carried out in the Lakes Region (Akşehir, Beyşehir, Eğirdir and Doğanhisar), which has low lime content. Therefore, the majority of the population of Türkiye does not know this plant as its cultivation is limited (Aydın, 2015: 2).

Yield - Cultivation Area in the World and Türkiye

According to 2017 data, the world's total lupine production is 1 610 969 tons and this amount is produced on an area of 930 717 ha. Australia has the highest share in this area with 450 200 ha. This figure corresponds to approximately 0.8% of the total legume production in the world (FAO, 2017). According to 2023 data, 845 da of the 895 da cultivation area in Türkiye is located in Konya. The average yield per decare is 117 kg. Total production is 105 tons. Of this, 99 tons were produced in Konya (TÜİK, 2023).

Cultivation of Lupin

Lupin is mostly cultivated on wastelands and mountainous lands. It is also beneficial for the utilization of these barren lands. It grows in cool places like plateaus. The field is plowed and ventilated. After the seeds are placed in the apron tied around the waist, they are scattered on the field by handfuls. The lupine seeds are mixed into the field with a tool called vanvay (a tool with a diameter of 50 cm, about 15 iron plates standing upright and connected with an iron rod in the middle) attached to the back of the tractor. Sown in April-May, the lupin ripens in August-September. There is no need to use fertilizer, but if it is used, the quality of the product will be better. After sowing, the sprouts emerge with the rain, it does not require additional irrigation. There is no need for any effort after planting (hoeing, weeding, pesticide use, irrigation, etc.). After reaching maturity, it is plucked by hand. Like bean grains, lupin is also in a swaddle. After plucking, it is thrown into the plough and the straw and grains are separated. Dry lupin grains are placed in sacks and placed in warehouses. It stays in the warehouse for 8-10 years without any pesticides. Since the grains are bitter, they are not insectivorous (Güldemir et al., 2012: 550).

Extraction of Lupin Hard Water

The lupin grains are kept in cold water for 24 hours to swell. Then it is placed in the cauldron and the bottom is turned on normally. It is cooked about 20 minutes after it starts to boil. It is understood that the grains are cooked when the membrane starts to separate. Then the telis is put in a sack. A large stone is placed on top of it and it is placed in a stream to extract the bitter water. The bitterness comes out in about three days (Güldemir et al., 2012: 550).

Alkaloid Content

Lupanin is the most abundant alkaloid in white and broadleaf lupins (*Lupinus albus* L. and *Lupinus angustifolius* L., respectively) and most yellow pods (*Lupinus luteus* L.) have spartein, but their proportions depend on the variety (Magalhaes, 2017: 286).

Usage of Lupin

Consumption as human food;

Lupine grains contain between 35-45% protein. This ratio is higher than other legumes with high protein content (Güloğlu, 2023: 51). However, the starch content is quite low compared to other legume plants, i.e. between 0-5%. The 5-20% oil contained in lupine seeds is rich in oleic and linoleic acids (Yorgancılar & Bilgiçli, 2014: 1384) and is also very

beneficial for human health with its anti-cancer properties, low carbohydrate content and high fiber (30-40%) ratio (cited in Güloğlu, 2023: 51). Due to its high protein and low carbohydrate content, it has the potential to be used especially in diets applied by athletes. Yorgancılar & Bilgiçli (2010), who studied bulgur production from lupine plants, reported that it is important to offer bulgur production from sweet lupine species to the nutrition of people with gluten sensitivity.

Use in animal nutrition;

The alkaloids and glycosides contained in the lupine plant have a negative impact on its use in animal nutrition. This is because alkaloids such as lupanin and lupin cause toxicity in animals consuming lupine. However, the alkaloid content of the lupine species grown today has been considerably reduced compared to the lupine varieties produced in previous years (as cited in Güloğlu, 2023: 51). lupin varieties with these characteristics can be safely used in animal nutrition, provided that they are controlled.

Lupine species such as white lupine (*L. albus* L.), yellow lupine (*L. luteus* L.) and blue lupine (*L. angustifolius* L.), which originate from Mediterranean countries, are known as sweet lupine and have low alkaloid content, play an important role in terms of feeding animals (Okuyucu & Okuyucu, 2008: 61; Yorgancılar et al., 2020: 93).

Effects on human health;

Lupine seeds contain polyphenols, carotenoids, tocopherols, plant sterols, proteins with antimicrobial, anti-cancer and anti-inflammatory effects (cited in Güloğlu, 2023: 51). The alkaloids in its content increase the value of lupe in terms of both human health and pharmaceutical science (Bilgiçli et al., 2012; Tüzün, 2013; Yorgancılar & Bilgiçli, 2014).

It has been observed that daily consumption of lupine has a positive effect on problems such as hypertension and insulin resistance (Arnoldi, 2005). The arginine amino acid in the grains is effective in reducing the amount of sugar and cholesterol levels in the blood. When sweet lupine grains are ground and consumed, it has been found to have healing effects against hypertension, cardiological diseases, osteoporosis and diabetes (Yorgancılar et al., 2020: 94).

The magnesium and potassium content of lupin has a positive effect on cardiovascular health. In addition to its positive effect on obesity, its high fiber and protein content helps to control diabetes. Thanks to its prebiotic properties, Lüpen eliminates intestinal complications similar to irregular bowel syndrome and supports intestinal motility (Akalın et al., 2009: 1960). It reduces the amount of albumin in the blood (Güloğlu, 2023: 51).

Use as an ornamental plant;

Due to the various flower colors of the lupin plant, it is used in garden decoration, floriculture and landscaping areas. There are lupin species (*L. hartwegii, L. perennis* and *L. polyphyllus*) that are especially used as ornamental plants. Didur et al. (2019) stated that the highest flowering time in garden compositions is seen in perennial lupin plants and the most promising species for greening various objects are *L. perennis* L. and *L. polyphyllus* Lindl (Yorgancılar, 2020: 96).

Since lupin is a taprooted legume plant, it has a positive effect on soil structure, makes the best use of nutrients that are difficult to take from the soil depths and aerates the soil (Hanett, 2006). For this reason, lupin has found the possibility to be used in the activities of obtaining herbal products with the organic agriculture method, which has been very current in recent years (Okuyucu et al., 2004: 90).

The extract obtained from lupine seed was applied to the leaves of *Daucus carrota* (carrot), *Lactuca sativa* (lettuce), *Beta vulgaris* (beetroot) and *Brassica oleracea* (cabbage) plants and positively affected growth in all plants except cabbage. This allows the use of lupin as a biostimulator in organic agriculture (as cited in Güloğlu, 2023: 52).

Weed Problem in Lupin

The effects of shoot and root water extracts of *Beta vulgaris* (sugar beet) and the herbicides Clodinafop propargyl and Bentazone against the weeds *Phalaris minor* (small spike birdseed) and *Malva parviflora* (small flowered mallow) were investigated under greenhouse conditions. All aqueous extracts decreased the biomass of both weeds and increased the growth and yield of *L. albus. The* root aqueous extract was found to be more successful in parallel with the higher ratios of phenolic compounds and flavonoids detected in the root aqueous extract compared to the shoot aqueous extract. Both herbicides were found to be successful, but the best result was obtained from the experiment in which herbicides and 9% sugar beet root water extract were applied together (El Wakeel et al., 2019: 216).

Weed Control of Lupin

Lehle et al. (1983) investigated the allelopathic effect of white lupine. The aboveground parts of the plant at doses ranging from 500 to 8000 ppm were mixed with potting soil and the extract was tested at the same doses in petri medium. In pot trials, the wet weights of cotton and soybean at high doses were low at doses of 2000 ppm and above. The emergence of *Digitaria sanguinalis* was promoted at low doses, cotton emergence was inhibited at high doses, while the other species tested were not significantly affected. In most mixture ratios, *D. sanguinalis* and *Sorghum halepense* growth was promoted. In Petri trials, the equivalent concentrations studied inhibited cress seed germination 17 times more than Sorghum growth.

A study was conducted to evaluate the allelopathic effect of Lupinus leaf extract on the biochemical constituents and enzymatic activities of *Portulaca oleracea* L. (Purslane). The results showed that the levels of calmodulin (CaM), abscisic acid (ABA) and indole acetic acid (IAA) were altered in *P. oleracea* under the influence of *Lupinus* leaf extract. It was also observed that seed germination, total soluble sugars, total lipids, total amino acids and total protein content decreased in *P. oleracea treated* with *Lupinus* leaf extract. The extract induced both a-amylase and indole acetic acid oxidase activities but inhibited nitrate reductase (EC, 1.7.1.3), glutamine synthetase (EC, 6.) and pyruvate dehydrogenase (EC, 1.2.4.1) activities (EC, 6.3.1.2). Therefore, the allelopathic extract of *L. termis* can be used as an environmentally friendly natural herbicide for the management of *P.* oleracea (El-Shora et al., 2014: 232).

Germination tests were carried out with seeds of some weed species to determine the germination inhibitory effect of lupin alkaloids, spartein, gramin, lupin and lupin. Pea (*Pisum sativum* L.), tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), wheat *(Triticum aestivum* L.), vetch (*Chenopodium album* L.), vetch (*Vicia villosa* Kunth) and barren wild oat (*Avena sterilis* L.), *Lupinus albus* (L.) and *L. hispanicus. hispanicus* (Boiss et Reut) containing lupanin and lupinin, respectively, were tested and the individual alkaloid effects of different concentrations of lupanin, lupin, spartein and gramine were also analyzed. As a result, lupanin showed a particularly high germination inhibitory effect. Infertile wild oats were found to have the greatest sensitivity to alkaloids. Lupanin, spartein and gramin were also effective at post-germination stages. The possible herbicidal effect of *Lupinus* alkaloids is under discussion (Muzquiz et al., 2003: 273).

In a study conducted to investigate the allelopathic potential of the invasive garden pod *Lupinus polyphullus* on a total of 6 plant species belonging to Asteraceae, Caryophyllaceae and Fabaceae families, an aqueous extract prepared from the root and shoot tissue of *L. polyphullus* was used. The germination rate and germination time of plants exposed to the aqueous extract were measured. Both extracts inhibited germination in all species (13%-84%), but the shoot extract was more effective than the root extract in Fabaceae and Caryophyllacea. Plants belonging to the closely related Fabaceae were least affected by *L. polyphyllus* extract in terms of germination rate, but germination was delayed (Kalske et al., 2022: 24).

Allelopathic potential of some other legume crops

The allelopathic effect of common vetch (*Vicia sativa* L.) on seed germination and development of some weed species which are problematic in our country was investigated. For this purpose, seeds of 8 different weed species and 2 different test plants were treated with 25%, 50% and 100% juice of common vetch and water extracts kept in water for 1, 3 and 7 days. On the other hand, pot experiments were established to determine the effect of secretions from common vetch roots on weed growth. For this purpose, secretions from vetch roots were collected with the help of a device called ladder system and applied equally to four different weed species in the 2-4 leaf stage. As a result, it was observed that the sap and water extract obtained from common vetch leaves significantly reduced the seed germination of most of the weed species used in the experiment, but vetch root secretions were not very effective in suppressing weed growth. In this context, it was determined that the use of common vetch both as a cover plant and as a rotation plant would be effective in reducing weed density (Kitiş et al., 2016: 100).

The allelopathic effect of hairy vetch (*Vicia villosa*) was investigated using a pot test in which dry shoots from hairy vetch were surprised on the soil surface. The growth of lettuce and donkey lettuce (*Sonchus oleraceus*) was suppressed in a glass filter placed between the soil surface and hairy vetch shoots for four rainy days. The growth of weeds was severely inhibited when dry shoots (including leaves, stems and veins) of hairy vetch, harvested in May, were transferred to pots containing *Digitaria adscendens* (*D. ciliaris*) and *Polygonum* persicaria, but *Chenopodium* album was not affected by these tests, indicating that allelochemicals in hairy vetch selectively affect weeds (Fujihara et al., 1999: 17).

The allelopathic effects of aqueous extract of yellow stone clover (*Melilotus officinalis)* on 7 species of weeds and its suitability as a biological method for weed control were investigated. The effects of aqueous extract of yellow stone clover *on* seed germination and seedling growth of vetiver *(Chenopodium album*), melika (*Melica scabrosa*), red-rooted foxtail (*Amaranthus hypochondriacus*), gallows (*Echinochloa crus-galli*), shepherd's crook (*Polygonum aviculare*), ixeris (*Ixeris chinensis*) and nerve grass (*Plantago asiatica*) were investigated. Field trials were conducted to evaluate the suppressive effects of 30, 60, 90 and 120 g-m^{-2} yellow sweet clover hay powder on weeds. The results showed that aqueous extracts of yellow sweet clover leaf and stem significantly inhibited seed germination and seedling growth of *Amaranthus hypochondriacus*, *Ixeris chinensis*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli* and *Plantago asiatica* (Wu et al., 2010: 173).

In a study conducted in China, the allelopathic effects of water extracts obtained from the above-ground parts of *Astragalus strictus* on *Avena sativa*, *Amaranthus retroflexus*, *Trifolium repens* and *Capsella bursa-pastoris* were investigated. In the study, germination, root and shoot length and wet weights of these weeds were analyzed. According to the results obtained, water extract inhibited seed germination and seedling growth of *A.* sativa. Seed germination of *A. retroflexus*, *T. repens*, *C. bursa* pastoris was inhibited, seedling growth was promoted at low concentrations and inhibited at high concentrations. According to these results, *Astragalus strictus* was reported to have a strong allelopathic potential (Hu et al., 2013: 136).

The invasion status of *Lupinus polyphyllus*, an invasive plant in Finland, was investigated at 15 different locations along roadsides. It was found that plant species richness in plant species communities was lower in areas infested with lupine. Vegetation height was also found to be 39 cm longer on average in non-infested areas (Valtonen et al., 2006: 6).

CONCLUSION

According to World Bank and United Nations projections, the world population is expected to reach 10 billion by 2040 (Macias et al., 2007: 327). In this case, it is necessary to increase agricultural productivity in order to feed the growing population, which is only

possible by selecting genotypes and cultivation methods suitable for the purpose, as well as removing "weeds" from the environment, which are partners to various growth factors such as water, light and nutrients (Ulukan 2008:115).

There are many herbicides used to control weeds. These pesticides used in agricultural areas are not only effective in terms of control, but also harm both living organisms and soil structure in the long term. Many studies have been carried out recently on the use of bioherbicides and allelochemicals have started to be used as an alternative to pesticides (cited in Karaca and Yurttaş, 2023: 39). This is why allelopathy is important in the interaction of weeds with each other and with crop plants. This is also supported by the fact that the European Union has a target to reduce the amount of pesticides used by 50% by 2030.

ISBN: 978-625-372-170-1

REFERENCES

Arıkan, N., & Elibüyük, İ. Ö. (2015). Yabancı otlarla mücadelede allelopatinin kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (1), 46-50.

Aydın, B. (2015). In vivo şartlarda Fe ve Mn uygulamalarının lüpen (*Lupinus albus* L.) bitkisinin fide gelişimine etkilerinin araştırılması.

Çolak, E. Ş., Yüksel, E., & Canhilal, R. (2019). Yabancı otların kontrolünde biyolojik mücadele. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, *2*(3), 23-29.

Davulcu, M. (2013). Antalya Yöresinde Geleneksel Bir Çerez VE Geleneksel Bir Meslek Olarak Tirmis Ve Tirmisçilik. *Electronic Turkish Studies*, *8*(12).

El Wakeel, M. A., Dawood, M. G., El-Rokiek, K. G., El-Awadi, M. E. S., & El-Din, S. A. S. (2019). Use of Beta vulgaris allelopathic properties to control some weeds associated with *Lupinus albus* plant comparing with two recommended herbicides. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, *21*(2), 216-222.

Fujihara, S., & Yoshida, M. (1999). Allelopathy of hairy vetch, Vicia villosa Roth. and its application for crop production as mulching material. Bulletin of the Shikoku National Agricultural Experiment Station, (65), 17-32.

Gibson, K. D., Johnson, W. G., & Hillger, D. E. (2005). Farmer perceptions of problematic corn and soybean weeds in Indiana. *Weed Technology*, *19*(4), 1065-1070.

Güldemir, O., Işık, N., & Tosun, F. (2012). Sokaklardan evlere: Termiye, 3. *Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, Konya, Turkey*, 550.

Güloğlu, D. (2023). Acı bakla (*Lupinus angustifolius* L.) bitkisinin kullanım olanakları. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, *5*(1), 50-53.

Gürsoy, M., Balkan, A., & Ulukan, H. (2013). Bitkisel üretimde allelopati. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *27*(2), 115-122.

Gürsoy, M., Balkan, A., & Ulukan, H. (2013). Bitkisel üretimde allelopati. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(2), 115-122.

Hakkı, E. E., Yorgancılar, M., Atalay, E., Uyar, S., & Babaoğlu, M. (2007). Basit tekrarlı diziler arası polimorfizm (BTDAP= ISSR) tekniği ile yerli lüpen genotiplerinde (*Lupinus albus* L.) genetik varyasyonun belirlenmesi. *Bitkisel Araştırma Dergisi*, *2*, 1-5.

Hu, Y., Chen J., Xiao, T., Hu, T., & Xu, Y. (2013). Research on allelopathy of aqueous extract from *Astragalus strictus*. Acta Prataculturae Sinica, 22(6), 136-142.

Kalske A.,Makinen E.,Ramula S.,2022, Allelopathy by the invasive garden lupine inhibits the germination of native herbs,Botany,Volume 101,Number 1, https://doi.org/10.1139/cjb-2022-0076.

Karaca, M., & Kılınç, C. Y. (2023). Bazı Bitki Özütlerinin Secale cereale L. ve Avena fatua L. Tohumlarının Çimlenmesi Üzerine Allelopatik Etkisi. *Turkish Journal of Weed Science*, *26*(1), 38-48

Kitiş, Y. E., Kolören, O., & Uygur, F. N. (2016). Adi fiğin (Vicia sativa L.) bazı yabancı otların çimlenmesi ve gelişmesi üzerine allelopatik etkileri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, *25*(1), 100-106.

Korcz, A., Markiewicz, M., Pulikowska, J., & Twardowski, T. (1987). Species-specific inhibitory effect of lupine alkaloids on translation in plants. *Journal of plant physiology*, *128*(4-5), 433-442.

Lehle F. R.,Frans R.,McClelland M.,1983, Allelopathic Potential of Hope White Lupine (*Lupinus albus*) Herbage and Herbage Extracts,Weed Science,Vol.31,No. 4,Pages 513-519.

Macias, F. A., Molinillo, J. M., Varela, R. M., & Galindo, J. C. (2007). Allelopathy—a natural alternative for weed control. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, *63*(4), 327-348.

Muzquiz, M., de la Cuadra, C., Cuadrado, C., Burbano, C., & Calvo, R. (1994). Herbicide-like effect of Lupinus alkaloids. *Industrial Crops and Products*, *2*(4), 273-280.

Okuyucu, B. R., & Okuyucu, F. (2008). Kimi lüpen türlerinin (*Lupinus* L. species) içerik maddeleri, yem değeri ve hayvan beslemede kullanılma olanakları. *Hayvansal Üretim*, *49*(2).

Topal, S. (2011). Allelokimyasalların Herbisit Etkileri. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (025), 23-26.

Tozlu, G., Çoruh, İ., & Gültekin, L. (2010). Türkiye'de Amaranthus (Amaranthaceae) türlerine karşı biyolojik mücadelede böceklerin kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *41*(2), 169-176.

Valtonen, A. (2006). Roadside environments as habitats for Lepidoptera. Joensuun yliopisto.

Wu, CX, Guo, XX, Li, ZH ve Shen, YX (2010). Sarı tatlı yoncanın allelopatik potansiyelinin yabancı ot kontrolü için kullanılmasının fizibilitesi. Allelopati Dergisi , 25 (1), 173-183.

Yorgancılar, M., Başarı, D., Atalay, E., & Erkoyuncu, M. T. (2020). Fonksiyonel bir gıda: Lüpen (Termiye). *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, *9*(1), 89-101.

Yorgancilar, M., & Bilgiçli, N. (2014). Chemical and nutritional changes in bitter and sweet lupin seeds (*Lupinus albus* L.) during bulgur production. *Journal of food science and technology*, *51*, 1384-1389.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Fenomen Pazarlamada Fenomen Seçim Kriterlerinin AHP ile Değerlendirilmesi: Bir Uygulama

Mısra ŞAHİN[1]
Hilal DEMİR[2]
Nazan Nur KIRA[3]
Sude CANDAN[4]
Mehmet PINARBAŞI[5]

Özet

Günümüzde internet kullanımının fazlalaşması ile sosyal medya izlenirliği giderek artmaktadır. Kişiler birçok markayı sosyal medya topluluğu aracılığı ile keşfetmekte ve tanımaktadır. Sosyal medyada takipçisi sayısı ve izlenmesi yüksek olan popüler kişilere fenomen denir. Bazı platformlar arasında yer alan fenomenler, bireyleri etkileme gücünden faydalanarak markayı, ürünü veya hizmeti hedef kitlelere pazarlamaktadırlar. Bu pazarlama ile birlikte marka ve fenomenler arasında oluşan iş birliğine fenomen pazarlama denir. Gerek popülerliği gerekse de kullanıcı sayısının çok fazla olması nedeniyle Instagram fenomen pazarlama için oldukça sık kullanılan bir sosyal medya aracıdır. Markalar, Instagram üzerinden ürünlerinin tanıtımını, reklamını veya pazarlamasını fenomenler aracılığı ile sıklıkla gerçekleştirmektedirler. Fenomen pazarlamasını tercih eden bir firmanın ürününü en iyi şekilde tanıtıp pazarlayacak fenomenin seçimini etkili bir şekilde yapması gerekmektedir. Bu çalışmada ürün tanımı için fenomen seçimi üzerinde durulacaktır. Doğru fenomen seçimi için birden çok ve birbiri ile çelişen kriterin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Çalışmada özellikle makyaj ürünleri üreten kozmetik sektöründe faaliyet gösteren bir firma için fenomen pazarlamasına en uygun fenomenin seçimi değerlendirilmiştir. Değerlendirme için 14 adet kriter belirlenmiş, bu kriterler bir çok kriterli karar verme yöntemi olan AHP ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre fenomen seçimi üzerinde en etkili üç kriterin bütçe, tanınırlık, marka iş birliği olduğu görülürken, en düşük ağırlığa sahip üç kriterin mavi tik, ödül alıp almama ve diksiyon olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AHP, fenomen pazarlama, sosyal medya, kozmetik, çok kriterli karar verme

[1] Mısra ŞAHİN,öğrenci,Kırıkkale Üniversitesi,Endüstri Mühendislik,misrasahin17@gmail.com
[2] Hilal DEMİR,öğrenci,Kırıkkale Üniversitesi,Endüstri Mühendisliği,hlaldmr077@gmail.com
[3]Nazan Nur KIRA,öğrenci,Kırıkkale Üniversitesi,Endüstri Mühendisliği,nazannur.kira1002@gmail.com
[4] Sude CANDAN,öğrenci,Kırıkkale Üniversitesi,Endüstri Mühendisliği,sude.candan9@gmail.com
[5] Mehmet PINARBAŞI,Doc.Dr.,Kırıkkale Üniversitesi,Endüstri Mühendisliği,mpinarbasi@kku.edu.tr

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Günümüzde internet kullanımının yaygınlaşmasıyla sosyal medya aktifliği artmaktadır. Bireyler çok fazla markayı sosyal medya aracılığı ile keşfetmektedir. Sosyal medyada en önemli marka paylaşımcılarından bir tanesi de fenomenlerdir. Fenomen (İngilizce influencer) tanınan, herhangi bir özelliği ile dikkat çeken, kitleleri etkileme gücü olan kişi olarak adlandırılmaktadır. Fenomen kavramı, sosyal medya ortamlarında belirli bir kitleye ulaşmış ve etki sahibi kullanıcıları tanımlamak için de kullanılmaktadır (Mert, 2018). Bu ortamlarda bireyler istedikleri veya iş birliklerden gördükleri ürünleri temin etmek için markalardan alışveriş yapmaktadırlar. Fenomen medyalarında markaların ürünlerini tanıtarak veya link paylaşımı yaparak kitlelerin daha kolay ve hızlı ürünleri satın almasını sağlamaktadır (Tanyeri ve Toprak, 2020). Fenomenler bu sayede, iş birlikleri ile olan güvenirliklerini ve iletişimlerini kuvvetlendirmiş olmaktadırlar (Şeker, 2021).

Sosyal medya olarak adlandırılan mecralardan en önemlilerinden biri olan Instagram, pazarlama faaliyetlerinde dikkate alınması gereken bir yer olarak bilinmektedir (Eren ve Saçan, 2021). Sosyal medya'nın büyük potansiyelini gören markalar, tutundurma uygulamalarını daha yoğun bir şekilde Instagram'a kaydırmaktadır. Markalar, medya ile var olan ürünlerin tutundurulmasını veya yeni çıkacak olan ürünlerin tanıtımını fenomenler aracılığı ile gerçekleştirmek istemektedir.(Aktaş ve Şener, 2019). Firma ise markasını tanıtmak ve popülarite kazanmak için doğru fenomen seçimi yapmalıdır. Doğru bir seçim yapabilmek amacıyla birçok kriter bir arada göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin bunlardan en önemlisi ve etkili olanı platformdaki takipçi sayısıdır.

Sosyal medyadaki kullanıcı sayısının fazlalığı markalara her türden kullanıcıya erişim imkanı sağlamaktadır. Bu erişim, markalar için etkisi fazla olan pazarlama araçlarından biridir (Gümüş, 2019) . Literatürde fenomen pazarlama üzerine yapılan çalışmalar da yer almaktadır. (Hüseyinova, 2022) fenomen pazarlamada nitel ve nicel analizler yapmışlardır. Entropi Ağırlık Yöntemi ve Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile sıralama yapan (Burcuoğlu ve Yazar, 2019) Youtube'da güzellik alanında içerik üreten sosyal medya fenomenlerinin performans kriterlerinin belirlenmesini sağlamıştır. (Anbarlı, 2022) ve (Mazıcı ,2020) çalışmalarında fenomenlerin marka üzerindeki etkisini anket yöntemi ile analiz etmişlerdir. Yapılan literatür araştırmasında fenomen seçimi için çok kriterli analitik bir yaklaşımın geliştirilmediği görülmüştür.

Çalışmada firmanın marka iş birliği için seçeceği fenomenlerin belirli kriterler altında incelemesi yapılmıştır. Bu kriterler 3 ana kriter ve 14 alt kriterden oluşmaktadır. AHP yöntemi ile kriterlerin önem düzeyleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre ana kriterlerden en önemlisi sosyal medya iken alt kriterlerde beğeni sayısı olarak bulunmuştur. En etkisiz alt kriter ise marka iş birliği paylaşımlarında tercih ettikleri paylaşım türleridir.

ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

Çalışmada firmaların sosyal medyadaki hangi fenomenleri seçeceğine dair bir problem incelenmiştir. Bu problemdeki kriterlerimizden bazıları; takipçi sayısı, güvenirlik vb.dir. Problemin çözümü ve doğru önem derecesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi kullanılmıştır. AHP yöntemi nitel ve nicel değişkenlere bağlı olarak öncelikleri ön planda tutan matematiksel bir metottur.

Yapılan çalışmada AHP Yöntemi ile çözüm yapılmıştır. Yapılan çözüm ile firmanın seçili fenomenler için hangi şartlar altında iş birliği yapacağı belirlenmiştir. Bu sayede seçeneklerin hepsi göz önüne alınmış olup firma için kolaylık sağlanması hedeflenmiştir.

Fenomen seçiminde etkili ve yardımcı olacak kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriterler 3 grup şeklinde ayrılmıştır. Gruplar Sosyal medya, sosyallik ve pazarlama kriterleri olarak belirlenmiştir. Sosyal medya kriterlerinin alt kriterleri; beğeni sayısı, takipçi sayısı, ödül, trend, deneyimdir. Sosyallik kriterlerin alt kriterleri; diksiyon, ilgi alanı, tanınırlık, güvenirlilik, etkileşimdir. Pazarlama kriterlerin alt kriterleri; marka iş birliği, içerik özelliği, paylaşım türleri ve bütçe olmak üzere ayrılmıştırlar.

AHP yönteminin adım adım algoritması aşağıda verilmiştir.

Adım 1. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: AHP'nin ilk adımı olan ayrıştırmada, karar probleminin ne olduğu, hangi ölçütlere göre değerlendirme yapılacağı ve seçenekler belirlenir.

Adım 2. Önceliklerin Belirlenmesi*:* İkili karşılaştırma terimi iki kriterin birbirleriyle karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin yargısına dayanır. Karar verici Çizelge 1'de bulunan değerlendirme skalasını kullanabilir.

Çizelge 14 – İkili karşılaştırma matrisi değerlendirme skalası

1.	Her iki faktör eşit öneme sahip ise
3.	Birinci faktör ikincisinden daha önemli ise
5.	Birince faktör ikincisinden çok önemli ise
7.	Birinci faktör ikincisinden daha çok önemli ise
9.	Birinci ikincisinden aşırı önemli ise

Adım 3. İkili Karşılaştırma Matrisi: İkili karşılaştırma matrisleri geliştirildikten sonra karşılaştırılan her elemanın önceliğinin hesaplanmasına geçilmektedir. Bunun için Denklem 1'deki matris kullanılır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & aij & \dots & ann \\ . & 1 & & & . \\ 1/aij & & 1 & & . \\ . & & & 1 & . \\ 1/ann & \dots & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 4. Öncelik Vektörü: Adım 3'te faktörlerin yüzde önem dağılımları belirlenir. Bu dağılımları yapabilmek için karşılaştırma matrisini oluşturan sütun ve vektörlerinden yararlanılır ve n adet, n bileşenli B sütun vektörü oluşturulur. Bu vektörler Denklem 2'de verilmiştir.

$$bij = \frac{aij}{\sum aij} \qquad Bi = \begin{bmatrix} b1 \\ b2 \\ . \\ . \\ bn \end{bmatrix} \qquad C = \begin{bmatrix} b11 & b12 & \dots & b1n \\ b21 & b22 & \dots & b2n \\ . & & & . \\ bn1 & bn2 & \dots & bnn \end{bmatrix} \quad (2)$$

Adım 5. Tutarlılık Oranının Hesaplanması*:* Tutarlılık CR ile gösterilir. CR hesabı faktör sayısı ile temel değer (λ) gibi bir kat sayı ile çarpılması ile mümkündür. 'λ' hesaplanması için öncelikle A karşılaştırma matrisi ile W öncelik matrisinin çarpımından D matrisi elde edilir. Bulunan D sütun vektörü ile E sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin 'E' elde edilir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması ile λ elde edilir. Λ bulunduktan sonra tutarlılık göstergesi CI hesaplanır. Bulunan değer 0.10'dan küçükse yapılan test tutarlıdır. Aksi halde hatalıdır ve ikili karşılaştırma matrisi gözden geçirilmelidir. Bu hesaplamalar Denklem 3'te verilen formülasyonlar ile elde edilir.

$$Eİ = \frac{Di}{Wi} \qquad \lambda \max = \frac{\sum Ei}{n} \qquad CI = \frac{\lambda - n}{n-1} \tag{3}$$

Adım 6. Karar Noktalarındaki Sonuç Dağılımının Bulunması: Her bir karşılaştırma işleminden sonra mx1 boyutlu ve değerlendirilen faktörün karar noktalarına göre yüzde dağılımlarını gösteren S sütun vektörleri elde edilir. Bu aşamada öncelikle, n tane mx1 boyutlu K karar matrisi oluşturulur. Bu matris Denklem 4'teki gibidir.

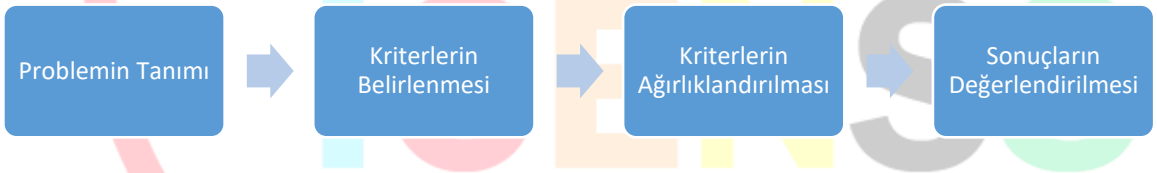
$$Si = \begin{bmatrix} s11 \\ s21 \\ . \\ . \\ sm1 \end{bmatrix} \qquad K = \begin{bmatrix} s11 & s12 & \dots & s1n \\ s21 & s22 & \dots & s2n \\ . & & & . \\ sm1 & sm2 & \dots & smn \end{bmatrix} \tag{4}$$

Sonuçta karar matrisi W sütun vektörü ile aşağıdaki gibi çarpıldığında m elemanlı L sütun vektörü elde edilir. L sütun vektörü karar noktalarının yüzde dağılımını verir. Vektörün elemanlarının toplamı 1'dir. Bu dağılım karar noktalarının önem sırasını gösterir ve Denklem 5'te verildiği gibidir.

$$L = \begin{bmatrix} s11 & s12 & \dots & s1n \\ s21 & s22 & \dots & s2n \\ . & & & . \\ sm1 & sm2 & \dots & smn \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} w1 \\ w2 \\ . \\ wn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l11 \\ l21 \\ . \\ lm1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

UYGULAMA

Çalışmada yapılan uygulama Şekil 1'de verilen akış şemasına göre sürdürülmüştür. Uygulama akışı dört ana başlıktan oluşmaktadır. Bunlar sırası ile problemin tanımı, kriterlerin belirlenmesi, kriterlerin ağırlıklandırılması ve sonuçların değerlendirilmesidir. Bu başlıklar hakkında detaylı bilgiler sonraki bölümlerde verilecektir.



Şekil 1. Uygulama akış şeması

Problemin Tanımı

Bir firma sosyal medyaya reklam verme talebinde bulunduğunda, bir fenomen seçimi problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. Seçime birden fazla kriter eşlik ettiğinden firma seçim yapmakta zorlanmaktadır. Bu problemi ortadan kaldırmak için alt kriterler belirlenerek AHP yöntemi ile çözüme ulaşılmıştır.

Kriterlerin Belirlenmesi

Marka iş birliği için önem arz eden kriterler uzmanlar birlikte grup karar verme tekniği ile saptanmış olup, çalışmada 3 adet ana kriter belirlenmiştir. Bu kriterlere bağlı olarak 14 adet alt kriterin tanımı Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 15 – Kriterlerin Tanımı

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Açıklamalar
Sosyal medya	Beğeni Sayısı	Fenomenlerin sosyal medya platformundaki son üç fotoğrafın beğeni sayısının ortalamasını göstermektedir.
	Takipçi Sayısı	Fenomenlerin sosyal medya platformundaki toplam takipçi sayısını açıklamaktadır.
	Ödül	Fenomenlerin sosyal medya platformları tarafından başarılı olmalarına karşılık aldıkları başarı belgesidir.
	Trend	Sosyal medyadaki takipçi sayısının azalış ve artışa bağlı olarak belirlenen popülarite ifadesidir.
	Deneyim	Fenomenlerin sosyal medyada geçmişten günümüze kadar olan süreçteki tecrübelerini göstermektedir.
Sosyallik	Diksiyon	Fenomenlerin sosyal medyadaki telaffuzlarını ve akıcı konuşmalarını açıklamaktadır.
	İlgi Alanı	Fenomenlerin sosyal medyadaki ilgilendikleri alanı belirmektedir.
	Tanınırlık	Fenomenlerin sosyal medyada toplum tarafından ne kadar popüler olduğunu ifade edilmesidir.
	Güvenirlilik	Fenomen pazarlaması yapacak olan firma veya markaların fenomenlere olan inancını ifade etmektedir.
	Etkileşim	Fenomenlerin sosyal medyadaki takipçileri ile arasındaki iletişimin sıklık düzeyini göstermektedir.
Pazarlama	Marka İş birliği	Fenomenlerin sosyal medyadaki ücretli ortaklığı ile markanın reklamını yapmasıdır.
	İçerik	Fenomenlerin tercih ettikleri içerik özelliklerini ifade etmektedir (etiketlemek, hashtag, link eklemek).
	Paylaşım Türü	Fenomenlerin tercih ettikleri paylaşım türlerini ifade etmektedir (fotoğraf, hareketli fotoğraf, video).
	Bütçe	Firmanın belirlediği maliyet miktarıdır.

Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Kriterler belirlendikten sonra ağırlık derecesine göre puanlandırılmıştır. Ana kriterlerin puanlandırılması için kullanılan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 3'te verilmiştir. Bu yöntem ile seçilecek olan fenomenler arasında karşılaştırma yapılmış olacaktır. Çizelge 4 ana kriterlerin kriter ağırlıklarını vermektedir. Çizelge 5'te ise tutarlılık hesaplanmıştır.

Çizelge 16. Kriter Gruplarının Puanlanması

Sosyal	Sosyallik	Pazarlama
1	3	1
0,33	1	3
1	0,33	1
2,33	4,33	5

Çizelge 17. Kriter Ağırlıklandırma

	Sosyal	Sosyallik	Pazarlama	Kriter Ağırlıkları
Sosyal Medya	0,429184549	0,600600601	0,25	0,4266
Sosyallik	0,141630901	0,3003003	0,5	0,3140
Pazarlama	0,429184549	0,099099099	0,25	0,2594

Çizelge 5. *Tutarlılık Oranının Hesaplanması*

Toplam	Kriter Ağırlıkları	t/c	Ortalama	Lamda	CI	RI	CI/RI
1,313977	0,42659505	3,080151	3,074933	3,074933	0,03747	0,58	0,0646
0,973609	0,313977067	3,100893					
0,789635	0,259427883	3,043757					

Tutarlılık hesaplamasında CI değeri 0,03747 olarak bulunurken, RI değeri 0,58 olarak alınmıştır. CI/RI değeri 0,0646<0,10 sağlandığından ana kriterlerin hesaplaması tutarlı şekilde çıkmıştır.

Sonuçların Değerlendirilmesi

Belirlenen kriterler uzmanlar ile fenomen seçimi üzerinde etkilerini belirlemek üzere değerlendirilmiştir. Pazarlama stratejisi için seçilecek olan fenomenin daha etkili seçilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada AHP yöntemi ile tutarlılık sağlanmıştır. Yapılan hesaplamalarda sosyal medya ana kriteri en etkili kriter olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6'da ana kriterlerin ağırlıklarının 0,4266, 0,3139, 0,2594 olduğu saptanmıştır. Alt kriterler incelendiğinde ise en önemli ikisi beğeni ve takipçi sayısı olarak belirlenmiştir. Bu kriterlerin ağırlıklarının yüksek olma nedeni ise sosyal medyadaki takipçi ve beğeni sayısının fazla olmasıyla birlikte izlenme sayısının artması, bu sayede verilecek reklama daha fazla kişi ulaşabilecektir. Paylaşım türü ve etkileşim alt kriterleri en düşük önem ağırlığına sahip kriterler olarak tespit edilmiştir. Bunun nedeni fenomenlerin tercih ettikleri paylaşım türünün ve etkişleşim faktörünün kitleler üzerinde etkili olmaması söylenebilir. Diğer tüm ana ve alt kriterlere ait ağırlıklar Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. *Fenomen ile Kriterlerinin Arasındaki Sonuç İlişkisi*

Ana Kriter	**Alt Kriter**	**Ağırlık**
Sosyal Medya	Beğeni Sayısı	0,132127
	Takipçi Sayısı	0,122454
	Ödül	0,057168
	Deneyim	0,044042
	Trend	0,070803
Sosyallik	Diksiyon	0,067798
	İlgi Alanı	0,068155
	Tanınırlık	0,087628
	Güvenirlilik	0,067798
	Etkileşim	0,022599
Pazarlama	Marka İşbirliği	0,099066
	İçerik	0,034608
	Paylaşım Türü	0,026688
	Bütçe	0,099066

SONUÇ VE ÖNERİLER

Fenomen pazarlama kavramı son yıllarda popülarite kazanmış olup, gelecek yıllarda ise bu popülerliğini devam ettireceğini söylemek oldukça doğru olacaktır. Günümüz şartlarında teknolojinin gelişmesiyle beraber dijital çağın önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Bu sebeple çalışmada bir reklam ajansının fenomen seçimi yaparken hangi kriterleri, hangi önem derecesiyle değerlenip seçeceği problemi ele alınmıştır. Sosyal medya ile ilgilenen fenomenlerin seçilmesinde etkili olacak kriterler belirlenmiştir. Sonrasında AHP yöntemi kullanılarak kriterlerin önem derecesi hesaplanmış, kriterlerin birbirlerine göre üstünlükleri belirlenmiştir. Birbiriyle kıyaslanan ve bir ajans için önemli olan kriterler daha az önemli kriterlere doğru sıralanmıştır. Çalışmada en önemli kriterin birincisin 0,132127 ağırlık puanı ile beğeni sayısı, ikincisin 0,122454 ağırlık puanı ile takipçi sayısı olduğu tespit edilmiştir. En düşük ağırlıklara sahip kriterlerin ise sırasıyla 0,026688 ağırlık puanı ile paylaşım türü ve 0,022599 ağırlık puanı ile etkileşim olduğu net bir şekilde görülmektedir. Fenomen pazarlamada fenomen seçecek olan bir firma veya reklam ajansı bu kriterlere ve ağırlıklandırmalara dikkat etmesi durumunda daha etkili bir pazarlama yapmış olacaktır.

Bu çalışmadan yola çıkarak birçok gelecek çalışma önerisi yapılabilir. TOPSIS, PROMETHEE gibi yöntemler kullanılarak belirlenecek alternatif fenomenlerden belirlenen ağırlıklar ile en uygun fenomenin seçilmesi uygun bir çalışma olacaktır. Ayrıca kriterlerin ağırlıklandırılmasında AHP yöntemi dışında ANP gibi başka yöntemler kullanılabilir. Kriterlerin değerlendirilmesinde bulanık mantık kullanılması da umut verici bir gelecek çalışma olacaktır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Aktaş A., Ş. G. (2019). Nüfuz Pazarlamasında (Influencer Marketing) Mesaj Stratejileri. *Erciyes İletişim Dergisi*, 6(1),399-422.

Anbarlı A. (2022). "Sosyal Medya Fenomenlerinin Farklı Sosyo-Ekonomik Düzeydeki Tüketicilerin Satın Alma Kararları Üzerindeki Etkisinin Psikolojik Faktörler Aracılığıyla İncelenmesi". *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırma Dergisi*, 9(2),502-526.

Burcuoğlu, M. v. (2019). Youtube'de Fenomen Performanslarının Ölçülmesi Üzerine Bir Araştırma. *Dijital Çağda İşletmecelik Dergisi*, 2(2),69-78.

E.Tamer. (2021). "Sosyal Medya Reklam Platformu Seçimi:Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Bir Uygulama. *Türkiye operasyon Yönetimi Dergisi*, 5(2),721-738.

Gümüş, G. (2019). *Bir Ktılmıcı Kültür Alanı Olarak:Youtube'de Influencer ve Takipçi İlişkisi.* Uşak: Uşak Üniveristesi İletişim Fakültesi Yeni Medya Bölümü Bitirme Projesi.

Hüseyinova, G. (2022). *Reklamcılıkta Görselin Önemi:Influencer Marketıng Takipçi Katılımı İlşkisi.* Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İletişim Tasarımı ve Bilişim Teknoljileri Ana Bilim Dalı.

Mert Y. (2018). Dijital Pazarlama Ekseninde Influencer Marketing Uygulamaları. *Gümüşhane Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi*, 6(2),1299-1328.

Şeker A. (2021). "Influencerların Tüketici Satın Alma Tutum ve Davranışlarına Etkileri Üzerine Nitel Bir Araştırma". *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 22(19),19-42.

Tamer, E. (2021). "Sosyal Medya Reklam Platformu Seçimi:Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Bir Uygulama". *Türkiye Operasyon Yönetimi Dergisi*, 5(2), 721 - 738.

Toprak, E. M. (2020). Nüfus Pazarlaması(Influencer Marketıng ve Satın Alma Davranışı İlşkisi:Sosyal Ağ Kullanıcıları Üzerinden Bir Araştırma). *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 16-31.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Numerical Investigation and Theoretical Validation of Convective Heat Transfer in Turbulent Pipe Flow

Muhsin KARAKAŞ[1]
Hakan KARAKUŞ[2]
Gökhan CANBOLAT[3]

Abstract

The heat transfer performance of in-pipe flows can be examined with fast and reliable calculations through Computational Fluid Dynamics (CFD). CFD analyses are highly used in the industry and engineering to assess fluid flow and heat transfer. The study mainly aims to investigate heat transfer performance under different operating conditions. This study performs numerical calculations via CFD to investigate the turbulent convective heat transfer characteristics in the pipe flow under constant heat fluxes and different Reynolds (Re) numbers. The cases are carried out by three different Reynolds numbers (10000, 20000, and 30000) and under different heat fluxes (5000 and 1000 kW/m^2). The pipe diameter and length are accepted as 50 mm and 1000 mm, respectively. The fully developed flow condition is considered in this study. The Nusselt number is calculated numerically, and it is verified theoretically by using the Dittus Boelter equation. The mesh independence test is performed according to the validation value of the Nusselt number. The Nusselt number is converged by CFD results to a relative error of 1.86% for the 10000 Reynolds number. According to CFD analysis, the increase in Reynolds number also increases the heat transfer coefficient. On the other hand, the temperature at the surface decreases by increasing the Reynolds number. As a result, the Reynolds number is a significant parameter in heat transfer performance. It is concluded that the Nusselt number is not affected by constant heat fluxes under constant thermos-physical properties and is compatible with the theory.

Keywords: Pipe Flow, Convective Heat Transfer, CFD, Turbulent Flow

[1] Research Assistant, Alanya Alaaddin Keykubat University, Department of Mechanical Engineering, Orcıd: 0000-0002-3285-6132
[2] MSc. Student, Alanya Alaaddin Keykubat University, Department of Mechanical Engineering, Orcıd: 0009-0008-5597-380X
[3] Dr., Alanya Alaaddin Keykubat University, Department of Mechanical Engineering, Orcıd: 0000-0001-6491-095X

ISBN: 978-625-372-170-1

INTRODUCTION

In the literature, various numerical studies were performed to assess the heat transfer performance of the turbulent flow. The CFD analysis is highly utilized in industry and engineering applications such as pipe flows and heat exchangers. These analyses are conducted using fluid mechanics and heat transfer by coupled analysis. The heat transfer mechanism varies according to laminar and turbulent flow. While the Nusselt number is constant for laminar flow, it is a function of Reynolds and Prandtl numbers for turbulent flow. Some related CFD studies are given below.

Turgut et al. studied a circular pipe's forced convection heat transfer characteristic. The steady-state turbulent flow is investigated with different baffle angles under constant wall heat flux, which is similar to our study. Different Reynolds numbers, Prandtle numbers, and baffle angles are used to compare heat transfer performance. They observed that the circle pipe with baffles provides a higher Nusselt number and friction factor according to the smooth circular pipe. They concluded that baffle angle, Reynolds, and Prandtle numbers play an important role in heat transfer performance. (Turgut and Kızılırmak, 2015: 1633-1648). In another study, (Tusar et al., 2018:715-722) carried out a computational fluid dynamic analysis to investigate the heat transfer and fluid flow performance in a three-dimensional twisted tube. The range of the Reynolds number is 3,642-21,857 in the airflow with a constant heat flux of 8,000 W/m'2. In the study, the parameters of Reynolds number, Prandtl number, and twist ratio are the changing variables. The results of the study showed that twisted tapes affect heat transfer performance. In a study, Tang et al. compared experimental and numerical convective heat transfer in two shapes of twisted spiral tubes: twisted tri-lobed tube (TTT) and twisted oval tube (TOT). In this study, Reynolds number varies from 8,000 to 21,000. Using computational fluid dynamics, they investigated the influence of different geometries on heat transfer performance and flow characteristics. They concluded that the geometry of TTT has better heat transfer performance. (Tang et al., 2015:523-541). Patro et al. conducted a numerical study using CFD to predict heat transfer characteristics in a pulsating turbulent flow in the pipe. They investigated the effect of Reynolds number pulsating frequency on heat transfer performance. The Reynolds number varies from 10,850 to 37,500. The local Nusselt number decreases along the pipe due to particle frequency and Reynolds number fluctuations. They concluded that the mean Nu value is inconsistent with different Reynolds numbers. (Patro et al., 2015:854-861)

In this study, the heat transfer performance of the turbulent flow is investigated by different Reynolds numbers and heat fluxes under constant thermophysical properties. Three different Reynolds numbers are used as 10,000, 20,000, and 30,000, with two different heat fluxes of 5,000 and 10,000. The heat transfer coefficient, skin friction coefficient, wall shear stress, and temperature distribution are investigated according to variable operating conditions. Numerical results are validated by a theoretical equation, which is the Dittus-Boelter correlation. As a result, the Reynolds number is an important parameter to enhance heat transfer performance; however, the heat flux is not a function of the Nusselt number. Therefore, there is no heat transfer enhancement by the heat flux.

MATERIALS AND METHOD

In this study, heat transfer performance is compared numerically and theoretically. Theoretical results are obtained using the Dittus-Boelter equation, and numerical results are computed by Fluent in ANSYS Student Version. The phases of the study are given below,

- Construction of the pipe geometry
- Generation of mesh and its validation
- Defining boundary conditions
- Governing equations
- Defining the numerical approaches and assumptions

Geometry and Generation of Mesh

Figure 1. Geometry for the pipe

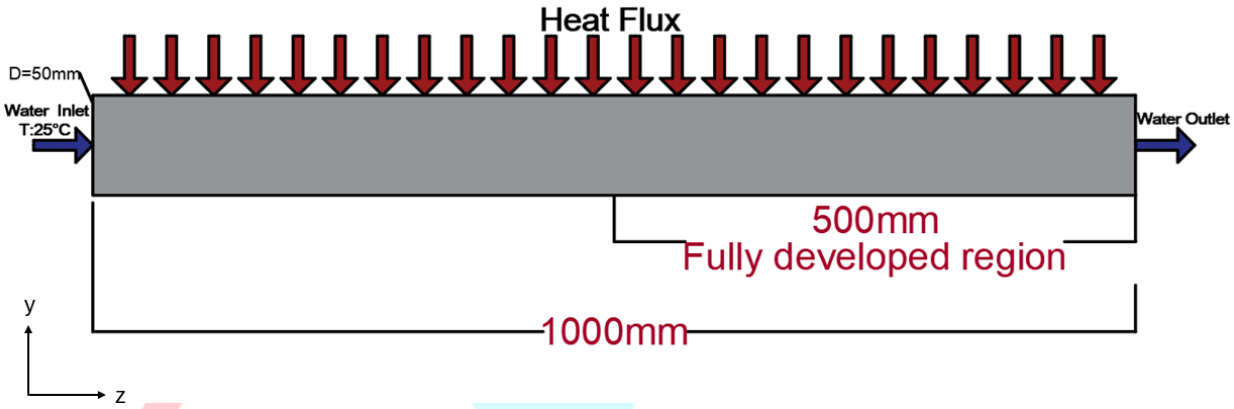


Figure 1 shows the geometry of the pipe. The length of the pipe is accepted as 1,000 mm, and the diameter (D) is 50 mm. The fluid flow is in the z-direction. The pipe length is 1,000 mm to ensure fully developed flow conditions because the diameter must be implemented ten times (Munson et al.,2013). The numerical analysis was conducted in a fully developed region, as seen in Figure 1.

The circular surface is divided into five parts to create the ideal mesh, and the hexa mesh structure was preferred. The front view of the ideal mesh and the rake constructed in the z-direction are given in Figure 2. The rake seen in Figure 2b is constructed to investigate the heat transfer parameters along the z-direction. The rake divides the pipe into 1,000 equal nodes.

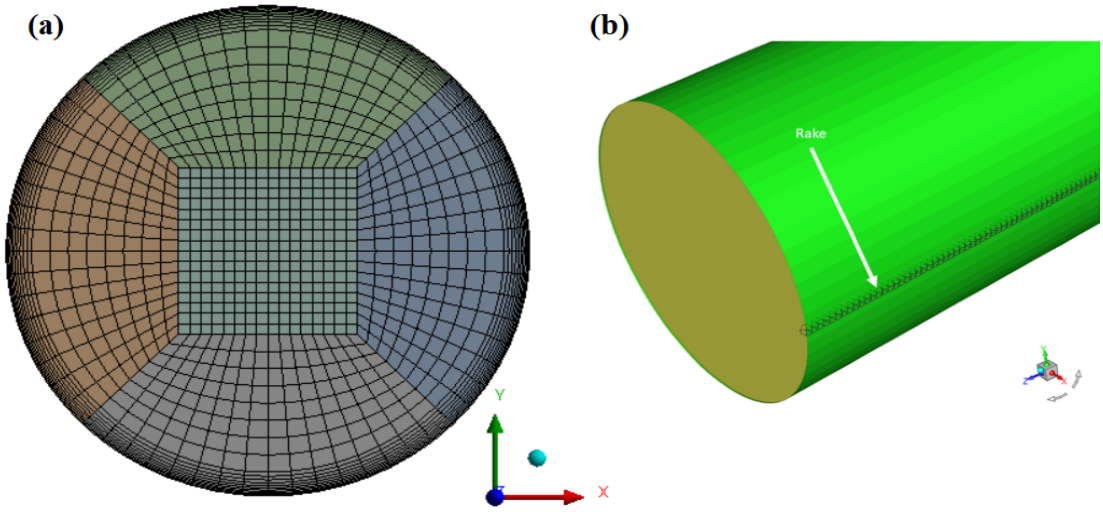


Figure 2. The front view of the mesh (a), the rake along the pipe (b).

The mesh is a vital part of the numerical analysis (Canbolat, 2023:1049-1060). The appropriate mesh is determined by comparing numerical and theoretical results. The conducted mesh study uses a Reynolds number of 10,000 and a heat flux of 10,000. Using these boundary conditions, the difference in the heat transfer coefficient between numerical and theoretical

results is 1.86%. Therefore, the sufficient element size and element number are determined as 1.5 mm and 704,000, respectively. The inflation implemented along the surface has 10 layers and a 1.2 growth rate.

Numerical Approach and Assumptions

The flow is steady, incompressible, fully developed, and fully turbulent. The no-slip boundary condition is implemented at the wall. The heat flux is constant and uniform at the surface of the pipe. The inlet temperature of the water is 298.15 K. There is no thickness at the surface during the numerical analysis. The thermophysical properties of the water at 298.15 K are given Table 1.

Table 1. Thermophysical properties of the saturated water

Density (ρ)	997.0	kg/m^3
Viscosity (μ)	0.891×10^{-3}	kg/m.s
Thermal Conductivity (*k*)	0.607	W/m.K
Specific Heat (c_p)	4180	J/kg.K

For numerical analysis, 6 cases were used, and all are tabulated below.

Table 2. Cases and their parameters.

Case Number	Reynolds Number	Heat Flux [W/m^2]
1	10,000	5,000
2	10,000	10,000
3	20,000	5,000
4	20,000	10,000
5	30,000	5,000
6	30,000	10,000

The Reynolds number is given in the Equation (1)

Where,

Consisting of density (ρ), characteristic length (D_h), velocity (V), and dynamic viscosity (μ), gives information about whether the flow is laminar, transient, or turbulent (Cengel and Cimbala, 2006).

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (1)$$

The Nusselt number is an important dimensionless number to investigate heat transfer performance, and it is given in Equation 2

Where,

h, D, and k are heat transfer coefficient, diameter, and thermal conductivity, respectively.

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (2)$$

The theoretical Nusselt number is calculated using the Dittus-Boelter equation given in Equation 3. The Nusselt number is a function of Reynolds (Re) and Prandtl (Pr) numbers, as seen in equation 3.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (3)$$

Equation 4 presents the conservation of mass.

Where,

u, v, and w are the velocity components in the x, y, and z directions.

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \quad (4)$$

Equations 5,6 and 7 present the momentum equations in the x, y, and z directions.

Where,

ρ_f, P and μ are density, pressure, and dynamic viscosity.

$$\rho_f\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+\mathrm{v}\frac{\partial u}{\partial y}+\mathrm{w}\frac{\partial u}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial x}+\mu\left(u\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\mathrm{v}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\mathrm{w}\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \quad (5)$$

$$\rho_f\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+\mathrm{v}\frac{\partial v}{\partial y}+\mathrm{w}\frac{\partial v}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial y}+\mu\left(u\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\mathrm{v}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\mathrm{w}\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \quad (6)$$

$$\rho_f\left(u\frac{\partial w}{\partial x}+\mathrm{v}\frac{\partial w}{\partial y}+\mathrm{w}\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial z}+\mu\left(u\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\mathrm{v}\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\mathrm{w}\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) \quad (7)$$

Equation 8 presents the energy equation.

Where,

ρ_f, c_p, and T are density, specific heat, and temperature, respectively.

$$\rho_f c_p\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+\mathrm{v}\frac{\partial T}{\partial y}+\mathrm{w}\frac{\partial T}{\partial z}\right)=\mathrm{k_f}\left(u\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\mathrm{v}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\mathrm{w}\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (8)$$

The SST k- ω turbulent model is used in numerical calculations. The equation of the SST k- ω model is as follows.

$$\frac{\partial(\rho \mathrm{k})}{\partial \mathrm{t}}+\frac{\partial(\rho \mathrm{k u_i})}{\partial \mathrm{x_i}}=\frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\left[\Gamma_k\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+G_k-Y_k+S_k \quad (9)$$

ρ, k and ω are density, turbulence kinetic energy, and specific dissipation rate, respectively. G_k, G_ω are the mean velocity gradients, ω is the production of turbulent kinetic energy due to generation, and S_k, S_ω values are user-defined source terms. The effective diffusivities of k and ω are given as Γ_k and Γ_w. Y_k and Y_ω are the turbulence-related distribution of k and ω. D_ω refers to the cross-diffusion term. (Canbolat, 2023:118-130).

The second-order upwind discretization is used to discretize pressure, momentum, turbulent dissipation rate, and turbulent kinetic energy. 10^{-4} was chosen for convergence criteria.

RESULTS AND DISCUSSION

In this study, which aims to observe the effect of Reynolds number and Heat fluxes on heat transfer performance, the fluid (saturated water) temperature at the pipe inlet is 298.15 K.

For all 6 cases, heat transfer coefficient, surface temperature, wall shear stress, skin friction factor, and Nusselt number values were obtained by using CFD. The variations of these parameters for three different Reynolds numbers and two different constant heat fluxes are determined along the rake and evaluated with graphs.

The variation of the heat transfer coefficient along the pipe is shown in Figure X for different cases. The largest value is obtained in case Re=30000 (Case 4 and Case 5), and the smallest is obtained in case Re=10000 (Case 1 and Case 2). The approximate values of the heat transfer coefficients for each case with different Reynolds numbers are as follows: 900 W/m^{2}K for Case 1 and Case 2, 1,500 W/m^{2}K for Case 3 and Case 4, 2,700 W/m^{2}K for Case 5 and Case 6. It is observed that the increasing Reynolds number also increases the heat transfer coefficient, and a similar result is noted in the literature (Bozorg et al., 2020:2598-2614). On the other hand, it is found that the heat transfer coefficient does not change for the cases where the Reynolds number is the same, but the heat flux is different.

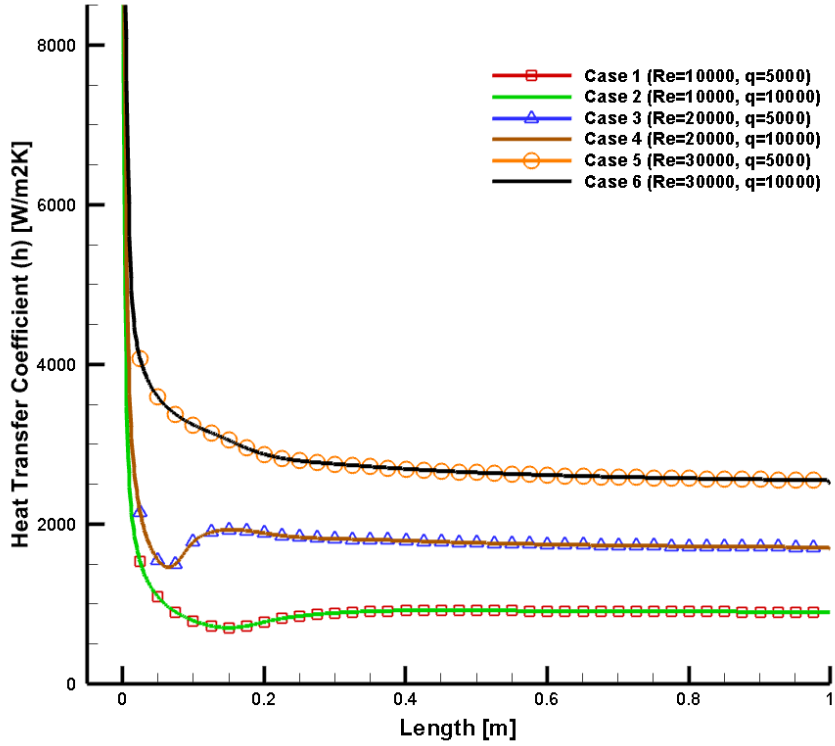


Figure 3. The variation of heat transfer coefficient along the pipe.

The temperatures measured at the surface of the pipe along the rake and their variations are shown in Figure 4. The surface temperatures vary with the Reynolds number and heat flux variation. The highest and lowest temperature values are obtained in Cases 2 and 5, respectively. 308.75 K is the highest surface temperature value, the Reynolds number is 20,000, and the heat flux is 10,000. The lowest surface temperature value of 299.90 K was obtained when the Reynolds number was 30,000 and the heat flux was 5,000. On the other hand, when the heat flux is the same, but the Reynolds numbers are different (Case 1, Case 3, Case 5 and Case 2, Case 4, Case 6), it is also found that the surface temperature increases with decreasing Reynolds number.

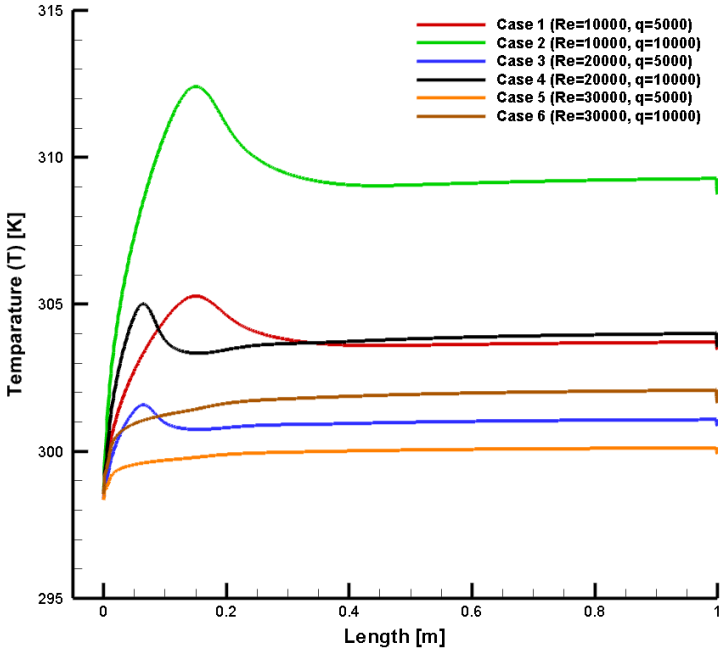


Figure 4. Variation of temperature along the pipe

The variation in heat flux does not affect wall shear stress values, while the increase in Reynolds number is directly proportional. The highest WSS value at the pipe outlet is obtained at 30,000 Reynolds number and is approximately 0.82 Pa. On the other hand, the smallest WSS value at the outlet is found at a Reynolds number of 10,000 and is almost 0.12 Pa. The velocity increases with increasing Reynolds number, and the wall shear stress value is largest at higher flow rates.

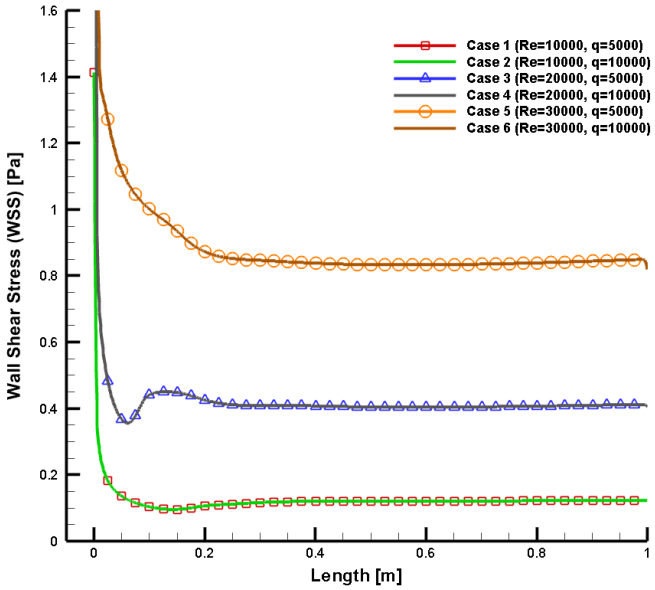


Figure 5. Variation of wall shear stress along the pipe

Figure 6 shows the change in the skin friction coefficient along the flow. The highest value is 1.34 at the outlet of Cases 5 and 6. With the increase in Reynolds number, the surface friction coefficient also increases. The skin friction coefficient does not change with the heat flux, as shown in Figure 6.

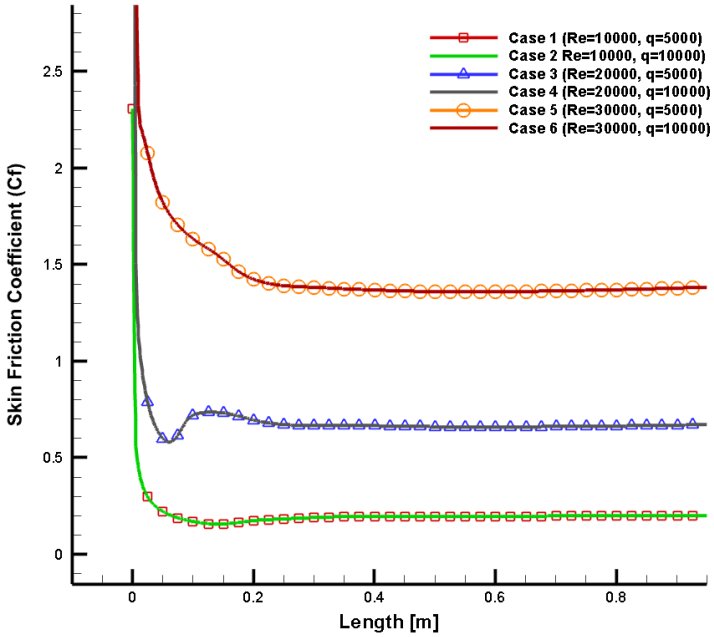


Figure 6. Variation of skin friction coefficient along the pipe

Figure 7 shows the variation of the Nusselt number along the pipe. While the highest Nu value is 4,120 at the outlet in cases 5 and 6, it is 1,478 in cases 1 and 2. Similar results are obtained for the Nusselt number as in the skin friction coefficient values. The highest heat transfer performance was obtained at 30,000 Reynolds in cases 5 and 6. Similar results were found in the literature by (Tusar et al., 2019:715-722).

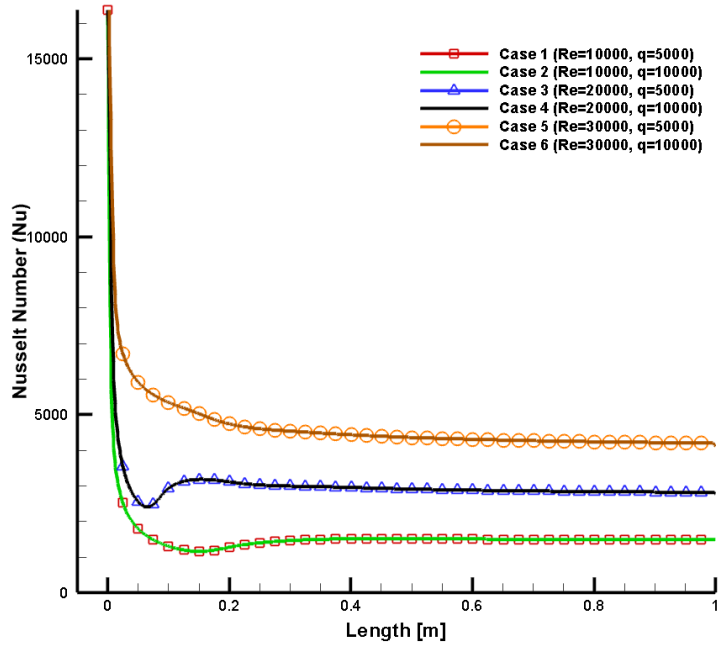


Figure 7. Variation of Nusselt number along the pipe

Table 3 shows the results of numerical and theoretical Nusselt numbers with relative errors. The theoretical Nusselt number is obtained by the Dittus-Boelter equation, and the numerical Nusselt number is obtained along the surface. The lowest relative error is observed in the 10,000 Reynolds number by 1.86%, and the relative error reaches 13.57% with an increase in Reynolds number. This is the reason for using the same mesh in all cases.

Table 3. *Relative error calculation.*

Case *Number* -	Reynold Number -	Heat Flux [W/m^2]	Theoretical Nusselt Number	Numerical Nusselt Number	Relative Error %
1	10,000	5,000	75.315	73.911	1.864
2	10,000	10,000	75.315	73.911	1.864
3	20,000	5,000	13.,13	139.05	6.04
4	20,000	10,000	131.13	139.05	6.04
5	30,000	5,000	181.4	206.02	13.57
6	30,000	10,000	181.4	206.02	13.57

CONCLUSION

In this study, a turbulent pipe flow is numerically studied and validated by theoretical results. The thermal performance is compared according to variations of Reynolds and Nusselt numbers. The heat transfer coefficient, temperature distribution, wall shear stress, skin friction coefficient, and Nusselt number are compared according to different operating conditions.

According to the findings, the following observations were obtained:

- When the heat transfer performance of the turbulent pipe flow assed for different operating conditions, the increase in Reynolds number increases the Nusselt number.
- It is shown that the Nusselt number is not affected by heat flux appropriate by the theoretical equation.
- The heat transfer coefficient, temperature distribution, wall shear stress, skin friction coefficient, and Nusselt number values are higher in the developing region due to developing flow effects.

Numerical and theoretical results are compatible with each other with a relative error of 1.864%.

ISBN: 978-625-372-170-1

REFERENCES

A. P. R. Bruce Roy Munson, T H Okiishi, Wade W Huebsch, Fundamentals of fluid mechanics. Hoboken, NJ: J. Wiley & Sons, 2013.

Bozorg, M. V., Doranehgard, M. H., Hong, K., & Xiong, Q. (2020). CFD study of heat transfer and fluid flow in a parabolic trough solar receiver with internal annular porous structure and synthetic oil–Al2O3 nanofluid. Renewable Energy, 145, 2598-2614.

Canbolat, G. (2023). Analysis of One-Way Fluid-Structure Interactions for a Straight Pipe under Different Thermal and Pressure Conditions. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, *38*(4), 1049-1060.

Canbolat, G. A Numerical Study on Cross Flow Heat Exchanger with Different Reynolds (Re) Numbers. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, *5*(3), 118-130.

Çengel, Y.A. and Cimbala, J.M. (2006), Fluid Mechanics Fundamentals and Applications, HillHigher Education, Boston.

Patro, P., Gupta, R., & Khuntia, A. K. (2015). Numerical study for the prediction of heat transfer in a pulsating turbulent flow in a pipe. *Procedia Engineering*, *127*, 854-861.

Tang, X., Dai, X., & Zhu, D. (2015). Experimental and numerical investigation of convective heat transfer and fluid flow in twisted spiral tube. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *90*, 523-541.

Turgut, O., & Kizilirmak, E. (2015). Effects of Reynolds number, baffle angle, and baffle distance on three-dimensional turbulent flow and heat transfer in a circular pipe. *Thermal Science*, *19*(5), 1633-1648.

Tusar, M., Ahmed, K., Bhuiya, M., Bhowmik, P., Rasul, M., & Ashwath, N. (2019). CFD study of heat transfer enhancement and fluid flow characteristics of laminar flow through tube with helical screw tape insert. *Energy Procedia*, *160*, 699-706.

Tusar, M., Noman, A., Islam, M., Yarlagadda, P., & Salam, B. (2019). CFD study of heat transfer enhancement and fluid flow characteristics of turbulent flow through tube with twisted tape inserts. Energy Procedia, 160, 715-722.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Delta Bağlantı Fırçasız Motor için Alan Odaklı Kontrol kullanan Sistemin FPGA Tasarımı ve Gerçeklemesi

Mustafa Emre Öncüler[1]
Coşku Kasnakoğlu[2]

Abstract

This paper presents FPGA(Field Programmable Gate Array) design and implementation method of system using FOC (Field Oriented Control) for delta connection BLDC (BrushLess Direct Current) motor. Brushless direct current motors are electro-mechanical units commonly used in daily life, industry, military and space applications. FOC method is used in applications that need constant torque of these motor types. FOC algorithm can use various PWM (Pulse With Modulation) methods while controlling BLDC motors. SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) is one of the most common methods for 3 phase inverter applications. FPGA's that provide timewise certainty, high reliability, high speed performance and process simultaneous operation are intelligent units useful for motor applications. In this work, it was used Mojo V3 development board that had an FPGA from Xilinx Spartan-6 family. Mojo V3 development board can be used easily because programmer connecting with usb to computer is provided on board. FPGA was designed and implemented by using VHDL language through design flexibility and robustness. While implemention of FPGA, UART module, Telemetry/Telecommand module, FOC calculation module, PID controller module, Speed calculation module, SPI (Serial Peripheral Interface) communication module, SPWM module are designed by VHDL. As the result of this work has been compared delta connection brushless motor and star connection brushless motor difference when FPGA implements FOC method.

Keywords: FPGA, motor control, BLDC, delta connection, FOC.

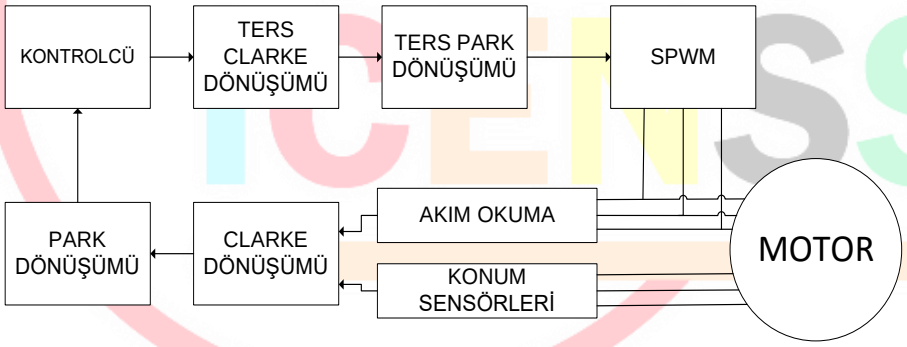
[1] Lisans, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orcıd:
[2] Prof. Dr., TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orcıd:

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Fırçasız doğru akım motorları günlük hayatta, endüstride, askeri ve uzay uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan elektromekanik birimlerdir. Bu motor çeşitlerinin sabit tork gerektiren uygulamalarında alan odaklı kontrol (FOC - Field Oriented Control) yöntemi yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir [1,2]. Alan odaklı kontrol yöntemi motor kontrol uygulamalarında olduğu kadar enerji üretim sistemlerinde de kullanılan bir yöntemdir [3]. Alan odaklı kontrol yönteminde gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için motor konumu ve faz akımlarının bilinmesi gereklidir. Hem yüksek hızda hesaplama hem de algoritma esnekliği göz önüne alındığında FPGA'ler öne çıkmaktadır. FPGA'ler zamansal kesinlik, yüksek güvenilirlik ve yüksek hız performansı sağlayan ve eşzamanlı işlem yapabilme yeteneğine sahip akıllı birimlerdir [4-6]. Bu çalışmada Xilinx Spartan-6 FPGA'i bulunan Mojo V3 geliştirme kartı kullanılması hem tekraren hem de bilgisayar arayüzü ile kolay programlanabilir olduğundan uygun bulunmuştur. FPGA, temel seviyede tasarım yapılması amacı ile VHDL programlama dili kullanılmıştır. Bu çalışmanın ana katkısı FPGA kullanan bir sistemde fırçasız motor kontrolü gerçeklenirken motorun delta bağlantı olması ile yıldız bağlantı olması karşılaştırılarak uygulamadaki farkların belirtilmesidir.

Bu çalışmadaki alan odaklı kontrol uygulamasında motor fazlarındaki akımlar ölçülür. Motor konumu manyetik sensörler ile algılanır. Ölçülen akımlar, motor konumu ile birlikte yapılan hesaplamalarla oluşan değer kontrolcüye aktarılır. Kontrolcüye verilen referansa göre kontrolcüden çıkan değer yapılacak işlemlerle motor fazlarına uygulanacak voltaj değerleri oluşturulur ve darbe genişliği modülasyonu (PWM- Pulse Width Modulation) [7] ile fazlara uygulanır. Sistemin genel gösterimi Şekil 1'de görülebilir.



Şekil 51 Sistem Şeması

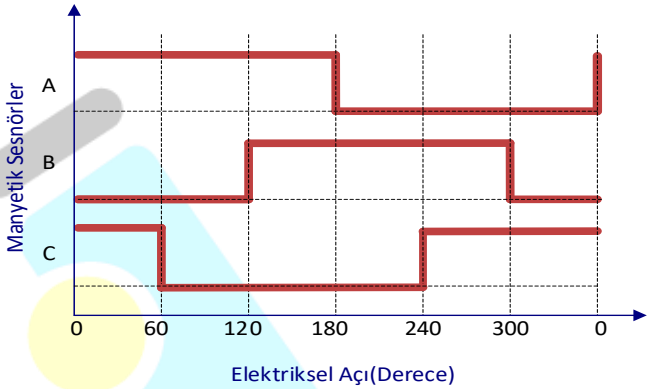
YÖNTEM

Oluşturulan sistem algılayıcı okuma, hız hesaplama, Alan odaklı kontrol hesaplamaları, açı hesaplama, dijital sinyal kenar algılama, darbe üreteci, sinüs darbe genişliği modülasyonu (SPWM) [8-10], haberleşme, haberleşme veri uyarlama ve kontrolcü bölümlerinden oluşur.

Motor hızı manyetik algılayıcılar ile ölçülür. Motor kutup sayısına göre bir tur döndüğünde belirli sayıda darbe sinyali oluşur. Manyetik algılayıcılar motor fazlarının bulunduğu konumda bulunurlar ve motor mıknatıslarının üzerinden geçmesi ile sinyal oluştururlar. Aynı anda manyetik algılayıcılardan ölçüm alındığında motor fazlarında olduğu gibi aralarında 120 derecelik bir faz farkı olduğu görülür. Oluşan sinyaller Şekil 1'de

gösterilmiştir. Şekilde gösterilen sinyal şekline göre motorun elektriksel konumu 60 derecelik hassasiyet ile bulunabilmektedir.

Açı hesaplama bölümünde okunan manyetik algılayıcı verileri alınarak elektriksel derece belirlenir. Bununla birlikte herhangi bir manyetik algılayıcıdan gelen sinyalin yükselen ve alçalan kenar arasındaki süre hesaplanır. Bu süre ile motorun mekanik hızı belirlenir. Buradan yola çıkarak motorun elektriksel açısı motor kapasitesine bağlı bir sapma içerisinde hesaplanır.



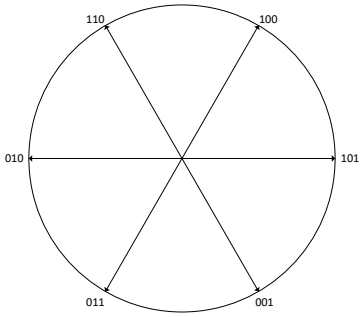
Şekil 52 Manyetik Algılayıcı Sinyalleri

Darbe üreteci bölümü ADC (Analog Digital Converter- Analog Dijital Dönüştürücü) saat sinyali, UART haberleşme protokolü için saat sinyali gibi sinyaller üretmek için kullanılan bir bölümdür.

Haberleşme bölümü UART haberleşmesi ve bilgisayar ara yüzü için paketleme işlevlerini yapan bölümlerden oluşur. UART protokolü 8 bitlik veri büyüklükleri ile haberleşme yapar. Saniyede 115200 bitlik bir haberleşme hızı ile çalışacak bölüm sisteme eklenmiştir. Veri paketleme bölümü ise sistemde kullanılan en büyük sayı (2^32) temel alınarak kurulmuştur. Paketler 2 byte şifre 1 byte adres ve 4 byte bilgi kısmından oluşur. Bu paket şekli gönderilen ve alınan veriler için aynıdır.

Alan odaklı kontrol bölümü ADC ile motor akımlarının ölçülmesi adımı ile başlar. Kullanılan ADC 12 bit çözünürlüğe sahip bir ADC'dir. SPI (Serial Peripheral Interface- Seri çevresel ara yüz) ADC yongası ile haberleşmek için kullanılır. Ölçülen akımlar alan odaklı kontrol yönteminde kullanılan dönüşüm hesaplamalarında kullanılır. 3 faz 120 derecelik faz farkı olan akım sisteminden önce 2 bileşenli 90 derece faz farkı olan sisteme geçiş yapılır, sonra sabit koordinat sisteminden döner koordinat sistemine geçiş yapılır. Döner koordinat sistemi için hesaplanmış değer kontrolcü bölüme gönderilir. Kontrolcü bölümü hesaplanan değer ile istenilen değeri karşılaştırıp bir hata değeri oluşturur. Oluşan hata değerine göre artı ya da eksi yönde sisteme girdi oluşturur. Kontrolcünün çıktısı alan odaklı kontrol bölümünde hesaplandığı gibi döner koordinat sistemi temelinde oluşan bir değerdir. Bu değer ters dönüşüm formülleri uygulanarak sırası ile sabit koordinat 90 derece faz farkı olan sisteme ve sabit koordinat sisteminde 120 derecelik faz farkı bulunan 3 sinyale dönüştürülür.

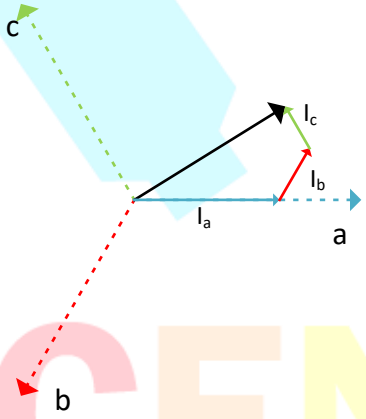
Alan odaklı kontrol bölümünde oluşturulan 3 sinyal motora uygulanacak sinyallerin vektör boylarını oluşturur. Sinüs darbe genişliği modülasyonu bölümü oluşan vektör büyüklüklerini alır ve motor fazlarındaki vektörleri oluşturur. Motor fazlarının vektörleri oluşturulurken rotorun bulunduğu konum kullanılır. Manyetik algılayıcı verilerinden gelen 6 farklı durum için 6 sektör bulunur. Tablo 1'de oluşan sinyaller ile sektör bilgisi görülebilir. Oluşan sinyaller 60 derecelik bir hassasiyet ile kontrol sağlarken açı kestirim yöntemi ile ara değerler 2 vektörün birleşimi olarak oluşturulabilir. Bu durum Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 53 Manyetik algılayıcıların sektörel gösterimi

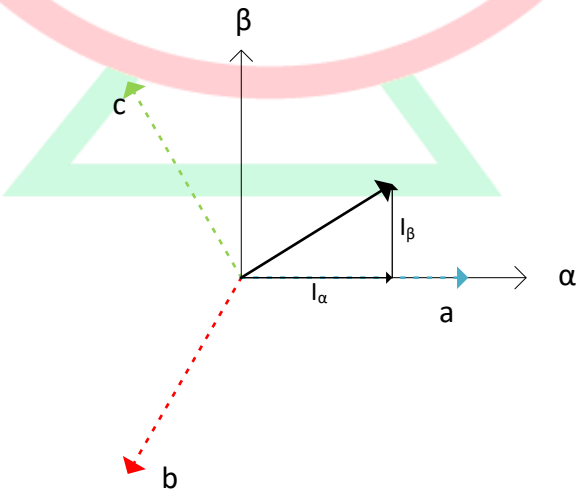
Alan Odaklı Kontrol yöntemi açısal olarak değişen vektörün dönel eksende oluşturulacak sabit vektör oluşturulması temeline dayanır. Alan odaklı kontrolün adımları aşağıdaki gibi açıklanabilir;

Fırçasız doğru akım motorlarında aralarında 120 derece faz farkı bulunan 3 sarım bulunur. İstenilen alan vektörünü oluşturmak için 120 derecelik faz farkı bulunan temel vektörler kullanılır. Bu temel vektörlerin sayısal birimleri toplamı sıfır olmalıdır (1). Temel vektörler kullanılarak oluşturulan bileşke vektör Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 54 – 3 temel bileşenli bileşke vektör gösterimi

Şekil 4'te gösterilen bileşke vektör 2 eksenli 90 derece faz farklı koordinat sisteminde ifade edilebilir. 90 dereceli koordinat sistemine geçişte kullanılan dönüşüme Clarke dönüşümü denir (2)(3). 2 temel vektör ile oluşturulan bileşke vektör Şekil 5'te gösterilmiştir.



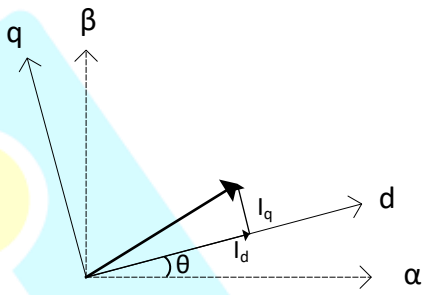
Şekil 55 – 2 temel bileşenli bileşke vektör gösterimi

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (1)$$

$$I_\alpha = 3 \times I_a / 2 \quad (2)$$

$$I_\beta = \frac{\sqrt{3}}{2} \times (2I_b + I_a) \quad (3)$$

Clarke dönüşümü ile sabit eksende 3 temel bileşenli sistemden 2 temel bileşenli sisteme geçildi. Elde ettiğimiz ifade açıya bağlı olarak değişmektedir. Sonraki aşamada yapılacak dönüşümde elde edilen 2 temel bileşenli sabit eksen sistemi 2 temel bileşenli döner eksen sistemine dönüştürülecektir. Yapılan bu dönüşüme Park dönüşümü denir. (4)(5)



Şekil 56 – Sabit eksenli koordinat sisteminden döner eksenli koordinat sistemine geçiş gösterimi

$$I_d = I_\alpha \cos(\theta) + I_\beta \sin(\theta) \quad (4)$$

$$I_q = -I_\alpha \sin(\theta) + I_\beta \cos(\theta) \quad (5)$$

Elde edilen ifade dönel eksen üzerinde oluşturulan vektöre ait olduğu için hesaplamalar sonucu varılan değer açı karşısında sabit kalmalıdır.

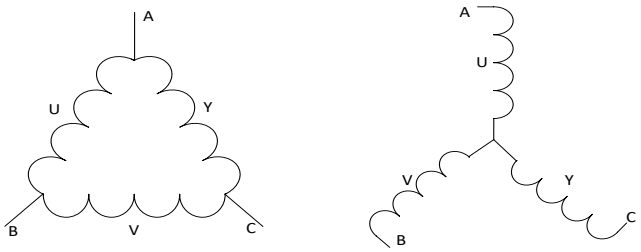
I_q ve I_d değerleri kontrolcü kullanılarak referans değeri ile karşılaştırılıp kontrolcü katsayılarına göre elde edilen sonuç sisteme verilerek 3 faz hesabı için gerekli değer oluşturulur.

Oluşan referans değeri ters Park ve ters Clarke dönüşümü yapılarak fırçasız motor için gerekli 3 faz değerlerine dönüştürülür.

Sinüs darbe genişliği modülasyonu yöntemi ters Park ve ters Clarke dönüşümü kullanılarak oluşturulan V_α, V_b ve V_c değerlerini oranlayarak sürelere dönüştürür ve anahtar devrelerine uygular. Anahtar değerleri sürelere bağlı olarak fazlara voltaj uygular ve hesaplanan voltajlar fazlar üzerinde oluşur.

KARŞILAŞTIRMA

Sinüs darbe genişliği modülasyonu yöntemi için FPGA gerçeklemesi yapılırken fırçasız motorun delta bağlantı olması ile yıldız bağlantı olması arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar hem verilerin okunması sırasında hem de motora uygulanan vektörlerin uygulaması sırasında oluşmaktadır. Fırçasız motorların delta ve yıldız bağlantı şekilleri Şekil 7 de gösterilmiştir. A, B, C noktaları motor süren transistörlere bağlantı noktalarını belirtmektedir. U, V, Y noktaları ise enerjilendirilen faz sarımlarını belirtmektedir.



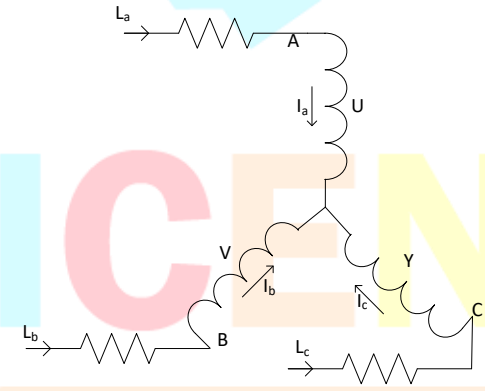
a) b)

Şekil 57 a) Delta bağlantı motor, b) Yıldız bağlantı motor

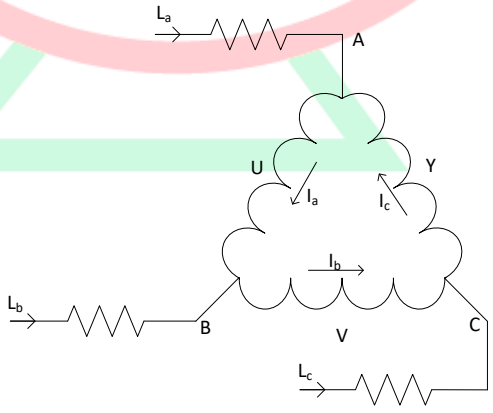
Akım okuma sırasında oluşan farklılık faz akımları ile hat akımları arasındaki farktan kaynaklanır. Şekil 8 ve 9'da hat akımları $L_{a,b,c}$ olarak, faz akımları $I_{a,b,c}$ olarak belirtilmiştir. Yıldız bağlantıda Şekil 8'de görüleceği gibi hat akımları ilgili faz akımlarına eşittir ($L_{a,b,c} = I_{a,b,c}$).

Delta bağlantı şeklinde hat akımı L_a faz akımı I_a'ya eşit değildir. Hat akımı L_a açık olan anahtarlama transistörlerinin durumuna göre en az 2 bileşene sahiptir.

Hattın S voltajı verilerek enerjilendirilmesi 1 durumu, toprak durumuna bağlanması 0 durumu olarak verilecektir. Örneğin yıldız bağlantıda A noktası 1 durumuna B noktası 0 durumuna alındığında $L_a = I_a = -L_b = -I_b$ olmaktadır. Delta bağlantıda aynı durum göz önüne alındığında $L_a = -L_b = I_a - I_c$ olarak görülmektedir.



Şekil 58 Yıldız bağlantılı motorun akım tanımları



Şekil 59 Delta bağlantılı motorun akım tanımları

Delta bağlantı için hat akımları ve faz akımları arasındaki ilişki aşağıdaki gibi genelleştirilebilir.

$$I_a = \frac{1}{3} \times (L_a - L_b) \quad (6)$$

$$I_b = \frac{1}{3} \times (L_b - L_c) \quad (7)$$

$$I_c = \frac{1}{3} \times (L_c - L_a) \quad (8)$$

Akımlardan farklı olarak fazlara uygulanabilen voltajlar delta ve yıldız bağlantıda farklılık gösterir. A hattı 1 olarak ve B hattı 0 olarak verildiğinde delta bağlantıda U fazına +S voltajı, V fazına -S/2 voltajı, Y fazına -S/2 voltajı uygulanmış olur. Yıldız bağlantıda ise U fazına +S/2, V fazına -S/2, Y fazına 0 voltajı uygulanmış olur. Bununla alakalı olarak durumlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 18 Anahtarlama durumlarına göre Delta motor ve Yıldız motor üzerinde oluşan voltajlar

			Delta Motor			Yıldız Motor		
A	B	C	U	V	Y	U	V	Y
1	0	-	+S	-S/2	-S/2	+S/2	-S/2	0
0	1	-	-S/2	+S	-S/2	-S/2	+S/2	0
1	-	0	+S	-S/2	-S/2	+S/2	0	-S/2
0	-	1	-S/2	-S/2	+S	-S/2	0	+S/2
-	1	0	-S/2	+S	-S/2	0	+S/2	-S/2
-	0	1	-S/2	-S/2	+S	0	-S/2	+S/2
0	0	1	0	-S	+S	-S/3	-S/3	+2S/3
0	1	0	-S	+S	0	-S/3	+2S/3	-S/3
0	1	1	-S	0	+S	-2S/3	+S/3	+S/3
1	0	0	+S	0	-S	+2S/3	-S/3	-S/3
1	0	1	+S	-S	0	+S/3	-2S/3	+S/3
1	1	0	0	+S	-S	+S/3	+S/3	-2S/3

DOĞRULAMA YÖNTEMİ

Doğrulama yöntemi olarak Xilinx markasının Spartan-6 ürünlerini programlamak için kullanılan Xilinx ISE programı ile kullanılan Isim benzetim programı kullanılır. Tasarımı yapılan FPGA konfigürasyonu için uygun girdi sinyallerini içeren test modülü yazılıp aşamalı olarak formül çıktıları gözlenir. Bu test modülünün çıktıları incelenirken Microsoft Excel programı ile oluşturulan değerler temel alınır. Yapılan değer karşılaştırması için senaryo şu şekildedir. Excel kullanılarak teori matematiksel olarak doğrulanır. Aralarında 120 derece faz farkı bulunan 3 adet sinüs sinyali oluşturulur. Sistem tanımı bölümünde verilen formüller sırası ile uygulanarak önce aralarında 90 derece faz farkı bulunan 2 sinüs sinyali oluşturulur. Bu sinyaller sonraki adımda sabit değerli 2 sinyal oluşturmaktadır. Oluşan sinyaller ters dönüşüm formülleri uygulanarak sırasıyla 90 derecelik faz farkı bulunan 2 sinüs sinyali ve 120 derece faz farkı bulunan 3 sinüs sinyali oluşturulur. Bu aşamalardan geçerken fazların sırası ve açı hesabı doğru olmalıdır aksi takdirde aşamalarda elde edilen sonuçlar teoriye uymaz. Excel programı üzerinde yapılan doğrulama test modülü kullanılarak FPGA üzerinde gerçeklenir. Excel ve benzetim programında FPGA modüllerinin ürettiği sinyallerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak doğrulama yapılır.

SONUÇLAR

Alan odaklı kontrol, motor kontrol yöntemleri arasında sabit tork ihtiyacı bulunan sistemlerde kullanılan en verimli yöntemlerden biridir. Yüksek hız ve zamansal kesinlik gerekliliği bulunan uygulama alanlarında FPGA kullanılması, hedefe en yakın sonucu sunmaktadır. Bu çalışmada fırçasız doğru akım motoru üzerinde alan odaklı kontrol

yönteminin FPGA gerçeklemesi yapılırken kullanılan motorun bağlantı şeklinin uygulama üzerinde oluşturacağı farklılıklar göz önüne alınmıştır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKLAR

1. (Zambada, 2007)
2. (Liu, Chau, Lee, & Song, 2021)
3. (Khatab, 2024)
4. (M. Kvas, 2012)
5. (Z. Jin, 2021)
6. (K. Shi, 2013)
7. (Z. Yu, 1997)
8. (Aihsan, 2020)
9. (H.w. Van der Broeck, 1988)
10. (Holtz, 1994)

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Design and Optimisation of Nanomaterials with Artificial Intelligence

Musafa KALAY[1]

Abstract

This study focuses on the design and optimisation of nanomaterials using artificial intelligence and deep learning techniques as well as traditional materials science methods. Nanomaterials are materials produced by nanotechnology and generally have dimensions in the nanometre range. With the advancement of nanotechnology, nanoscale products are spreading from electronics to healthcare products and pharmaceuticals, initiating a radical change in the world order. The properties of these materials are determined by many factors, ranging from their chemical composition to their crystal structure and surface morphology. These properties are critical in determining the performance of materials. Traditionally, the design and synthesis of nanomaterials has been carried out through experimental studies. However, this process is quite time-consuming and costly. With the introduction of artificial intelligence and deep learning techniques, this process can be made more efficient. Artificial intelligence and deep learning algorithms can identify complex relationships and recognise patterns based on large amounts of data. This enables them to analyse and optimise the relationships between nanomaterial properties and synthesis conditions. This area of research has great potential in materials science and can play an important role in the discovery and design of next-generation materials. It can also contribute to the dissemination of nanomaterials to a wider range of applications, enabling the emergence of innovative solutions in many fields, from electronics to biomedicine. To this end, the results of previous studies have been evaluated, analysing the advantages of these techniques and the shortcomings of existing methods.

Keywords: Nanomaterials, Nanotechnology, Artificial Intelligence, Deep Learning

[1] Dr., Kayseri University, Mustafa ÇIKRIKÇIOĞLU Vocational School, Department of Electricity and Energy, Orcıd: 0000-0002-3865-980X

ISBN: 978-625-372-170-1

1. Giriş ve Literatür Taraması

Nanoteknoloji, atomik veya moleküler ölçekte materyallerin manipüle edilmesi ve kontrol edilmesi yoluyla yeni özelliklerin tasarlanması, geliştirilmesi ve uygulanmasıyla ilgilenen bir alanı ifade eder (Xie vd., 2020). Genellikle nanometre ölçeğinde çalışan, yani 1 ila 100 nanometre arasındaki boyutlarda işlem gören materyalleri ve sistemleri içerir (Tao vd., 2021). Nanoteknoloji, farklı disiplinlerden, özellikle fizik, kimya, mühendislik ve biyoloji gibi alanlardan gelen bilgilerin birleşimini kullanarak nanomateryallerin özelliklerini anlamak ve kontrol etmek için çalışır (Nette & Howes & deMello, 2020; Siavashy vd., 2021; Kwon vd., 2021). Bu teknoloji, elektronikten ilaç teslimatına, malzeme biliminden tıbbi cihazlara kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir (Leem vd., 2020).

Nanoteknolojinin ilerlemesiyle birlikte, nanoölçekte üretilen ürünler, elektronikten sağlık ürünlerine ve ilaçlara kadar geniş bir yelpazeye yayılarak dünya düzeninde köklü bir değişim başlatmaktadır. Ancak günümüzde, malzeme keşfi hala büyük ölçüde deneme-yanılma sürecine dayanmaktadır. Nanomateryallerin tasarımı ve optimizasyonu, malzeme bilimi ve mühendisliğindeki önemli bir araştırma alanıdır. Geleneksel yöntemlerle bu süreçlerin yönetilmesi genellikle zaman alıcı ve maliyetlidir (Xie vd., 2020). Bir teknolojik uygulama için uygun bir malzemenin bulunması yıllarca sürebilir ve bu malzemenin ticarileştirilmesi için gerekli optimize edilme süreci daha da uzun olabilir (Jain vd., 2013). Hangi malzemelere odaklanılacağı ve hangi deneylerin yapılacağı konusunda bilinçli seçimler yapmak için gerekli verilerin genellikle eksik olması da bu süreci uzatmaktadır (Jain vd., 2013). Bu uzun araştırma sürecinin ana nedenlerinden biri, malzeme tasarımının karmaşık ve çok boyutlu bir optimizasyon sorunu olmasıdır (Jain vd., 2013). Kimyasal ve mikroyapısal serbestlik derecelerinin etkileşimi, kusurlar, katı çözeltiler ve çok bileşenli bileşikler söz konusu olduğunda, mevcut son teknoloji araçlarla çözülemeyecek kadar büyük büyük bir karmaşıklık getirmektedir (Xue vd., 2016). Ancak, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi yenilikçi tekniklerin kullanımı, nanomateryal tasarımını ve optimizasyonunu daha verimli hale getirmekte ve bu alanda önemli bir devrim yaratmaktadır (Kwon vd., 2021; Leem vd., 2020). Örneğin, bir araştırmacı belirli bir uygulama için belirli özelliklere sahip bir nanomateryal tasarlamak istiyorsa, yapay zeka algoritmaları kullanılarak bu özelliklere sahip malzemelerin özelliklerini ve sentez koşullarını tahmin edilebilir. Bu da deneysel çalışmaların sayısını azaltabilir ve malzeme tasarım sürecini hızlandırabilir. Bu nedenle, gelecek deneyleri yönlendirebilecek esnek bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır. Yani, potansiyel olarak en iyi özelliklere sahip olan malzemeleri belirlemek için daha az örnekleme noktası ve daha fazla belirsizliğin olabileceği, bir sonraki test için en uygun malzeme seçimlerini yapan uyarlanabilir bir prosedüre ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yaklaşımın yeniliği, belirsizliklerden faydalanarak ve deneylerden elde edilen geri bildirimlerle tekrarlanan bir döngü içinde, şimdiye kadar en iyi malzemeden beklenen gelişmeyi en üst seviyeye çıkararak deneysel ölçümler için bir sonraki malzemenin seçimi için sağlam, yönlendirilmiş bir temel oluşturmaktadır.

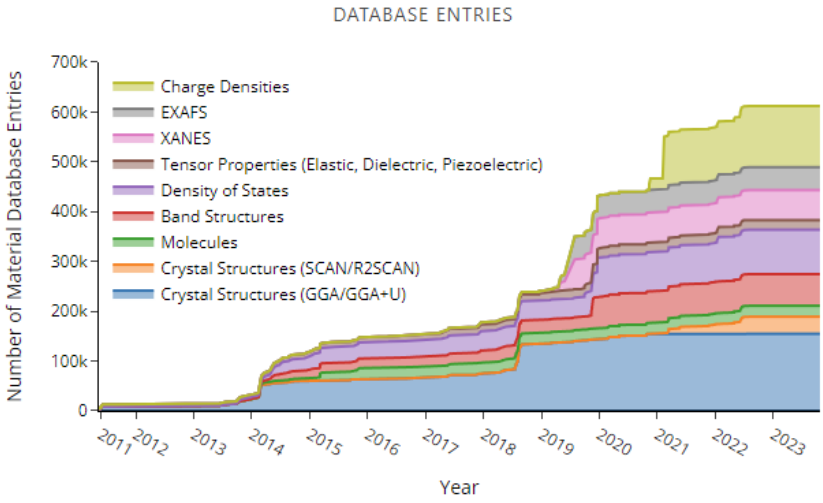
Günümüzde, derin öğrenme tabanlı tasarım ve optimizasyon yaklaşımları, yapay sinir ağlarının karmaşık tasarım problemleriyle başa çıkmak için eğitildiği, özellikle gelişmiş nanofotonik (Hegde, 2020; Ma vd., 2021) ve elektromanyetik cihazlardaki yapısal karmaşıklığı ve artan serbestlik derecelerini ele alan bir alandır. Eğitilmiş sinir ağları, optik ve elektromanyetik tepkileri hızlı bir şekilde tahmin ederek karmaşık üç boyutlu yapıları değerlendirmek için kullanılabilir (Wiecha & Muskens, 2019). Bu yaklaşımlar, ölçüm verilerinin hızlı bir şekilde yorumlanması için sinir ağlarının yerleştirilmesi ve yeniden

yapılandırılabilir elemanlara sahip ölçüm dizilerinin tasarımı ile birlikte akıllı cihazların tasarımını mümkün kılmaktadır (Del Hougne vd., 2020). Son zamanlarda sinir ağları, nanopartiküller (Peurifoy vd., 2018), çok katmanlı filmler (Liu vd., 2018) dahil olmak üzere istenen optik tepkileri sergileyen çeşitli nanoyapıların tasarımında büyük potansiyel göstermiştir (Del Hougne vd., 2020).

Son zamanlarda mevcut deneysel veri miktarındaki artış nedeniyle, büyük veri tabanları artık malzemelerin önemli özellikleri hakkında derinlemesine bilgi içermektedir. Bu bilgilerin makine öğrenimi çözümleriyle birlikte kullanılması, malzemelerin üretim sürecini ve verimliliğini artırabilir (Stergiou vd., 2023). Veri madenciliği ve yapay zekanın sürekli büyümesi nedeniyle yeni malzemelerin belirlenmesine yönelik deneme yanılma gibi geleneksel teknikler yerini yeni tekniklere bırakabilir (Wei vd., 2019). Deneyler ve hesaplamalı simülasyonların bir sonucu olarak veri kullanılabilirliği artarken, hızlı bilgisayar gelişimi ve makine öğrenimi gibi algoritmalar, veri odaklı zorlukların üstesinden gelmek için güçlü araçlar olarak giderek daha fazla kabul görmektedir (Stergiou vd., 2023). Malzeme özelliklerinin tahmini, tasarımı, karakterizasyonu ve bilgi çıkarımı, makine öğreniminin kullanıldığı uygulama alanları arasındadır. Dielektrik polimerler (Mannodi-Kanakkithodi vd., 2016), süper iletken malzemelerin kritik sıcaklıkları (Stanev vd., 2018), kristal yapılar (Faber vd., 2016), perovskitler (Pilania vd., 2016) ve nanoyapılar (Malkiel vd., 2018) makine öğrenimi kullanılarak büyük bir doğrulukla tahmin edilmiştir.

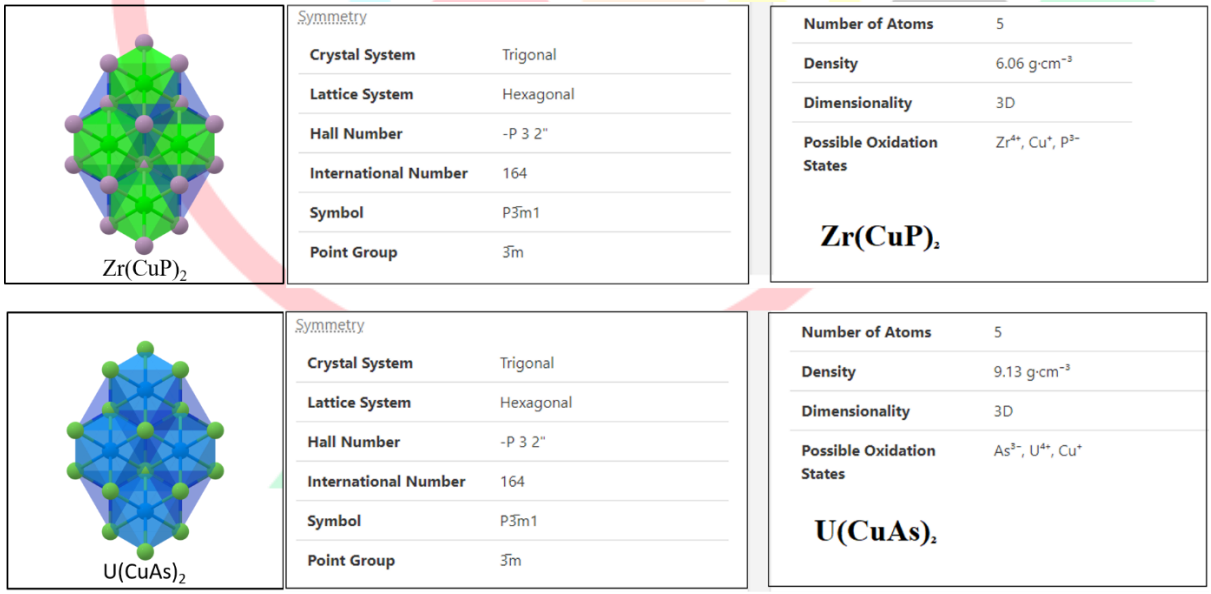
Bu çalışmanın amacı, literatürdeki yapay zeka ve makine öğrenmesinin nanomateryal tasarımı ve optimizasyonundaki rolünü incelemektir. Bu amaçla, önceki çalışmaların sonuçlarını değerlendirerek, bu tekniklerin avantajlarını ve mevcut yöntemlerin eksikliklerini analiz edeceğiz. Ayrıca, bu tekniklerin gelecekteki potansiyel uygulamalarını tartışacak ve alanındaki gelecek çalışmalar için önerilerde bulunacağız. Bu çalışma, nanomateryal tasarımı ve optimizasyonunda yapay zeka ve makine öğrenmesinin önemini anlamak için bir temel sağlayacaktır.

Literatürde Malzeme inovasyonunu hızlandırmak için bir malzeme genomu yaklaşımı olan Materials Project ilk adımda göze çarpmaktadır (National Science and Technology Council (US). , 2011). Bu açık veri setine etkileşimli keşif ve veri madenciliği için birden fazla kanaldan erişim sağlanabilmektedir. Materials Project ayrıca sağlam, sofistike malzeme analizlerini geliştirmek için açık kaynaklı platformlar oluşturmayı hedeflemektedir. Gelecekteki çalışmaların, kullanıcıların yeni malzemeleri hızlı prototiplemesine imkân tanımasına ve araştırmacılara uygun maliyetli, veri odaklı malzeme tasarımı için yeni yöntemler sunması beklenmektedir (Malkiel vd., 2018). Hesaplanan veriler doğrulanır, kullanıcı topluluğuna dağıtılır ve sonuçta sonraki hesaplamalar için yeni bileşikler tasarlamak üzere kullanılan analizlere beslenir (Malkiel vd., 2018). Şekil 1'de 100 milyon CPU-saatten fazla hesaplama süresi kullanılarak elde edilen 150.000'den fazla bileşik için hesaplanmış yapısal, elektronik ve enerjik verileri içeren oldukça büyük bir malzeme veritabanı oluşturmuştur (Şekil 2). Bu sayede bileşikler bileşik türüne göre ayrılmıştır.



Şekil 1. *Ekim 2011 yılından bugüne kadar Materials Project web sitesinde mevcut olan bileşiklerin sayısı, bileşik türüne göre ayrılmıştır (Materials Project, 2024).*

Veritabanındaki her malzemenin, hesaplanan tüm özelliklerini gösteren ayrıntılı bir sayfası vardır (Şekil 2). Materials Project, malzeme araştırmacılarına daha iyi tasarım yapabilmeleri için ihtiyaç duydukları bilgileri sağlayarak malzeme araştırmalarında inovasyonu hızlandırmayı amaçlamaktadır. Büyük veri setleri oluştururken zorluklardan biri de hesaplanan verilerin doğruluğunun onaylanmasıdır. Diğer bir sorun da hesaplanan verileri, ilk prensip yöntemlerinin sınırlamalarına aşina olmayan araştırmacılar da dahil olmak üzere geniş bir kitleye sunmaktır. Materials Project, çeşitli malzeme sınıfları için özelleştirilmiş metodolojiler kullanır ve bu metodolojilerle elde edilen sonuçları bir dizi referans reaksiyon aracılığıyla bağlamayı hedefler. Bu şekilde, geniş kimyasal alanlarda daha doğru sonuçlar sunar (Jain vd., 2013; Malkiel vd., 2018).

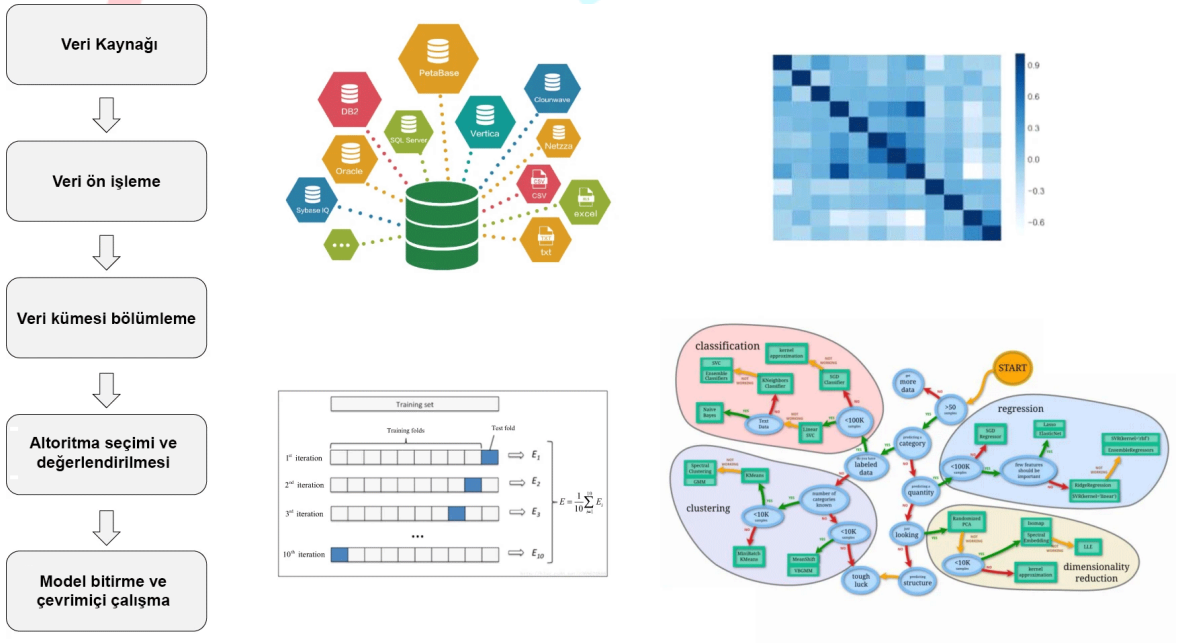


Şekil 2. *Veritabanında kayıtlı malzemelerin özelliklerinin gösterilmesi (Materials Project, 2024)*

Başka bir çalışma geleneksel olarak tasarım sürecinin karmaşık olduğu ve birçok sentetik bileşen ile dispersiyon seçeneğine sahip karmaşık yapılar içeren nanopartiküllerin saçılma spektrumlarının derin öğrenme ile yüksek hassasiyetle ileriye dönük olarak tahmin edildiği çalışmadır (Luo vd., 2021). Bu çalışmada, çok katmanlı nanopartiküllerin tersine tasarımını derin öğrenme destekli bir yöntemle gerçekleştirmişlerdir. Yapay sinir ağlarıyla

eğitilmiş bir model kullanarak, bu nanopartiküllerin saçılma spektrumlarını tahmin etmiş ve yapısal parametreleri ile malzeme bilgilerini etkili bir şekilde belirlemişlerdir. Çalışma, dinamik saçılma spektrumlarına sahip nanopartiküllerin tasarımında derin öğrenmenin faydalı bir çözüm olduğunu ortaya koymuştur (Luo vd., 2021).

Makine öğrenimi ile mikroakışkan çipler üzerinde nanopartikül sentezinin akıllı kontrolünün yapıldığı bir diğer çalışmada nanopartiküllerin özellikleri ve uygulamaları tanıtılmış ve makine öğrenimi kullanılmıştır (Chen & Lv, 2022). Esas olarak metal nanopartiküller ve inorganik yarı iletken nanopartiküllere odaklanarak, fonksiyonel nanopartiküllerin makine öğrenimi destekli sentezlerini araştırmışlardır (Chen & Lv, 2022). Makine öğrenimi modellerinin istenen özelliklere sahip nanopartikülleri sentezlemek için kullanılabildiğini söyleseler de, veri kümelerinin oluşturulması ve algoritmaların tahmin gücü ile ilgili hala göz ardı edilemeyecek sorunların olduğunu belirtmişlerdir. Örneğin, büyük veri kümelerinin oluşturulmasının zaman aldığını veri kümesinde hatalı veya eksik verilerin bulunması halinde makine öğrenimi modelinin tahmin gücünü etkilediğini tespit etmişlerdir (Chen & Lv, 2022). Algoritma eğitiminden önce makine öğrenimi için en önemli şeyin veri kümesinin hazırlanması olduğunu bildirmişlerdir. Veri setinin büyüklüğü ve kalitesi, oluşturulan modellerin doğruluklarını doğrudan etkilediğini söylemişlerdir. Nanopartikül sentezlerinde makine öğreniminin kullanımına ilişkin algoritmaların uygulanmasında beceri gerektirdiğini bilgisayar bilimlerinde uzmanlaşmamış araştırmacıların bu işleri yapmakta zorlanacağını bildirmişlerdir. Genel olarak, nanopartiküllerin makine öğrenimi destekli sentezlerinde hala sorunlar olsa da, bu tekniğin hala büyük bir potansiyele sahip olduğu ve bu alanda avantajlar sunduğunu belirtmişlerdir (Chen & Lv, 2022). Şekil 3'te makine öğrenimi modeli oluşturmak için iş akışı verilmiştir. İş akışı diyagramını, veri kümesinin şematik diyagramını, eğitim sürecini ve algoritmaların seçimini gösterir (Chen & Lv, 2022).



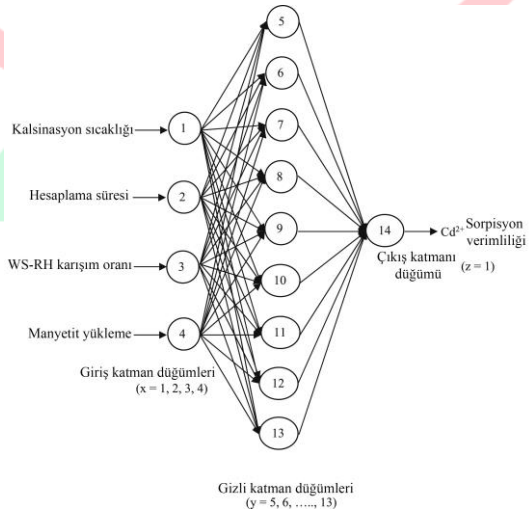
Şekil 3. *Makine öğrenimi modeli oluşturmak için iş akışı (Chen & Lv, 2022).*

Malzeme bilimi alanında giderek daha fazla sayıda çalışma, görevleri otomatikleştirmek, maliyetlerden tasarruf etmek ve hassasiyeti ve doğruluğu artırmak için robotların kullanıldığı da bilinmektedir. Numune hazırlama, test ve analiz süreçlerinin tümü robotların kullanımından faydalanmaktadır. Li ve arkadaşları, malzeme sentezi, özellik araştırması ve kendi kendine optimizasyon kalite güvencesi için sanal gerçeklik ve işbirlikçi robotlarla entegre olan bir malzeme hızlandırma operasyon sistemi tasarlamıştır. Robot kullanımının avantajlarını, zaman maliyetinin azaltılması ve gelecekte geleneksel malzeme bilimi araştırmalarının yeniden şekillendirilmesi olarak bildirmişlerdir (Li vd., 2020),

Ducamp ve Coudert silisli zeolitlerin termal özelliklerinin tahmini için GB regresyonuna dayalı bir makine öğrenimi yaklaşımı önermiştir (Ducamp & Coudert, 2022). Eğitim verisi olarak, yarı harmonik bir yaklaşımla hesaplanan 120 zeolitin termal özelliklerini kullanmışlardır. Geçici geometrik özellikler, topoloji, gözenek alanı ve genel geometrik özellikler de dahil olmak üzere farklı tanımlayıcı türleri kullanarak eğitilmiş modellerin doğruluğunu karşılaştırmışlardır. Cole manyetik ve süper iletken malzemelerin faz geçiş sıcaklığını tahmin etmek için makine öğrenimi uygulamıştır. Girdi olarak elementel ve yapısal verilerin yanı sıra manyetik ve süper iletken faz geçiş sıcaklıkları kullanılmıştır (Court & Cole, 2020).

Tao ve arkadaşları nanopartikül sentezi için kullanılabilecek makine öğrenimi algoritmalarını tartışmış ve büyük veri kümelerinin toplanması için temel yaklaşımlarını vurgulamışlardır. Makine öğrenimi destekli nanopartikül sentezindeki gelişmeler, farklı özelliklere sahip nanopartiküllerin üretimi için en etkili kombinasyonun ve reaksiyon koşullarının belirlenmesini büyük ölçüde hızlandırdığını belirtmişlerdir. Makine öğrenimi, deneyleri verimli bir şekilde planlayarak ve sağlam tahmin modelleri oluşturarak bilim insanlarını yoğun sentezlerden kurtaracağını bildirmişlerdir. (Tao vd., 2021).

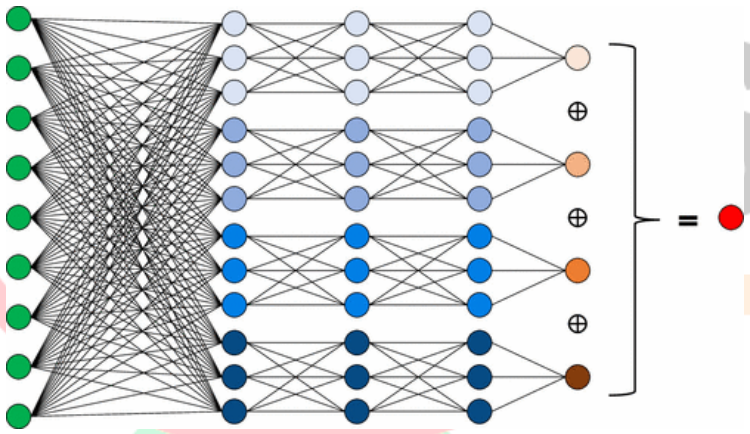
Popoola yapmış olduğu çalışmada ceviz kabuğu ve pirinç kabuğu atıklarının kullanılmasıyla çevre dostu ve düşük maliyetli bir aktif karbon adsorbanın hazırlanması ve kadmiyum iyonlarının su çözeltilerinden uzaklaştırılmasını amaçlamıştır (Popoola, 2019). Bu amaçla, kalsinasyon ve manyetizasyon işlemleri kullanılarak nanomanyetik adsorban sentezlenmiştir. Yapay zeka işbirliğiyle adsorban hazırlama süreci optimize edilmiştir. Çalışmada, adsorbanın morfolojisi ve yapısı incelenmiş, adsorpsiyon-desorpsiyon gücü araştırılmış ve Cd(II) ile hazırlanan adsorban arasındaki adsorptif reaksiyonun mekanizması önerilmiştir (Şekil 4). Optimizasyon sürecinde yapay zeka, adsorbanın hazırlanma sürecini optimize etmek için kullanılmıştır. Veri analizi ve modelleme için yapay zeka, deneylerden elde edilen verileri analiz ederek, farklı faktörlerin (kalsinasyon sıcaklığı, süresi, karışım oranı, manyetit yüklemesi) adsorpsiyon verimliliği üzerindeki etkisini belirlemek ve optimize etmek için kullanılmıştır. Model tahmini ve optimizasyon için yapay zeka, adsorpsiyon verimliliğini tahmin etmek ve optimize etmek için kullanılan yapay sinir ağları gibi modellerin oluşturulmasında kullanılmıştır (Popoola, 2019). Bu çalışmadan hareketle yapay zeka, farklı faktörlerin adsorbanın performansı üzerindeki etkisini belirlemek için duyarlılık analizi yapabilir. Bu analizler, en kritik parametrelerin belirlenmesine ve optimize edilmesine yardımcı olabilir. Bu roller, yapay zekanın adsorban hazırlama sürecini daha etkili ve verimli hale getirmesine olanak tanır, bu da daha iyi bir sonuç elde etmeye ve araştırmanın başarıyla tamamlanmasına yardımcı olabilecektir.



Şekil 4. *Deneysel girdi parametreleri hazırlama koşulları optimizasyonu için 4-9-1 konfigürasyonlu yapay sinir ağı mimarisi* ***(Popoola, 2019).***

Konstantopoulos ve arkadaşlarının yapmış oldukları araştırmada makine öğrenimi, malzeme bilimi ve imalat sektörlerindeki son gelişmeleri ve bu alanlardaki multidisipliner ihtiyaçları ele almışlardır (Konstantopoulos & Koumoulos, & Charitidis, 2022). Veri analitiği ve yapay zeka destekli modellerini nanomateryallerin özelliklerinin sınıflandırılması ve haritalanması gibi süreçlerde nasıl kullanılabileceği üzerinde durmuşlardır. Ayrıca, malzeme tasarımı ve üretimi süreçlerinde sürdürülebilirlik ve yeniden kullanımın önemi vurgulanmıştır. Son olarak, malzeme sentezinde optimizasyonun zorlukları ve genetik algoritmalar gibi tekniklerin bu süreçteki rolü üzerinde durulmuştur (Konstantopoulos & Koumoulos, & Charitidis, 2022). Bu çalışmada, nanomateryallerin üretiminde dijital yeniliklerin ve makine öğrenme stratejilerinin nasıl kullanılabileceği ve sürdürülebilir nanomateryallerin geliştirilmesinde nasıl rol oynadığı gibi konular ele alınmaktadır. Ayrıca malzeme bilimi ve üretiminde dijital yeniliklerin geleceği hakkında değerli bilgiler sunulmaktadır. Bu yönüyle çalışma, nanomateryal geliştirme ve malzeme bilimi alanındaki ilerlemeleri ve gelecekteki potansiyeli tartışmaktadır (Konstantopoulos & Koumoulos, & Charitidis, 2022).

Daly ve Hernandez tarafından yapılan araştırmada, yapay sinir ağlarının nanopartikül özelliklerini tahmin etmedeki performansı incelenmiştir (Daly Jr & Hernandez, 2020). Sonuçlar, bu sinir ağlarının optimizasyonunun küçük bir veri setine dayanmasına rağmen, birden fazla sinir ağının bir araya gelerek deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında güvenilir bir şekilde tahminlerde bulunabildiğini göstermiştir. Dahası, rastgele tahminlere kıyasla daha iyi bir performans sergilediğini belirtmişlerdir (Daly Jr & Hernandez, 2020). Çalışmada yapay sinir ağları torbalarından oluşan makineler, nanopartikül özelliklerini ve organizmaların maruz kaldıktan sonra yaşayabilirliği arasındaki ilişkiyi veri setlerinden öğrenerek tahmin etmiştir (Şekil 5). Bu makineler, veri madenciliği yoluyla öğrendikleri bilgileri kullanarak nanopartiküllerin canlılığa etkisini tahmin edebilmiştir. Bu sayede, nanopartiküllerin tasarımında canlılığı artırmak için kullanılabilecek kurallar ve ilişkiler keşfedilmiştir (Daly Jr & Hernandez, 2020).



***Şekil 5**. Torbalı yapay sinir ağı (YSA) yapısının şeması (Daly Jr & Hernandez, 2020).*

Yukarıda verilen çalışmalar, nanomateryal tasarımı ve optimizasyonunda yapay zeka ve makine öğrenimi tekniklerinin geniş bir kullanım alanına sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar, bu tekniklerin nanomateryal araştırmalarında nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğine dair önemli öngörüler sağlamaktadır.

2. Nanomateryal Tasarımının Zorlukları

Nanomateryal tasarımı, çok sayıda değişkenin bir araya gelmesiyle karmaşık bir süreçtir. Malzemenin bileşimi, kristal yapısı, boyutu ve şekli gibi faktörler, nihai özellikler üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Geleneksel deneme-yanılma yöntemleriyle bu faktörlerin tümünü optimize etmek zor ve zaman alıcı olabilir. Ayrıca, malzeme özelliklerinin karakterizasyonu da genellikle karmaşık ve maliyetlidir (Edelstein & Murday & Rath, 1997).

Karmaşık Yapılar: Nanomateryal tasarımı, atomik ve moleküler seviyede karmaşık yapıların manipülasyonunu gerektirir. Bu yapılar, malzeme özellikleri üzerinde doğrudan etkiye sahip olabilir. Bu nedenle, istenen özelliklere sahip malzemelerin tasarımı için bu karmaşıklığın anlaşılması ve yönetilmesi önemlidir (Edelstein & Murday & Rath, 1997; Wei vd., 2019).

Boyut ve Şekil Kontrolü: Nanomateryallerin boyutu ve şekli, fiziksel ve kimyasal özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle, nanotüp, nanopartikül veya nanokristal gibi nanomateryallerin istenen boyut ve şekle sahip olması gerekebilir. Bu kontrol, üretim süreçlerinin hassas ayarlanmasını gerektirir (Edelstein & Murday & Rath, 1997).

Malzeme Karakterizasyonu: Nanomateryallerin karakterizasyonu, geleneksel malzemelerden farklı bir dizi teknik gerektirir. Atomik ölçekte özelliklerin belirlenmesi, geleneksel tekniklerin çoğu için zorlayıcı olabilir. Bu nedenle, nanomateryallerin karakterizasyonu için özel olarak tasarlanmış tekniklerin kullanılması gerekebilir (Edelstein & Murday & Rath, 1997).

Yüksek Maliyet: Nanomateryal tasarımı ve sentezi genellikle yüksek maliyetlidir. Karmaşık ekipmanlar ve uzman bilgi gerektiren laboratuvar deneyleri, araştırma bütçelerini büyük ölçüde etkileyebilir (Edelstein & Murday & Rath, 1997).

Veri Analizi: Nanomateryal araştırmaları genellikle büyük miktarda veri üretir. Bu verilerin analizi ve yorumlanması, zaman alıcı ve karmaşık olabilir. Doğru sonuçların çıkarılması için özel veri analizi tekniklerine ihtiyaç duyulabilir (Edelstein & Murday & Rath, 1997).

3. Yapay Zeka ve Makine Öğreniminin Rolü

Bu doğrultuda, düşük hesaplama maliyeti ve kısa geliştirme döngüsü nedeniyle makine öğrenimi, güçlü veri işleme ve yüksek tahmin performansı ile birleşerek malzeme tespiti, malzeme analizi ve malzeme tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Wei vd., 2019).

Yapay zeka ve makine öğrenmesi, nanomateryal tasarımı ve optimizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu teknikler, büyük veri setlerini analiz ederek malzeme özelliklerinin karmaşık ilişkilerini belirleyebilir ve bu bilgiyi kullanarak istenen özelliklere sahip malzemelerin tasarımını hızlandırabilir. Makine öğrenimi gibi yapay zeka araçları, nanoteknoloji araştırmalarında çeşitli zorlukları ele almak ve gelecekteki nano uygulamaların geliştirilmesine yardımcı olmak için kullanılmaktadır (Mitchell, 1997). Yapay zeka ve nanoteknolojinin birleşimi, karmaşık veya bilinmeyen fonksiyonların veya verilerin temsil edilmesine ve genelleştirilmesine olanak tanıyan birçok etkileşimli parametrenin paralel olarak işlenmesini sağlar. Yapay sinir ağları, evrimsel algoritmalar, destek vektör makineleri, Bayesian ağları ve karar ağaçları gibi makine öğrenimi yöntemleri, nanoteknoloji araştırmaları bağlamında karmaşık sınıflandırma, kümeleme, ilişkilendirme, tahmin, veri madenciliği ve kontrol problemlerine uygulanabilir. Ayrıca, nanobilimin sağladığı artan hesaplama gücü, yapay zeka tekniklerine fayda sağlayarak hesaplama zekasında ilerlemelere yol açabilir (Mitchell, 1997).

Ayrıca, makine öğrenme algoritmaları, optimize edilmiş süreç parametreleri veya malzeme bileşenleri kombinasyonlarını tahmin ederek nanomateryal üretim süreçlerini iyileştirebilir. Bu bağlamda kullanılan yapay zeka araçlarının bazı örnekleri şunlardır:

Makine Öğrenimi Yöntemleri: Bu, girdi-çıktı fonksiyonlarını öğrenmek için kullanılan birbirine bağlı düğümler olan yapay sinir ağları ve optimizasyon ve arama problemleri için evrimsel veya genetik algoritmalara dayanan yapay zeka paradigmaları gibi yaklaşımları içerir (Mitchell, 1997; Sacha & Varona, 2013; Wei vd., 2019).

Destek Vektör Makineleri: Bunlar nanoteknoloji araştırmaları bağlamında karmaşık sınıflandırma, kümeleme ve tahmin problemleri için kullanılır (Mitchell, 1997; Sacha & Varona, 2013; Wei vd., 2019).

Bayesian Ağları: Bunlar, nanoteknoloji süreçlerini ve sonuçlarını etkileyen değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri modellemek ve analiz etmek için kullanılır (Mitchell, 1997; Sacha & Varona, 2013; Wei vd., 2019).

Karar Ağaçları: Yapay zeka araçları, özellikle nanoteknoloji araştırmaları bağlamında veri madenciliği ve kontrol problemleri için karar ağaçlarını kullanır (Mitchell, 1997; Sacha & Varona, 2013).

Bulanık Mantık Sistemleri: Yapay zeka araçları, nanopartikül boyutunu ve stabilitesini tahmin etmek, ilaç nanopresipitasyonunu etkileyen değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek ve kontrollü salımlı ilaç dağıtım sistemleri tasarlamak gibi zorlukları ele almak için yapay sinir ağları bulanık mantık sistemleriyle birleştirir ((Mitchell, 1997).

Veri Analizi: Yapay zeka ve makine öğrenmesi, nanomateryal araştırmalarında büyük miktarda verinin analiz edilmesine yardımcı olur. Bu veriler, malzeme özellikleri ile üretim süreçleri arasındaki ilişkilerin anlaşılmasını sağlar. Örneğin, derin öğrenme algoritmaları, karmaşık veri yapılarını tanımlayabilir ve malzeme özelliklerini etkileyen faktörleri belirleyebilir (Wei vd., 2019; Raccuglia vd., 2016; Ghiringhelli vd., 2015).

Tasarım Hızlandırma: Yapay zeka ve makine öğrenmesi, istenen özelliklere sahip malzemelerin tasarımını hızlandırabilir. Bu teknikler, büyük veri setlerinden elde edilen bilgileri kullanarak malzemelerin özelliklerini tahmin edebilir ve bu bilgiyi tasarım sürecine entegre ederek optimizasyon sağlayabilir. (Wei vd., 2019; Raccuglia vd., 2016; Ghiringhelli vd., 2015).

Süreç Optimizasyonu: Makine öğrenme algoritmaları, nanomateryal üretim süreçlerini optimize etmede etkili olabilir. Bu algoritmalar, süreç parametreleri veya malzeme bileşenleri kombinasyonlarını tahmin ederek üretim süreçlerini iyileştirebilir ve istenen özelliklere sahip nanomateryallerin daha verimli bir şekilde üretilmesini sağlayabilir (Wei vd., 2019; Raccuglia vd., 2016; Ghiringhelli vd., 2015).

4. Sonuç ve öneriler.

Yapay zeka ve nanoteknoloji arasındaki yakınlaşma, araştırma ve uygulamalar için yeni olanaklar sunarak bilgi bilimlerindeki teknolojik gelişmeleri şekillendirmektedir. Bu yakınsama, yeni bilgisayar mimarileri ve veri temsillerinin yanı sıra biyolojik varlıkları ve nanoteknolojik cihazları kullanan hibrit teknolojilerin geliştirilmesine yol açma potansiyeline sahiptir. Bu etki, biyomühendislik, sinirbilim ve bilişsel sistemler de dahil olmak üzere çeşitli bilimsel alanlara uzanmaktadır. Ayrıca, nanoteknoloji araştırmalarında yapay zeka araçlarının kullanımı, deneysel tekniklerin yorumlanmasını geliştirebilir, nanomateryallerin ve cihazların tasarımına yardımcı olabilir ve nanobilişim donanımının geliştirilmesine katkıda bulunabilir ((Mitchell, 1997).

Bu çalışmada yapay zeka, özellikle makine öğrenme stratejilerinin, nanomateryal üretiminde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Yapay zeka, veri analitiği temelli nanomateryal özelliklerinin sınıflandırılması ve haritalanması gibi alanlarda kullanılarak güvenli ve çevre dostu üretimi sağlamak için önemli bir araç olarak görülmektedir. Ayrıca yapay zeka destekli tahmin modelleme araçlarının kullanımı, malzeme keşfi ve optimizasyonunda yeni yollar önermekte ve nanomateryallerin özel uygulama ortamlarının gereksinimlerini karşılamak için özelleştirilmiş davranış profillerinin tasarımını teşvik etmektedir (Konstantopoulos & Koumoulos, & Charitidis, 2022; Feng vd., 2021).

Makine öğrenimi stratejilerini nanomateryal üretimine dahil etmenin temel faydaları şunlardır:

1. Hızlı hesaplama hızı ve yüksek doğruluk sağlar.
2. Karmaşık matematiksel formüllere ihtiyaç duymadan çalışabilir.
3. Belirli bir probleme genelleştirilmiş bir çözüm sunabilir.
4. Veri analitiği ve özellik mühendisliği ile kritik parametreleri filtreleyerek önemli öngörüler sağlayabilir.

5. Yüksek miktarda ve kaliteli veriye erişim sağlayarak gizli desenleri tanımlayabilir ve inovasyon potansiyelini artırabilir.
6. Tahmin modelleri oluşturarak malzeme keşfi ve optimizasyonunda yeni yollar açabilir.
7. Uygulama ortamlarının gereksinimlerini karşılamak için nanomateryallerin davranış profillerini özelleştirebilir (Konstantopoulos & Koumoulos, & Charitidis, 2022; Mukherjee & Colón, 2021; Li & Zhu & Xiao, 2014).

Dijital inovasyonun nanomateryal üretimi alanındaki potansiyel uygulamaları şunlar olabilir:

1. Yüksek verimli ve sürdürülebilir enerji depolama ve dönüşüm sistemleri için nanomateryallerin tasarımı.
2. Malzeme karakterizasyon tekniklerinden yüksek verimli bilgi elde etmek için makine öğrenme kullanımı (Konstantopoulos & Koumoulos, & Charitidis, 2022; Vatti vd., 2020).

Malzeme süreçlerinin optimizasyonu da makine öğrenimi tekniklerinin hem malzemelerin iyileştirilmesi hem de verimliliğin artırılarak maliyetlerin ve üretim süresinin azaltılması için birçok avantaj sağlayabileceği bir alandır (Köksal & Batmaz & Testik, 2011).

Belirli özelliklere sahip bir nanomateryal tasarlamak için yapay zeka algoritmalarının kullanılması, genellikle şu adımları içerir:

1. Veri Toplama: İlk adım, belirli bir uygulama için gereken özelliklere sahip nanomateryallerin özelliklerini ve sentez koşullarını içeren bir veri setinin toplanmasıdır. Makine öğreniminde ilk ve en önemli adım, çok önemli olan bir veri kümesinin hazırlanmasıdır (Stanev vd., 2018). Bu veri seti, deneysel sonuçlar, literatürdeki bilgiler veya simülasyonlar yoluyla elde edilebilir. Veri setinin boyutu ve kalitesi, makine öğrenimi modelinin doğruluğunu doğrudan etkiler (Wang vd., 2021). Bir veri kümesi, geniş bir bağımsız değişkenler ve hedef özellikler kümesinden oluşur. Veri kümesi, bağımsız ve bağımlı değişkenlerin tanımlanmasını gerektirir. Nanopartikül hazırlama tekniklerinde bağımsız değişkenler genellikle reaksiyon koşulları, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi, kimyasal reaktiflerin konsantrasyon oranı, reaksiyon öncüleri, çözelti reaktiflerinin türü, mikro reaktörün kanal yapısı ve dış uyaranlar olarak seçilirken, bağımlı değişkenler genellikle nanopartiküllerin boyutları ve şekillerinin yanı sıra elektronik ve optik özellikleridir (Wang vd., 2019).

2. Veri Ön İşleme: Toplanan veri seti, gereksiz bilgilerin temizlenmesi, eksik verilerin doldurulması ve veri formatlarının standart hale getirilmesi gibi adımlardan geçirilir. Bu adım, yapay zeka algoritmalarının daha doğru sonuçlar üretmesine yardımcı olur. Veri kümesi oluşturulduktan sonra, yüksek kaliteyi sağlamak için ön işlemden geçirilmesi gerekir. Doğrudan sayısal simülasyonlardan veya deneylerden elde edilen büyük miktarlardaki verilerde hatalar ve büyük boşluklar olabileceğinden, veri ön işleme gerçekleştirilir (Yu vd., 2021). Veri ön işleme aslında veri temizleme, veri sıralama veya genel veri işlemedir.

3. Model Eğitimi: Ardından, makine öğrenimi veya derin öğrenme tekniklerini kullanarak bir model geliştirilmelidir. Bu model, nanomateryallerin özellikleri ile sentez koşulları arasındaki ilişkileri öğrenmeyi amaçlamaktadır. Yapay zeka algoritmaları, genellikle makine öğrenimi veya derin öğrenme yöntemleri kullanılarak eğitilir. Bu adımda, veri seti üzerinde bir model oluşturulur ve model, nanomateryallerin özellikleri ile sentez koşulları arasındaki ilişkileri öğrenmeye çalışır. Makine öğrenimi, farklı görevler için aralarından seçim yapabileceğiniz zengin bir algoritma setine sahiptir. En uygun algoritma seçimini yapmak için, ana akım algoritmaları ayrı ayrı test etmek, sağladıkları sonuçları değerlendirmek ve en iyi performansa sahip olanı seçmek en iyisidir. Bununla birlikte, her algoritma farklı özelliklere sahiptir ve farklı görevler için uygundur (Barnard & Opletal, 2019).

4. Model Doğrulama: Oluşturulan model, belirli bir doğruluk düzeyine ulaşana kadar eğitilir ve ardından ayrı bir doğrulama veri seti üzerinde test edilir. Modelin ne kadar iyi performans gösterdiğini değerlendirmek için çeşitli metrikler kullanılır. Makine öğrenimi

modelinin eğitimi yukarıdaki süreçle tamamlandıktan sonra, kolay kullanım ve sorunsuz çalışma sağlamak için eğitilen model dosyalar halinde düzenlenmelidir (Gasper & Shi & Ramasubramaniam, 2017; Kingston vd., 2019).

5. Tasarım ve Optimizasyon: Eğitilen model, belirli bir uygulama için istenen özelliklere sahip nanomateryallerin özelliklerini ve sentez koşullarını tahmin etmek için kullanılır. Bu, deneysel çalışmaların sayısını azaltarak ve malzeme tasarım sürecini hızlandırarak, potansiyel olarak maliyet ve zaman tasarrufu sağlayabilir (Kingston vd., 2019).

6. Sonuçların analizi ve yorumlanması: Oluşturulan nanomateryallerin özellikleri ve sentez koşulları analiz edilerek elde edilen sonuçlar yorumlanır ve gelecekteki araştırmalar için çıkarımlar yapılmasını sağlayabilir (Wei vd., 2019; Stanev vd., 2018).

Bu adımları takip ederek, yapay zeka ve derin öğrenme tekniklerini kullanarak nanomateryallerin tasarımı ve optimizasyonu üzerine çalışmalar yapılabilir. Bu süreç, yapay zeka algoritmalarının kullanılarak belirli özelliklere sahip nanomateryallerin tasarlanması ve sentez koşullarının tahmin edilmesi için genel bir çerçevedir. Ancak, her adımın uygulanması için belirli bir uzmanlık ve dikkat gereklidir, bu nedenle bu tür bir çalışma genellikle çok disiplinli bir ekip işi gerektirir.

ISBN: 978-625-372-170-1

REREFANSLAR

Barnard, A. S., & Opletal, G. (2019). Predicting structure/property relationships in multi-dimensional nanoparticle data using t-distributed stochastic neighbour embedding and machine learning. Nanoscale, 11(48), 23165-23172.

Chen, X., & Lv, H. (2022). Intelligent control of nanoparticle synthesis on microfluidic chips with machine learning. NPG Asia Materials, 14(1), 69.

Court, C. J., & Cole, J. M. (2020). Magnetic and superconducting phase diagrams and transition temperatures predicted using text mining and machine learning. npj Computational Materials, 6(1), 18.

Daly Jr, C. A., & Hernandez, R. (2020). Learning from the machine: uncovering sustainable nanoparticle design rules. The Journal of Physical Chemistry C, 124(24), 13409-13420.

Del Hougne, P., Imani, M. F., Diebold, A. V., Horstmeyer, R., & Smith, D. R. (2020). Learned integrated sensing pipeline: reconfigurable metasurface transceivers as trainable physical layer in an artificial neural network. Advanced Science, 7(3), 1901913.

Ducamp, M., & Coudert, F. X. (2022). Prediction of thermal properties of zeolites through machine learning. The Journal of Physical Chemistry C, 126(3), 1651-1660.

Edelstein, A. S., Murday, J. S., & Rath, B. B. (1997). Challenges in nanomaterials design. Progress in materials science, 42(1-4), 5-21.

Faber, F. A., Lindmaa, A., Von Lilienfeld, O. A., & Armiento, R. (2016). Machine learning energies of 2 million elpasolite (A B C 2 D 6) crystals. Physical review letters, 117(13), 135502.

Feng, R., Yu, F., Xu, J., & Hu, X. (2021). Knowledge gaps in immune response and immunotherapy involving nanomaterials: Databases and artificial intelligence for material design. Biomaterials, 266, 120469.

Gasper, R., Shi, H., & Ramasubramaniam, A. (2017). Adsorption of CO on low-energy, low-symmetry Pt nanoparticles: energy decomposition analysis and prediction via machine-learning models. The Journal of Physical Chemistry C, 121(10), 5612-5619.

Ghiringhelli, L. M., Vybiral, J., Levchenko, S. V., Draxl, C., & Scheffler, M. (2015). Big data of materials science: critical role of the descriptor. Physical review letters, 114(10), 105503.

Hegde, R. S. (2020). Deep learning: a new tool for photonic nanostructure design. Nanoscale Advances, 2(3), 1007-1023.

Jain, A., Ong, S. P., Hautier, G., Chen, W., Richards, W. D., Dacek, S., ... & Persson, K. A. (2013). Commentary: The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation. APL materials, 1(1).

Kingston, B. R., Syed, A. M., Ngai, J., Sindhwani, S., & Chan, W. C. (2019). Assessing micrometastases as a target for nanoparticles using 3D microscopy and machine learning. Proceedings of the National Academy of Sciences, 116(30), 14937-14946.

Konstantopoulos, G., Koumoulos, E. P., & Charitidis, C. A. (2022). Digital Innovation Enabled Nanomaterial Manufacturing; Machine Learning Strategies and Green Perspectives. Nanomaterials, 12(15), 2646.

Köksal, G., Batmaz, I., & Testik, M. C. (2011). A review of data mining applications for quality improvement in manufacturing industry. Expert systems with Applications, 38(10), 13448-13467.

Kwon, H. B., Song, W. Y., Lee, T. H., Lee, S. S., & Kim, Y. J. (2021). Monitoring the effective density of airborne nanoparticles in real time using a microfluidic nanoparticle analysis chip. ACS sensors, 6(1), 137-147.

Leem, J. W., Kim, M. S., Choi, S. H., Kim, S. R., Kim, S. W., Song, Y. M., ... & Kim, Y. L. (2020). Edible unclonable functions. Nature communications, 11(1), 328.

Li, J., Tu, Y., Liu, R., Lu, Y., & Zhu, X. (2020). Toward "on-demand" materials synthesis and scientific discovery through intelligent robots. Advanced Science, 7(7), 1901957.

Li, X., Zhu, Y., & Xiao, G. (2014). Application of artificial neural networks to predict sliding wear resistance of Ni–TiN nanocomposite coatings deposited by pulse electrodeposition. Ceramics International, 40(8), 11767-11772.

Liu, D., Tan, Y., Khoram, E., & Yu, Z. (2018). Training deep neural networks for the inverse design of nanophotonic structures. Acs Photonics, 5(4), 1365-1369.

Luo, J., Li, X., Zhang, X., Guo, J., Liu, W., Lai, Y., ... & Huang, M. (2021). Deep-learning-enabled inverse engineering of multi-wavelength invisibility-to-superscattering switching with phase-change materials. Optics Express, 29(7), 10527-10537.

Ma, W., Liu, Z., Kudyshev, Z. A., Boltasseva, A., Cai, W., & Liu, Y. (2021). Deep learning for the design of photonic structures. Nature Photonics, 15(2), 77-90.

Malkiel, I., Mrejen, M., Nagler, A., Arieli, U., Wolf, L., & Suchowski, H. (2018). Plasmonic nanostructure design and characterization via deep learning. Light: Science & Applications, 7(1), 60.

Mannodi-Kanakkithodi, A., Pilania, G., Huan, T. D., Lookman, T., & Ramprasad, R. (2016). Machine learning strategy for accelerated design of polymer dielectrics. Scientific reports, 6(1), 1-10.

Material Project (2024) https://next-gen.materialsproject.org/ 07.05.2024

Mitchell, T. M. (1997). Artificial neural networks. Machine learning, 45(81), 127.

Mukherjee, K., & Colón, Y. J. (2021). Machine learning and descriptor selection for the computational discovery of metal-organic frameworks. Molecular Simulation, 47(10-11), 857-877.

National Science and Technology Council (US). (2011). Materials genome initiative for global competitiveness. Executive Office of the President, National Science and Technology Council.

Nette, J., Howes, P. D., & deMello, A. J. (2020). Microfluidic synthesis of luminescent and plasmonic nanoparticles: fast, efficient, and data-rich. Advanced Materials Technologies, 5(7), 2000060.

Peurifoy, J., Shen, Y., Jing, L., Yang, Y., Cano-Renteria, F., DeLacy, B. G., ... & Soljačić, M. (2018). Nanophotonic particle simulation and inverse design using artificial neural networks. Science advances, 4(6), eaar4206.

Pilania, G., Balachandran, P. V., Kim, C., & Lookman, T. (2016). Finding new perovskite halides via machine learning. Frontiers in Materials, 3, 19.

Popoola, L. T. (2019). Nano-magnetic walnut shell-rice husk for Cd (II) sorption: design and optimization using artificial intelligence and design expert. Heliyon, 5(8).

Raccuglia, P., Elbert, K. C., Adler, P. D., Falk, C., Wenny, M. B., Mollo, A., ... & Norquist, A. J. (2016). Machine-learning-assisted materials discovery using failed experiments. Nature, 533(7601), 73-76.

Sacha, G. M., & Varona, P. (2013). Artificial intelligence in nanotechnology. Nanotechnology, 24(45), 452002.

Siavashy, S., Soltani, M., Ghorbani-Bidkorbeh, F., Fallah, N., Farnam, G., Mortazavi, S. A., ... & Hamedi, M. H. (2021). Microfluidic platform for synthesis and optimization of chitosan-coated magnetic nanoparticles in cisplatin delivery. Carbohydrate Polymers, 265, 118027.

Stanev, V., Oses, C., Kusne, A. G., Rodriguez, E., Paglione, J., Curtarolo, S., & Takeuchi, I. (2018). Machine learning modeling of superconducting critical temperature. npj Computational Materials, 4(1), 29.

Stergiou, K., Ntakolia, C., Varytis, P., Koumoulos, E., Karlsson, P., & Moustakidis, S. (2023). Enhancing property prediction and process optimization in building materials through machine learning: A review. Computational Materials Science, 220, 112031.

Tao, H., Wu, T., Aldeghi, M., Wu, T. C., Aspuru-Guzik, A., & Kumacheva, E. (2021). Nanoparticle synthesis assisted by machine learning. Nature reviews materials, 6(8), 701-716.

Tao, H., Wu, T., Aldeghi, M., Wu, T. C., Aspuru-Guzik, A., & Kumacheva, E. (2021). Nanoparticle synthesis assisted by machine learning. Nature reviews materials, 6(8), 701-716.

Vatti, R., Vatti, N., Mahender, K., Vatti, P. L., & Krishnaveni, B. (2020, December). Solar energy harvesting for smart farming using nanomaterial and machine learning. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 981, No. 3, p. 032009). IOP Publishing.

Wang, M., Wang, T., Cai, P., & Chen, X. (2019). Nanomaterials discovery and design through machine learning. Small Methods, 3(5), 1900025.

Wang, X., Liu, L., Zhang, W., & Ma, X. (2021). Prediction of plant uptake and translocation of engineered metallic nanoparticles by machine learning. Environmental Science & Technology, 55(11), 7491-7500.

Wei, J., Chu, X., Sun, X. Y., Xu, K., Deng, H. X., Chen, J., ... & Lei, M. (2019). Machine learning in materials science. InfoMat, 1(3), 338-358.

Wiecha, P. R., & Muskens, O. L. (2019). Deep learning meets nanophotonics: a generalized accurate predictor for near fields and far fields of arbitrary 3D nanostructures. Nano letters, 20(1), 329-338.

Xie, Y., Rufo, J., Zhong, R., Rich, J., Li, P., Leong, K. W., & Huang, T. J. (2020). Microfluidic isolation and enrichment of nanoparticles. ACS nano, 14(12), 16220-16240.

Xue, D., Balachandran, P. V., Hogden, J., Theiler, J., Xue, D., & Lookman, T. (2016). Accelerated search for materials with targeted properties by adaptive design. Nature communications, 7(1), 1-9.

Yu, F., Wei, C., Deng, P., Peng, T., & Hu, X. (2021). Deep exploration of random forest model boosts the interpretability of machine learning studies of complicated immune responses and lung burden of nanoparticles. Science advances, 7(22), eabf4130.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Yumuşak Kat Etkisi İçeren Betonarme Yapılarda Taban İzolasyon Sistemlerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Oğuzhan ÇELEBİ
Gamze ÜÇDEMİR
Mahmut KILIÇ
Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Abstract

It is known that reinforced concrete structures containing soft floor effects suffer significant or pre-collapse damage during earthquakes. In this study, several methods have been proposed to ensure that reinforced concrete structures designed as soft floors for commercial purposes remain usable in possible major earthquakes and to prevent risks to people's lives. In the study, the effects of rubber-based and friction-based passive base isolation systems used in the literature on the earthquake behavior of reinforced concrete buildings with soft floor effect were investigated. Passive base isolation systems were used in the 8-floor reinforced concrete structure, whose dominant mode period was less than 1 s and whose ground floor was designed as a soft floor. A finite element model of the reinforced concrete building was constructed and analyzed in time domain under the ground motions of an earthquake centered on February 06, Maraş. The results of the study showed that the rubber-based base isolation system significantly reduced the base shear forces, peak displacements, and storey accelerations in the reinforced concrete building with soft story effect. It is concluded that the use of base isolation systems can allow the ground floor of a reinforced concrete building to develop soft storeys.

Keywords: Rubber based isolation systems, Maraş earthquake's, soft floor effect, time history analysis.

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Yapıların bir katını ticari amaçlı ve açık alan kullanım amaçlı oluşturabilmek için zemin kat veya 1. Kattan dolgu duvarlar kaldırılarak yumuşak kat olarak tasarlanmaktadır (Izadpanah vd., 2023). Üst katlarda dolgu duvarların rijitlik katkısının olması durumunda, alt katlardan dolgu duvarların kaldırılması, bina yükseklikleri boyunca düzgün olmayan bir rijitlik dağılımına neden olur. Rijitlik dağılımındaki bu düzensizlik yumuşak kat oluşmasına neden olabilir. Yatay yük taşıyıcı dolgu duvarların davranışının bilinmemesi ve aynı zamanda dolgu duvarların yapısal hesaplara dahil edilmesi için basit ve güvenilir bir yöntemin olmaması yumuşak kat tasarımlarında önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca yine açık alan kullanımı için zemin kat yüksekliğinin diğer üst katlara göre daha yüksek yapılması da yumuşak kat etkisini ortaya çıkaran başka bir etken olduğu düşünülmüştür (Karasu vd., 2011:61-69). Dünyanın genelinde yumuşak etkisi içeren birçok bina güçlendirme yapılmadan kullanılmaktadır. Son yaşanan Van Muradiye (6.7 M_L), Kocaeli Gölcük (7.4 M_W), Elâzığ Sivrice (6.5 M_W), Maraş Elbistan (7.6 M_W) ve Pazarcık (7.7 M_W) gibi büyük depremlerde yumuşak kat etkisi içeren yapılarda ağır hasarların ve üst katların yumuşak kata doğru göçtükleri gözlemlenmiştir (Erdik vd., 2012: 951-665); (Erdik, 2001: 149-186). Deprem riski altında bulunan yumuşak kat etkisi içeren yapılarda göçmelerin yaşanmaması ve ağır hasarların oluşmaması için literatürde bir dizi çalışmalar yürütülmüştür. Nasap vd. (2022) Zemin katı yumuşak kat olarak tasarlanan beş katlı betonarme çerçevenin güçlendirilmesi için viskoelastik sönümleyicileri kullanmışlardır. Yumuşak kat etkisi içeren betonarme yapıda viskoelastik sönümleyicilerin kullanılmasıyla göreli kat ötelemesinin %5 oranında azaldığı belirlenmiştir (Nasap vd., 2022). Izadpanah vd. (2023), 4, 8 ve 12 katlı betonarme yapılarda yumuşak kat etkisini azaltmak için geliştirilen eğilme sönümleyicisini çalışmışlardır. Eğilmeli sönümleyicin etkisinin tespit edilmesi için dolgu duvarsız, tamamen dolgu duvarlı, zemin katı yumuşak olan çerçeve ve sönümleyiciyle güçlendirilmiş modelleri 16 farklı deprem yer hareketi etkisi altında incelemişlerdir (Izadpanah vd., 2023). Çalışma sonuçları yapı modellerinde oluşan hasarların eğilme sönümleyicisinin kullanılmasıyla 4, 8 ve 12 katlı binalarda sırasıyla %4, %2 ve %22 oranında azaldığını göstermiştir. Eğilme sönümleyicilerinin kullanılmasıyla 4, 8 ve 12 katlı binalarda oluşan göreli kat ötelemelerinin sırasıyla %40, %7.3 ve %29 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Izadpanah vd., 2023). Jiang vd. (2024) yumuşak kat etkisi içeren üç katlı betonarme çerçevenin güçlendirilmesi için burkulması önlenmiş çelik çaprazları kullanmışlardır. Çalışma sonuçları burkulması önlenmiş çelik çerçevelerin betonarme çerçevede deprem etkisiyle oluşan hasarları önemli ölçüde azalttığını göstermiştir (Jiang vd., 2024: 197). Adane ve Kim (2023) yumuşak kat etkisi içeren 5 katlı yapının güçlendirme analizlerini yapı zemin etkileşimini dikkate alarak yürütmüşlerdir. Yumuşak kat etkisi içeren yapılarda uygulanacak güçlendirmenin yapı zemin etkileşiminin de dikkate alınarak yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Dreje vd., 2022); (Adane ve Kim, 2023). Öztürk vd. (2023), yumuşak kat etkisi içeren üç katlı betonarme yapıyı güçlendirmek için kurşun çekirdek esaslı kauçuk taban izolasyon sistemini kullanmışlardır. 11 farklı deprem yer hareketi etkisi altında izolasyonlu ve izolasyonsuz bina modellerine zaman tanım alanında analizler uygulanmıştır. Çalışmada analiz sonuçları kat ivmeleri ve kat ötelemeleri açısından incelenmiştir. Çalışma sonuçları yumuşak katlı binalarda taban izolasyon sisteminin yapısal hasarı azaltmada kullanılmasının etkili bir yöntem olabileceğini göstermiştir.

Şimdiki çalışmada 06 Şubat Maraş merkezli depremlerde yıkılan yumuşak kat etkisi içeren 8 katlı betonarme yapı incelenmiştir. Yıkılan 8 katlı betonarme yapıda kurşun çekirdek

esaslı kauçuk taban izolasyon sisteminin yapı zemin etkileşiminin dikkate alınmasıyla güçlendirme tekniği olarak kullanılmış olsaydı yapının güvenle bölgede kalıp kalmayacağı araştırmak istenmiştir. 8 katlı betonarme yapı taban izolasyonlu ve taban izolasyonsuz olarak SAP2000 programında modellenmiştir (SAP2000 | Structural Analysis and Design, n.d.). Taban izolasyonlu ve izolasyonsuz yapılara Maraş merkezli depremler olan Elbistan (7.6 Mw) ve Pazarcık (7.7 Mw) depremleri etkisi altında zaman tanım alanında analizler uygulanmıştır. Analiz sonuçları yapıda oluşan kat ivmeleri ve göreli kat ötelemeleri parametreleri açısından ele alınarak tartışılmıştır.

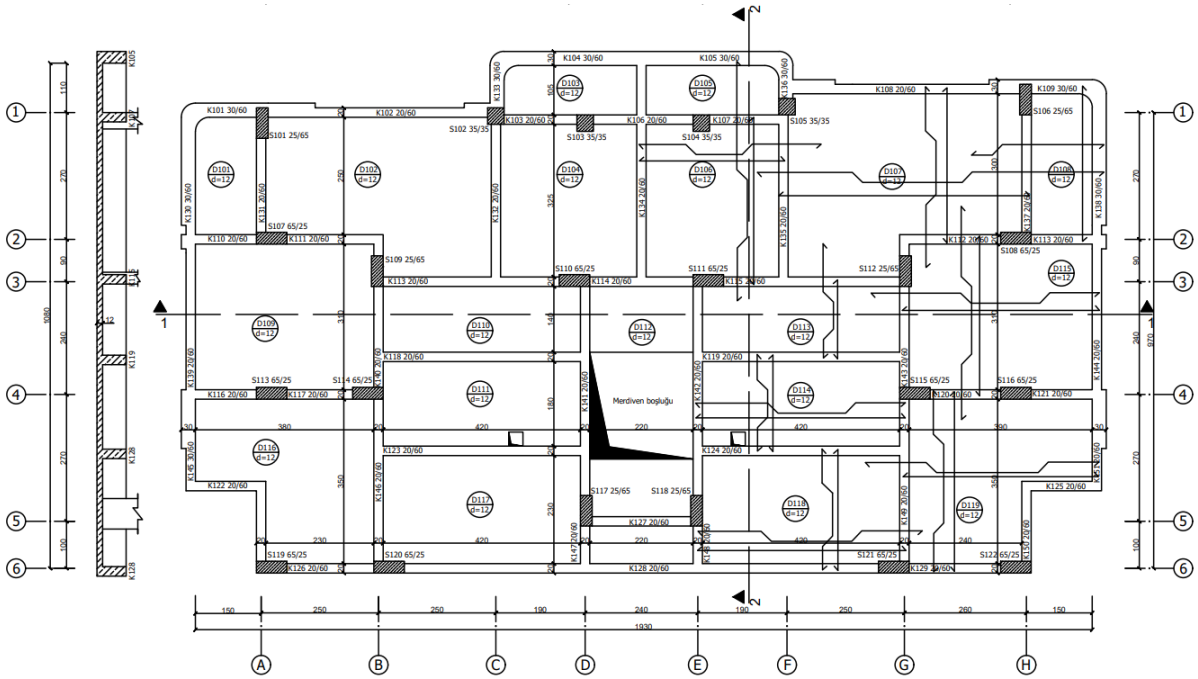
YÖNTEM

Çalışmada Hatay bölgesinde 36.711051 Enlem ve 36.492683 Boylam konumlarında bulunan ve 06 Şubat Maraş merkezli depremlerde ağır hasar alan çok katlı betonarme yapı kullanılmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY 2018) göre yapıya ait yerel deprem parametreleri Tablo 1'de verilmiştir (Yerbilimleri Harita Görüntüleyici, n.d.). Tablo 1'de tanımlanan ZD orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarını temsil etmektedir. S_s kısa periyot harita spektral ivme katsayısını, S_1 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısını, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, S_{D1} 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısını, PGA en büyük yer ivmesini ve PGV ise en büyük yer hızını tanımlamaktadır. Ayrıca DD-1 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi ve DD-2 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyini ifade etmektedir (Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, n.d.).

Tablo 1- *Yapıya ait yerel deprem parametreleri*

Deprem yer hareketi düzeyi	PGA (g)	PGV (cm/sn)	S_s	S_1	S_{D1}	S_{DS}
DD-1	1.112	72.181	2.749	0.767	1.304	2.749
DD-2	0.594	37.798	1.405	0.367	0.709	1.405

Çalışmada kullanılan betonarme yapı 8 katlıdır. Betonarme yapının zemin kat yüksekliği 5 m ve diğer katları 3 m yüksekliğinde tanzim edilmiştir. Statik kalıp planı Şekil 1'de verilen betonarme yapının kolonları 25x65 cm, 35x35 cm ve 65x25 cm olarak düzenlenmiştir. Kirişler ise 20x60 ve 30x60 cm olarak tasarlanmıştır. Betonarme yapıda kirişli döşeme kullanılmıştır. Döşeme kalınlığı 12 cm olarak tanzim edilmiştir.



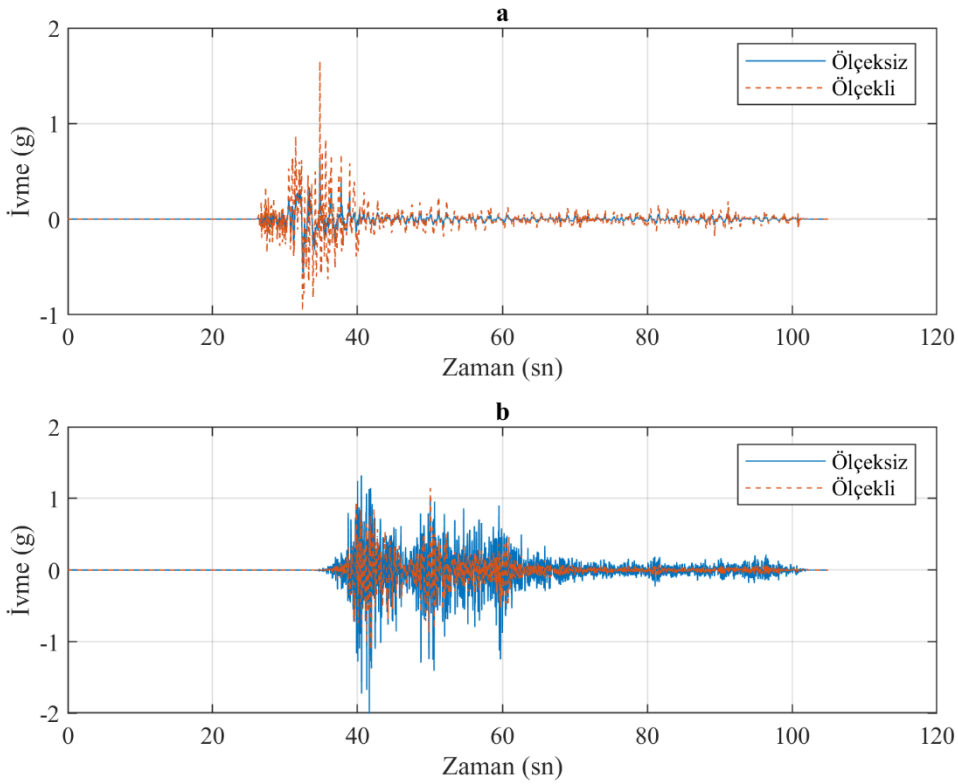
Şekil 1- *Betonarme yapıya ait statik kalıp planı*

Betonarme yapının 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli SAP2000 programında kurulmuştur (SAP2000). Betonarme yapının izolatörsüz ve izolatörlü modellerine Elbistan ve Pazarcık depremlerinin ivme değerleri kullanılarak zaman tanım alanında analizler uygulanmıştır. Elbistan ve Pazarcık depremlerine ait bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2- *Çalışmada kullanılan depremlere ait bilgiler (AFAD | deprem.gov.tr, n.d.)*

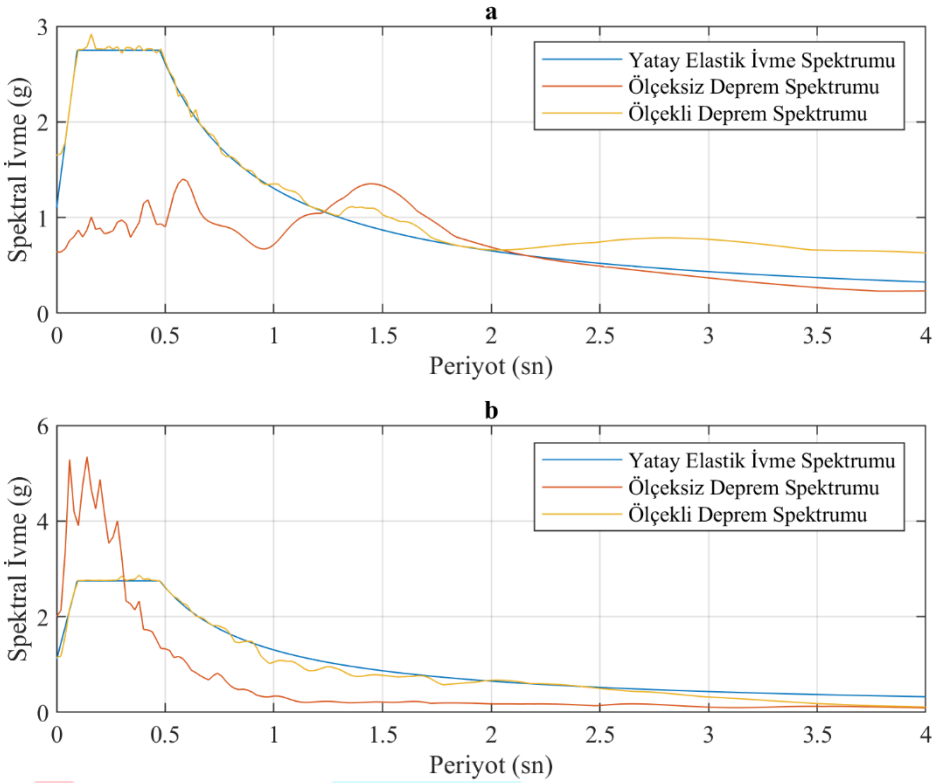
Deprem	Tarih	İstasyon	Enlem	Boylam	PGA (g)	Büyüklük (Mw)
Elbistan	06.02.2023	Göksun	38.089	37.239	0,648	7.6
Pazarcık	06.02.2023	Pazarcık	37.288	37.043	2,07	7.7

Elbistan ve Pazarcık depremlerine ait ivme zaman eğrileri Şekil 2'de verilmiştir. AFAD verilerine göre Elbistan ve Pazarcık depremleri merkez üssülerinde 0.648 ve 2.07 g deprem yer ivmesi üretmişlerdir. Deprem verileri TBDY 2018'e göre ölçeklendiğinde Elbistan ve Pazarcık depremleri yapıda sırasıyla 1.652g ve 1.144g yer ivmesi ürettiği hesaplanmıştır. DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre yapının bulunmuş olduğu alanda en yüksek yer ivmesi 1.112g'dir. Bu durumda söz konusu yapının ZD zemin sınıfından daha kötü bir zemin sınıfına ait olduğu aşikardır. Yapının tasarımında veya değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken spektral ivme değerlerinin hesabı için TBDY 2018'de belirtilen sahaya özgü spektrumlarının yapılması gerekli olduğu düşünülmüştür.



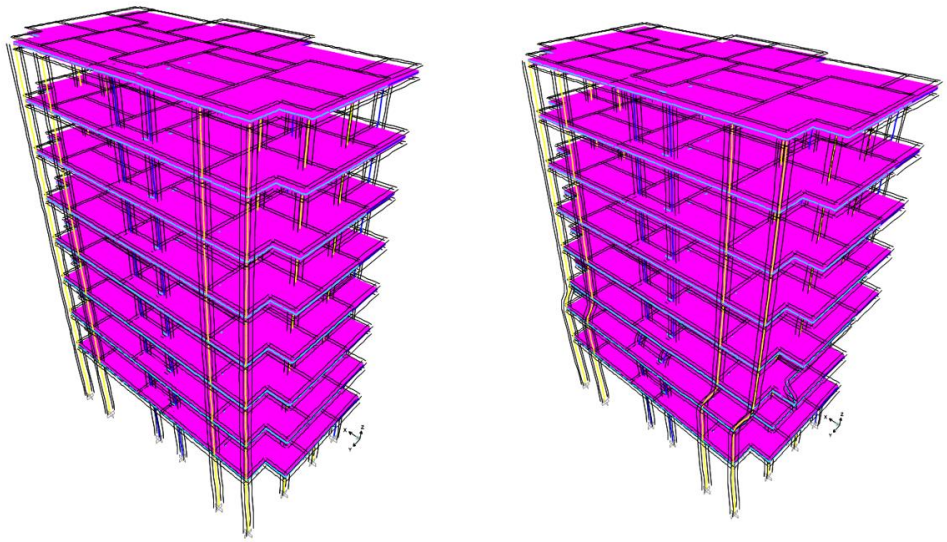
Şekil 2- *Ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme zaman eğrileri; a) Elbistan depremi, b) Pazarcık depremi*

Betonarme yapının zaman tanım alanında analizleri için kullanılan depremlere ait ölçeksiz ve ölçekli spektrumların TBDY 2018'de tanımlanan yatay elastik ivme spektrumuyla çizimi Şekil 3'te verilmiştir. Deprem spektrumlarının yapıya özgü olarak ölçeklendirilmesi TBDY 2018'e göre yapılmıştır (TBDY 2018). Ölçeksiz deprem spektrumlarına bakıldığında Elbistan ve Pazarcık depremlerinin en büyük spektrum ivme değerlerinin sırasıyla 1.401g ve 5.346g olduğu hesaplanmıştır. Ölçekli deprem spektrumlarına bakıldığında ise Elbistan ve Pazarcık depremlerinin en büyük spektrum ivme değerlerinin sırasıyla 2.918g ve 2.867g olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 3- *Ölçekli ve ölçeksiz deprem spektrumu eğrileri; a) Elbistan depremi, b) Pazarcık depremi*

Elbistan ve Pazarcık deprem verileri yapıya özgü hale getirildikten sonra Şekil 4'te sonlu elemanlar modeli verilen betonarme yapıda zaman tanım alanında analizler yürütülmüştür.

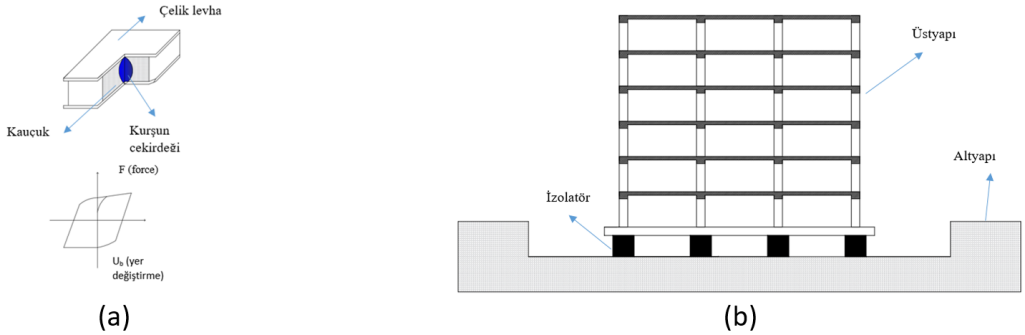


(a) (b)

Şekil 4- *İzolatörsüz ve izolatörlü betonarme modellerin şekil değiştirmesi; a) izolatörlü model, b) izolatörsüz model*

Betonarme yapıda Şekil 5'te de gösterildiği gibi deprem etkilerinin karşılanması için kauçuk esaslı kurşun çekirdekli taban izolasyon sistemi kullanılmıştır. düşey yönde rijitliği artıran çelik levhalardan, yatay yönde deformasyon kabiliyeti sağlayan kauçuk tabakalardan ve yüksek enerji sönümü sağlayan kurşun çekirdeklerden oluşmaktadır (Nagarajaiah ve Ferrell,

1999: 946-954). Taban izolasyon sistemi Şekil 5b'de gösterildiği gibi üst yapı ile temel arasında her bir kolonların altına yerleştirilmiştir.



Şekil 5- *Çalışmada kullanılan kauçuk ve kurşun çekirdek esaslı taban izolasyon sistemi, a) taban izolasyon sistemi, b) yapıya yerleştirilen izolasyon sistemi*

Betonarme yapıda kullanılan taban izolasyon sistemine ait özellikler Tablo 3'te sunulmuştur (Vassiliou vd., 2013). Taban izolasyon sistemi göze alınan X doğrultusunda elastik bölgede ve Y ve Z yönlerinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler yapabilmektedir. Tabloda belirtilen u_1, u_2 ve u_3 sırasıyla göze alınan X, Y ve Z doğrultularındaki hareketleri temsil etmektedir. Burada K_{eff} efektif rijitliği, K_{el} elastik rijitliği, F_y akma dayanımını ve α ise moment dağıtma katsayısını ifade etmektedir.

Tablo 3- *Taban izolasyon sisteminin karakteristik özellikleri*

u_1	u_2 ve u_3			
Keff (Nmm)	Keff (Nmm)	Kel (Nmm)	Fy (N/mm^2)	α
18073750	1087157	5561153.8	54004.6	0.130

ANALİZ SONUÇLARI

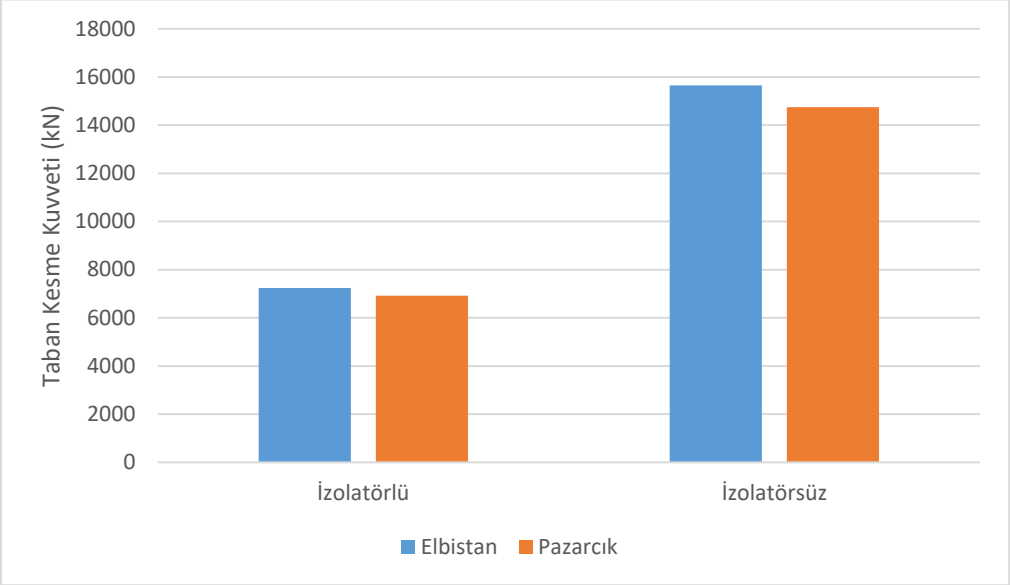
06 Şubat tarihinde Maraş merkezli depremlerde yumuşak kat etkisinden dolayı ağır hasar alan çok katlı betonarme yapıda kauçuk esaslı taban izolasyon sisteminin bulunması durumunda yapının bu depremlere karşı göstereceği deprem davranışı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle tespit edilmiştir. Analiz sonuçları taban izolasyonlu ve izolasyonsuz yapılarda birtakım dinamik parametrelerle ele alınmıştır. Analiz sonuçları her iki yapıda depremlerden kaynaklı oluşan taban ve tepe ivmeleri, enerji sönümleme kapasiteleri, taban kesme kuvvetleri, tepe deplasmanları ve yapısal periyot gibi birçok dinamik parametreleri olarak değerlendirilmiştir.

Taban izolasyon sisteminin çok katlı betonarme yapıda kullanılmasıyla yapının periyodunun 1.263 sn'den 2.201 sn'ye ulaştığı ve deprem etkilerinin izolasyon seviyesinde sönümlendiği tespit edilmiştir. Tablo 4'te de belirtildiği gibi izolatörlerin yapıda kullanılmasıyla dinamik kütle katılım oranlarının arttırdığı gösterilmiştir.

Tablo 4- *Binalarda oluşan periyot değerleri ve dinamik kütle katılım oranları*

Bina	T1	T2	T3	Dx	Dy	Dz
İzolatörsüz	1,263	1,207	1,083	0.896	0.884	0.013
İzolatörlü	2,201	1,896	1,044	0.91	0.867	0.0015

İzolatörlerin kullanılmasıyla Elbistan ve Pazarcık depremlerinin yapıda oluşturduğu taban kesme kuvvetlerinin sırasıyla %53.60 ve %53.04 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6- *Depremlerden kaynaklı oluşan taban kesme kuvvetleri*

TBDY 2018'e göre izolatörsüz çok katlı betonarme yapının zemin katında yumuşak kat etkisinin oluştuğu Tablo 5'te verilmiştir. Ancak izolatörlerin yapıda kullanılması sonucunda zemin katta herhangi bir yumuşak kat etkisinin oluşmadığı da Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5- *İzolatörsüz betonarme yapının katlarında hesaplanan yumuşak kat değerleri*

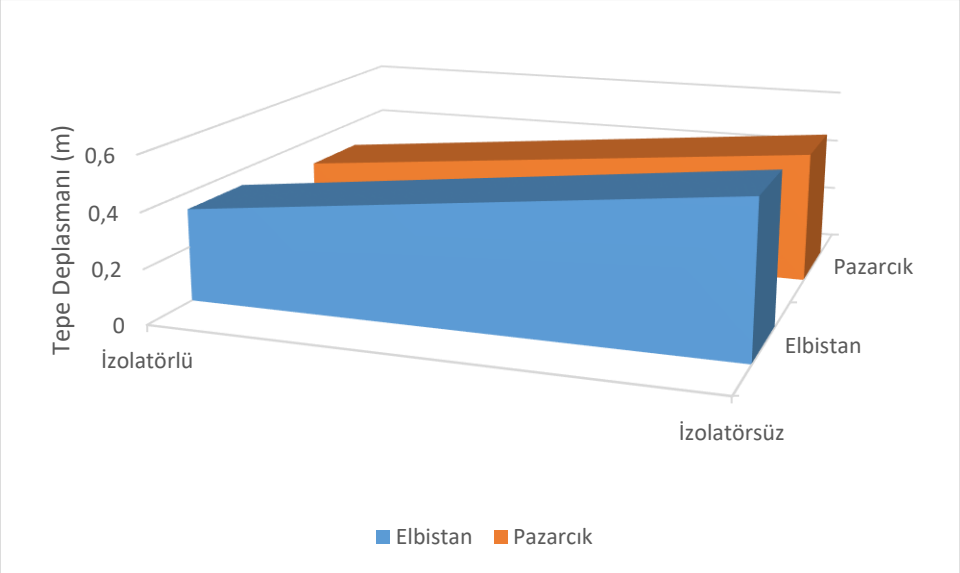
İzolatörsüz	dmax	dmin	dort	Δort	h (m)	nki
7. Kat	0.633	0.571	0.602	0.028	3	0.691
6. Kat	0.602	0.546	0.574	0.0405	3	0.506
5. Kat	0.558	0.509	0.5335	0.08	3	2.254
4. Kat	0.501	0.406	0.4535	0.0355	3	0.500
3. Kat	0.435	0.401	0.418	0.071	3	0.928
2. Kat	0.36	0.334	0.347	0.0765	3	0.890
1. Kat	0.28	0.261	0.2705	0.086	3	0.777
Zemin Kat	0.191	0.178	0.1845	0.1845	5	1.287

Tablo 6- *İzolatörlü betonarme yapının katlarında hesaplanan yumuşak kat değerleri*

İzolatörlü	dmax	dmin	dort	Δort	h (m)	nki
7. Kat	1.166	1.054	1.11	0.055	3	0.809
6. Kat	1.106	1.004	1.055	0.068	3	0.872
5. Kat	1.032	0.942	0.987	0.078	3	0.891
4. Kat	0.948	0.87	0.909	0.0875	3	0.916
3. Kat	0.854	0.789	0.8215	0.0955	3	0.946
2. Kat	0.752	0.7	0.726	0.101	3	0.902
1. Kat	0.644	0.606	0.625	0.112	3	0.364
Zemin Kat	0.526	0.5	0.513	0.513	5	0.364

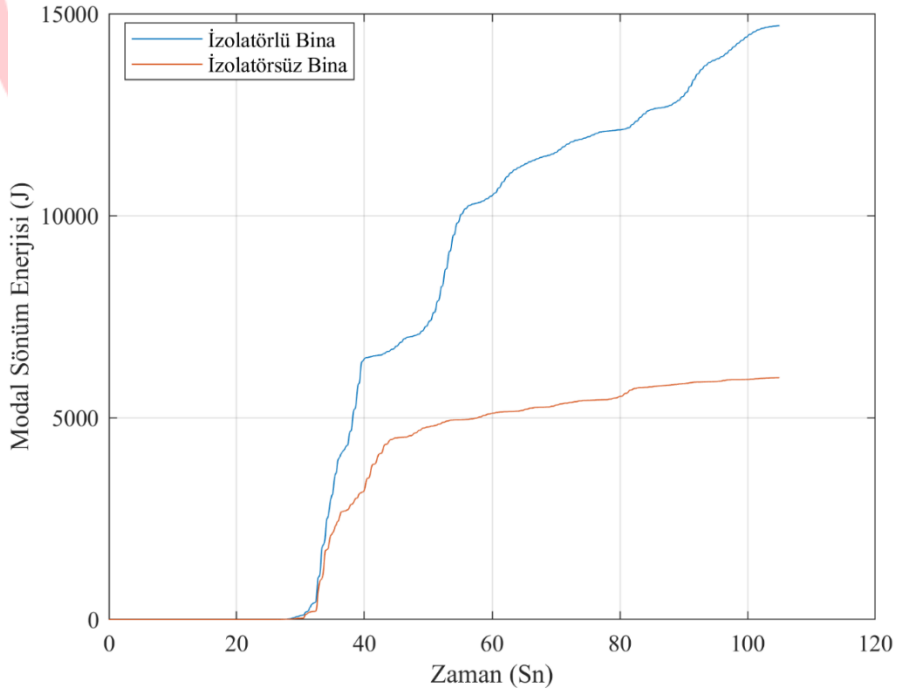
Elbistan ve Pazarcık depremlerinin çok katlı betonarme yapının tepelerinde oluşturduğu maksimum yatay öteleme değerleri sırasıyla 0.55 ve 0.48 m olduğu gözlemlenmiştir. İzolatörlerin betonarme yapıda kullanılmasıyla bu değerlerin sırasıyla 0.34 ve 0.298 m olduğu hesaplanmıştır. İzolatörlerin betonarme yapıda kullanılmasıyla yapıda

oluşan tepe deplasman değerleri Elbistan ve Pazarcık depremlerinde sırasıyla %38.18 ve %37.91 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 7).

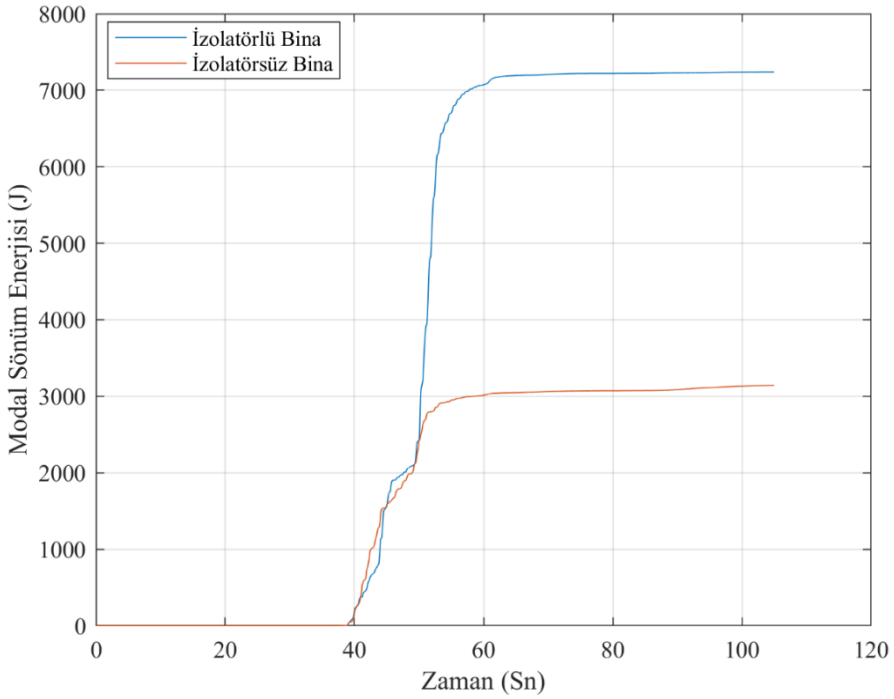


Şekil 7- *Depremlerden kaynaklı yapıda oluşan tepe deplasman değerleri*

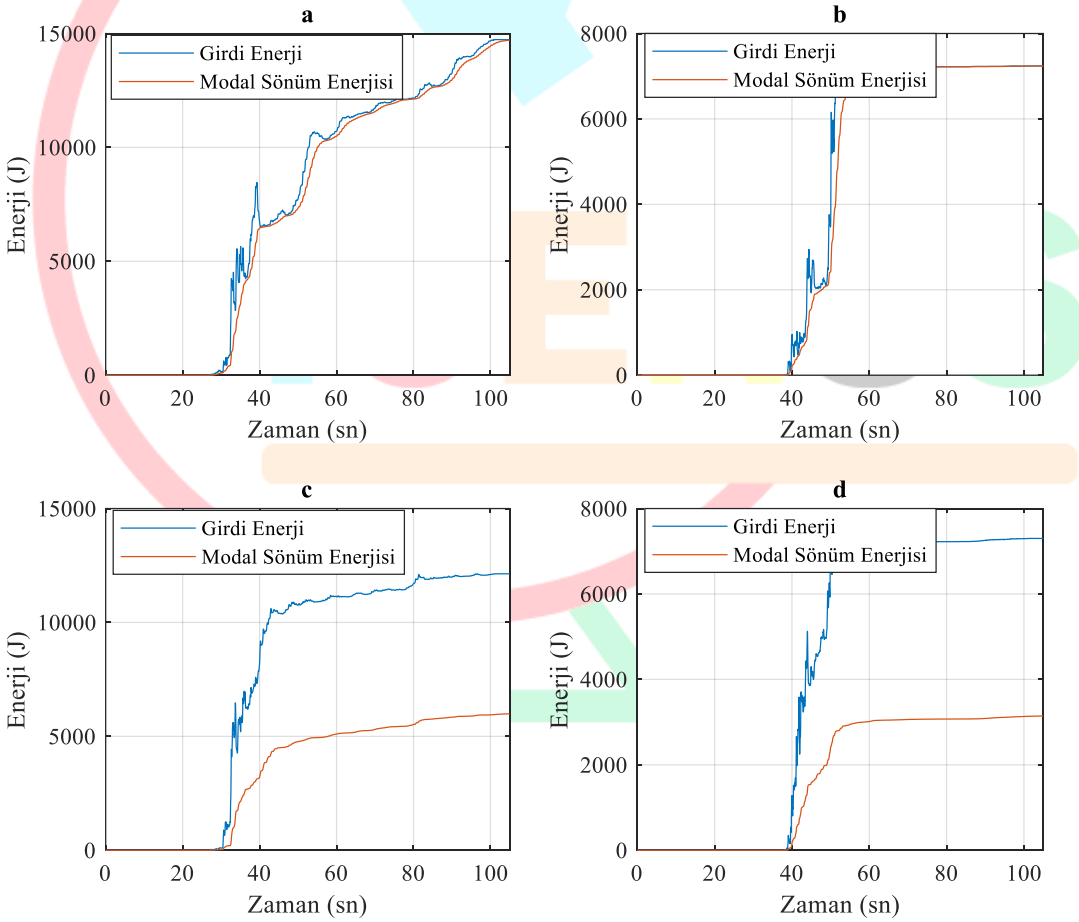
Şekil 8'de Elbistan depremine karşı izolatörlü ve izolatörsüz binanın sönümlemiş olduğu enerjiler verilmiştir. Şekil 9'da ise Pazarcık depremine karşı izolatörlü ve izolatörsüz binanın sönümlemiş olduğu enerjiler verilmiştir. İzolatörlerin betonarme yapıda kullanılmasıyla yapıya ait sönüm enerjilerinin Elbistan ve Pazarcık depremleri için sırasıyla %95.20 ve %56.59 oranında arttığı tespit edilmiştir. Şekil 10 Elbistan ve Pazarcık depreminin yapıda oluşturdukları girdi enerjileri ve modal sönüm enerjilerini göstermektedir. Şekil 10'da da gösterildiği gibi izolatörlerin betonarme yapıda kullanılmasıyla deprem girdi enerjilerinin en az %90'nın izolatörler tarafından sönümlendiği elde edilmiştir.



Şekil 8- *Elbistan depremine karşı yapıda oluşan sönüm enerjileri*



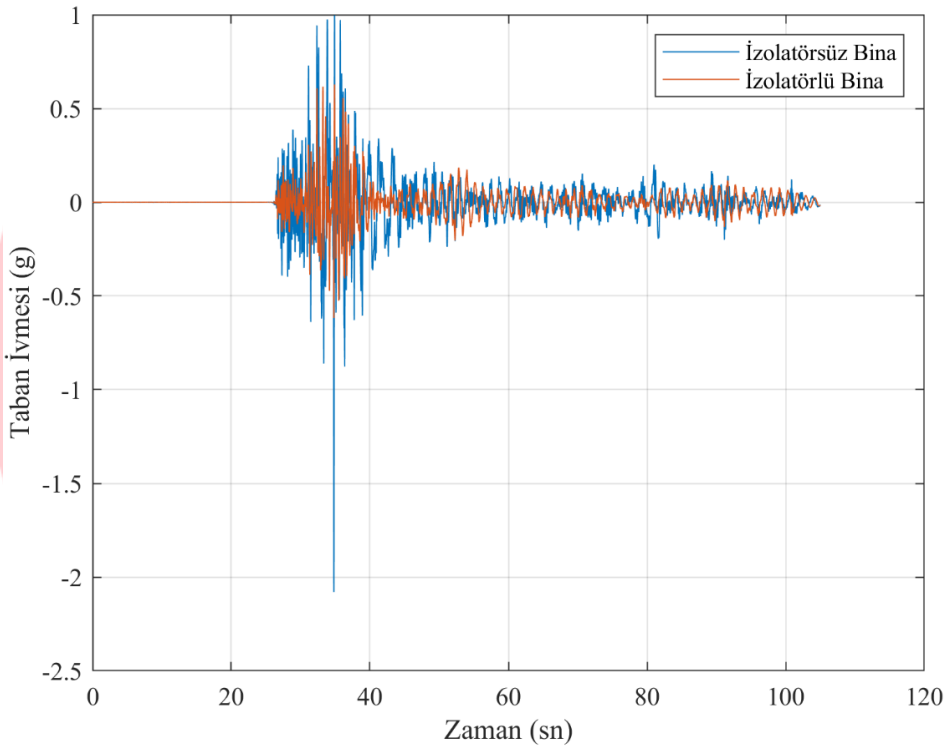
Şekil 9- *Elbistan depremine karşı yapıda oluşan sönüm enerjileri*



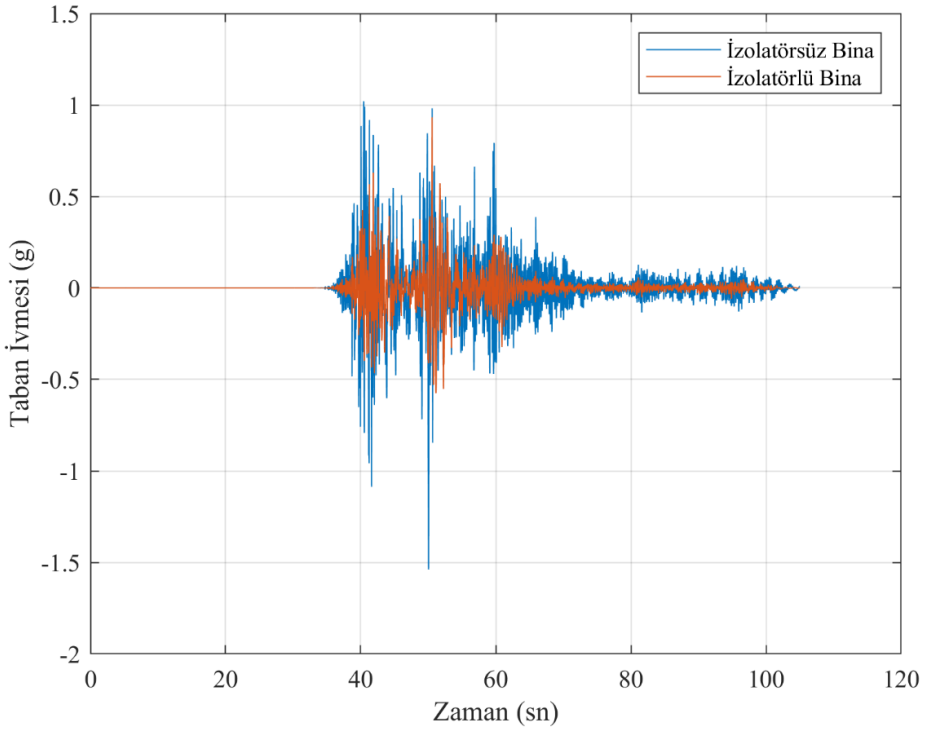
Şekil 10- *Depremlerin yapıda oluşturduğu enerjiler ve izolatörlerin sönümlediği enerjiler; a) Elbistan depremi için izolatörlü durum, b) Pazarcık depremi için izolatörlü durum, c) Elbistan depremi için izolatörsüz durum, d) Pazarcık depremi için izolatörsüz durum.*

Şekil 11'de Elbistan depreminin izolatörlü ve izolatörsüz binalarda oluşturduğu taban ivmesi değerlerini göstermektedir. Şekil 12 ise Pazarcık depreminin izolatörlü ve izolatörsüz binalarda oluşturduğu taban ivmesi değerlerini göstermektedir. İzolatörsüz yapı durumunda Elbistan ve Pazarcık depremleri betonarme yapıda sırasıyla 0.997 ve 1.024g taban ivmesi oluşturduğu belirlenmiştir. İzolatörlü yapı durumunda Elbistan ve Pazarcık depremleri betonarme yapıda sırasıyla 0.628 ve 0.932g taban ivmesi oluşturduğu belirlenmiştir. İzolatörlerin betonarme yapıda kullanılmasıyla Elbistan ve Pazarcık depremlerinin yapıda oluşturduğu taban ivme değerlerini sırasıyla %37.03 ve %8.67 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

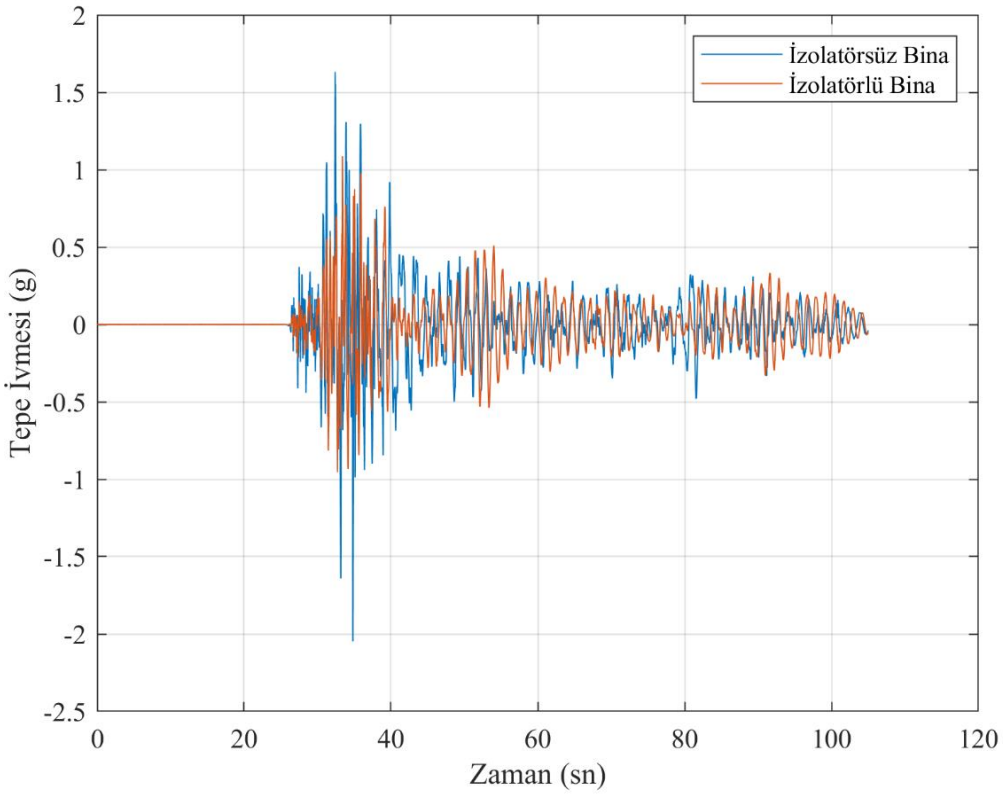
Şekil 13'te Elbistan depreminin izolatörlü ve izolatörsüz binalarda oluşturduğu tepe ivmesi değerlerini göstermektedir. Şekil 14 ise Pazarcık depreminin izolatörlü ve izolatörsüz binalarda oluşturduğu tepe ivmesi değerlerini göstermektedir. İzolatörsüz yapı durumunda Elbistan ve Pazarcık depremleri betonarme yapıda sırasıyla 1.632 ve 1.372g tepe ivmesi oluşturduğu belirlenmiştir. İzolatörlü yapı durumunda Elbistan ve Pazarcık depremleri betonarme yapıda sırasıyla 1.088 ve 0.974g tepe ivmesi oluşturduğu belirlenmiştir. İzolatörlerin betonarme yapıda kullanılmasıyla Elbistan ve Pazarcık depremlerinin yapıda oluşturduğu tepe ivme değerlerini sırasıyla %33.33 ve %29 oranında azalttığı tespit edilmiştir.



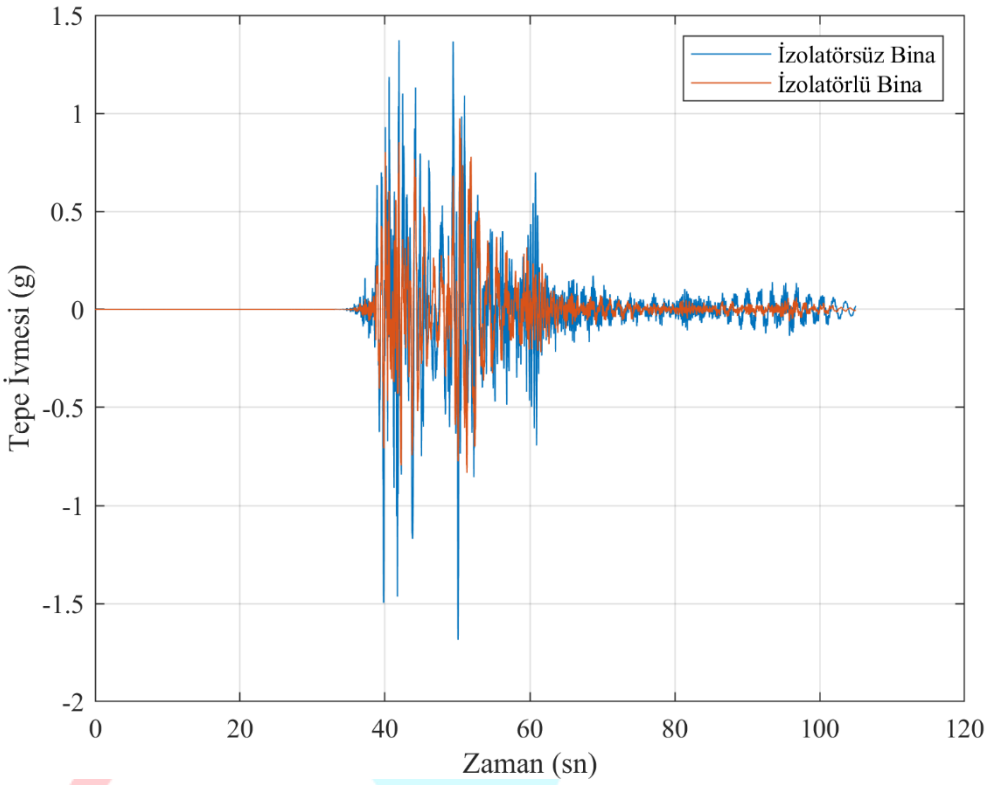
Şekil 11- *Elbistan depreminin oluşturduğu taban ivme değerleri*



Şekil 12- *Pazarcık depreminin oluşturduğu taban ivme değerleri*



Şekil 13- *Elbistan depreminin oluşturduğu tepe ivme değerleri*



Şekil 14- *Pazarcık depreminin oluşturduğu tepe ivme değerleri*

SONUÇLAR

Yumuşak kat etkisi içeren betonarme yapıların deprem etkisi altında ağır hasar aldığı veya göçtüğü yaşanan depremlerden gözlemlenmiştir. Bu çalışmada yumuşak kat etkisi içeren betonarme yapının deprem esnasında göçmemesi ve kendisinden beklenen fonksiyonelliğinin sağlanması için kurşun kauçuk esaslı taban izolasyon sisteminin kullanılabilirliği incelenmiştir. Taban izolasyonlu ve izolasyonsuz yumuşak kat etkisi içeren model betonarme yapılarda Maraş merkezli depremlerin (Elbistan ve Pazarcık) ivme kayıtlarının kullanılmasıyla zaman tanım alanında analizler yürütülmüştür. Elbistan ve Pazarcık deprem ivme kayıtları model betonarme yapıya özgü olarak ölçeklenmiştir. Yapılan analiz sonuçları taban izolasyon sisteminin etkinliklerini aşağıda belirtildiği gibi ortaya koyduğunu göstermiştir.

- TBDY 2018 kriterlerine göre zemin katı yumuşak olan betonarme yapıda taban izolasyon sisteminin kullanılmasıyla herhangi bir yumuşak kat etkisi içermeyeceği tespit edilmiştir.
- Taban izolasyon sisteminin yapıda kullanılmasıyla betonarme yapıya ait hâkim 1.mod periyodunun %42.61 oranında arttığı hesaplanmıştır. İzolatör seviyesinde deprem etkilerinin karşılanabileceği öngörülmüştür.
- Pasif taban izolasyon sisteminin kullanılmasıyla Elbistan ve Pazarcık depremlerinin betonarme yapıda oluşturduğu taban kesme kuvvetleri sırasıyla %53.60 ve %53.04 oranında azaltıldığı tespit edilmiştir.
- Pasif taban izolasyon sisteminin kullanılmasıyla Elbistan ve Pazarcık depremlerinin betonarme yapıda oluşturduğu en büyük tepe deplasman değeri sırasıyla %38.18 ve %37.91 oranında azaltıldığı tespit edilmiştir.
- Pasif taban izolasyon sisteminin kullanılmasıyla Elbistan ve Pazarcık depremlerine karşı betonarme yapıda oluşan sönüm enerjileri sırasıyla %95.20 ve %56.59 oranında arttırıldığı tespit edilmiştir.

- Pasif taban izolasyon sisteminin kullanılmasıyla Elbistan ve Pazarcık depremlerinin betonarme yapının tepesinde oluşturduğu taban ivme değerleri sırasıyla %37.03 ve %8.67 oranında azaltıldığı tespit edilmiştir.
- Pasif taban izolasyon sisteminin kullanılmasıyla Elbistan ve Pazarcık depremlerinin betonarme yapının tepesinde oluşturduğu tepe ivme değerleri sırasıyla %33.33 ve %29 oranında azaltıldığı tespit edilmiştir.

Zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçları kurşun kauçuk esaslı taban izolasyon sisteminin kullanılmasıyla betonarme yapılarda yumuşak kat tasarımının yapılabileceğini göstermiştir. Gelecek yıllarda yeniden tasarlanması planlanan yumuşak katın olması gerektiği ticari yapılarda kurşun kauçuk esaslı taban izolasyon sisteminin kullanılabileceği öngörülmüştür. Mevcut yumuşak kat etkisi içeren yapıların deprem esnasında göçmemesi ve ağır hasar almaması için yapıya dışardan ilave sönüm enerjisi sağlayan güçlendirme tekniklerinin kullanılabilirliğinin araştırılması beklenmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

[1] M. Izadpanah, H. Zibasokhan, P.C. Roussis, P.G. Asteris, Pure-bending yielding dissipater for the seismic retrofitting of reinforced concrete buildings with soft-story irregularity, Structures. (2023). https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.06.078.

[2] Y. Kat, D. Bulunan, B. Bir, B. Performansının, Đ.C.B.Ü. Fen, B. Dergisi, T.O. Karasu, R. Tuğrul Erdem, A. Demđr, M. Bağci, YUMUSAK KAT DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANSININ İNCELENMESİ - PERFORMANCE EVALUATION OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING INCLUDING SOFT STORY IRREGULARITY, Celal Bayar Univ. J. Sci. 7 (2011) 61–69. https://dergipark.org.tr/en/pub/cbayarfbe/issue/4052/53399 (accessed March 25, 2024).

[3] M. Erdik, Y. Kamer, M. Demircioğlu, K. Şeşetyan, 23 October 2011 Van (Turkey) earthquake, Nat. Hazards. 64 (2012) 651–665. https://doi.org/10.1007/s11069-012-0263-9.

[4] Ö. YILDIZ, E. DOĞAN, F.B. YAMAK, Seismic Soil-Structure Interaction of a Masonry Structure: Sungurbey Mosque, Int. J. Innov. Eng. Appl. 5 (2021) 237–249. https://doi.org/10.46460/IJIEA.1004627.

[5] M. ERDIK, REPORT ON 1999 KOCAELI AND DÜZCE (TURKEY) EARTHQUAKES, in: 2001: pp. 149–186. https://doi.org/10.1142/9789812811707_0018.

[6] M.S.E. Nasab, Y.Q. Guo, J. Kim, Seismic retrofit of a soft first-story building using viscoelastic dampers considering inherent uncertainties, J. Build. Eng. (2022). https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103866.

[7] S. Jiang, Q. Chen, C. Li, H. Song, E. Lin, C. Fu, Assessment of Soft-First-Floor Structures Reinforced by Rocking Frame Based on Seismic Resilience, Build. 2024, Vol. 14, Page 197. 14 (2024) 197. https://doi.org/10.3390/BUILDINGS14010197.

[8] A.J. Dereje, J. Kim, Optimal seismic retrofit design method for asymmetric soft first-story structures, Struct. Eng. Mech. (2022). https://doi.org/10.12989/sem.2022.81.6.677.

[9] M. Adane, J. Kim, Seismic retrofit of a soft first story structure considering soil effect, Earthq. Struct. (2023). https://doi.org/10.12989/eas.2023.24.5.345.

[10] SAP2000 | STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN, (n.d.). https://www.csiamerica.com/products/sap2000 (accessed November 25, 2022).

[11] Yerbilimleri Harita Görüntüleyici, (n.d.). http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx (accessed November 25, 2022).

[12] Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, (n.d.). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm (accessed September 17, 2022).

[13] AFAD | deprem.gov.tr, (n.d.). https://deprem.afad.gov.tr/last-earthquakes (accessed November 24, 2022).

[14] S. Nagarajaiah, K. Ferrell, Stability of Elastomeric Seismic Isolation Bearings, J. Struct. Eng. 125 (1999) 946–954. https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1999)125:9(946).

[15] M.F. Vassiliou, A. Tsiavos, B. Stojadinović, Dynamics of inelastic base-isolated structures subjected to analytical pulse ground motions, Earthq. Eng. Struct. Dyn. (2013). https://doi.org/10.1002/eqe.2311.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Polisaj Prosesinde Farklı Zımpara Kombinasyonlarının ve Hat Hızının AISI 304 Kalite Paslanmaz Çelik Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi

Onur AY [1]
Hüseyin Emre ÖZYILMAZ [2]
Hamdi EKİCİ [3]
Bedirhan GÜRAYDIN [4]

1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, yapılarına eklenen minimum %10,5-11 krom oranlarıyla birlikte yüzeylerinde düzenli, pasif oksit yapısını, yani krom oksit tabakasını oluşturmaktadırlar. Oksit tabakası, çelikte yüzey ve yüzeye yakın krom atomlarının atmosferde serbest olarak bulunan oksijeni yakalayıp kararlı bir yapı olan krom oksit (Cr_2O_3) tabakası oluşturması ile mümkün olmaktadır. Bu pasif oksit tabakasının sağlamış olduğu korozyon dayanımı ile birlikte paslanmaz çelikler diğer çelik türlerinden ayrışmaktadırlar. Yapıda artan krom oranları ve kromun yanında matrise eklenen silisyum, mangan, nikel, molibden, titanyum gibi diğer alaşım elementleri paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımları üzerinde çeşitli etkiler oluşturmalarının yanında paslanmaz çeliklerin kristalografik yapılarını dahi değiştirerek hem onları çeşitli sınıflara ayırmakta hem de paslanmaz çeliklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde değişkenlikler yaratmaktadırlar. Alaşım elementlerine ve yapıya eklendikleri oranlara göre asidik, bazik kuvvetli çeşitli reaktiflere dayanımlar görebilmektedirler. Gösterdikleri bu dayanımlar paslanmaz çelikleri kimya, gıda, ilaç, petrokimya, denizcilik, havacılık ve makine sanayisi gibi kritik alanlarda kullanım yeri bulmaktadır. Aynı zamanda paslanmaz çelikler yüksek şekillendirilebilme kabiliyetleri ile dayanımlarını kaybetmeden çeşitli formlar alabilmektedirler. AISI 304 (EN 1.4301) kalite paslanmaz çelik de östenitik paslanmaz çeliklerden bir tanesi olup endüstride fiyat/performans ilişkisini yüksek olarak nitelendirebileceğimiz en çok kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerdendir. Paslanmaz çeliklerin yüzeylerinin parlak görünümlü olması, mekanik ve kimyasal yüzey işlemlerle çeşitli yüzey yapılarının elde edilebiliyor olmaları hem korozyon dayanımları üzerinde etkili olabilmekte hem de estetik kaygıların yüksek olduğu mimari uygulamalarda tercih sebebi olmaktadır. Soğuk haddelenmiş, levha, plaka gibi yassı ürünlerin kimyasal, mekanik ve yüzey özelliklerini ortaya koyan TS EN 10088-2 standardıdır. Yassı ürünlerin yüzey yapıları ve barındırmaları gereken özellikler bu standartta tariflenmiştir (Cochrane, 2005; Palabıyık, 2013; SHAPA, 2000; Türk Standartları Enstitüsü, 2014)

Bu çalışmada rulodan ruloya zımparalama makinasında değişen zımpara kombinasyonları ve hat hızlarına göre malzeme yüzey pürüzlülük değerleri baz alınarak farklı

[1] M.Sc., Trinox Metal, onur.ay@trinoxmetal.com, Orcıd: 0000-0003-2285-0826
[2] B.Sc., Trinox Metal, emre.ozyilmaz@trinoxmetal.com, Orcıd: 0009-0005-3890-3904
[3] Ph.D., Trinox Metal, ekici.hamdi@trinoxmetal.com, Orcıd: 0000-0002-5096-8066
[4] M.Sc., Trinox Metal, Bedirhan.guraydin@trinoxmetal.com, Orcıd: 0000-0002-2250-7828

yüzey morfolojileri elde edilmeye çalışılmış ve değişken parametrelerin birbirleriyle olan ilişkileri incelenerek proses verimliliği ve hat kapasiteleri arttırılmaya çalışılmıştır.

1.1. Paslanmaz Çelik Mekanik Yüzey İşlemleri

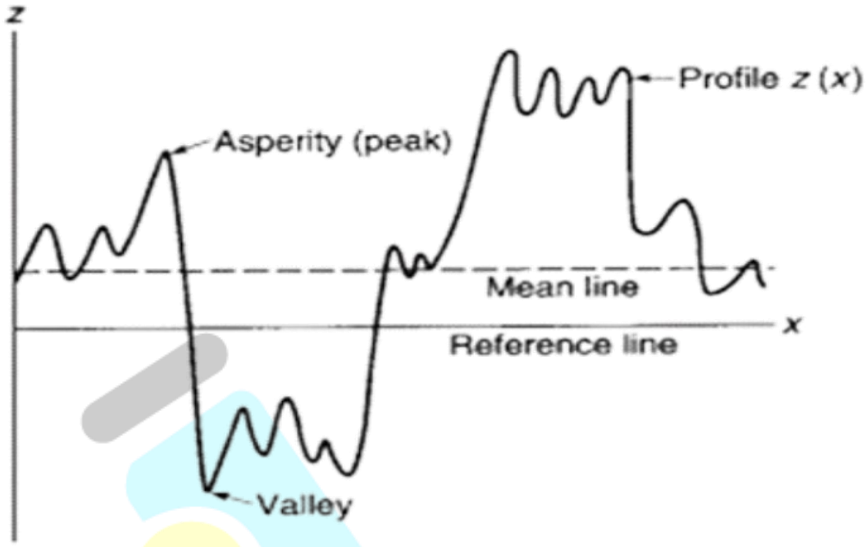
Paslanmaz çeliklerin yüzeylerinin sınıflandırılmasında; mekanik yüzey işlemleri için TS EN 10088-2 standardından yararlanılmaktadır ve standartta yer alan yüzey kaliteleri Tablo-1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: *Mekanik Yüzey İşlemleri için Paslanmaz Çelik Yüzey Kaliteleri (Türk Standartları Enstitüsü, 2014)*

	Kısaltma	**Yöntem Türü**	**Yüzey son katı**	**Notlar**
Soğuk Haddelenmiş	1G veya 2G	Taşlanmış[4]	Bkz. Dipnot[5]	Kum veya yüzey pürüzü derecesi belirtilebilir. Tek yönlü bir desen vardır. Yüzey yansıtıcı değildir.
	1J veya 2J	Fırçalanmış[4] veya mat taşlanmış[4]	Taşlanmış tipten daha pürüzsüzdür	Fırçalama veya taşlama bandının yada yüzey pürüzünün derecesi belirtilebilir. Tek yönlü bir desen vardır. Yüzey pek yansıtıcı değildir.
	1K veya 2K	Saten cila[4]	Bkz. Dipnot[5]	Deniz ortamları ve harici mimari uygulamalar için yeterli korozyon dayanımı sağlar. "J" tipi gibi son kata ek spesifik özellikler barındırır. Ra < 0.5 µm.
	1P veya 2P	Parlak taşlanmış[4]	Bkz. Dipnot[5]	Mekanik olarak parlatılmıştır. Ayna yüzey denilebilir.
	2F	Soğuk haddelenmiş, ısı ile işlem görmüş, kabartılmış tomarlarda kaplama yapılmış	Tek biçimli, yansıtıcı olmayan, mat yüzey	Parlak tavlama yoluyla veya tavlama ve asitle temizleme yoluyla ısıl işlem.
	1M	Desenli	Üzerinde anlaşılacak tasarım; 2 düz yüzey	Zeminlerde kullanılan damalı levhalar.
	2M			Esasen mimari uygulamalarda kullanılan ince desenli bir yüzey.
	2W	Oluklu	Üzerinde anlaşılacak tasarım; 2 düz yüzey	Gücü arttırmak üzere ve/veya kozmetik için kullanılır.
	2L	Boyalı[4]	Üzerinde anlaşılacak tasarım; 2 düz yüzey	
	1S veya 2S	Yüzey kaplamalı[4]		Örn. Kalay, alüminyum ile kaplanmış

1.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü; bir malzeme yüzeyindeki girinti ve çıkıntıların oluşturduğu topoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Pürüzlülük ya da yüzey topolojisi malzemeye uygulanan işlemlere ve işlem şartlarına göre karakteristik olarak değişiklik göstermektedir. Malzemelere kullanım alanlarına göre farklı yüzey karakteristikleri kazandırılmaktadır. Kaydırmalı yatak malzemelerinde yüzey pürüzlülüğünün çok düşük olması istenirken, tutuculuğu yüksek ya da aşındırıcı özellik kazandırılmak istenen yüzeylerde ise çok daha yüksek pürüzlülük değerlerine ulaşılmak istenmektedir. Pürüzlülüğün göstergesi olarak R_a, R_z, R_q, ya da R_t, gibi değerler karşımıza çıkmaktadır. Şekil 1'de yüzey pürüzlülüğünün şematik görünümüne yer verilmiştir (Bhushan, 2001).



Şekil 1: Pürüzlülük Değerinin Şematik Gösterimi (Bhushan, 2001)

R_a: Merkez çizgi etrafında salınım yapan çukur ya da tepelerin ortalama değeri olarak karşımıza çıkmaktadır. R_a değerini ifade eden matematiksel ifade Denklem 1 ve 2'de gösterildiği gibidir(Bhushan, 2001).

$$R_a = \frac{1}{L}\int_0^L |z - m| dx \quad (1)$$

$$m = \frac{1}{L}\int_0^L z dx \quad (2)$$

L = Profil uzunluğu,

z = Profil yüksekliği ve

m = Profil çizgisi boyunca profil yüksekliğini vermektedir(Bhushan, 2001).

R_z: Profil uzunluğu boyunca en yüksek ve en alçak noktaların ortalaması olarak tanımlanmaktadır.

R_q: Profil uzunluğu boyunca yükseltilerin karelerinin toplamının karekök ortalamasını (Denklem 3) ifade etmektedir(Bhushan, 2001).

$$R_q^2 = \frac{1}{L}\int_0^L z^2 dx \quad (3)$$

R_t: Profil boyunca en büyük yüksek ile maksimum derinliğin toplamını ifade eden bir göstergedir(Bhushan, 2001).

1.3.Final İşlem Sonrası Kullanım Alanları

Paslanmaz çeliklerin kullanım alanlarına göre çeliğin yüzeyine uygulanan yüzey işlemler de değişiklik gösterebilmektedir. Aşağıdaki maddelerde bu detaylara yer verilmiştir.

1) Özellikle ısıl işlem ve pickling hattında ve yüzey temperleme hatlarında meydana gelen yüzey kusurlarını (asit lekesi, su lekesi vb.) son işlem ile elimine etmek.

2) İç ve dış mimari uygulamalardaki görsel beklenti.

3) Yüzeyde oluşturulan farklı pürüzlülük değerleri ile gıda ve sağlık sektörleri gibi mikrobiyal etkilerin yüzeye en az tutunma sağlamak amaçlanmaktadır. Aynı zamanda yüzey temizliğini kolaylaştırmaktır.

4) Denizel etkilere maruz kalan yüzeyler için yine düşük pürüzlülük değerindeki yüzeyler ile çalışmak korozyon dayanımını arttırıcı etki göstermektedirler.

5) Yüzey pürüzlülüğünü arttırmak; boya, kaplama, yapıştırma gibi proseslerin yapılabilirliğini kolaylaştırmaktadır (SHAPA, 2000).

2. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, AISI 304 kalite, 0,8 mm kalınlığında ve 1030 mm genişliğinde malzeme kullanılmıştır. Malzemeye ait kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 2'de gösterilmiştir. Çalışmaların yapıldığı üretim hattına ait şematik gösterim Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: *Kimyasal ve Mekanik Özellikler Tablosu*

% Kütlece Kimyasal Bileşim ve Mekanik Özellikler									
C	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Cu**	**N**
0,032	0,38	1,4	0,033	0,002	18,25	8,01	0,03	0,03	0,071

Akma Mukavemeti (MPa)	**Çekme Mukavemeti (MPa)**	**Uzama (%)**	**Sertlik (HV1)**
310	669	55.4	178



Şekil 2: *Polisaj Hattı Şematik Gösterimi (IST, 2023)*

Yapılan çalışmalar IST (Kore) marka rulodan ruloya polisaj hattında yapılmıştır. Polisaj işlemi kuru olarak gerçekleştirilmektedir. Makinada 1 adet açıcı mandrel bir adet sarıcı mandrel, 3 adet kalibre zımpara ünitesi ve 3 adet de mob fırça ünitesi bulunmaktadır.

Çalışma yapılan zımpara ünitelerinin çalışma prensibi şu şekildedir; kalibre zımpara yivli kauçuk merdaneler arasına takılmaktadır. Kauçuk merdanelerden biri hareketledir ve zımpara da gergi oluşturmaktadır. Alt kauçuk merdanenin hemen altında krom kaplı destek merdanesi bulunmaktadır. Malzeme bu iki merdanenin arasından geçmekte ve zımpara ünitesine verilen baskı, zımpara devir sayısı ve osilasyon parametreleri ile zımparalama işlemi gerçekleştirilmektedir. Çalışmada hat hızlarının ve zımpara kombinasyonlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelendiği için zımpara devir sayısı, malzeme üzerine uygulanan baskı kuvveti ve malzeme giriş pürüzlülüğü gibi değişkenlik yaratacak unsurlar sabit tutulmuştur. Çalışmada alınan tüm ölçümler malzemenin merkezinden HYD (Hadde Yönüne Dik) ve HYP (Hadde Yönüne Paralel) alınmıştır. Çalışmada Mahr marka M300 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır.

Tablo 3: *Çalışma Kapsamında Sabit Tutulan Hat Parametreleri Tablosu*

1.Zımpara Hızı (m/s)	**2.Zımpara Hızı (m/s)**	**1.Zımpara Baskı Değeri (A)**	**1.Zımpara Baskı Değeri (A)**
27,65	27,65	70	70

Tablo 4: *Çalışmada Proses Edilen AISI 304 Kalite Paslanmaz Çelik Bobinin Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Tablosu*

Polisaj İşlemi Öncesi Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri						
Alaşım	**Kalınlık (mm)**	**Yüzey**	**HYD**		**HYP**	
			Ra	Rz	Ra	Rz
AISI 304	0,8	2B	0,113	1,047	0,102	1,004

Çalışmada aşağıdaki zımpara tipi ve kum boyları kullanılmıştır. Sırasıyla alüminyum oksit (Al_2O_3) P150, P240, P280 ve P320 kum zımparalar ve silisyum karbür (SiC) P320 ve P400 zımparalar kullanılmıştır. Şekil 3 ve 4'te gösterilen grafiklere ait deneme kombinasyonları Tablo 5'te belirtilmiştir. Çalışmada oluşturulan her bir kombinasyon 15 m/dk ve 25 m/dk hat hızlarında proses edilmiştir. Hat hızı zımpara gridleri ile birlikte değişken parametreleri oluşturmaktadır. Şekil 5, 6, 7 ve 8 numaralı grafiklerin oluşturulmasında da Tablo 6'da yer alan tablodan faydalanılmıştır.

Tablo 5: *Tek Zımpara Değişken Hat Hızı Etkisi Deneme Tablosu*

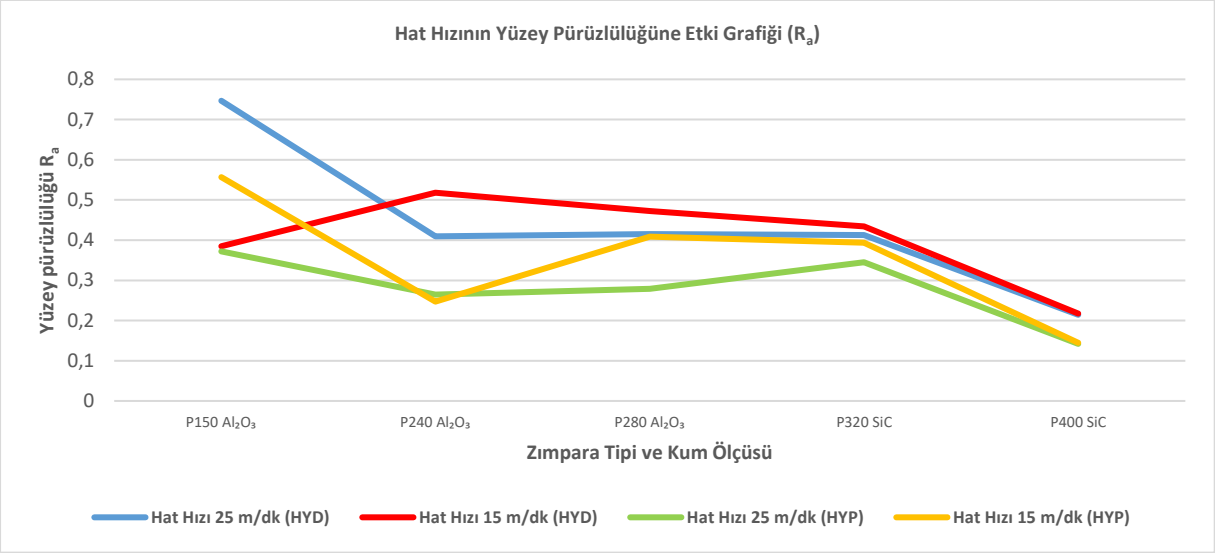
1.Zımpara	**Hat Hızı (m/dk)**
P150 Al_2O_3	15
P150 Al_2O_3	25
P240 Al_2O_3	15
P240 Al_2O_3	25
P280 Al_2O_3	15
P280 Al_2O_3	25
P320 SiC	15
P320 SiC	25
P400 SiC	15
P400 SiC	25

Tablo 6: *Çalışma Kapsamında Oluşturulan Zımpara Kombinasyonları Tablosu*

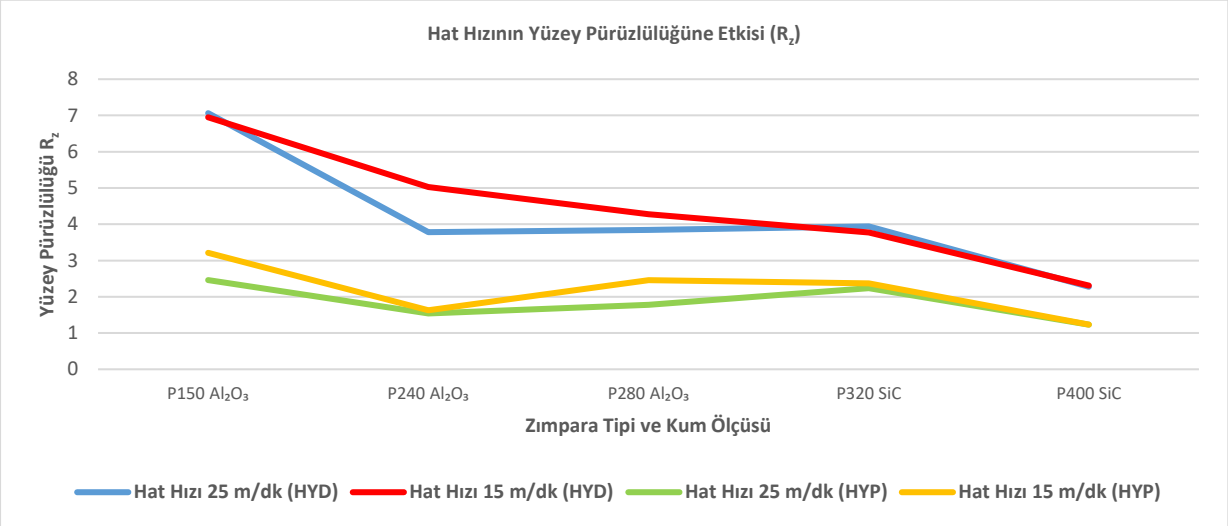
1. Zımpara	**2. Zımpara**
P150 Al_2O_3	P240 Al_2O_3
P150 Al_2O_3	P280 Al_2O_3
P150 Al_2O_3	P320 Al_2O_3
P150 Al_2O_3	P320 SiC
P150 Al_2O_3	P400 SiC
P240 Al_2O_3	P320 SiC
P280 Al_2O_3	P320 SiC
P240 Al_2O_3	P400 SiC
P280 Al_2O_3	P400 SiC

3. BULGULAR

Çalışmada tek zımparanın nihai yüzey pürüzlülüğüne etkisini görmek adına çalışılan ünite sonrasında pürüzlülük ölçümleri alınmıştır. Bu elde edilen ölçümlere ait inceleme Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3'e bakıldığında yüzey üzerinde pürüzlülüğe aşındırıcı tane boyutunun direkt etkisi olduğu görülmüştür. Hat hızı 15 m/dk'dan 25 m/dk'ya çıkarıldığında yüzeye birim zamanda temas eden zımpara süresi kısaldığı için; hattın hızlanması yüzey pürüzlülüğünü düşürmektedir. Şekil 3'te ölçümler sonucunda elde edilen Ra değerleri HYD ve HYP değerleri incelenmiştir. Birbirleriyle tutarlılık göstermektedir. Aynı durum Şekil 4'teki Rz değerleri için de geçerlidir.

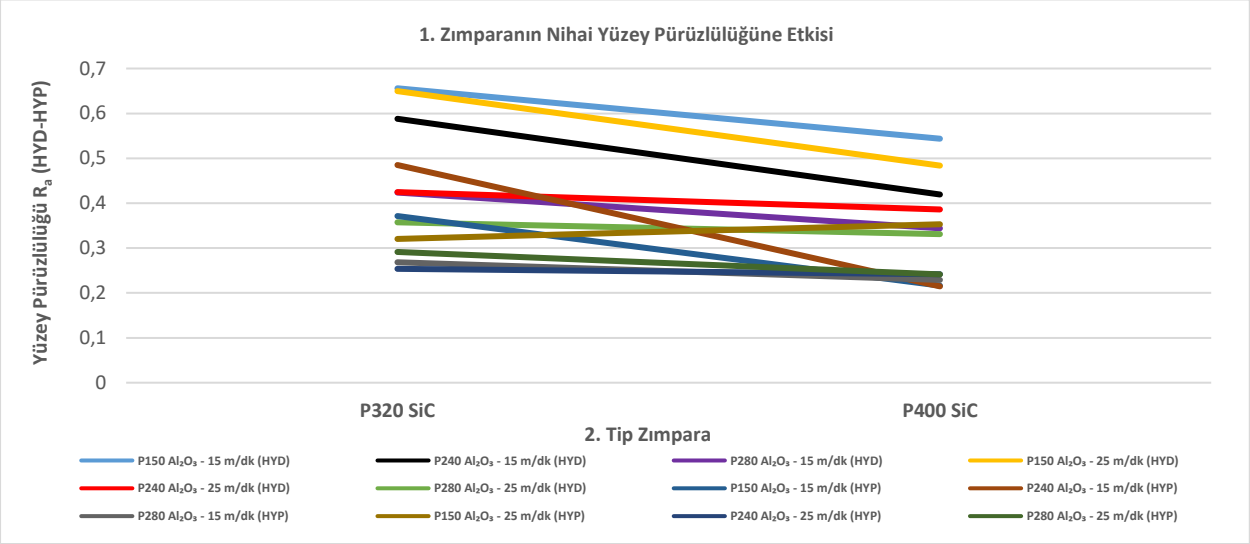


Şekil 3: *Hat Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Grafiği (R_a)*

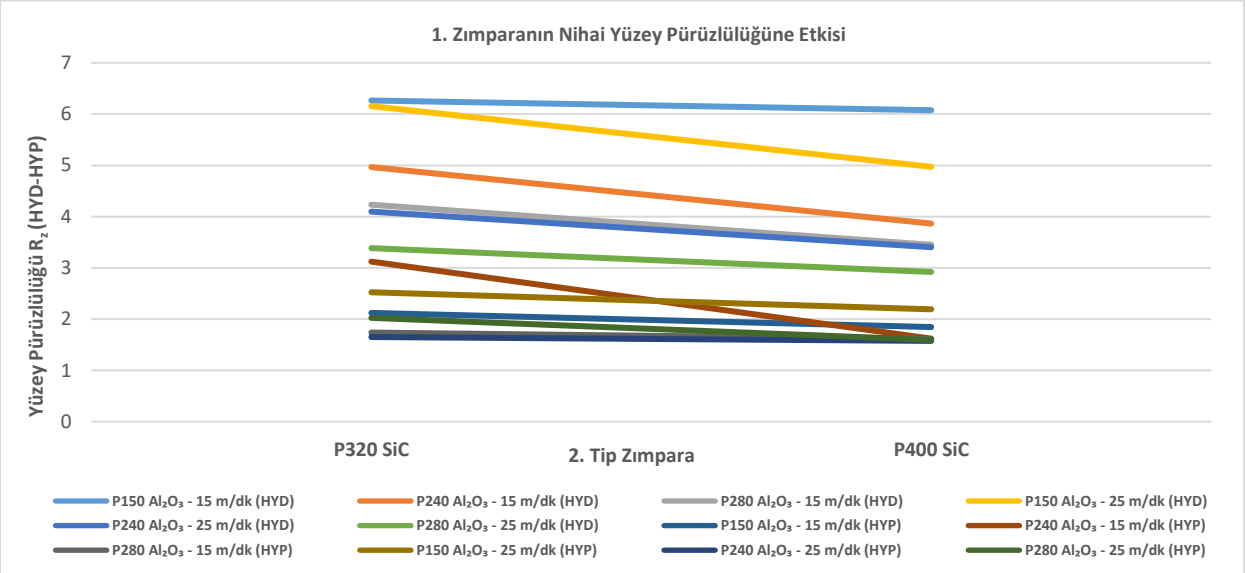


Şekil 4: *Hat Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Grafiği (R_z)*

Çalışmada 2 adet zımparadan, sıralamada 1. ünitede takılı olan zımparanın nihai yüzey pürüzlülüğüne etkisini görmek adına çalışma yapılmış ve pürüzlülük ölçümleri 2. ünite sonrasında alınmıştır. 2. ünitede P320 SiC ve P400 SiC zımparaları kullanılmış olup 1. ünitede P150 Al_2O_3 – P240 Al_2O_3 ve P280 Al_2O_3 zımparalar ile kombinlenmiştir. Şekil 5'e ve Şekil 6'ya bakıldığında giriş ünitesindeki zımpara pürüzlülüğü arttıkça nihai yüzey pürüzlülüğünde de artış görülmektedir. Şekil 3-4-5-6 baz alınarak hat hızı ve yüzey pürüzlülüğünün ters orantılı olduğu tespit edilmiştir.

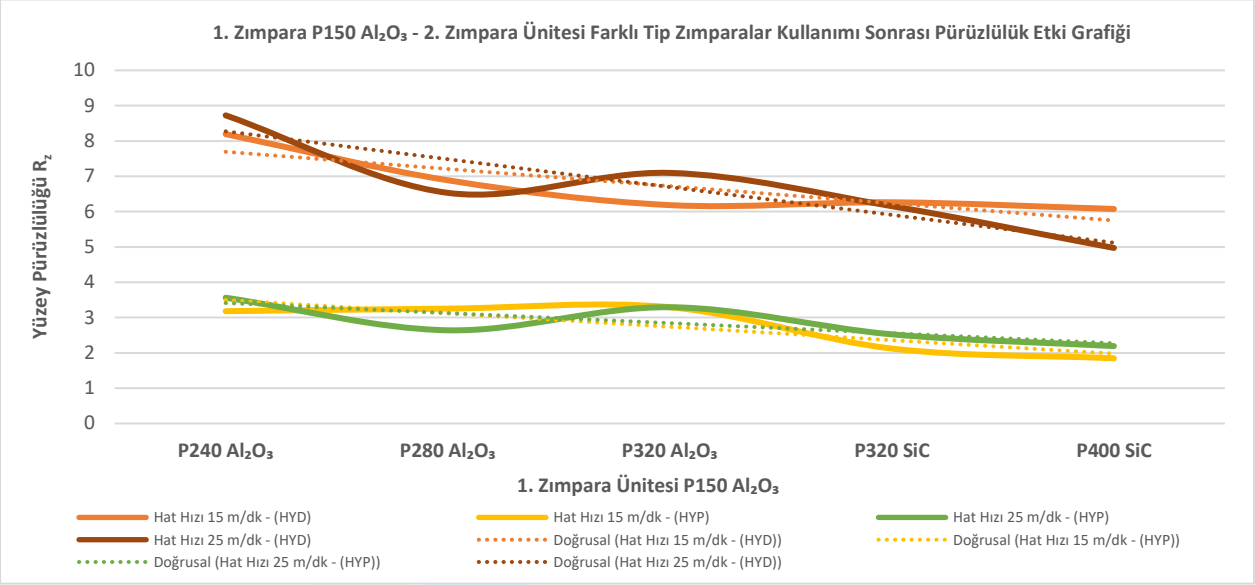


Şekil 5: 1. Zımparanın Nihai Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Grafiği (Ra)

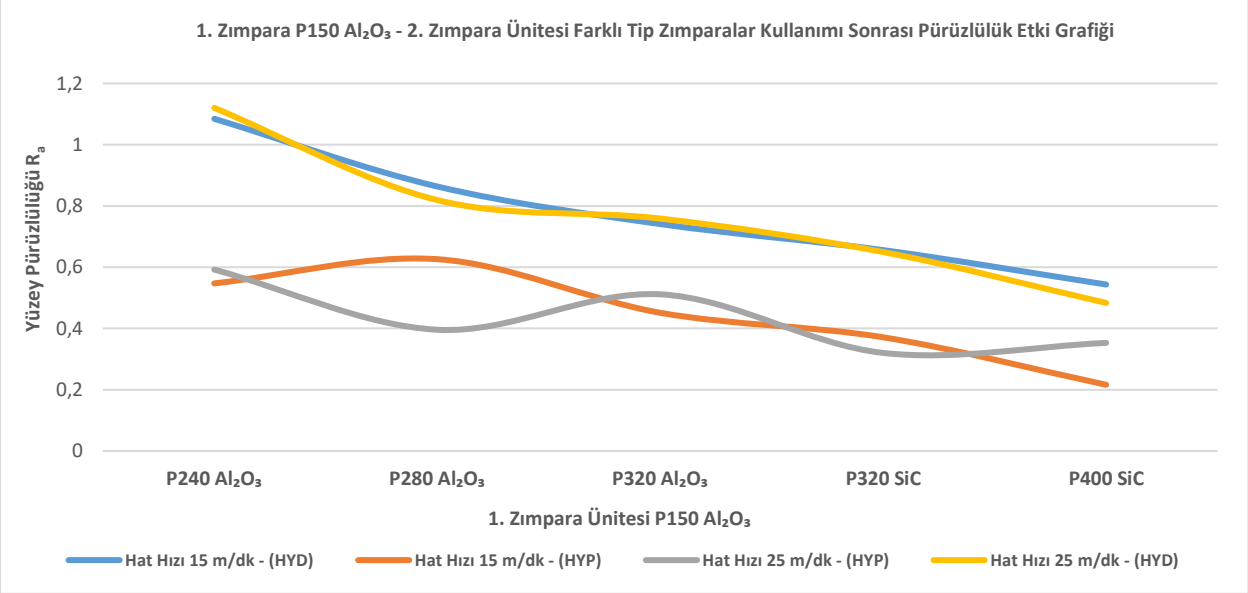


Şekil 6: 1. Zımparanın Nihai Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Grafiği (Rz)

Çalışmada 1. zımpara ünitesinde P150 Al2O3 zımpara sabit tutulup 2. Zımpara ünitesindeki zımparalar değişken olarak proses edilmiştir. 2. zımpara ünitesindeki zımpara kum boyutları küçüldükçe yüzey pürüzlülüğünü direkt azaltıcı yönde etki ettiği gözlemlenmiştir. P280 Al_2O_3 – HYD ve HYP R_a değerleri, P320 Al_2O_3 HYD ve HYP R_z değerleri beklenenin dışında azalması gerekirken arttığı gözlemlenmiştir. Genel trende bakıldığında eğim negatif yönlüdür fakat belirtilen veriler trendin üstünde kalmıştır. Bu verilerdeki sapmanın ölçüm kaynaklı hatadan olduğu düşünülmektedir (Şekil 7 ve 8).



Şekil 7: *1. Zımpara P150 Al_2O_3 - 2. Zımpara Ünitesinde Farklı Tipte Zımparalar Kullanımı Sonrası Pürüzlülük Etki Grafiği (R_z)*



Şekil 8: *1. Zımpara P150 Al_2O_3 - 2. Zımpara Ünitesinde Farklı Tipte Zımparalar Kullanımı Sonrası Pürüzlülük Etki Grafiği (R_a)*

4. SONUÇLAR

- Yapılan çalışmalar neticesinde yüzey pürüzlülüğünün hat hızı ile ters oranlı olduğu görülmüştür.

- Zımpara pürüzlülüğü yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde hat hızından daha belirleyicidir.

- Giriş zımpara pürüzlülüğü ne kadar fazla ise nihai durumdaki pürüzlülük değerinin de o kadar fazla olduğu görülmüştür.

- Proses esnasında pürüzlülüğün yüksek olduğu tespit edildiği durumlarda hat hızları arttırılarak bu değerler aşağıya çekilebilir.

- Polisaj hatlarında hattı hızlandırmak için zımpara pürüzlülüğü yüksek tutulmasının faydalı olacağı ve bu durum da tek zımpara ile daha fazla malzemenin işlenmesinin önünü açmakta ve birim zamanda proses edilen malzeme miktarını arttırarak maliyet avantajı sağladığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Çalışmalar sırasında bizlerden desteğini esirgemeyen Trinox Metal üst yönetimine, bu çalışmanın okuyucuyla buluşmasında bizlere yardımcı olan hat operatörü Murat TUNCA'ya operatör yardımcısı Görkem BOCUNA'ya ve kalite teknisyeni Murat ÇELİK'e teşekkürlerimizi bir borç biliriz.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Bhushan, B. (2001). Surface roughness analysis and measurement techniques. The Ohio State University.

Cochrane, D. (2005). Paslanmaz çelik yüzeyleri kılavuzu (2. baskı). Nickel Institute, Sidcup, U.K.: Lüksembourg Büyük Dükalığı. ISBN 978-2-87997-258-9.

IST Korea. (2023, June 23). Surface roughness analysis and measurement techniques. Retrieved from http://www.istkorea.kr/contents_en/page2-15.html

Palabıyık, O. (2013). Soğuk deformasyonun AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin mikroyapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına etkisi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.

SHAPA. (2000). The surface finish of stainless steel on fabricated items (Technical Bulletin No. 1). January.

Türk Standartları Enstitüsü. (2014). Paslanmaz çelikler- Bölüm 2: Genel amaçlar için korozyona dirençli çeliklerden yapılan sac/levha ve şeritlerin teknik teslim şartları (TS EN ISO 10088-2).

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Yeni Gemi İnşaatında Proje ve Zaman Yönetimi

Onur KONTAŞ[1]
Nurten VARDAR[2]

Özet

Yeryüzünde ticaretin büyük bir çoğunluğu gemiler aracılığıyla sağlanmaktadır. Bunun yanında gemiler güvenlik, araştırma, keşif, üretim, depolama, gıda, turizm ve eğlence gibi pek çok farklı alanda da faaliyet göstermektedir. Bu bağlamda gün geçtikçe dünya pazarındaki talebin ticaret hacminin artması, emisyon nedeniyle regülasyonların değişmesi, artan güvenlik ihtiyacı gibi muhtelif nedenlerle farklı cins gemilere olan ihtiyaç da gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda proje yönetimiyle alakalı pek çok standart ve çalışma yapılmış olsa da özellikle yeni gemi inşaatı gibi seri üretime dayalı olmayan ve aktivite sayısının fazla olduğu bir alanda yapılmış olan çalışmalar son derece azdır. Mühendislikten ürüne doğru bir imalat süreci olan yeni gemi inşaatında ise bir projenin başarılı olup olmadığının anlaşılması için proje yönetimi ve proje süreci boyunca zaman yönetiminin doğru şekilde yapılması son derece önemlidir. Disiplinler arası olan yeni gemi inşaatının tedarik zincirinden imalat yöntemlerine insan kaynaklarından değişen ve gelişen teknolojiyle birlikte farklılık gösteren pazara kadar pek çok etkene sahip olduğu da göz önünde bulundurulduğunda mevzubahis alandaki proje sürecini etkileyebilecek olan farklı kalemlere dair yazılmış olan literatürlerin incelenmesi proje yönetiminin anlaşılması için son derece önem arz etmektedir.

Keywords: Yeni gemi inşaatı, proje yönetimi, zaman yönetimi, proje ve zaman yönetimi, tedarikçi yönetimi, risk yönetimi

[1] Yüksek Lisans Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, Orcid: 0009-0000-6741-891X
[2] Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, Orcid: 0000-0002-9042-7029

ISBN: 978-625-372-170-1

Proje ve Gemi İnşaatında Proje Yönetiminin Ana Bileşenleri

Yeryüzünde gemiler deniz ticareti, ulaşım, savunma, güvenlik, turizm, eğlence, doğal kaynaklar, araştırma ve keşif olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır. Dolayısıyla gemiler dünyada gerek gündelik hayat gerekse uluslararası ilişkiler olmak üzere ticaretten güvenliğe kadar hayati bir role sahiptir. Bu bağlamda gemilere olan ihtiyaç gerek teknolojik gerekçeler gerek ticaret hacminin artması gerekse iklim değişikliğine istinaden karbon salınımının azaltılması gibi gerekçeler sebebiyle gün geçtikçe artmaktadır. Pek çok disiplinin bir araya geldiği ve kompleks bir yapıya sahip olan gemi inşaatında proje ve zaman yönetimi gün geçtikçe artmaktadır. Projelerde verimliliği arttırmak için ilgili alanda yapılmış çalışmaların incelenmesi ve bu çalışmalara göre sonuçlar çıkarılması son derece önemlidir.

1980li yıllardan itibaren proje yönetimi gün geçtikçe önem kazanmaktadır (Garel, 2013). Gemi inşaatında proje yönetimi, gemi inşaat projelerinin başarılı bir şekilde planlanması, uygulanması, kontrol edilmesi ve tamamlanması için kullanılan disiplinler arası bir yaklaşımdır. Gemi inşaat projeleri genellikle büyük ölçekli, karmaşık ve çok sayıda paydaşın bulunduğu projelerdir. Proje yönetimi, bu projelerin istenen zamanda istenen bütçe ve kalitede tamamlanmasını sağlamak için kullanılan yönetim süreçlerini içerir (Rokooei, 2015).

Gemi inşaatında proje yönetiminin ana bileşenleri aşağıdaki gibidir:

Planlama: Proje yönetimi, gemi inşaat projeleri için detaylı bir planın oluşturulmasını içerir. Bu plan, projenin hedeflerini, kapsamını, zaman çizelgesini, bütçesini ve kaynaklarını belirler. Ayrıca, risklerin tanımlanması ve yönetimi için stratejilerin geliştirilmesini de içerir.

Kaynak Yönetimi: Proje yönetimi, gemi inşaat projelerinde kullanılan kaynakları etkin bir şekilde yönetmeyi hedefler. Bu kaynaklar arasında malzeme, işgücü, finansal kaynaklar ve ekipmanlar yer alır. Proje yönetimi, kaynakların planlanması, tahsis edilmesi, izlenmesi ve gerektiğinde yeniden düzenlenmesi süreçlerini içerir.

İlerleme Takibi ve Kontrol: Proje yönetimi, gemi inşaat projelerinin ilerlemesini sürekli olarak takip eder ve projenin plana uygun olarak ilerlemesini sağlar. İlerleme takibi ve kontrol, gerçekleşen işlerin kaydedilmesi, varsa sapmaların tespit edilmesi ve düzeltici önlemlerin alınması süreçlerini içerir.

Risk Yönetimi: Gemi inşaat projeleri birçok riskle karşı karşıyadır. Proje yönetimi, potansiyel riskleri tanımlamayı, analiz etmeyi ve uygun önlemleri almayı içerir. Bu, projenin güvenlik, maliyet ve zaman açısından risklere karşı korunmasını sağlar.

Değişiklik Yönetimi: Gemi inşaat projeleri sürecinde değişiklikler kaçınılmaz olabilir. Proje yönetimi, değişiklik taleplerinin tanımlanmasını, değerlendirilmesini ve uygun yöntemlerle yönetilmesini sağlar. Bu, değişikliklerin projeye etkilerini analiz etmeyi ve uygun şekilde yönetmeyi içerir.

Gemi İnşaatında Proje Yönetimine Dair Literatür Özeti

Gemi inşaatı mühendislik-imalat üzerine çalışan bir sektördür. İmalat talebi geldikten sonra mühendislik çalışmalarının başladığı ve teslimin ilgili isterlere göre yapıldığı göz önünde bulundurulursa dizayndan imalata ekipman tedariğinden kalite kontrol standartlarına kadar finansın da işin içine girdiği kompleks bir mühendislik yapısı oluşmaktadır. Buna istinaden gemi inşaatı temel olarak aşağıda belirtilen beş aşamadan oluştuğu söylenebilir (Fatouh & Rego, 2023).

- Gemi tasarımı,

- Tedarikçiler ve lojistik,
- İmalat ve montaj,
- Geminin kullanımı,
- Ürünün kullanım süresi.

Yukarıda belirtilen kalemlere ek olarak geminin inşa süresi boyunca armatör, tasarımcı, tersane, tedarikçiler, klas ve bayrak organizasyonları da ilgili inşa süresi zarfında ve hatta devamında söz konusu projenin paydaşlarıdır (Henrique Mello vd., b.t.). Bu tarz kompleks bir yapıya sahip olan gemi inşaatında projenin sağlıklı bir şekilde yürümesini sağlamak için proje yönetimi gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Bir geminin onlarca farklı bileşenden bir araya geldiği düşünülürse gemi inşaatında tedarik zincirinin önemi göz ardı edilmemelidir. Tedarik zinciri kısaca tedarikçi seçimi, malzeme ve ekipman tedariği, lojistik, koordinasyon ve kalite kontrol ile kalite güvenceyi içermektedir. İnşa sürecinin herhangi bir sekteye uğramaması açısından tedarik zinciri diğer pek çok sektörde olduğu gibi gittikçe önem kazanmaktadır. Başka bir şekilde ifade edilecek olunursa etkili bir tedarik zinciri yönetimi, projenin başarılı bir şekilde tamamlanmasını, maliyetlerin kontrol altında tutulmasını, kalitenin sağlanmasını ve zamanında teslimatı destekler (Ramirez-Peña vd., 2020).

Tedarik zinciri gelişen ve gittikçe birbirine entegre hâle gelen dünyada projelerin daha kısa sürede bitmesine de yardımcı olan bir elementtir. Endüstri devrimiyle birlikte mühendisliğin gün geçtikçe verimlilik ve güvenlik üzerine odaklanması sebebiyle ilgili zincirde inşa hızıyla doğrudan alakalıdır. Bu sayede hızlı malzeme temini, olası bir gecikmeye karşı gerekli önlemlerin alınmış olması, proje paydaşları arasında koordinasyon inşa sürecini doğrudan etkileyen bir faktördür.

İnşa süresi boyunca kullanılacak olan ekipmanlarda ise belirsizlik faktörleri inşa sürecini doğrudan etkilemektedir. Belirsizliğe neden olan faktörler arasında ise proje karmaşıklığı, tasarım değişiklikleri, talep belirsizliği, tedarikçi ilişkileri, kaynak planlaması ve müşteri beklentileri örnek gösterilebilir (Alfnes vd., 2021). Keza ilgili belirsizlikler tedarik süreçlerinin gecikmesine, maliyet artışlarına, kalite sorunlarına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olduğu görülmektedir. Dijital teknolojinin gelişmesiyle birlikte bunun yansıması gemi inşaatı sektöründe de görülmektedir. Örneğin "Shipbuilding Supply Chain Framework and Digital Transformation: A Project Portfolios Risk Evaluation" isimli çalışma genel olarak bir gemi inşaatı şirketinin proje portföyünü analiz etmek ve tedarik zinciri risklerini ele almaktadır ve ele aldığı konuyu değerlendirmek için bir çerçeve geliştirmiştir. Bu çerçeve, proje portföyündeki riskli alanları ve bu risklerle başa çıkmak için kullanılabilecek dijital dönüşüm araçlarını belirlemek için kullanılmıştır. Makale tedarik zinciri risklerini belirlemek ve bunları finansal, operasyonel, teknik ve stratejik risk kategorilerine göre sınıflandırmak için kullanılmıştır. Makaleye istinaden denilebilir ki olası bir gecikme yalnızca inşa prosesini değil operasyonel ve finansal alanları da etkilemektedir (Smith vd., 2022).

Proje yönetimi hususunda bir yöntem de incelikli zamanlama yöntemidir (Shahsavar vd., 2021). İncelikli zamanlama, tedarik zinciri yönetiminde kullanılan bir stratejidir ve iş süreçlerinin optimize edilmesi, kaynakların verimli kullanımı ve teslimat sürelerinin iyileştirilmesi üzerinde odaklanır. Bu metodoloji projenin zamanında tamamlanma oranının arttırmayı, maliyetlerin düşürülmesi ve müşteri memnuniyetinin arttırmayı hedeflemektedir. Sektörde sıklıkla kullanılan bir yöntem olması sebebiyle verimliliği de arttırmayı hedefleyen yöntemin amaçlarından birisi de teslimat sürelerinin azaltılmasıdır.

Verimliliği arttırabilecek olan ve proje yönetimini kolaylaştırabilecek olan bir diğer husus ise tersanelerin modernizasyonudur. Tersaneler, büyük ölçekli projelerin gerçekleştirildiği karmaşık organizasyonlardır ve tersaneler modernizasyon aracılığıyla verimliliğini ve rekabet gücünü artırmayı hedeflemektedir. Buna kurumsal olarak örnek vermek açısından organizasyonel yapının yeniden yapılandırılması, iş süreçlerinin iyileştirilmesi, teknolojik yeniliklerin benimsenmesi ve insan kaynakları yönetiminin güçlendirilmesini örnek verilebilir (Gogolukhina & Mamedova, 2022). Kurumsal olarak

yapılacak olan iyileştirmeler departmanlar arası iletişim hızını hızlandırabilecek, inşa süreci esnasında daha kısa sürede reaksiyon verebilecek kalemleri içermektedir. İnsan kaynaklarının güçlendirilmesiyle birlikte yeni çalışmaya başlayanların iş yerlerine hızlı adaptasyonları, işin devamlılığının sağlanması, ağır sanayi olan gemi inşaatında iş ve hayat arası dengenin sağlanmasını içerebilir. Bu tarz iyileştirmeler ise gerek iş esnasında olası değişikliklere karşı hızlı reaksiyon vermeyi sağlar gerekse işin devamlılığında oluşabilecek zaman kayıplarını daha kısa sürede telafi edilmesini sağlar. Teknolojik yenilikler ise ön imalattan devreye alma ve geminin teslim aşamasına kadar geçen zaman zarfında olabilecek olan hataları minimize ederken verimlilik ile iş sağlığı ve güvenliğini arttırır. İnsan emeğine de dayalı olan gemi inşaatı sektöründe yapılacak olan kurumsal iyileştirmelerin ve iş süreç analizlerinin getirisi proje yönetimi özelinde zamandan tasarruf vesilesiyle verimliliğin artmasıdır.

Yeni bir geminin inşaatı esnasında önemli olan hususlardan birisi ise inşa edilen yerin, yani tersanenin, enerji tüketimidir. Gemi inşaat sektörü doğası itibariyle enerji tüketen bir sektör olup dünyada sera etkisi yaratan gazlar ve IMO (International Maritime Organisation) kapsamında gelen regülasyonlarla beraber gemilerin emisyon oranlarının düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu sebepten dolayı tersanelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi ve sürdürülebilirlik gittikçe önem kazanmaktadır (Vakili vd., 2021). Farklı paydaşların yer aldığı gemi inşaatında bu paydaşların vereceği kararlarla birlikte inşaatın gerçekleştiği bölgede bulunan kamusal otoriterlerin isterleri, ihracat yapılacaksa ilgili ülkenin isterleri, teknik analizler ve çevresel etkiler birleştirerek bütüncül bir karar verme süreci göz ardı edilmemelidir. İlgili isterlerin karşılanması inşa sürecini etkileyen temel faktörlerden birisidir ve aynı zamanda inşa sürecinin de ön isterlerinden birisidir.

Gelişen teknolojiyle birlikte proje yönetim sistemlerinin de geliştiği su götürmez bir gerçektir. Gemi inşaatının proje yönetimi özelinde kullanılan metotlardan birisi de yalın üretimdir. Yalın üretim yaklaşımında gemi ister terzi usulü isterse seri üretimle çıkan gemi olsun verimliliğin arttırılması hedeflenir. Diğer hedefler ise iş süreçlerinin kısalması, hataların azalması, müşteri memnuniyetinin artması ve sürekli iyileştirmeyle gelecek olan sarf malzeme ile adam saat özelinde israfın azaltılmasıdır. Yalın üretim kavramı Toyota'nın üretim metodolojisini inceleyen Prof. James P. Womack ve Daniel T. Jones tarafından ortaya koyulmuştur. Verimliliğin arttırılması ise aşağıda belirtilen sekiz kalem işteki iyileştirmeler ile sağlanır. Bunlar:

- Aşırı üretim,
- Bekleme,
- Gereksiz transport,
- Fazla proses ya da yanlış proses seçimi,
- Sarf malzemenin gereğinden fazla kullanılması,
- Yanlış aşamada işlem yapılması,
- Hatalar ve kusurlar,
- Çalışanların kullanılmayan yaratıcılıkları

şeklindedir. İlgili proje yönetim metodu Japonya'da, Norveç'te ve Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanmaktadır (Sharma & Gandhi, 2017). Yalın üretim metodunun yaygın ve katı bir şekilde kullanıldığı Japonya'da ise gemi inşaatı özelinde 1965 ve 1995 yılları arasında takribi olarak %150'lik bir büyüme olduğu gözlemlenmiştir (Lamb, 2001). Yalın üretimin bir başka avantajı ise aynı işin tekrar yapılmamasıdır bu da verimliliğe etki eden bir başka husustur.

Proje yönetimi esnasında önemli faktörlerden birisi de iletişimdir. Gemi inşaatında projeler birden fazla paydaşı da içerdiği için iletişimde oluşabilecek olan aksamalar ya da kopukluklar projeye zarar verecektir. "Continuity and change in interorganizational project practices: The Dutch shipbuilding industry, 1950–2010" isimli makalede de belirtilmiş olduğu üzere proje esnasında taraflar arasında oluşabilecek olan güvensizlik veya iletişim kopukluğu yalnızca projenin uzamasına değil aynı zamanda sektörün değişmesine de neden olmaktadır. Araştırmada da belirtilmiş olduğu üzere ilgili zaman zarfındaki değişimler taraflar arası

güvensizliğe neden olduğu gibi güvensizliğin getirisi ortak bir payda çerçevesinde hedefe ulaşmak değil tarafların kendi kârlarını maksimize etmek şeklinde olmuştur, bu durum ise yekûn hesapta getiriden çok götürüye neden olmuştur (Levering vd., 2013).

Proje yönetiminde önemli hususlardan birisi de risk yönetimidir. Daha önce de belirtilmiş olduğu üzere yeni gemi inşaatı birden fazla paydaşın bulunduğu kompleks bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla risk yönetimi ve potansiyel risklerin belirlenmesi yeni gemi inşaatında son derece önemlidir. Risk yönetimi özetlenecek olunursa risk faktörlerini tanımlamak, ilişkileri analiz etmek, olasılık ve etki değerlerini tahmin etmek ve sonuçları değerlendirmek şeklinde ifade edilebilir. Mühendisliğin daha önce de belirtilmiş olduğu üzere verimliliği arttırmayı ve oluşabilecek olan riskleri minimize etmeyi hedeflediğini düşünürsek risk yönetimi ile alakalı metodolojiler projelerin risklerini daha iyi anlamak, kararları daha bilinçli bir şekilde almak ve olası sonuçları tahmin etmek için son derece önemli araçlardır. İlgili belirsizliklerin saptanması proje yönetimi esnasında ortaya çıkacak olan dar boğazları da belirlenmesi açısından önem arz etmektedir (Lee vd., 2009).

Gemi inşaatında zaman yönetimi ise yukarıda bahsi geçen kalemlere istinaden ortaya çıkmaktadır. Tedarikçi zinciri yönetiminden belirsizliklerin belirlenmesi gereken önlemlerin alınmasına kadar, başka bir ifadeyle söylenecek olursa risk yönetimine kadar, yapılacak olan iyileştirmeler yeni gemi inşaatında zaman anlamında verimliliği arttıracak kalemlerdir. Proje ekipleri arasında koordinasyonun ve iş birliğinin arttırılması gerek beyaz gerekse mavi yakaya verilecek eğitimler ile hataların tekrarlanmasının önüne geçilmesi başta olmak üzere yapılacak olan organizasyonel iyileştirmeler projenin zaman açısından tasarrufunu sağlayabileceği gibi müşteri memnuniyetini de arttıracaktır. Bunların yanında tedarikçi zincirinin doğru seçilmesi ve ilgili bilgi paylaşımının doğru zamanda yapılması son derece önemlidir.

Proje yönetimi esnasında teori ile pratik arasında ilgili uyum sağlanmalıdır. Teorik temellerin anlaşılması pratik açıdan projenin başarı ile tamamlanmasını sağlayan temel unsurdur. Teori anlamında örnek olarak ilgili kısıtların ve risklerin belirlenmesi yer alırken pratik anlamında mevzubahis kısıtlara ve risklere alınabilecek önlemler yer almaktadır. Bunun sağlanması ise iletişim ve iş birliği sayesinde olacaktır. İlgili iletişim ve iş birliğinin sağlanamadığı durumlar projenin çıkmaza girme ihtimali son derece yüksektir. Kompleks yapı olan gemilerde ilgili kısıtların ve risklerin belirlenmesi önceki projelerden elde edilen ve çıkarılan sonuçlara göre yapılmalıdır. Teori ile pratiğin birleştiği hususlarda zaman kaybının önüne geçilecek ve verimlilik arttırılacaktır.

Proje yönetiminde verimliliği arttıran bir başka husus ise projeye istinaden ilgili tasarım çalışmasının yapılmasıdır. Günümüzde pek çok tersanede 3D dizayn programları, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) programları kullanılmaktadır. Bunların geliştirilmesi ise oluşabilecek hataları engelleyeceği gibi müşteri memnuniyetini arttıracak da bir hususdur. Dizayn üzerinde yapılacak olan iyileştirmeler sayesinde inşa süreci hızlanacak ve verimlilik artacaktır. Dünya üzerinde pek çok tersanede gemiler blok olarak üretilmekte olup ilgili bloklarda kaynak, taş gibi sıcak işlemler bittikten sonra blokların montajı başlamaktadır. Bu da imalat sürecinin ve verimliliğin artması olduğu için bazı tersanelerde simülasyon uygulaması da kullanılmaktadır (Y. J. Song vd., 2009).

Gemi inşaatı proje yönetimi kompleks bir yapıda olup çok fazla aktivite içerdiğinden ve muhtelif proje yönetim standartlarının da tam uymamasından dolayı ilgili alanda yapılan kısıtlı çalışmalardan birisi de George Bruce'un yazmış olduğu "Shipbuilding Management" isimli kitaptır (Bruce, 2020). İlgili kitap yeni gemi inşaat sürecinin planlama, dizayn, kalite kontrol, üretim, tedarik zinciri, iş sağlığı ve güvenliği gibi başlıklar altında ele almaktadır. Kitap genel olarak gemilerin seri üretimle üretilen ürünler olmaması sebebiyle proje yönetim süreçlerini ve farklı disiplinlerin birbirleriyle olan etkileşimini kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Hem teorik hem de pratik açıdan güncel ve geçmişten gelen örnekleri içeren kitap mevzubahis alanda yazılmış en yetkin eserlerden birisidir.

Ümran Bilen Doğan tarafından 2012 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği özelinde yazılmış olan "PMI Methodology Utilization in

Shipbuilding Project Management" isimli yüksek lisans tezi ise PMI standartlarına göre yeni gemi inşaatının uyarlanmış olduğu sayılı araştırmalardan birisidir (Doğan, 2012). PMI standardı, Project Management Institute tarafından 1960lı yıllardan itibaren proje yönetiminin nasıl olması gerektiği ve proje yönetimi esnasında verimliliğin nasıl arttırılacağı üzerinde yapılan çalışmalardan oluşmaktadır. İlgili yüksek lisans tezi Türkiye özelinde de tersanelerden örnekler aldığı için son derece değerli bir çalışmadır. Öte yandan tez yazıldığı yıl itibariyle PMBOK 4 (2008) standardını kullanmıştır, fakat şu anda yürürlükte olan standart PMBOK 7 (2021) standardıdır, zira standart dünya üzerinde gerçekleşen gelişmelere istinaden düzenli olarak güncellenmektedir ve dijital teknolojilerin gelişmesiyle inşaat mühendisliği için çıkan PMI standardı da dijital teknolojiye doğru geçiş yapmıştır. Yine de üretim ve mühendislikten ürüne doğru bir proses olan yeni gemi inşaatı özelinde ilgili tez özellikle Türkiye'den de örnekler vermesi sebebiyle son derece değerli bir çalışmadır.

"A systematic approach of lean supply chain management in shipbuilding" isimli araştırma makalesiyse tedarik zinciri yönetiminde yalın üretim stratejinin benimsenmesinin yeni gemi inşaatında olumlu etkilerini göstermeyi amaçlamaktadır (Chu vd., 2021). Bu sayede tersane özelinde verimlilik ve üretkenlik artacakken işçilik maliyetleri de düşecektir. Özellikle bilgisayar destekli işletme kaynak yönetimi (ERP) programlarının gelişmesi ve bunun yanında gelişen teknolojiyle birlikte çalışmada yapılmış olan hayali üretim hattında ciddi bir verimlilik artışı gözlemlenmiş, projelerin daha yüksek kalitede ve daha kısa zamanda gerçekleştirilebileceği ileri sürülmüştür.

"Research on systematization and advancement of shipbuilding production management for flexible and agile response for high value offshore platform" isimli dergi makalesindeyse özellikle işletme kaynak yönetimlerinin ve pazardaki taleplerin sürekli değişmesi sebebiyle yerel yeni gemi inşaatı yapan mevzubahis taleplere nasıl tepki verebileceği ele alınmaktadır (Y.-J. Song vd., 2011). Seul Ulusal Üniversitesi'nden araştırmacılar ve Samsung Tersanesi'nden çalışanlarla birlikte yazılmış olan makalede dijital olarak bir tersane kurulumu ve üretim metodolojisi geliştirilmiş olup ilgili tasarımın temel performans indikatörleri (KPI/Key Performance Indicator) ve kazanılmış değer analizi yapılmıştır. İlgili çalışma FPSO, FSRU gibi offshore petrol üretimiyle alakalı gemileri konu edinmiştir, bunun nedeniyse bu tip gemilerin günümüze kadar pek fazla değişmeden gelmesiyken günümüzde değişmesinden dolayıdır.

"Shipbuilding engineer-To-order supply chain: A systematic literature review" isimli literatür araştırması mühendislikten ürüne doğru bir süreç olan yeni gemi inşaatında tedarik zincirinde oluşabilecek olan problemlerin nelere yol açabileceğini ele aldığı makaleler üzerinden anlatmaktadır (Fatouh & Rego, 2023). Pek çok farklı sektörde tedarik zinciri ve bunlara dair yönetim metodlarıyla alakalı çalışmalar yapılmışken ilgili çalışmanın da belirttiği gibi mevzubahis husus yeni gemi inşaatında eksik kalmıştır, dolayısıyla çalışma az ele alınan bir konuyu incelediği için son derece önemlidir.

"Exploring systemic factors creating uncertainty in complex engineer-to-order supply chains: Case studies from Norwegian shipbuilding first tier suppliers" makalesi ise tedarik yönetim zincirindeki bilinmezliklerin nasıl aşılabileceğine dair yapılmış olan bir çalışmadır. İlgili/çalışmada da belirtilmiş olduğu üzere yeni gemi inşaatı takribi olarak %70-80 arası bir oranda tedarik zincirine dayanmaktadır. Çalışmada temel bilinmezliklerin neler olabileceği ve bunların gerek tedarikçi gerekse yeni gemi inşaatı yapılan yere olan etkilerini ele alındığı gibi temel bilinmezlik gerekçelerinin de neler olabileceği araştırmaya katılan ve farklı firmalarda çalışan insanlarla yapılan röportaj üzerinden tasnif edilmiştir. Üretim esnasındaki farklı paydaşlardan bilgi alınarak oluşturulan çalışmanın önemi doğrudan reel durumla da ilişkilendirildiği için göz ardı edilemez.

Mühendislikten ürüne doğru bir proses içeren yeni gemi inşaatında tedarikçi yönetimine dair yazılmış olan bir başka makale ise "The challenges of supply strategy selectionin a project environment: evidence from UK naval shipbuilding" isimli araştırma makalesidir (Sanderson & Cox, 2008). Makale tek bir tedarik zincirini ele alırken

karşılaşılabilecek zorlukları ve bunların üstesinden gelme yöntemlerini ele alır. Risk yönetimi konusuna da eğilen makale farklı proje yönetim metotlarının harmanlanarak risklerin ne şekilde azaltılabileceğini vurgular.

"Competitive differentiation within the shipbuilding industry: The importance of competence in the field of services" isimli kitap ise tedarikçi yönetiminde yalnızca gereklilik tarihlerinin çıkarılmasını değil aynı zamanda ürünün kapsamının nasıl olması gerektiği, gerekli dokümantasyonların ne zaman ulaşması gerektiği gibi ürün kapsamına dair detayları ele almaktadır (Sauerhoff, 2014). Çalışmada da belirtildiği üzere yeni gemi inşaatı yapılan tersaneler doğaları gereği entegratördür. Dolayısıyla gemi üzerinde entegrasyonun sağlanması için yapılacak olan çalışmalar ve bu çalışmaların nasıl koordine edileceği proje verimliliğini doğrudan etkileyen unsurlardan birisidir.

Tedarikçilerden gelecek olan bilgi akışı ve bunların yeni gemi inşaatını nasıl etkilediğine dair yazılmış olan bir başka makaleyse "Analyzing the factors affecting coordination in engineer-to-order supply chain" isimlidir (Mello vd., 2015). Çalışmada tedarikçi koordinasyonunun nasıl sağlanması gerektiği farklı projelerden örneklerle incelenmiş olup koordinasyon isterlerinin ne şekilde olacağı üzerinde durulmuştur.

"Semantic multi-agent system to assist business integration: An application on supplier selection for shipbuilding yards" isimli makaledeyse ürün tedariğinin semantik olarak hangi aşamalardan geçmesi gerektiği ve bu aşamaların birden fazla ürün opsiyonu varsa bilişsel olarak nasıl elleçlenebileceği irdelenmiştir (Li vd., 2018).

Tedarik zinciri özelinde tedarikçilerin büyük gemi inşaatı projelerinde kapasitelerinin geliştirilmesinin hangi metotlarla sağlanabileceğine dair yapılmış olan bir çalışma ise "Supplier capabilities in large shipbuilding projects" isimli makaledir (Ruuska vd., 2013). Tedarikçiler özelinde ilişki, tedarikçi geliştirilmesi, tedarikçinin finansal durumu gibi farklı açılardan konuyu inceleyen makale yeni inşaat sürecinin tedarikçilerle birlikte nasıl daha verimli hâle gelebileceğini vurgulamaktadır.

Sonuç

Kompleks bir inşa sürecine sahip olan gemilerde proje yönetimi finans alanından uluslararası ilişkilere kadar pek çok bileşeni içermektedir. Bu sebepten dolayı gemi inşaatında proje yönetiminin profesyonelleşmesi bunu gerçekleştiren kurumlar özelinde yalnızca verimliliği değil aynı zamanda müşteri memnuniyetini de arttıracaktır. Projelerin daha kısa zamanda daha başarılı olması için önceden yapılmış olan çalışmalar dikkatlice incelenmeli ve çalışmaların bulguları güncel ve muhtemel gelecekteki koşullar göz önünde bulundurularak incelenmelidir. Günümüzde şirketlerin başarı ölçütleri yalnızca finans değil aynı zamanda verimliliktir; bu bağlamda proje yönetiminde yapılacak olan iyileştirmelerin önemi göz ardı edilemez.

Gelişmiş ülkelerin denizcilikte de geliştiği göz önünde bulundurulup geminin makine, elektrik, elektronik, malzeme bilimi gibi pek çok farklı disiplini içermesine istinaden gemi inşaatında yapılacak olan gelişmeler ilgili yan sanayiyi ve bununla beraber pek çok sanayi kolunun da gelişmesine yol açacaktır. Bu durumun istihdam ve ihracatta katkı sağlayacağı son derece açıktır.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynakça

Garel, G. (2013). A history of project management models: From pre-models to the standard models. International Journal of Project Management, 31(5), 663–669. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.011

Rokooei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 210, 87–95. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.332

Fatouh, T., & Rego, N. (2023). Shipbuilding engineer-To-order supply chain: A systematic literature review. Procedia Computer Science, 219, 1868–1876. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.485.

Henrique Mello, M., Gosling, J., Mohamed Naim, K. M., Ola Strandhagen, J., & Olaf Brett, P. (b.t.). Improving coordination in an engineer-to-order supply chain using a soft systems approach.

Ramirez-Peña, M., Sánchez Sotano, A. J., Pérez-Fernandez, V., Abad, F. J., & Batista, M. (2020). Achieving a sustainable shipbuilding supply chain under I4.0 perspective. Journal of Cleaner Production, 244. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118789

Alfnes, E., Gosling, J., Naim, M., & Dreyer, H. C. (2021). Exploring systemic factors creating uncertainty in complex engineer-to-order supply chains: Case studies from Norwegian shipbuilding first tier suppliers. International Journal of Production Economics, 240, 108211. https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2021.108211

Smith, K., Diaz, R., & Shen, Y. (2022). Development of a framework to support informed shipbuilding based on supply chain disruptions. Procedia Computer Science, 200, 1093–1102. https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.309

Shahsavar, A., Sadeghi, J. K., Shockley, J., & Ojha, D. (2021). On the relationship between lean scheduling and economic performance in shipbuilding: A proposed model and comparative evaluation. International Journal of Production Economics, 239, 108202. https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2021.108202

Gogolukhina, M., & Mamedova, L. (2022). Organisational and economic aspects of deep modernisation and foundation projects of shipbuilding yards. Transportation Research Procedia, 63, 2072–2078. https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2022.06.231

Vakili, S. V., Ölçer, A. I., & Schönborn, A. (2021). Identification of shipyard priorities in a multi-criteria decision-making environment through a transdisciplinary energy management framework: A real case study for a turkish shipyard. Journal of Marine Science and Engineering, 9(10). https://doi.org/10.3390/jmse9101132

Sharma, S., & Gandhi, P. J. (2017). Scope and Impact of Implementing Lean Principles & Practices in Shipbuilding. Procedia Engineering, 194, 232–240. https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.08.140

Lamb, Thomas, 2001, World-Class Shipbuilders, SNAME Transactions.

Levering, R., Ligthart, R., Noorderhaven, N., & Oerlemans, L. (2013). Continuity and change in interorganizational project practices: The Dutch shipbuilding industry, 1950–2010. International Journal of Project Management, 31(5), 735–747. https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2012.12.010

Lee, E., Park, Y., & Shin, J. G. (2009). Large engineering project risk management using a Bayesian belief network. Expert Systems with Applications, 36(3 PART 2), 5880–5887. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.057

Back, M. G., Lee, D. K., Shin, J. G., & Woo, J. H. (2016). A study for production simulation model generation system based on data model at a shipyard. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 8(5), 496–510. https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2016.05.005

Bruce, G. (2020). Shipbuilding Management. In Shipbuilding Management. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8975-1

Doğan, Ü. B. (2012). PMI Methodoloy Utilization in Shipbuilding Project Management Department of Naval Architecture and Marine Engineering Naval Architecture and Marine Engineering Programme.

Chu, N., Nie, X., Xu, J., & Li, K. (2021). A systematic approach of lean supply chain management in shipbuilding. SN Applied Sciences, 3(5). https://doi.org/10.1007/s42452-021-04562-z

Song, Y.-J., Woo, J.-H., & Shin, J.-G. (2011). Research on systematization and advancement of shipbuilding production management for flexible and agile response for high value offshore platform. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 3(3), 181–192. https://doi.org/10.2478/ijnaoe-2013-0061

Fatouh, T., & Rego, N. (2023). Shipbuilding Engineer-To-Order Supply Chain: a Systematic Literature Review. Procedia Computer Science, 219, 1868–1876. https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2023.01.485

Sanderson, J., & Cox, A. (2008). The challenges of supply strategy selection in a project environment: Evidence from UK naval shipbuilding. Supply Chain Management, 13(1), 16–25. https://doi.org/10.1108/13598540810850283

Sauerhoff, C. (2014). Competitive differentiation within the shipbuilding industry: The importance of competence in the field of services. In Competitive Differentiation within the Shipbuilding Industry: The Importance of Competence in the Field of Services. Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-05804-3

Mello, M. H., Strandhagen, J. O., & Alfnes, E. (2015). Analyzing the factors affecting coordination in engineer-to-order supply chain. International Journal of Operations and Production Management, 35(7), 1005–1031. https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2013-0545

Li, J., Sun, M., Han, D., Wu, X., Yang, B., Mao, X., & Zhou, Q. (2018). Semantic multi-agent system to assist business integration: An application on supplier selection for shipbuilding yards. Computers in Industry, 96, 10–26. https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.01.001

Ruuska, I., Ahola, T., Martinsuo, M., & Westerholm, T. (2013). Supplier capabilities in large shipbuilding projects. International Journal of Project Management, 31(4), 542–553. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.09.017

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Effectiveness of different filtering approaches for enhancing AE behavior of concrete

Özgen ACET[1]
Burak GÜLŞEN[2]
Omair INDERYAS[3]
Sena TAYFUR[4]
Ninel ALVER[5]

Abstract

Earthquakes pose significant challenges that affect both society and economies. In order to ensure structural reliability and take necessary precautions, it becomes imperative to detect structural damage. For this, non-destructive testing (NDT) methods are useful to obtain information about invisible damage without damaging structural elements. Acoustic emission (AE) is one of the NDT methods and has an important place in the field of civil engineering. This method is based on elastic waves due to the sudden release of energy from damage to the material under loading, which are detected by sensors and converted into electrical signals and analyzed to provide damage information such as location, type, time of occurrence, magnitude and orientation.

However, the accuracy of this critical information depends on the cleanliness of the AE data, and noise-related signals may be mismatched within crack-related signals. Therefore, this study investigates different AE filtering approaches to improve AE analysis methods and thus better reveal the damage status of concrete element. As part of the experimental procedure, concrete cube specimens subjected to uniaxial compression were monitored by AE technique and the obtained data were correlated with mechanical findings. In order to improve the results of the parameter analysis, the effectiveness of different approaches is proved, depending on the minimum number of strokes that constitute an AE event.

Keywords: Damage monitoring, Acoustic Emission (AE), signal filtering, concrete, uniaxial compression

[1] MSc Student, Ege University, Civil Engineering, Orcid: 0009-0000-2247-8679
[2] MSc Student, Ege University, Civil Engineering, Orcid: 0009-0001-4262-7720
[3] PhD Student, Ege University, Civil Engineering, Orcid: 0000-0003-1819-2744
[4] Res. Asst. Dr., Ege University, Civil Engineering, Orcid: 0000-0003-3445-824X
[5] Prof. Dr., Ege University, Civil Engineering, Orcid: 0000-0002-7095-944X

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Giriş

Ülkemiz bilindiği üzere aktif fay hatlarının oldukça yoğun deprem kuşağında olan bir coğrafyadır ve depremlerde yapıların hasar görmesi sosyolojik ve ekonomik zararlara sebep olmaktadır. Yapıların depremler sonrasında aldığı hasarların durumu ve sonraki depremlerde göstereceği performansın belirlenebilmesi güç bir durumdur. Kritik yapılar diyebileceğimiz nükleer enerji santralleri, köprü, viyadük, baraj gibi yapılarda oluşacak hasar ciddi sosyal ve ekonomik zararlara sebep olabilmektedir. Yapı üzerinde meydana gelen hasarların tespiti yapının güvenilirliği ve alınacak önlemlerin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Bunun için ülkemizde yaygın yöntemler olan gözle yapılan öznel değerlendirmeler veya karot alma işlemi yapılmaktadır (Boduroğlu, 2002). Bu yöntemde yapı taşıyıcı sistemlerinin kritik olabilecek iç hasarları hakkında bilgi alınamamaktadır. Hasar tespit yöntemleri içerisinde tahribatsız hasar tespit yöntemleri (NonDestructive Testing, NDT), yapı elemanlarına zarar vermeden gözle görülmeyen hasarlar hakkında bilgi almak önemli bir husustur. İncelenecek malzeme ve kusur türüne göre değişiklik gösteren tahribatsız tespit yöntemlerinin en sık kullanılanları ultrasonik eko, darbe eko, akustik emisyon, termografi ve radyografi yöntemleridir. Akustik emisyon (AE) da tahribatsız muayene yöntemlerinden olup inşaat mühendisliği alanında gerek laboratuvar ortamında gerçekleştirilen çalışmalarla geliştirilmeye devam edilmesi açısından, gerekse uygulamada birçok yapı ve yapı elemanın hasar tespitinde kullanılması açısından önemli bir yere sahiptir (Li vd., 2006; Yoon vd., 2007; Nair and Cai, 2010; Kocur and Vogel, 2010; Alver vd., 2014; Zaki vd., 2015; Karcili vd., 2016; Ishibashi vd., 2016).

AE yönteminde malzemede oluşan hasar sonucu elastik dalgalar meydana gelir. Bu elastik dalgaların malzeme içerisinde yayılması ve bu dalgaların malzeme yüzeyine yerleştirilen sensörler tarafından algılanarak sinyallere dönüştürülerek çeşitli bilgisayar yazılımları ile analizler yapılması sonucunda hasar hakkında bilgi elde edilmektedir. AE yöntemi inşaat sektörünün temel bileşeni olan betondaki düşük yük seviyelerinde bile meydana gelebilecek çatlakların konumları, oluşma zamanı ve gelişimleri hakkında detaylı veriler verebilmektedir.

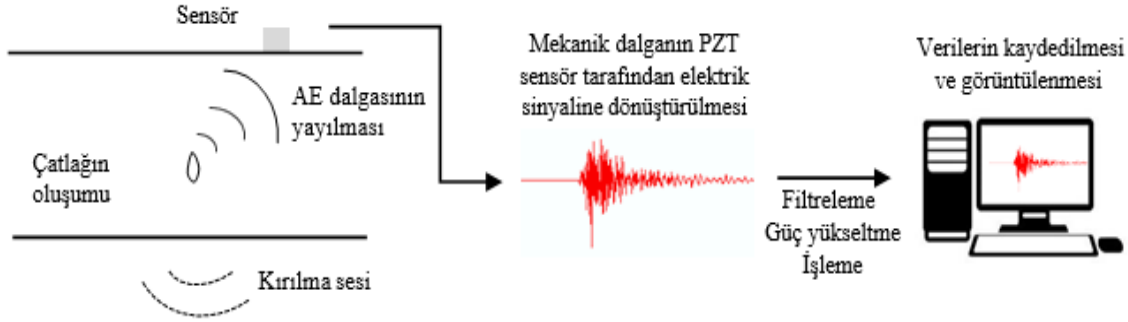
AE sinyallerinin kaydedilmesi anında sistem tarafından genellikle kırılma ile ilgisi olmayan veya gürültü sinyalleri de kaydedilmektedir. Bu nedenle AE analizleri yapılmadan önce veriler gürültüden arındırılmış temiz hale getirilmelidir. Bu işleme "filtreleme" denilmektedir. Birçok farklı filtreleme yöntemi mevcuttur. Bu çalışmada ham AE sinyallerinden daha temiz sinyaller elde edilebilmesi için farklı bir filtreleme yaklaşımı yapılmıştır. Bu amaçla, beton küp numunelere, laboratuvar koşullarında basınç testi uygulanmış ve AE aktiviteleri kayıt altına alınmıştır. AE sinyallerine yapılan birtakım analiz ve filtreleme işlemleri yapılmıştır. Sensör sayının filtrelemedeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda daha fazla sensöre gelen AE sinyallerinin daha temiz sinyaller olduğu gözlemlenmiş olup bu yöntemin daha iyi verilerle çalışılabilmesini sağladığı düşünülmektedir.

2.Yöntem

2.1.Akustik Emisyon Yöntemi

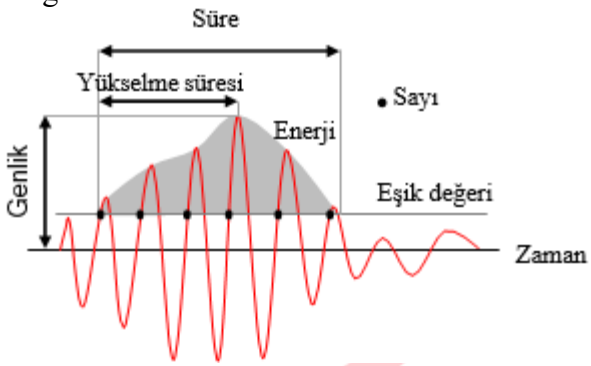
Tahribatsız test yöntemlerinden olan Akustik Emisyon, inşaat sektöründe kullanımı günden güne yaygınlaşan bir yöntemdir. Metal, beton, ahşap polimer gibi birçok farklı malzemede mikro çatlakların tespitinde kullanılabilir. Betonda meydana gelebilecek mikro ve

makro çatlaklarının oluşumunun yanı sıra bu çatlakların lokasyonu hakkında bilgi de verebilen bir yöntemdir. AE, gerilme altındaki malzemelerde bir ya da daha çok yerel kaynağın hızla enerji salarak geçici elastik dalgalar ürettiği olaylar ve bu şekilde oluşan geçici elastik dalgalar olarak tanımlanmaktadır (ASTM E 1316). AE yönteminde malzeme yüzeyine yerleştirilen piezoelektrik sensörler bu dalgaları algılar ve bu dalgaları elektrik sinyallerine çevirir. Bu sinyaller sırasıyla ön yükselteç, güç yükseltici, kayıt cihazı ile dijital sinyallere dönüştürerek sinyallerin bilgisayar ortamında işlenebilir hale gelir (Şekil 1). Bilgisayar ortamında AE vuruşu, enerji ve sinyal gücü gibi AE çeşitli parametreleri ile analiz edilen bu sinyaller, malzemede oluşan hasar durumu incelenebilmektedir.



***Şekil 1**. AE olayının oluşumu, elastik dalganın PZT sensör tarafından algılanması ve sinyale dönüştürülmesi*

AE verilerinin işlenmesi ve parametre analizlerinin yapılmasının ardından hasarın büyüklüğü konumu ve yönü hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Temel AE parametreleri süre, sayı, genlik ve yükselme zamanıdır (Şekil 2). Veriler kaydedilirken her sinyalin kaydedilmemesi, belirli bir genlik değerinin üstündeki verileri kaydetmek için bir sınır belirlenir. Bu sınır değere "eşik değeri" denir.



***Şekil 2.** AE parametreleri: dalga formu*

2.2.Deney Düzeneği

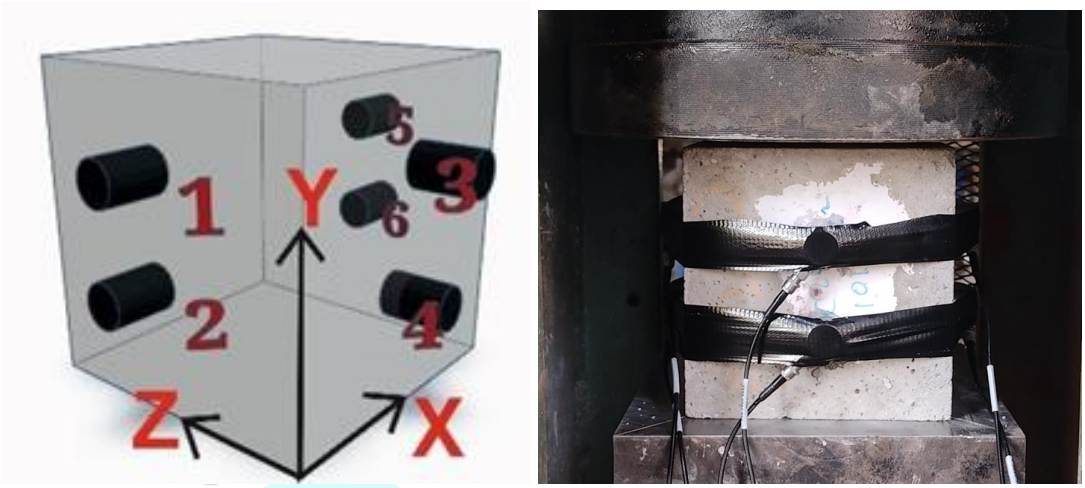
Bu çalışmada 2 farklı beton basınç dayanımı sınıfında (C20, C50) standart küp numuneler (150mm*150mm*150mm) üretilmiştir. Dayanım sınıflarının AE aktivitesi üzerindeki etkisinin de görülebilmesi için farklı beton sınıfları kullanılmıştır. Besmak marka otomatik beton pres makinesi ile beton basınç deneyi yapılmıştır. Cihazın sahip olduğu dahili ekran ve yazılım ile anlık olarak yük durumu ve numunenin basınç dayanımı gözlemlenmiştir. Küp numunelerde oluşacak olan akustik emisyon aktivitelerinin daha iyi gözlemlenebilmesi için yükleme hızı yaklaşık olarak 1.16 kN/sn olarak ayarlanmıştır. Yük-zaman grafiklerinin elde edilebilmesi için yükleme miktarını gösteren ekran video kaydı alınmış ve sonrasında bilgisayar ortamında yük-zaman grafiği oluşturulmuştur. AE sistemi için, küpün 3 farklı yüzeyinde ikişer adet olacak şekilde toplam 6 adet sensör kullanılmıştır. Yükleme ile AE verilerinin kaydedilmesi eş zamanlı olarak yapılmıştır (Şekil 3). Sensör koordinatları Tablo 1'de ve sensörlerin küp yüzeyine yerleşimi Şekil 4'te gösterilmiştir.

Sensörler	Sensör Koordinatları (m)		
	x	y	z
1	0	0,1	0,075
2	0	0,05	0,075
3	0,075	0,1	0
4	0,075	0,05	0
5	0,15	0,1	0,075
6	0,15	0,05	0,075

***Tablo 1**. Sensör koordinatları*



***Şekil 3.** Beton küp numune basınç deneyi ve AE kayıt düzeneği*



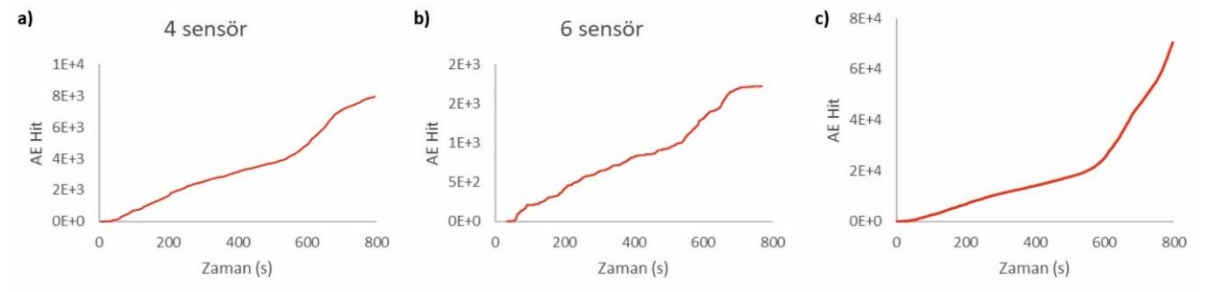
***Şekil 4**. Sensörlerin numune üzerine yerleşimi*

3.Bulgular

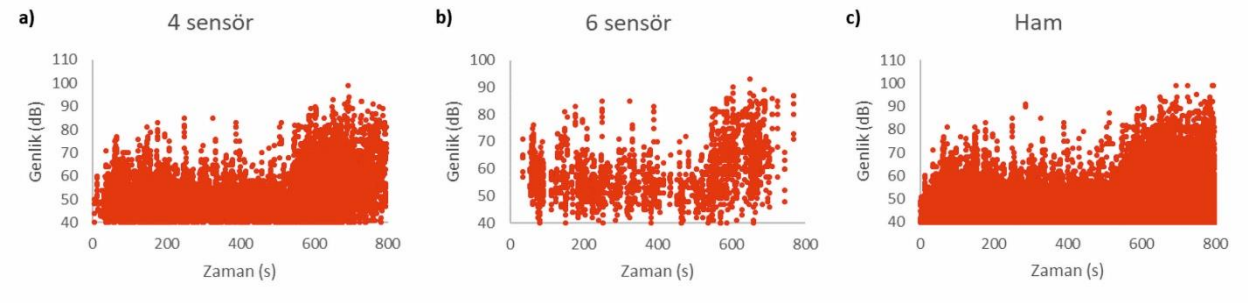
AE metodolojisinde, hasar sonucu oluşan elastik dalgalar malzeme yüzeyindeki sensörlere ulaşır ve AE aktivitesi oluşur. Bu elastik dalgalar her zaman tüm sensörlere ulaşamayabilir. Mesafe, sönümlenme ve hasar büyüklüğü gibi değişkenler, sensörlere ulaşan elastik dalgaların durumunu etkiler. Bu filtreleme yönteminde ise oluşan aktivitenin sinyallerini algılayan sensör sayısına bağlı olarak verileri filtreleme yöntemi uygulanmıştır. Buradaki temel düşünce aktiviteyi algılayan sensör sayısı arttıkça sinyalin hasar kaynaklı dolayısıyla daha güçlü ve temiz olduğudur. Bunun için küp numuneler ile yapılan basınç deneylerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. En az 4 ve 6 adet sensöre ulaşan AE aktivitelerinin verileri ve ham AE verileri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Ham veriler ile 4 ve 6 sensöre sinyalin geldiği durumlar kıyaslandığında ciddi bir filtreleme gerçekleştirildiği gözlenmiştir. Tüm grafikler için 6 sensörün ulaştığı sinyal verileri 4 sensörün ulaştığı durumlara göre beklendiği gibi çok daha azdır.

3.1.C20 Küp Numune Sonuçları

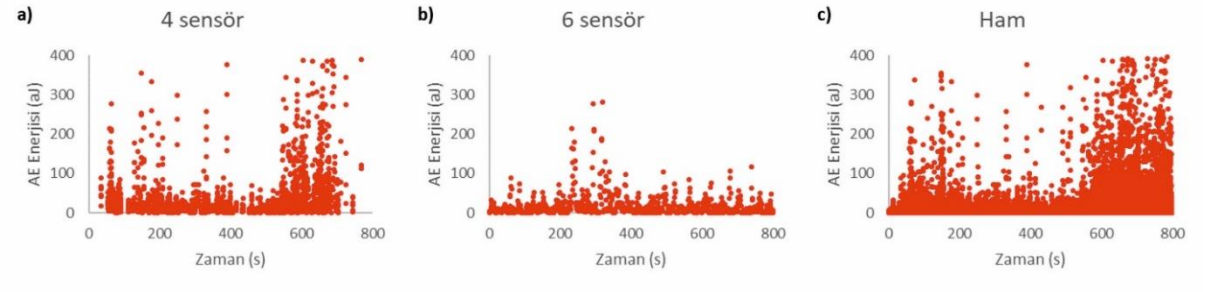
C20 numunesi için yapılan AE hit-zaman analizleri Şekil 5, AE enerji-zaman analizleri Şekil 6 ve genlik-zaman analizleri Şekil 7'de verilmiştir.



***Şekil 5**. Filtreleme sonuçları: C20 numunesine ait a) 4 sensöre gelen b) 6 sensöre gelen c) ham verilerin AE hit-zaman grafikleri*



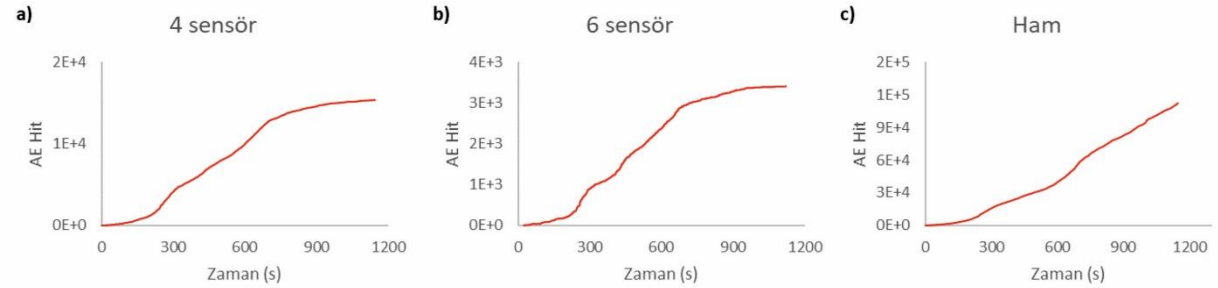
***Şekil 6**. Filtreleme sonuçları: C20 numunesine ait a) 4 sensöre gelen b) 6 sensöre gelen c) ham verilerin AE Enerji-zaman grafikleri*



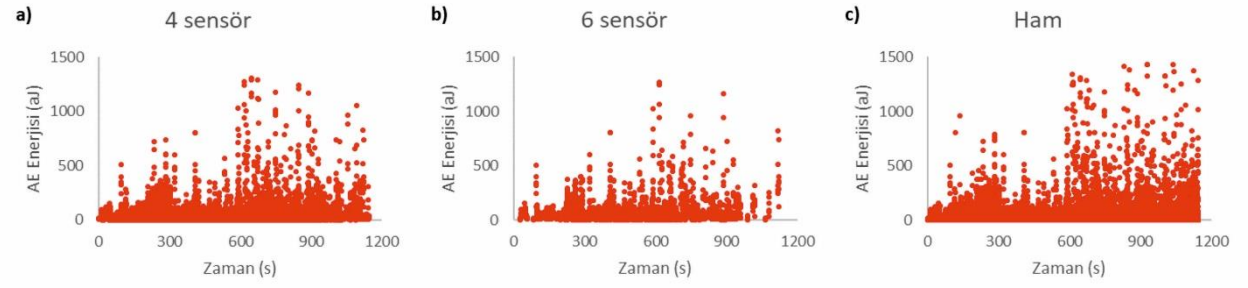
***Şekil 7**. Filtreleme sonuçları: C20 numunesine ait a) 4 sensöre gelen b) 6 sensöre gelen c) ham verilerin Genlik-zaman grafikleri*

3.2.C50 Küp Numune Sonuçları

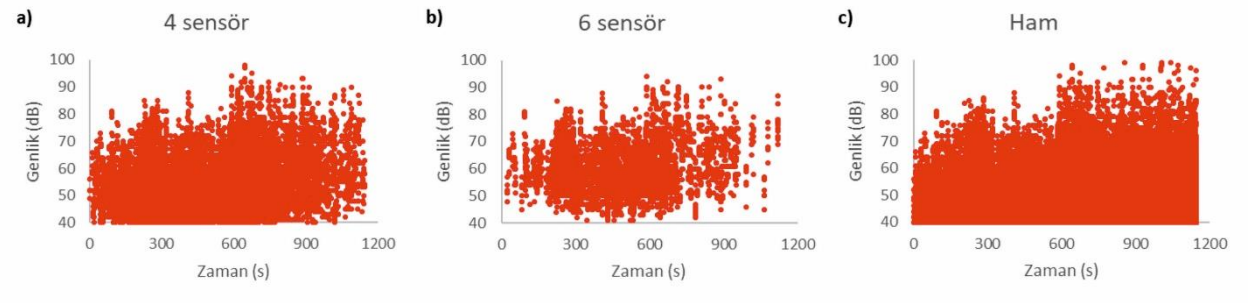
C50 numunesi için yapılan AE hit-zaman analizleri Şekil 8, AE enerji-zaman analizleri Şekil 9 ve genlik-zaman analizleri Şekil 10'da verilmiştir.



***Şekil 8**. Filtreleme sonuçları: C50 numunesine ait a) 4 sensöre gelen b) 6 sensöre gelen c) ham verilerin AE hit-zaman grafikleri*



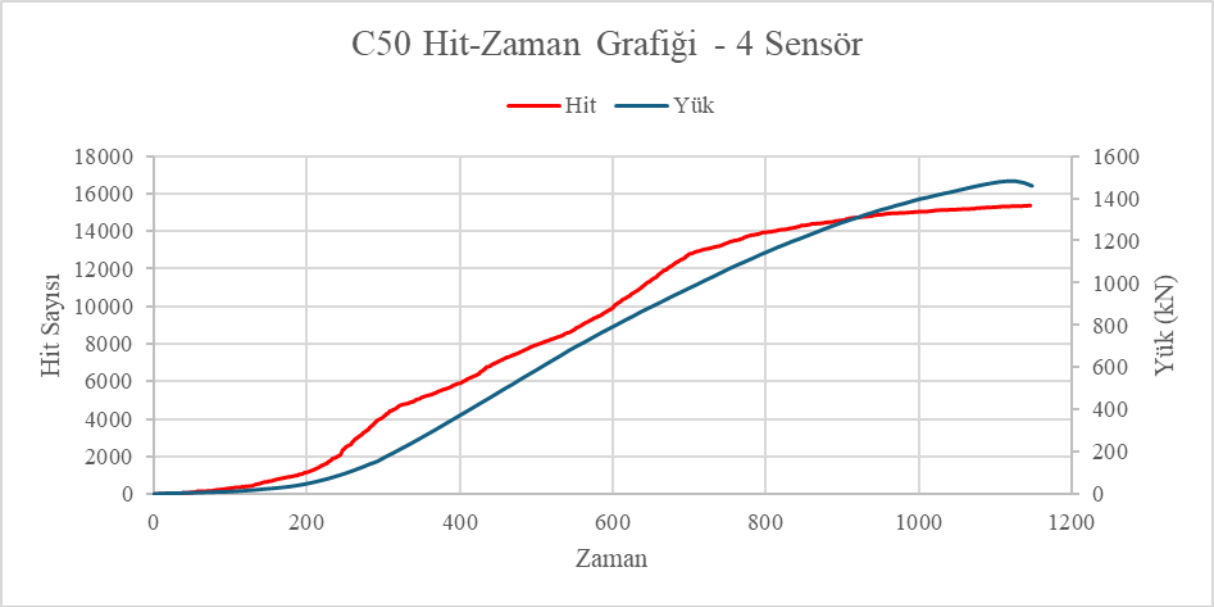
***Şekil 9**. Filtreleme sonuçları: C50 numunesine ait a) 4 sensöre gelen b) 6 sensöre gelen c) ham verilerin AE Enerji-zaman grafikleri*



***Şekil 10**. Filtreleme sonuçları: C50 numunesine ait a) 4 sensöre gelen b) 6 sensöre gelen c) ham verilerin Genlik-zaman grafikleri*

***Tablo 2.** Hit sayıları ve filtreleme durumlarındaki oranları (Parantez içerisinde kırmızı renkte olan değerler, verilerin azalma oranıdır.)*

Numune	Sensör sayısı	Hit Sayısı	Verilerin Yüzdelik oranı	Verilerin Yüzdelik oranı
C20 Küp Numunesi	Ham	70464	%100	
	4 sensör	7967	%11.3 - (%88.3)	%100
	6 sensör	1723	%2.4 - (%97.6)	%21.6 - (%78.4)
C50 Küp Numunesi	Ham	112332	%100	
	4 sensör	15366	%13.7 - (%86.3)	%100
	6 sensör	3414	%3 - (%97)	%22.2 - (%77.8)



***Şekil 11.** C50 Numunesi Yük-Hit-Zaman Grafiği (4 sensör)*

4.Sonuç

Bu çalışmada yapılan filtreleme yaklaşımında 4 sensöre ulaşan sinyaller gerek mekanik bulgularla beklenen uyumu sergilemeleri, gerekse 6 sensör şartını sağlayan aktivite sayısı kadar az olmamaları sebebiyle daha çok istenilen durumu vermiştir. Filtreleme için kullanılan sensör sayısının artması hit sayılarını etkili bir biçimde azaltmıştır (Tablo 2). Hit sayılarının azalma oranları iki beton sınıfında da yakın oranlarda çıkmış olup, bu filtreleme yönteminin beton sınıfının değişmesinden etkilenmediği gözlemlenmiştir. Veri sayısının azalması, ham verilere

göre avantaj olarak görülebilir; fakat 6 sensörün incelendiği durumda gerçek verilerinde elenmesi de söz konusudur. Hit sayısı, AE aktiviteleri ile bağlantılıdır ve Hit – zaman grafiklerine bakıldığında sensor sayısının artması, grafiğin çözünürlüğünü arttırır ve numunede oluşan AE aktivitelerinin hangi zaman aralıklarında dolayısıyla hangi yük miktarında daha yoğun kaydedildiği net bir şekilde gözlemlenebilmektedir (Şekil 11). Aynı şekilde Genlik ve AE Enerjisi parametreleri de incelendiğinde sensor sayısının artması verilerin daha belirgin hale getirmektedir. Çalışma sonucunda sensor sayısının filtreleme işlemi üzerinde doğrudan ve yüksek oranda etkili olduğu ancak optimum düzeyde tutulmasının yararlı olacağı öngörülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Tübitak 1001 projesi kapsamında 122M593 numaralı proje adı altında desteklenmiştir. Bu desteğinden dolayı Tübitak'a teşekkür ederiz.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynaklar

Alver, N., Tanarslan, H. M., Sülün, Ö. Y., Ercan, E., Karcılı, M., Selman, E. and Ohno, K., 2014, Effect of CFRP-spacing on fracture mechanism of CFRP-strengthened reinforced concrete beam identified by AE-SiGMA, Construction and Building Materials, 67, 146-156 pp.

ASTM E 1316, 2002, Standard Terminology for NDT.

Bakir, P. G., Boduroğlu, H. M. (2002). A new design equation for predicting the joint shear strength of monotonically loaded exterior beam-column joints. In Engineering Structures (Vol. 24).

Ishibashi, A., Matsuyama, K., Alver, N., Suzuki, T. and Ohtsu, M., 2016, Round-robin tests on damage evaluation of concrete based on the concept of acoustic emission rates, Materials and Structures, 49(7), 2627-2635 pp.

Karcili, M., Alver, N. and Ohtsu, M., 2016, Application of AE rate-process analysis to damaged concrete structures due to earthquake, Materials and Structures, 49(6), 2171-2178 pp.

Kocur, G. K., Vogel T., 2010, Classification of the damage condition of preloaded reinforced concrete slabs using parameter-based acoustic emission analysis, Construction and Building Materials, 24, 2332-2338 pp.

Li, X., Marasteanu, M. O., Iverson, N. and Labuz, J. F., 2006, Observation of crack propagation in asphalt mixtures with acoustic emission, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1970, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 171-177 pp.

Nair, A. and Cai, C.S., 2010, Acoustic emission monitoring of bridges: review and case studies, Engineering Structures, 32, 1704-1714 pp.

Yoon, D., Weiss, W. J. and Shah, S. P., 2007, Detecting the Extent of Corrosion with Acoustic Emission, Committee on Basic Research and Emerging Technologies Related to Concrete.

Zaki, A., Chai, H. K., Aggelis, D. G. and Alver, N., 2015, Non-destructive evaluation for corrosion monitoring in concrete: A review and capability of acoustic emission technique, Sensors, 15(8), 19069-19101 pp.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Comparison of Earthquake Design Spectrums in Earthquake Regulations of Türkiye and USA

Rana ÇORUH[1]

Abstract

It is known that earthquakes occur frequently in seismically active regions in the world. It is known that as a result of these earthquakes, many structures and especially people are affected with bad consequences. It is important to design earthquake-resistant structures to minimize these consequences and reduce structural damage. When designing buildings, it is necessary to consider the seismicity of the place where the building will be built. In order to examine the seismicity of a place, it is necessary to examine the frequency of active fault lines and the earthquakes that have occurred in that place before. By examining the earthquake records that occurred in a place, the earthquake response spectrum of that place can be obtained. In order to use it in design, we need to take into account both earthquake records and possible earthquakes that may occur. Design spectra are used to determine the earthquake load that should be used in the design of new structures. In this study; A comparison of earthquake design spectra in two selected earthquake codes was made. The aim of the study is; To learn about the earthquake design spectrums in Türkiye and the USA earthquake codes and to see the deficiencies and differences. First of all, the content and purposes of these two earthquake regulations are mentioned. Afterwards, the sections where earthquake design spectra are explained are explained under separate headings, respectively. Then, information about soil classes and design spectra were compared and presented in tables. As the last part of the study, horizontal elastic design spectra were drawn considering that a school building would be built in places where seismicity is frequent in both countries. Although the two regulations selected in this study have many similarities, the difference in the resulting design spectrums can be seen.

Keywords: Earthquake, Earthquake Design Spectrum, Earthquake Regulation, Design Acceleration, Soil.

[1] İnşaat Mühendisi, Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, mail: ranacoruhh@gmail.com

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Deprem; yer kabuğunun içerisindeki kırılmalar sebebiyle aniden ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar şeklinde yayılarak ilerlerken geçtikleri zemin ortamlarını ve yeryüzeyini sarsma olayıdır. Bundan dolayı depremde, yapının bulunduğu zeminin davranışı çok iyi bilinmelidir. Yapı yapılmadan önce zemin incelenmeli ve gerekli durumlarda yapıya başlanmadan önce önlemler alınmalıdır. Deprem meydana geldiğinde yeryüzündeki etkileri zeminlerin durumlarına göre farklı olmaktadır. Örneğin iyi ve sağlam zeminlerde (granit ve kaya gibi) deprem enerjisi yutulur ve depremin verdiği hasar yok denecek kadar az olabilmektedir. Buna karşın kötü zeminlerde (alüvyon, silt ve kil gibi) ise depremin enerjisini zemin kendi büyütür ve meydana getirdiği hasar çok fazladır. Aynı zamanda depremin büyüklüğü aynı olsa dahi iyi ve kötü zeminlerde hissedilen deprem şiddeti çok farklı olmaktadır.

Zeminin yapısı tanımlanırken depremselliği ve yerel zemin koşulları önemli faktörlerdir. Bu faktörler spektrum eğrileri ile ilişkilidir (Bayrakcı vd., 2022: 341). Bir yerde meydana gelmiş deprem kayıtlarını inceleyerek o yerin depremselliği hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Bu kayıtlar sayesinde tepki spektrumları elde edilmektedir. Tasarımda kullanmak için hem deprem kayıtlarını hem de meydana gelebilmesi muhtemel olan depremleri de dikkate almamız gerekmektedir. Bundan dolayı da tasarım spektrumları elde etmek gerekmektedir. Tasarım spektrumu ise belirli bir sönüm oranı ile seçilen bölgede meydana gelmiş birçok farklı depremlerin istatistiksel analizi ile oluşturulmuş tasarım eğrileridir. Tasarım spektrumları yeni yapılacak olan yapıların tasarımında kullanılması gereken deprem yükünü belirlemek için kullanılır (Özşahin, 2021: 592). Aslında tasarım spektrumu kaydedilmiş belirli bir deprem için değil, gelecekte olması muhtemel depremler için belirlenmektedir. Bir bölgede gelecekte meydana gelmesi muhtemel depremlere ilişkin tasarım spektrumu elde etmek için ise aynı bölgede daha önce olmuş depremlerden faydalanılır. Fakat eğer o bölgede geçmişe dair yeteri kadar bir kayıt yok ise, o bölgeye benzer özelliklere sahip (yerel zemin sınıfı, fay mekanizması, depremin odak noktasının kayıt yerine olan uzaklığı vb.) başka bölgelerden elde edilmiş olan kayıtlardan yararlanılmalıdır. Çünkü ele alınan deprem kayıt sayısı ne kadar çok olursa istatistiksel olarak elde edilen eğrilerin birbirinden çok farklılığı olmaz ve o kadar düzgün olur.

Genel olarak deprem yönetmelikleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelenerek aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Öztürk (2018) çalışmasında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) ve yine Türkiye' de çıkmış Deprem Tehlike Haritalarının eski yönetmelikle karşılaştırılmasını İç Anadolu Bölgesi için yapmıştır. Özşahin (2021) çalışmasında Edirne ili özelinde 2019 ve 2007 Türk deprem yönetmeliklerine göre yatay tasarım ivme spektrumlarının değişimini incelemiştir. Mokarrami (2009) İran deprem yönetmeliğin Türk deprem yönetmeliği ile karşılaştırılmasını yapmıştır. Genç (2019) Türk ve bazı yabancı deprem yönetmeliklerine göre betonarme binaların analizinde düşey deprem yük etkilerini araştırmıştır. Nemutlu ve Sarı (2019) 2018 yeni Türk deprem yönetmeliği ile Amerikan deprem yönetmeliklerinin deprem hesapları açısından karşılaştırılmasını yapmıştır.

Bu çalışma kapsamında, Amerika ve Türkiye seçilerek deprem yönetmeliklerindeki tasarım spektrumları incelenmiş ve aynı zamanda farklı zemin koşulları durumunda tasarım spektrumlarındaki değişimler incelenmiştir. Çalışmamdaki amaç deprem spektrumlarının önemini vurgulayarak depreme dayanıklı yapı tasarlarken nelere önem vermemiz gerektiğini

belirtmektir. Bu konuda ilk önemli husus ise zemin durumu olduğundan çalışmamda örnek olarak farklı zemin durumundaki deprem spektrumları da incelenmiştir.

YÖNTEM

Bu çalışmada deprem tasarım spektrumları inceleneceğinden dolayı ilk once Türkiye ve Amerika' nın deprem yönetmeliklerinde spektrum bölümleri bu başlık altında anlatılmıştır. Daha sonra bir karşılaştırma yapılarak farklı zemin koşulları durumunda örnek olarak çizilen deprem tasarım spektrumlarına yer verilerek farklılıklar ve benzerliklerle sonuçlandırılmıştır.

1. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği- Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar (TBDY) (2018)

Türkiye, Alp-Himalaya deprem kuşağında yer aldığından dolayı Dünyada depremselliği en yüksek olan ülkelerden birisidir ve deprem yönetmeliğinde "Deprem Tehlike Haritaları" tanımlanmıştır. Bu haritalara "https://tdth.afad.gov.tr/" sitesinden ulaşılabilir. Yönetmeliğin amacı; yeni inşa edilecek veya değiştirilecek özel ve resmi bütün binalar ve de bina gibi yapıların deprem etkisi altında tasarlanıp yapılması, mevcut yapıların/binaların deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için gerekli olan kuralları ve minimum koşulları belirlemektir (TBDY, 2018).

Deprem tasarım spektrumları çizilirken ilk önce deprem yer hareketinin düzeyi belirlenmelidir. Dört adet deprem yer hareketi düzeyi vardır (TBDY, 2018: 7):

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1): Spektral büyüklüğün 50 yılda aşılma ihtimalinin %2 ve tekrarlama periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini tanımlamaktadır.
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2): Spektral büyüklüğün 50 yılda aşılma ihtimalinin %10 ve tekrarlama periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini tanımlamaktadır. Bu düzey, standart olarak tasarım deprem yer hareketi olarak tanımlanabilmektedir.
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3): Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma ihtimalinin %50 ve tekrarlama periyodunun 72 yıl olduğu sık görülen deprem yer hareketini tanımlanmaktadır.
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4): Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma ihtimalinin %68 ve tekrarlama periyodunun 43 yıl olduğu çok sık görülen deprem yer hareketini tanımlamaktadır. Bu düzey, servis deprem yer hareketi olarak görülmektedir.

Deprem yer hareketi spektrumları tanımlanırken harita spektral ivme katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları, yerel zemin etki katsayıları ve gerekli durumlarda sahaya özel deprem tehlike analizleri kullanılır.

Harita spektral ivme katsayıları, birbirine dik olan iki yatay doğrultuda meydana gelen deprem etkilerinin geometrik ortalamasıdır (TBDY, 2018: 7). 2 tip harita spektral ivme katsayısı vardır; kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S) ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1).

Harita spektral ivme katsayıları ((S_S), (S_1)) Denklem (1.1) ve (1.2) ile tasarım spektral ivme katsayılarına ((S_{DS}), (S_{D1})) dönüştürülür.

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (1.1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (1.2)$$

Denklem (1.1) ve (1.2)' de belirtilen F_S ve F_1 değerleri yerel zemin etki katsayılarıdır (Tablo (1.1)-(1.2)). Bu katsayılar Tablo (1.3)' de açıklanan yerel zemin sınıflarına bağlıdır.

Tablo 1.1. Kısa periyot harita spektral ivme katsayısına göre yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018: 8)

Yerel Zemin Sınıfları	Kısa periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_S)					
	$S_S \leq 0,25$	$S_S=0,50$	$S_S=0,75$	$S_S=1,00$	$S_S=1,25$	$S_S \geq 1,50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
ZF	*İncelenen sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.*					

Tablo 1.2. 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısına göre yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018: 8)

Yerel Zemin Sınıfları	1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_1)					
	$S_1 \leq 0,10$	$S_1=0,20$	$S_1=0,30$	$S_1=0,40$	$S_1=0,50$	$S_1 \geq 0,60$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
ZD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
ZE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
ZF	*İncelenen sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.*					

Tablo 1.3. Türkiye- Zemin sınıflandırılması (TBDY, 2018: 343)

Yerel Zemin Sınıfları	ZEMİN SINIFLARININ TANIMI	***Üst 30 metrede ortalama***		
		$(V_S)_{30}$ m/s	$(N_{60})_{30}$ darbe/30 cm	$(c_u)_{30}$ kPa
ZA	Sağlam ve sert kayalar.	>1500	--	--
ZB	İçerisinde az ayrışma bulunan, orta sağlamlıkta kayalar.	760-1500	--	--
ZC	Çok sıkı kum, sert kil ya da çok çatlaklı ve ayrışma meydana gelmiş zayıf kayalar.	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı-sıkı kum arasında olan zeminler.	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum veya yumuşak–katı kil tabakalarından oluşan zeminler. W (su içeriği)> % 40 ve PI (plastisite indisi)> 20 koşullarını sağlayıp 3 metreden kalın yumuşak kil tabakalarından oluşan zeminler.	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında göçme riskine sahip zeminler (göçebilir zayıf çimentolu zeminler, sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba veya organik içeriği yüksek olan killer,			

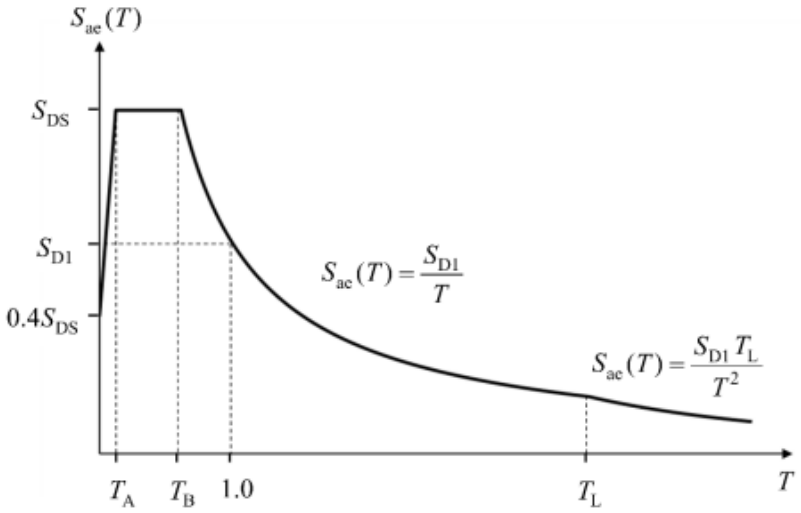
	3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla, yüksek plastisiteli (PI > 50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak ya da orta katı killer.

Yukarıdaki verilen tabloda yerel zemin sınıfını belirlemek için ortalama kayma dalgası hızı $(V_S)_{30}$, ortalama drenajsız kayma dayanımı $(c_u)_{30}$ ve ortalama standart penetrasyon darbe sayısı $(N_{60})_{30}$ değerleri dikkate alınmaktadır.

Yönetmelikte 2 adet deprem tasarım spektrumu tanımlanmaktadır;

- Düşey elastik tasarım spektrumu
- Yatay elastik tasarım spektrumu

Deprem kuvveti yatayda daha çok etkilediği için esas olarak yatay elastik tasarım spektrumu dikkate alınmaktadır. "Yatay Elastik Tasarım Spektrumu" Şekil (1.1)' de verilmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye- Yatay elastik tasarım spektrumu (TBDY, 2018: 9).

Değerlendirilen herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım spektrumunun ordinat kısmı yatay elastik tasarım spektral ivmelerini S_{ae} (T), apsis kısmı ise yatay elastik tasarım spektrumunun periyot değerlerini ve köşe periyotları olan T_A ve T_B göstermektedir.

Yatay elastik tasarım spektrumu grafiğini elde etmek için birden fazla depremin incelemesi yapılmış ve Denklem (1.3)' te verilen formüller elde edilmiştir.

$$S_{ae}(T)=\left(0{,}4+0{,}6\frac{T}{T_A}\right)S_{DS} \qquad (0 \le T \le T_A)$$

$$S_{ae}(T)=S_{DS} \qquad (T_A \le T \le T_B)$$

$$S_{ae}(T)=\frac{SD1}{T} \qquad (T_B \le T \le T_L) \qquad (1.3)$$

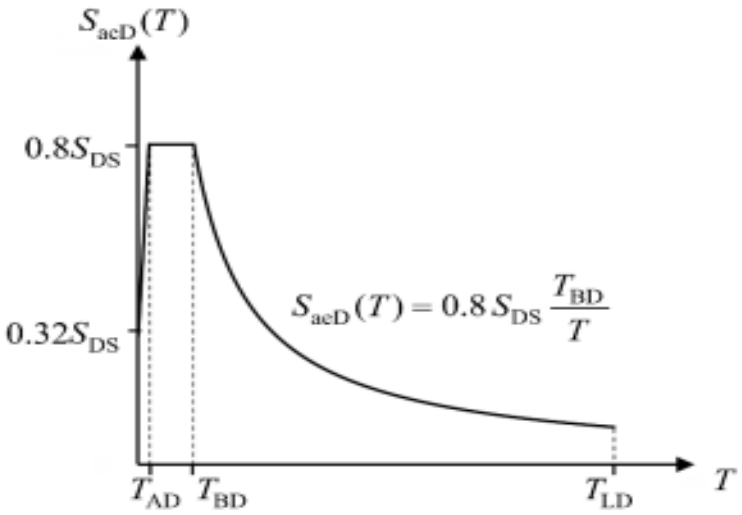
$$S_{ae}(T)=\frac{SD1.TL}{T\text{^}2} \qquad (T_L \le T)$$

Denklem (1.3)' te belirtilen; T, doğal titreşim periyodu ve T_L, sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodudur ve 6 saniye olarak alınır.

Tasarım spektrumunun apsis kısmında yer alan yatay elastik tasarım spektrumunun köşe periyotları olan T_A ve T_B, tasarım spektral ivme katsayıları olan S_{DS} ve S_{D1}' e bağlıdır ve Denklem (1.4)'te verilmiştir.

$T_A=0{,}2\frac{SD1}{SDS}$, $T_B=\frac{SD1}{SDS}$ (1.4)

Düşey elastik tasarım spektrumu ise Şekil (1.2)' de verilmektedir.



Şekil 1.2. Türkiye- Düşey elastik tasarım spektrumu (TBDY, 2018: 11).

Düşey elastik tasarım spektrumu, yatay elastik tasarım spektrumu ile benzer şekilde oluşturulmuştur. Burada ordinat kısmı düşey elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{aeD}(T)$' ni göstermekte, apsis kısmı ise düşey elastik tasarım spektrumunun köşe periyotları olan T_{AD} ve T_{BD}' yi göstermektedir. Düşey elastik tasarım spektrumlarını elde etmek için Denklem (1.5)' teki denklemler kullanılmaktadır.

$S_{aeD}(T)=\left(0{,}32+0{,}48\frac{T}{T_{AD}}\right)S_{DS}$ $(0\le T\le T_{AD})$

$S_{aeD}(T)=0{,}8S_{DS}$ $(T_{AD}\le T\le T_{BD})$ (1.5)

$S_{aeD}(T)=0{,}8S_{DS}\frac{TBD}{T}$ $(T_{BD}\le T\le T_{LD})$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan T_{AD} ile T_{BD} düşey spektrum için köşe periyotları ve T_{LD} periyodu Denklem (1.6) ile bulunmaktadır.

$T_{AD}=\frac{TA}{3}$, $T_{BD}=\frac{TB}{3}$, $T_{LD}=\frac{TL}{2}$ (1.6)

2. ABD- Binalar ve Diğer Yapılar için Minimum Tasarım Yükleri (ASCE Standardı-ASCE/SEI 7–10) (2010)

ABD' de Kaliforniya, Alaska ve Washington eyaletleri en yüksek sıklıkta deprem olaylarının meydana geldiği yerlerdir.

Bu standart, bina yönetmeliği gerekliliklerine tabi olan yapıların tasarımı için minimum yük gerekliliklerini anlatmaktadır (ASCE/SEI 7–10, 2010: 1). Yapısal olmayan bileşenler de dahil olmak üzere her yapı bu standartta belirtildiği şekilde deprem hareketinin etkilerine dayanabilecek şekilde tasarlanacak ve inşa edilecektir.

Kısa periyotlarda spektral tepki ivme parametresi S_S ve 1 saniyelik periyotta spektral tepki ivme parametresi S_1 değerlerini elektronik olarak istenilen yerin konumuna göre "https://www.seismicmaps.org/" sitesinden öğrenilebilmektedir.

Zemin sınıfı etkilerine göre ayarlanan maksimum dikkate alınan depremin kısa periyot (S_{MS}) ve 1 s' deki (S_{M1}) spektral tepki ivme parametreleri sırasıyla Denklem (2.1) ve (2.2) ile belirlenmektedir.

$S_{MS} = F_a S_s$ (2.1)

$S_{M1} = F_v S_1$ (2.2)

Denklem (2.1) ve (2.2)' de belirtilen F_a ve F_v, zemin katsayılarıdır ve sırasıyla Tablo (2.1) ve (2.2)' de değerleri verilmektedir. Bu katsayılar Tablo (2.3)' de açıklanan yerel zemin sınıflarına bağlıdır.

Tablo 2.1. Zemin katsayısı, F_a (ASCE/SEI 7–10, 2010: 66)

Zemin Sınıfları	**Kısa Periyot Spektral Tepki İvme Parametresi**				
	$S_S \leq 0,25$	**$S_S = 0,50$**	**$S_S = 0,75$**	**$S_S = 1,00$**	**$S_S \geq 1,25$**
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	*Sahaya özel tepki analizi gerektiren zemin*				

Tablo 2.2. Zemin katsayısı, F_v (ASCE/SEI 7–10, 2010: 66)

Zemin Sınıfları	**1 sn Periyot Spektral Tepki İvme Parametresi**				
	$S_1 \leq 0,10$	**$S_1 = 0,20$**	**$S_1 = 0,30$**	**$S_1 = 0,40$**	**$S_1 \geq 0,50$**
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	*Sahaya özel tepki analizi gerektiren zemin*				

Tablo 2.3. ABD- Zemin sınıflandırılması

Zemin Sınıfları	**Zemin Sınıflarının Açıklamaları**	**v_s**	**N ya da N_{ch}**	**s_u**
A	Sert kaya	>1524 m/s	--	--
B	Kaya	762-1524 m/s	--	--
C	Çok yoğun zemin ve yumuşak kaya	365,76-762 m/s	>50	>95,76 kN/m^2
D	Sert zemin	182,88-365,76 m/s	15-50	47,88-95,76 kN/m^2
E	Yumuşak killi zemin	<182,88 m/s	<15	<47,88 kN/m^2
F	Sahaya özel tepki analizi gerektiren zemin			

Zemin sınıflandırılması için parametreler; "v_s", üst 100 ft' teki (30 m) kayma şekil değiştirmelerindeki ortalama kayma dalgası hızı, "s_u" drenajsız kayma dayanımı, "N" üst 100 ft (30 m) için ortalama zemin standardı penetrasyon direnci ve "N_{ch}" üst 100 ft (30 m) için

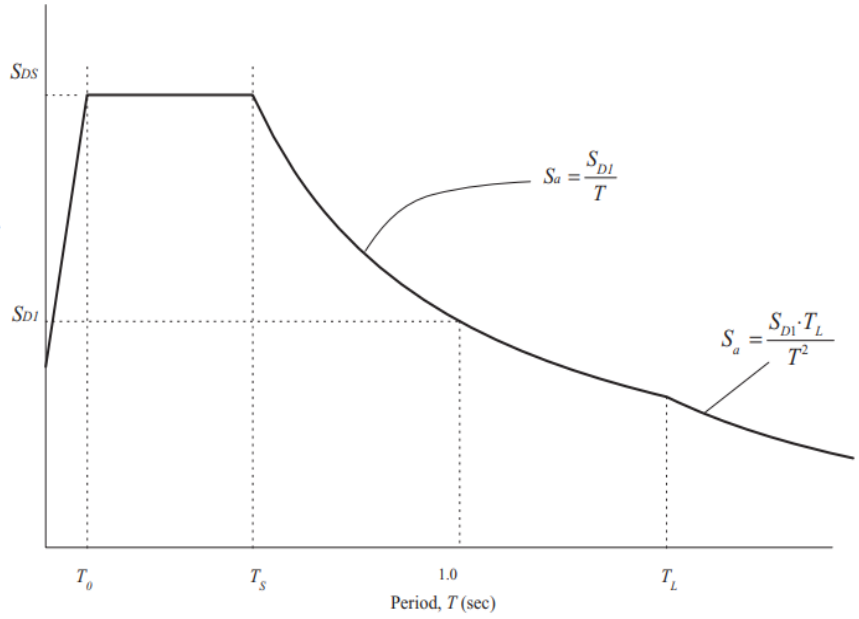
kohezyonsuz zemin katmanları için ortalama standart penetrasyon direncidir. (ASCE/SEI 7-10: 204).

Kısa periyot tasarım spektral tepki ivme parametresi S_{DS} ve 1 s periyot için tasarım spektral tepki ivme parametresi S_{D1} sırasıyla Denklem (2.3) ve (2.4) ile belirlenmektedir.

$$S_{DS}= \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1}= \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

Yönetmelikte yer alan "Yatay Elastik Tasarım Spektrumu" Şekil (2.1)' de verilmektedir.



Şekil 2.1. ABD- Yatay tasarım spektrumu (ASCE/SEI 7-10: 66)

Yatay elastik tasarım spektrumu grafiğini elde etmek için Denklem (2.5)' te verilen formüller kullanılmaktadır.

$$S_a(T)= S_{DS}\,(0{,}4+0{,}6\,\frac{T}{T_o}) \qquad (0 \le T \le T_0)$$

$$S_a\,(T)=S_{DS} \qquad (T_0 \le T \le T_S)$$

$$S_a(T)=\frac{SD1}{T} \qquad (T_S \le T \le T_L) \quad (2.5)$$

$$S_a(T)=\frac{SD1.TL}{T\text{^}2} \qquad (T_L \le T)$$

Denklemlerde belirtilen "T" saniye cinsinden yapının temel periyodu, "T_L" ise uzun periyot geçiş periyodudur. T_0 ve T_S periyot değerleri ise Denklem (2.6)' da verilmektedir.

$$T_O= 0{,}2\,\frac{SD1}{SDS}, \quad T_S= \frac{SD1}{SDS} \quad (2.6)$$

Yönetmelikte düşey elastik tasarım spektrumu hakkında bir bilgi verilmemiştir.

3. Türkiye ve ABD Deprem Yönetmeliklerinin Karşılaştırılması

İki yönetmelikte de deprem tasarım spektrumları çizilirken; yapının yapılacağı zemin konum olarak haritadan seçilir ve değerleri buna göre alınır.

Zemin sınıflamalarının karşılaştırılması Tablo (3.1)' de verilmektedir.

Tablo 3.1. Zemin sınıflamalarının karşılaştırılması

Zemin sınıfları (Türkiye)	**Zemin sınıfları (ABD)**	Kayma dalgası hızı (m/s) $(v_s)_{30}$	**Kayma dalgası hızı (m/s) $(v_s)_{30}$**	Ortalama standart penetrasyon darbe sayısı $(N_{60})_{30}$	**Ortalama standart penetrasyon darbe sayısı $(N_{60})_{30}$**	Ortalama drenajsız kayma dayanımı $(c_u)_{30}$	**Ortalama drenajsız kayma dayanımı $(c_u)_{30}$**
ZA	**A**	>1500	**>1524**	--	--	--	--
ZB	**B**	760-1500	**762-1524**	--	--	--	--
ZC	**C**	360-760	**365,76-762**	>50	**>50**	>250	**>95,76**
ZD	**D**	180-360	**182,88-365,76**	15-50	**15-50**	70-250	**47,88-95,76**
ZE	**E**	<180	**<182,88**	<15	**<15**	<70	**<47,88**
ZF	**F**	***Sahaya özel araştırma gerekmektedir.***					

Zemin sınıflamaları yapılırken dikkate alınan parametrelerin iki yönetmelik için de aynı olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu parametrelerin değerleri de hemen hemen aynı değerlere sahiptir. Tek farklı değere sahip parametre ortalama drenajsız kayma dayanımıdır. Sonuç olarak Türkiye' den seçilen bir zemin ABD için de aynı zemin sınıfına sahiptir diyebiliriz.

Tasarım spektrumu çizilirken iki yönetmelikte de zemine bağlı olarak tasarım spektral ivme değerleri kullanılmaktadır:

- Bu değer Türkiye için elde edilirken; ilk önce yerin konumuna göre harita spektral ivme katsayıları elde edilir. Daha sonra zemin etki katsayıları ile çarpılarak tasarım spektral ivmeleri elde edilmiş olur.
- ABD için elde edilirken; ilk önce yerin konumuna göre spektral ivme parametreleri elde edilir. Daha sonra saha katsayıları ile çarpılır ve maksimum dikkate alınan depremin ivme parametreleri elde edilir. Son olarak elde edilen bu değerlerin üçte ikisi alınarak tasarımda kullanılacak tasarım spektral ivmeleri elde edilmiş olur.

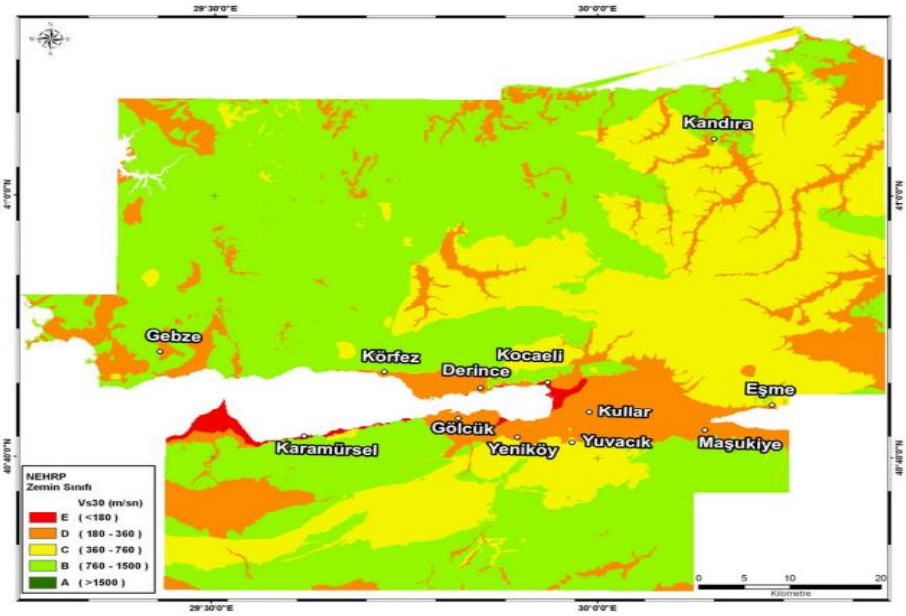
Tasarım spektrum grafiklerini oluşturan denklemler Tablo (3.2)' de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablo incelendiğinde görülmektedir ki iki yönetmelik için de verilen denklemler aynıdır. Yalnızca bazı değerlerin harf gösterimleri farklıdır.

Tablo 3.2. Yatay tasarım spektrumu denklemlerinin karşılaştırılması

TÜRKİYE		**ABD**	
Periyot aralıkları	**Denklemler**	**Periyot aralıkları**	**Denklemler**
$(0 \leq T \leq T_A)$	$S_{ae}(T)= \left(0,4 + 0,6\frac{T}{TA}\right)S_{DS}$	$(0 \leq T \leq T_0)$	$S_a(T)= S_{DS}\ (0,4+0,6\frac{T}{T0})$
$(T_A \leq T \leq T_B)$	$S_{ae}(T)=S_{DS}$	$(T_0 \leq T \leq T_S)$	$S_a\ (T)=S_{DS}$
$(T_B \leq T \leq T_L)$	$S_{ae}(T)=\frac{SD1}{T}$	$(T_S \leq T \leq T_L)$	$S_a(T)=\frac{SD1}{T}$
$(T_L \leq T)$	$S_{ae}(T)=\frac{SD1.TL}{T\text{^}2}$	$(T_L \leq T)$	$S_a(T)=\frac{SD1.TL}{T\text{^}2}$
$T_A=0,2\frac{SD1}{SDS}$, $T_B=\frac{SD1}{SDS}$, $T_L=6$		$T_O=0,2\frac{SD1}{SDS}$, $T_S=\frac{SD1}{SDS}$, $T_L=6$	

İki ülkenin de tasarım spektrumları ve zemin sınıflamalarındaki benzerlikler oldukça fazladır. İki ülkenin de depremselliğinin yüksek olduğu ve zemin türünün kaya olduğu yerlerinde bir okul binası inşa edileceği düşünülerek tasarım spektrumları oluşturulmuştur.

Türkiye için aktif faylara sahip depremselliği yüksek olan "Kocaeli" ili seçilmiştir. Kocaeli için zemin haritası Şekil (3.1)' de verilmektedir.



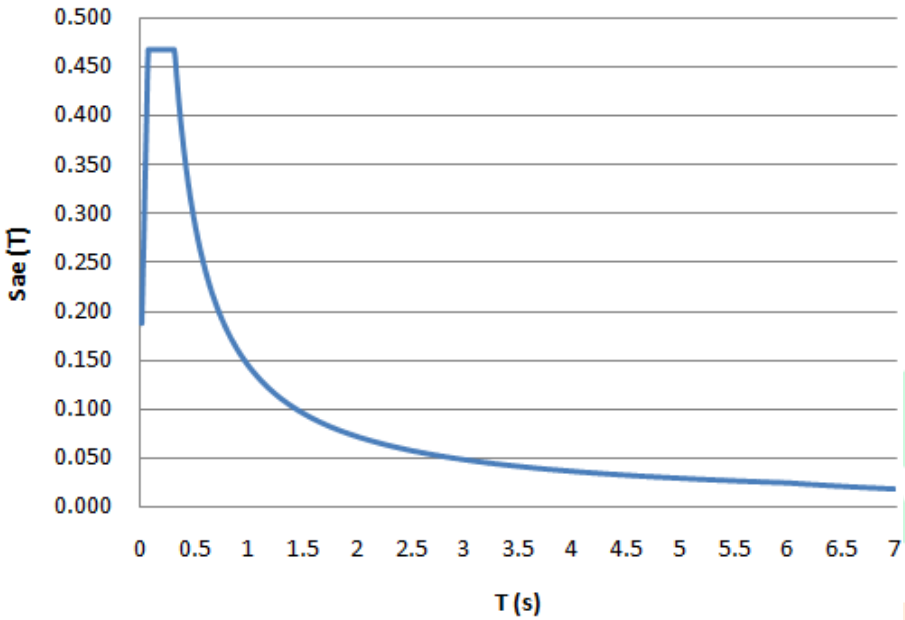
Şekil 3.1. Kocaeli zemin haritası (Sarı, 2010)

Türkiye için tasarım spektrumu çizerken ilk önce belirlememiz gereken konu deprem yer hareketi düzeyidir. Bu noktada standart olarak tasarım deprem yer hareketi olarak tanımlanan "Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2)" alınacaktır. Daha sonra "Türkiye Deprem Tehlike Haritalarının" tanımlandığı "https://tdth.afad.gov.tr/" sitesinden seçtiğimiz yerin konumuna bağlı olarak harita spektral ivme katsayıları (S_S,S_1) elde edilir. İlk olarak Şekil (3.1)' e göre Kocaeli için ZA zemin sınıfına giren zemine uygun bir yer seçilerek buradan Tablo

(3.3)' teki değerler elde edilmiştir. Bu değerler ile Şekil (3.2)' de gösterilen yatay tasarım spektrumu elde edilmiştir.

Tablo 3.3. Kocaeli ZA zemin sınıfı için örnek olarak alınan değerler

Deprem yer hareketi düzeyi	DD-2
Zemin sınıfı	ZA
Harita spektral ivme katsayıları	S_S:0,584 S_1:0,177
Yerel zemin etki katsayıları	F_S: 0,800 F_1: 0,800
Tasarım spektral ivme katsayıları	S_{DS}: 0,467 S_{D1}: 0,142
Köşe periyotları	T_A: 0,059 T_B: 0,293 T_L: 6,000

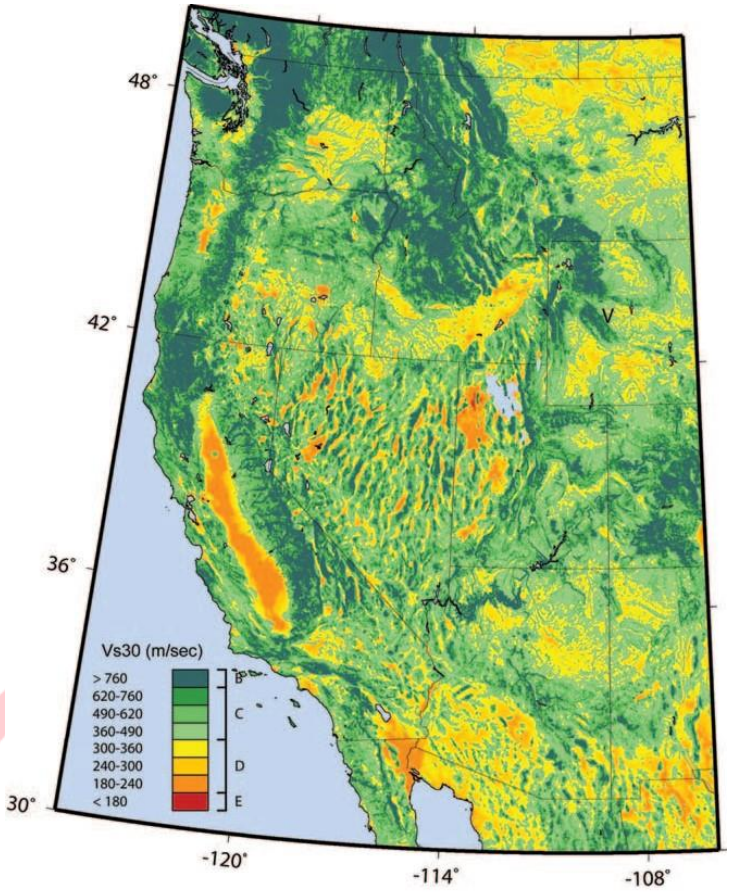


Şekil 3.2. Kocaeli ZA zemin sınıfı için yatay elastik tasarım spektrumu

Türkiye zemin sınıflamasına göre ZA zemin sınıfına giren zemin; ABD' ye göre A zemin sınıfına girmektedir. ABD yönetmeliğinin geçerli olduğu yerler içerisinde depremselliği yüksek olan eyaletlerden biri olan "Kaliforniya" seçilmiştir.

ABD yönetmeliğine göre tasarım spektrumu çizerken ilk önce "https://www.seismicmaps.org/" sitesine girerek yapının yapılacağı yerin konum bilgilerine, zemin sınıfına, risk kategorisine ve referans alınan yönetmeliğe göre harita spektral ivme katsayıları (S_S, S_1), spektral tepki ivme parametreleri (S_{MS}, S_{M1}) ve tasarım spektral ivme parametreleri (S_{DS}, S_{D1}) değerlerini elde etmemiz gerekmektedir.

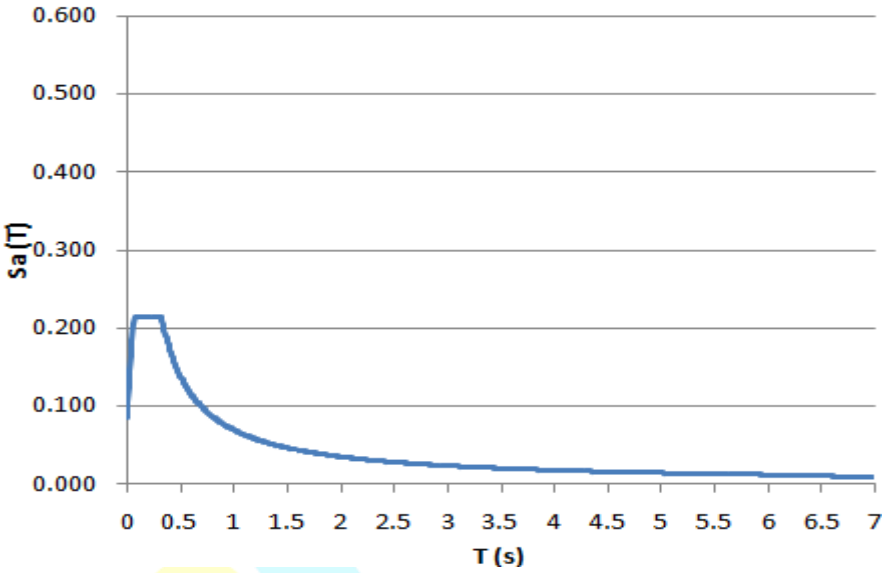
Şekil (3.3)' te Kaliforniya civarının zemin koşullarını anlatan bir görsel verilmiştir. Burada ZA zemin sınıfına ait bir zemin seçilerek Tablo (3.4)' teki değerler elde edilmiştir. Bu değerler ile Şekil (3.4)' te gösterilen yatay tasarım spektrumu elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Kaliforniya civarı için $v_s(30)$ değerleri (Allen ve Wald, 2007)

Tablo 3.4. Kaliforniya A zemin sınıfı için örnek olarak alınan değerler

Zemin sınıfı	A
Tasarım kodu	ASCE7-10
Risk kategorisi	III
Harita spektral ivme katsayıları	S_S: 0,402 S_1: 0,129
Spektral tepki ivme parametreleri	S_{MS}: 0,322 S_{M1}: 0,103
Tasarım spektral ivme katsayıları	S_{DS}: 0,214 S_{D1}: 0,069
Saha katsayıları	F_a: 0,800 F_v: 0,800
Periyot değerleri	T_O: 0,064 T_S: 0,322 T_L: 6,000



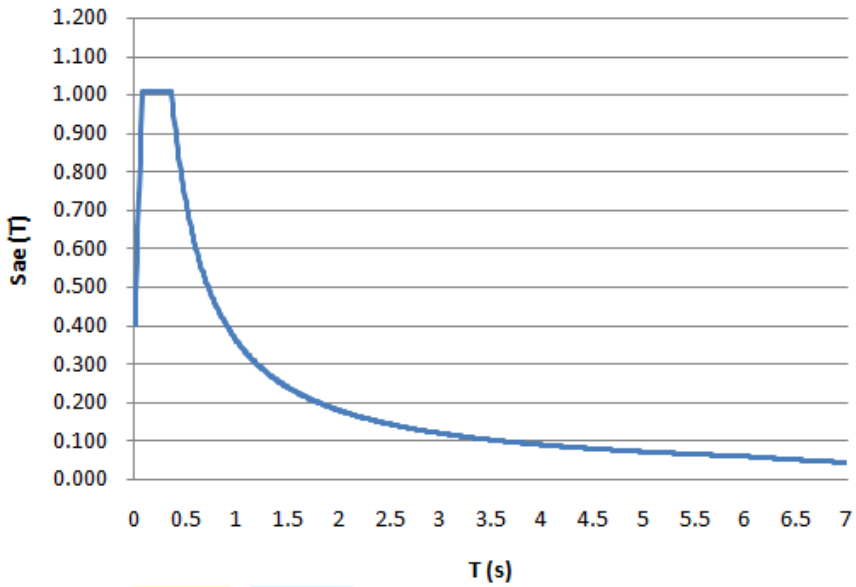
Şekil 3.4. Kaliforniya A zemin sınıfı için yatay elastik tasarım spektrumu

A- zemin sınıfına giren zeminler için yapılan aynı işlemler C- zemin sınıfı için de yapılmıştır:

Türkiye için yine Kocaeli ilinde ZC zemin sınıfına giren zemin için Tablo (3.5)' te örnek değerler verilmiştir. Verilen değerler ile Şekil (3.5)' te tasarım spektrumu çizilmiştir.

Tablo 3.5. Kocaeli ZC zemin sınıfı için örnek olarak alınan değerler

Deprem yer hareketi düzeyi	DD-2
Zemin sınıfı	ZC
Harita spektral ivme katsayıları	S_S:0,841 S_1:0,240
Yerel zemin etki katsayıları	F_S: 1,200 F_1: 1,500
Tasarım spektral ivme katsayıları	S_{DS}: 1,009 S_{D1}: 0,360
Köşe periyotları	T_A: 0,071 T_B: 0,357 T_L: 6,000

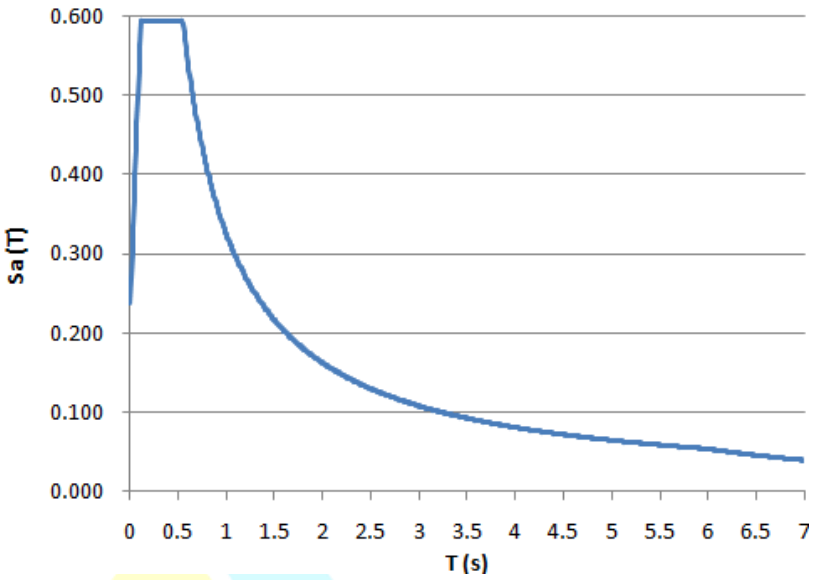


Şekil 3.5. Kocaeli ZC zemin sınıfı için yatay elastik tasarım spektrumu

Türkiye zemin sınıflamasına göre ZC zemin sınıfına giren zemin; ABD yönetmeliğine göre C zemin sınıfına girmektedir. ABD için yine "Kaliforniya" eyaletinde C zemin sınıfına ait bir zemin seçilerek Tablo (3.6)' daki değerler elde edilmiştir. Bu değerler ile Şekil (3.6)' da gösterilen yatay tasarım spektrumu elde edilmiştir.

Tablo 3.6. Kaliforniya C zemin sınıfı için örnek olarak alınan değerler

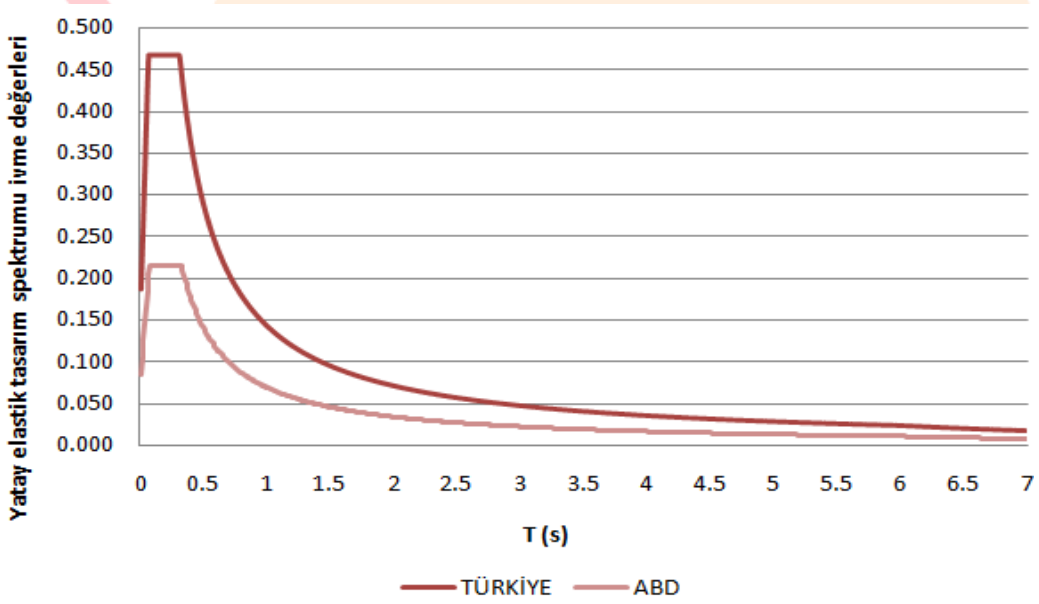
Zemin sınıfı	C
Tasarım kodu	ASCE7-10
Risk kategorisi	III
Harita spektral ivme katsayıları	S_S: 0,839 S_1: 0,332
Spektral tepki ivme parametreleri	S_{MS}: 0,894 S_{M1}: 0,487
Tasarım spektral ivme katsayıları	S_{DS}: 0,595 S_{D1}: 0,325
Saha katsayıları	F_a: 1,065 F_v: 1,468
Periyot değerleri	T_O: 0,109 T_S: 0,546 T_L: 6,000



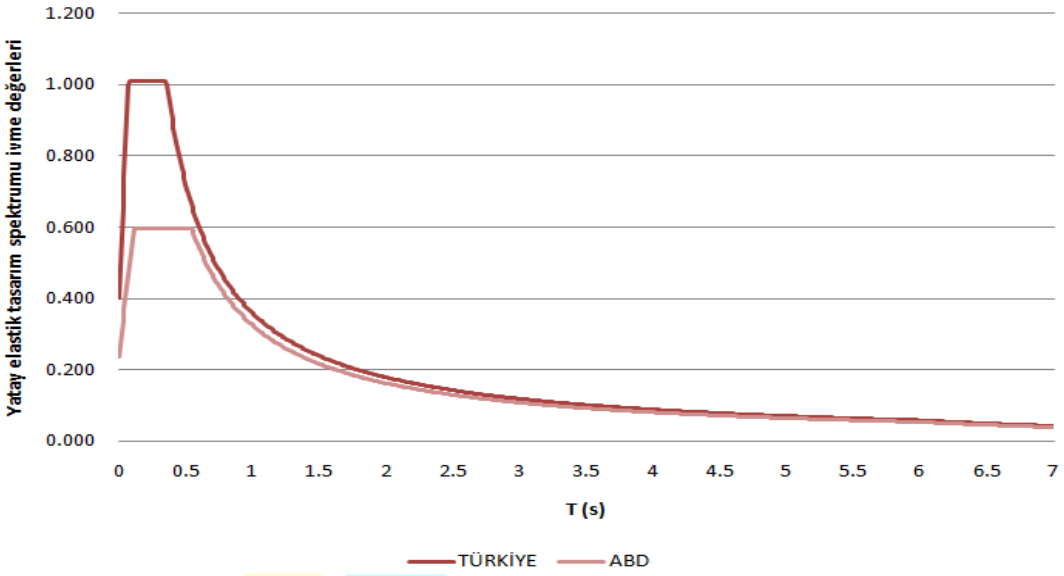
Şekil 3.6. Kaliforniya C zemin sınıfı için yatay elastik tasarım spektrumu

Bu çalışma içinde okul binası için çizilen tasarım spektrumları A ve C zemin sınıfı için sırasıyla Şekil (3.7) ve (3.8)' de gösterildiği gibi bir grafikte toplanmıştır. Bu grafikler incelendiğinde farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir:

- Yatay elastik tasarım spektrumları için seçilen değerler birbirine bu kadar yakın seçilmesine ve spektrum denklemlerinin benzerliğine rağmen tasarım spektrumundaki değerler birbirinden farklılıklar göstermektedir. Fakat belli bir süre sonra özellikle C zemin sınıfı için iki ülkenin de grafikleri çakışmıştır.
- Zeminler kayadan kuma gittikçe yani ZA' dan ZC' ye doğru gittikçe tasarım ivme değerlerinin arttığı görülmektedir. Sonuç olarak zemin sınıfı kötüleştikçe tasarımda kullanılacak olan değerler de güvenli tarafta kalmak adına artmaktadır.
- Zemin sınıfları ZA' dan ZC' ye doğru gittikçe tasarım spektrumlarındaki maksimum değerin elde edildiği ve aynı zamanda periyot değeri arttıkça ivme değerinin sabit kaldığı sürenin arttığı görülmektedir. Bu durum iki deprem yönetmeliği için de aynıdır.



Şekil 3.7. Türkiye-ABD yatay elastik tasarım spektrumları- A zemin sınıfı için



Şekil 3.8. Türkiye-ABD yatay elastik tasarım spektrumları- C zemin sınıfı için

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Allen, T. I., & Wald, D. J. (2007). Topographic slope as a proxy for seismic site-conditions (VS30) and amplification around the globe (No. 2007-1357). Geological Survey (US).

Bayrakcı, E., Balaban, E., Onur, M. İ., & Güney, Y. (2022). 2007 VE 2018 TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE SPEKTRAL KARAKTERİSTİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(3), 340-347.

Genç, Y. (2019). Türk ve bazı yabancı deprem yönetmeliklerine göre betonarme binaların analizinde düşey deprem yük etkilerinin araştırılması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Mokarrami, A. (2009). İran deprem yönetmeliğin Türk deprem yönetmeliği ile karşılaştırılması.

Nemutlu, Ö. F., & Sarı, A. (2019). 2018 YENİ TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE AMERİKAN DEPREM YÖNETMELİKLERİNİN DEPREM HESAPLARI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI.

Özşahin, B. (2021). Edirne ili özelinde 2019 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliklerine göre yatay tasarım ivme spektrumlarının değişiminin incelenmesi. Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, 7(4), 590-608.

Öztürk, M. (2018). 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ VE TÜRKİYE DEPREM TEHLİKE HARİTASI İLE İLGİLİ İÇ ANADOLU BÖLGESİ BAZINDA BİR DEĞERLENDİRME. Selçuk-Teknik Dergisi, 17(2), 31-42.

Sarı, O. Deprem Tehlikesi Azaltılmasına Yönelik Sürdürülen Faaliyet ve Projeler. (2010). Erişim tarihi: 25 Şubat 2024, https://www.kocaeli.bel.tr/webfiles/userfiles/files/birimler/imar-ve-sehircilik-dairesi-baskanligi/zemin-deprem-inceleme-sube-mudurlugu/2010_PANO_faaliyet_muziksiz.pdf

Structural Engineering Institute. (2010). Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-10). American Society of Civil Engineers.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY). (2018, 18 Mart). T.C. Resmi Gazete (Sayı: 30364 (Mükerrer)). Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

The Effect of Variable Environmental and Traffic Conditions on LIDAR Sensor Performance: A Case Study with the CUPAC Dataset

Recep EKEN [1]
Oğuzhan COŞKUN [2]
Güneş YILMAZ [3]

Abstract

This study investigates the sensitivity of LIDAR sensors under varying environmental conditions, analyzing data sets collected under different traffic, atmospheric, and road surface scenarios. Utilizing point cloud data from the CUPAC dataset, processed in Matlab R2021b, this research evaluates the impact of environmental factors on LIDAR performance, focusing on number of point clouds and intensity. Initial findings indicate significant variations in the invalid data rates and intensity values across different series, with the highest average invalid data rate observed in the Alpha2 series at 26.24% and the lowest in Delta3 at 16.74%. Notably, the highest average intensity recorded was 31.02 in the Delta3 series. These variations highlight the LIDAR sensors' responsiveness to different environmental conditions such as traffic density and physical obstructions. Further analyses of specific intensity fluctuations revealed a substantial decrease of 119.62% at a particular measurement point in the Alpha4 series, attributed to low-reflectivity objects, and an increase of 138.51% in the Delta2 series, linked to the vehicle passing between two white cars. These instances underscore the precision of LIDAR sensors in detecting subtle changes in environmental reflectivity. The comprehensive analysis underscores the capability of LIDAR systems to adapt to dynamic environmental variables, which is crucial for enhancing the reliability of autonomous driving technologies and other related applications. This study lays the groundwork for further research into optimizing sensor performance under diverse operational conditions, facilitating advancements in autonomous vehicle technology and environmental monitoring systems.

Keywords: LIDAR, point cloud data, autonomous vehicles, sensor performance.

[1] Ph.D. Candidate, Bursa Uludağ University , Electrical and Electronics Engineering, Orcıd: 0002-2472-4850
[2] Dr., EMKO Elektronik A.Ş, Orcıd: 0002-1197-6565
[3] Prof. Dr., Bursa Uludağ University , Electrical and Electronics Engineering, Orcıd: 0001-8972-195

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Introduction

The basic principle of LIDAR technology involves detecting reflected light signals from objects using light waves to create an environmental map. The precise detection mechanism makes LIDAR an important technology, especially for autonomous vehicles operating in variable traffic and environmental conditions. This system, supported by high-speed processors and advanced algorithms, can analyze thousands of data points per second, thereby providing vehicles with the capability to continuously and in real-time perceive their surroundings. (Rozir, et al., 2021:6283). This technology substantially augments the visual range and object recognition capabilities of autonomous driving systems, thereby facilitating vehicles to make decisions grounded in environmental data and execute appropriate maneuvers.

The performance of LIDAR systems may be influenced by various environmental factors such as heavy traffic, variable road conditions, changes in the colors of surrounding objects, and road illumination. Precipitation such as rain, fog, or airborne particles like dust, as well as intense solar radiation, can result in the absorption or scattering of the emitted light waves by LIDAR systems, consequently diminishing their detection capabilities. Likewise, variables such as traffic density, vehicle hues and headlight luminosity, traffic signal chromatics, and road surface irregularities can impact the object identification and distance measurement precision of LIDAR sensors. (Zhang and Jin, 2022).

LIDAR systems performance is evaluated through statistical analyses conducted on the point cloud data (PCD) obtained from measurements. These analyses employ statistical metrics such as mean and standard deviation, and mathematical methods like derivatives, to understand the characteristics of the output derived from these metrics. In measuring LIDAR performance, critical indicators include the number of meaningful three-dimensional points detected and processed by LIDAR within a specific time frame, referred to as the number of point cloud (NPC), and the intensity values representing the light intensity detected by LIDAR after being reflected from an object. Factors such as the high reflectance or absorption characteristics of objects and the presence of intense environmental light sources can induce notable fluctuations in these metrics. (Zhang and Lin, 2017:3).

The objective of this study is to analyze the performance of LiDAR under diverse environmental conditions, encompassing varied traffic scenarios, weather conditions, and road surface types. In this study, seven different data sets recorded by Coventry University in 2020 on public roads in Coventry, United Kingdom, with a research vehicle equipped with various sensors, have been used. The vehicle is equipped with a camera, LIDAR, GPS receiver, and CAN bus data logger device to measure various parameters during driving. (Weber and Kanarachos, 2020). In the scope of the study, initially, the PCD files obtained from LIDAR measurements have been transferred to the Matlab R2021b environment. Subsequently, statistical analyses have been conducted utilizing parameters such as the NPC, intensity, and positional information (x, y, z coordinates), along with metrics like mean and standard deviation. Through these analyses, the effects of environmental conditions on LIDAR performance have been investigated.

2.Material and Method

2.1.LIDAR Performance Metrics

LIDAR sensor generates a point cloud data after each measurement. Depending on the operating mode, LIDAR collects approximately 300,000 to 600,000 data points per second. This dataset records the three-dimensional coordinates and intensity of each point with numerical expressions. Point cloud data is used to create a detailed three-dimensional map of objects and the environment based on measurements taken by the LIDAR device. The mapping process and and the three-dimensional map created from a LIDAR are illustrated as an example in Figure 1.

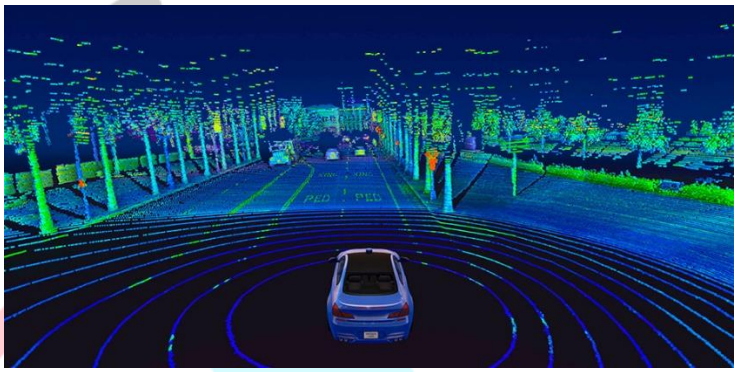


Figure 1 Three-dimensional visualization of point cloud data obtained by LIDAR (Akarsu)

This mapping is provided with numerical expressions within the data, including the number of point cloud in the measurement, three-dimensional coordinates of each point, and intensity values. These parameters are also utilized in evaluating the performance of the LIDAR sensor under varying environmental conditions for different driving scenarios.

The term number of points clouds denotes the quantity of valid (non-NaN) points acquired within a scanning cycle, serving as an indicator of the level of detail and data density within the scanned region. NPC can be influenced by environmental conditions and the scanning settings of the LIDAR device. The intensity value represents the power of the reflected laser light detected by the photodetector. Typically recorded numerically on a scale ranging from 0 to 255, this value indicates how well the surface of an object reflects the laser light. Each point cloud point specifies a position in three-dimensional space, typically denoted by x, y, and z axes. These coordinates are determined relative to the reference point of the LIDAR device and are usually expressed in meters (Cattini et al., 2021).

The accuracy and reliability of point cloud data can be significantly influenced by various environmental factors. In heavy traffic conditions, the presence of numerous vehicles and other obstacles results in more reflections captured by the LIDAR sensor. This increases the number of measurement points and consequently, the data density. Hence, the number of points clouds values may increase depending on environmental obstacles and traffic density. This increase allows the LIDAR sensor to map environmental details more thoroughly, but it can also lead to potential errors due to heavy traffic or large obstacles. (Kim at al., 2021).

The intensity parameter is susceptible to variations arising from factors including the emission angle and range of the LIDAR apparatus, as well as the surface characteristics of the emitting object, encompassing its material composition, coloration, texture, and moisture content. Objects in the surroundings can significantly influence the detection sensitivity of the LIDAR system through changes in color. Light-colored objects, reflecting laser beams more effectively, tend to increase intensity values, whereas dark-colored objects, reflecting less light, tend to decrease intensity values. This phenomenon impacts the LIDAR sensor's object recognition capabilities and the perceived strength of the reflected light. Figure 1 depicts an example where laser beams reflected from objects surrounding the vehicle are displayed based on their intensity values in different colors. These colors represent the surfaces' capacity to

reflect laser light: light colors indicate high intensity (good reflection), while dark colors indicate low intensity (poor reflection).

2.2.Dataset Description

In this study, the CUPAC dataset, collected by Coventry University, encompassing various road, traffic, and weather conditions, has been utilized for the development and validation of autonomous vehicle technologies (Weber and Kanarachos, 2020). The data collected through integrated monocular, infrared, and smartphone cameras, LiDAR sensors, GPS receivers, smartphone sensors, and a CAN bus data logger on the research vehicle have been utilized to analyze in detail the interactions between the environmental perceptions of vehicles and their dynamic responses. The data recorded within the CUPAC dataset has been regulated under the General Data Protection Regulation (GDPR) to ensure ethically sound data processing.

The equipment and sensors used include the Racelogic VBOX Video Monocular Camera, Racelogic VBOX Video HD2 CAN-Bus Data Logger, Racelogic VBOX Video HD2 GPS Antenna, Velodyne VLP-16 Laser Scanner, FLIR One Pro Infrared Camera, Samsung Galaxy S8 Smartphone Camera, and Samsung Galaxy S8 Smartphone Sensors with the AndroSensor Application. These tools have been employed to collect and analyze various data during the research process. The data collected has been saved in the point cloud data format with a point cloud data file format.

The LiDAR unit, infrared camera, and GPS receiver are mounted outside the vehicle, as shown in Figure 2a. The remaining sensors are installed inside the car, as depicted in Figure 2b. The vehicle dimensions and sensor positions are also illustrated in Figure 2c. The smartphone camera and sensors are not visible in the images.

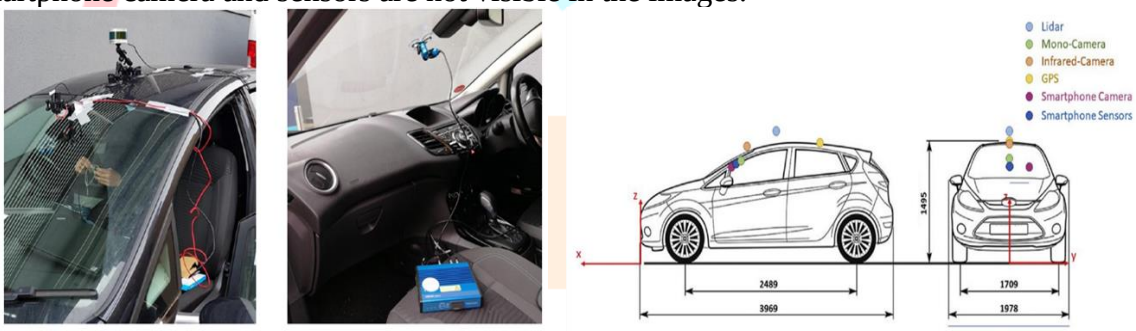


Figure 2a / 2b /2c Research vehicle exterior / interior setup / vehicle dimensions and sensor positions

The vehicle coordinates and sensor positions are presented in Table 1.

Table 19 Sensor positions in vehicle coordinates

Sensor	**X [mm]**	**Y [mm]**	**Z [mm]**
Mono Camera	1570	0	1260
Infrared Camera	1660	0	1430
LiDAR	2120	0	1630
Smartphone Camera	1420	310	1150
Smartphone Sensors	1490	0	1180

The measurements include data recorded from four different days of public road driving trials and are divided into sets named Alpha and Delta. Table 2 presents the characteristics of each scenario, including traffic density (Traff. D.) and parked vehicles (Traff. P.) during driving, weather conditions, time of day, and key features of each trial scenario.

Table 20 Summary of the data set scenarios

No	Length (min)	Traff. D.	Traff. P.	Weather	Time	Features
a1	6.4	High	High	Cloudy	Afternoon	Inner-city, Parking lot
a2	8.3	Low	High	Cloudy	Afternoon	Parking lot, Country road
a3	8.3	High	Low	Cloudy	Afternoon	Inner-city, Country road
a4	8.3	High	Medium	Cloudy	Afternoon	Inner-city
d1	8.3	Low	Low	Clear	Night	Highway, Residential area
d2	8.3	Low	High	Clear	Night	Residential area, Road bumps
d3	8.3	Low	High	Clear	Night	Residential area, Road bumps, Highway

2.3.Data Processing

In this study, to examine the effects of environmental factors on LIDAR sensor measurements, the point cloud files in the CUPAC dataset have been analyzed using Matlab R2021b. Initially, the PCD files, organized into different directories and grouped accordingly (Alpha1, Alpha2, Alpha3, Alpha4, Delta1, Delta2, Delta3), have been imported into the Matlab. For each group, the files have been read, and the point cloud data of each file has been stored in a structure. From these structures, the intensity, number of valid points, and coordinate values of each point cloud have been extracted and analyzed. The averages of intensity and NPC values have been computed for each group to examine the variation in LIDAR sensor performance under various environmental conditions. The group average has been created to demonstrate how sensitive the sensor is to different environmental factors (such as heavy traffic, characteristics of surrounding objects, etc.) and how these conditions affect data collection capacity.

In another analysis, variations in intensity values derived from the point cloud files in the CUPAC dataset have been examined to better understand the immediate effects of environmental factors on LIDAR sensor measurements. In Matlab R2021b environment, intensity values have been extracted from the pcd files grouped under Alpha and Delta series, and the averages of non-NaN intensity values have been calculated for each file. This process has been undertaken to track changes in intensity values over time and to determine the relationships between these changes and environmental factors. For each group, these averages have been stored for different variables, thus allowing observation of how intensity values varied in each measurement. These assessments are of critical importance for understanding the immediate effects of driving scenarios and environmental conditions on LIDAR sensor data.

The graphical representations depicting the intensity averages obtained for each measurement are presented across the dataset. These visual depictions elucidate the fluctuations observed in intensity values across diverse measurement sequences. For instance, factors such as traffic density and the colors of surrounding objects can induce significant variations in intensity profiles. The aim of such visualizations is to comprehend how the LIDAR sensor responds under different environmental conditions. Furthermore, to understand the environmental triggers of intensity variations, the changes in intensity values have been compared with three sets of camera data recorded for each pcd file. This comparison aimed to investigate how LIDAR data could be correlated with camera images. This correlation particularly elucidates the impact of instantaneous environmental changes on LIDAR data. Through this method, it becomes feasible to observe and comprehend the influence of environmental factors on LIDAR data.

3.Results

The analysis initially focused on the average invalid point ratios (NaN value ratio) and mean intensity values obtained from the conducted analyses. The group averages of the invalid point ratios and intensity values for the seven different measurements used in the study are depicted in Figures 3a and 3b.

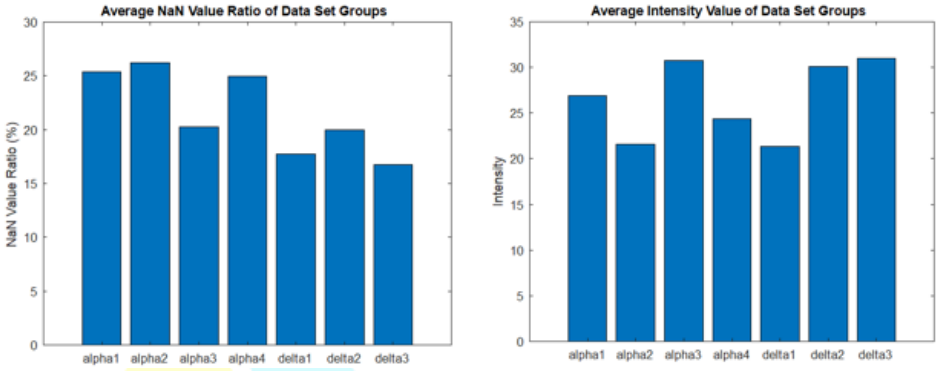


Figure 3a / 3b Average NaN and intensity value ratio of data set groups

Results indicate that the maximum average invalid data ratio is observed at 26.24% in Alpha2, whereas the minimum ratio average is observed at 16.74% in Delta3. The maximum intensity average is observed at 31.02% in Delta3, while the minimum average is observed at 21.35% in Delta1. These findings, when correlated with the experimental conditions depicted in Table 2, allow us to understand the impact of various environmental factors on LIDAR sensor measurements. The high invalid data ratio observed in the Alpha2 series can be attributed to the fact that these measurements have been conducted in a parking area and country road setting. Country roads and parking areas are typically filled with low-reflectivity objects such as trees and bushes, which can result in LIDAR sensors generating more invalid points. The objects encountered in country and parking area settings, such as trees and bushes, effectively hinder the reflection of laser beams, making it challenging for sensors to accurately measure distances. In contrast, the Delta3 series includes measurements conducted on a highway at night, showing a high average intensity value. During nighttime conditions, environments with structured layouts like highways can effectively reflect laser beams off the road surface and markings, allowing for higher intensity values to be obtained. Additionally, highways, with their presence of stationary objects such as traffic signs and barriers, and typically offering a flat surface, assist in reducing the generation of invalid data by LIDAR sensors.

However, the interpretations made based on group averages may not fully reflect the instantaneous effects of specific environmental factors on LIDAR sensor measurements. Therefore, additional analyses have been conducted to gain a more detailed understanding of how environmental factors affect LIDAR measurements in real-time. The variations in intensity values obtained from the point cloud (.pcd) files in the CUPAC dataset have been meticulously examined, and the changes in intensity values during each measurement have been tracked. This analysis, visualizing the changes in intensity values across various measurement sequences, facilitated an understanding of how the LIDAR sensor responds to environmental conditions.

For instance, Figure 4a displays the curve of average intensity values obtained for each measurement in the Alpha 4 dataset. In the graph, at the 1291st measurement point, there is a noticeable drop in intensity value from 15.34 to 12.82. This drop represents a moment when the intensity abruptly decreased to a minimum. To better understand this specific decrease, the camera image obtained during the relevant measurement has been examined. Figure 4b presents the camera image taken during the time period corresponding to this measurement.

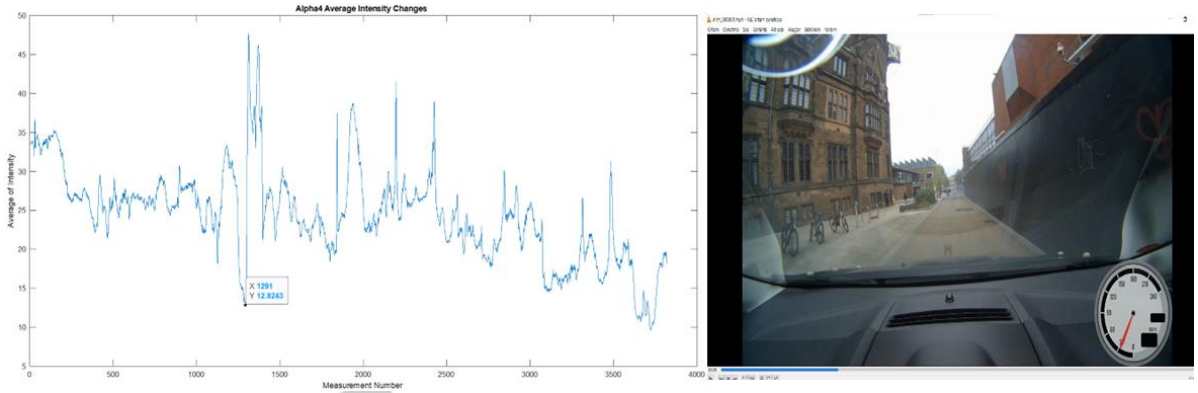


Figure 4a / 4b Average intensity curve for each measurement in Alpha 4 data / Camera data for the anomaly observed in the Alpha4 data

The review revealed that the decrease in intensity occurred as the vehicle passed in front of an object with low reflectivity, such as a black stripe. Such objects reflect less light back to the LIDAR sensors' receivers, causing a drop in measured intensity values. This observation confirms the sensitivity of LIDAR technology to various surface characteristics and the impact of environmental factors on data quality.

Another example can be seen in Figure 5a, which shows the curve of average intensity values for each measurement in the Delta2 data. In the graph, at measurement point 2735, the intensity value experiences a significant increase, rising by 32.98 to reach 56.62. This spike represents a moment when the intensity suddenly reaches a maximum. After this peak, there is a rapid drop, and the intensity value returns to levels similar to previous measurements. To better understand this sudden change, the camera image captured during this measurement has been analyzed. Figure 5b presents the camera image taken at the time corresponding to this measurement.

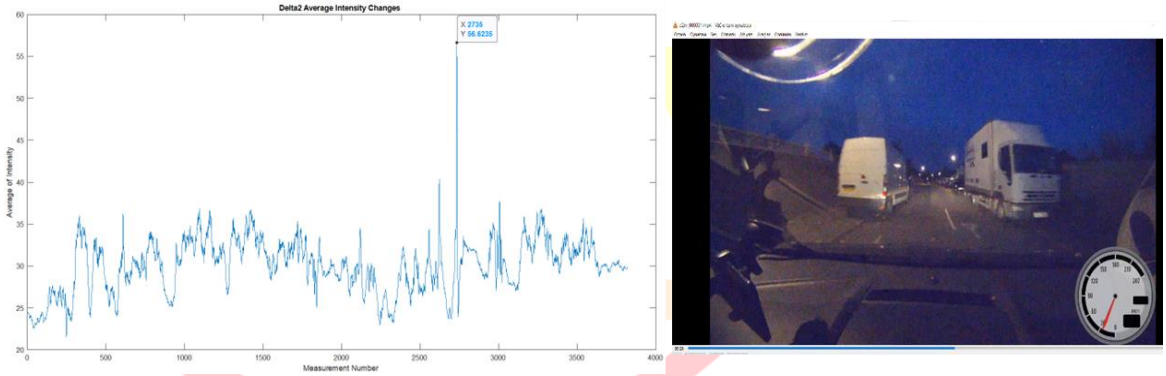


Figure 5a / 5b Average intensity curve for each measurement in Delta2 data / Camera data for the anomaly observed in the Delta2 data

The review determined that the sudden change in intensity occurred as the research vehicle passed between two white-colored vehicles. The high reflectivity of the white color and the vehicles' metallic surfaces caused a significant portion of the laser beams to be directly reflected, resulting in an instantaneous increase in intensity values. After the vehicle passed, the intensity levels returned to normal. This scenario demonstrates how sensitively LIDAR data can respond to environmental variables and how such sensitivity can be validated through detailed analysis.

4.Conclusion

In this study, detailed analyses have been conducted on the number of point clouds and density values in a dataset containing various conditions to understand the performance variations of LIDAR sensors under different environmental conditions. The findings reveal the

sensors' sensitivities to environmental factors and highlight the significance of this situation for potential applications.

As part of the study, the rates of invalid data and intensity values in different datasets have been compared. In the Alpha2 series, the maximum observed invalid data rate averaged 26.24%, while in the Delta3 series, this rate has been recorded at the lowest average of 16.74%. The highest average density value has been observed in the Delta3 series at 31.02. These results provide concrete examples of the sensitivity of LIDAR sensors to environmental conditions.

Particularly in the Alpha4 dataset, a 119.62% decrease in the intensity value at measurement 1291 has been notable. This decrease occurred as a result of the sensors detecting objects with low reflectivity. Similarly, in the Delta2 dataset, passing between two white vehicles at measurement 2735 resulted in a 138.51% increase in the intensity value. These incidents demonstrate how sensitively LIDAR technology can detect environmental details.

In conclusion, this study has detailed the sensitivity of LIDAR sensors to environmental changes and how these characteristics can be utilized in areas such as autonomous vehicles, road safety, and environmental monitoring systems. The findings enable a better understanding of the potential applications of LIDAR technology, thereby providing a solid foundation for further research in this field. Additionally, the study emphasizes the importance of a detailed analysis of environmental factors for more effective use of LIDAR data.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

Roriz, R., Cabral, J., & Gomes, T. (2021). Automotive LiDAR technology: A survey. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(7), 6282-6297.

Zhang, T., & Jin, P. J. (2022). Roadside lidar vehicle detection and tracking using range and intensity background subtraction. Journal of advanced transportation, 2022.

Zhang, J., & Lin, X. (2017). Advances in fusion of optical imagery and LiDAR point cloud applied to photogrammetry and remote sensing. International Journal of Image and Data Fusion, 8(1), 1-31.

Kim, J., Park, B. J., Roh, C. G., & Kim, Y. (2021). Performance of mobile LiDAR in real road driving conditions. Sensors, 21(22), 7461.

Wojtanowski, J., Zygmunt, M., Kaszczuk, M., Mierczyk, Z., & Muzal, M. (2014). Comparison of 905 nm and 1550 nm semiconductor laser rangefinders' performance deterioration due to adverse environmental conditions. Opto-Electronics Review, 22, 183-190.

Akarsu, M. (2021). Lidar sensörü ve otonom hareket. 11.05.2024, https://medium.com/@meftunakarsu/lidar-verileri-ile-otonom-hareket-c90f4d85777c

Cattini, S., Cassanelli, D., Di Loro, G., Di Cecilia, L., Ferrari, L., & Rovati, L. (2021). Analysis, quantification, and discussion of the approximations introduced by pulsed 3-D LiDARs. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 70, 1-11.

Weber, Y., & Kanarachos, S. (2020). CUPAC–The Coventry University public road dataset for automated cars. Data in brief, 28, 104950.

Velodyne Lidar, (2019), VLP-16 User Manual. 26.02.2019, https://velodynelidar.com/wp-content/uploads/2019/12/63-9243-Rev-E-VLP-16-User-Manual.pdf

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

A PESTEL Analysis on Autonomous Vehicle Technologies in Türkiye

Recep ÖZKÖK[1] [2]

Abstract

Autonomous vehicles continue to be a very popular topic worldwide. Countries are conducting many academic and commercial studies on hardware and software in order to be a pioneer in new autonomous vehicle technologies and to achieve full autonomy level (Level: 5 Autonomous Driving). Countries are also creating road maps and continuing to work on providing appropriate infrastructure and smart city planning for vehicles that will have this technology in the future. Türkiye has many start-ups and initiatives developing technology for autonomous vehicles. However, autonomous vehicles cannot yet be actively used on Türkiye's highways and autonomous vehicles cannot become widespread. In Türkiye, there is a need to improve all the necessary infrastructure and to plan and work to ensure regulatory requirements. In this regard, there is a need to conduct a current situation analysis specific to Türkiye. The PESTEL analysis method is used as a useful tool that contributes to strategic management by evaluating external factors that may affect the business line in which firms operate. In PESTEL analysis, the current situation is analyzed from political, economic, social, technological, environmental and legal aspects. By analyzing these factors, the company in the selected field can identify potential opportunities and threats and adjust its strategy accordingly. In this paper, Türkiye's current situation on autonomous vehicle technologies is analyzed using the PESTEL analysis method.

Keywords: Autonomous Vehicles, Autonomous Technologies, Automotive, PESTEL Analysis

[1] Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Ar-Ge, Orcid: 0000-0003-2984-3047
[2] Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği

ISBN: 978-625-372-170-1

1.INTRODUCTION

Today, the automotive industry is experiencing revolutionary technological changes. Autonomous vehicle technologies in particular are an important area that will form the basis of future transportation. In developing countries such as Turkey, the effects and applicability of these technological advances should be subjected to a comprehensive analysis. In today's world where technological developments are accelerating, autonomous vehicle technologies are triggering an important transformation in the transportation sector. Autonomous vehicles can perceive their environment, make decisions and navigate without human intervention. The widespread adoption of these technologies offers many potential advantages such as improving traffic safety, reducing traffic congestion and increasing energy efficiency. However, the adoption and implementation of these technologies face several challenges.

The aim of this study is to use PESTEL analysis to understand the current state and future of autonomous vehicle technologies in Turkey. PESTEL analysis allows us to understand the influences in the external environment of an industry or issue by evaluating political, economic, social, technological, environmental and legal factors. This analysis will provide a framework to understand the current state of autonomous vehicle technologies in Turkey and identify future trends.

In the remainder of the study, the effects of political, economic, social, technological, environmental and legal factors on autonomous vehicle technologies will be analyzed in detail. Our results will provide valuable insights into the opportunities and challenges that Turkey may face in adopting and implementing autonomous vehicle technologies. This study will be an important guide for stakeholders who want to understand the barriers that Turkey may face in its transition to autonomous vehicle technologies and develop strategic measures to overcome these barriers.

2.METHOD

PESTEL analysis is a strategic tool used to assess external macro-environmental factors that can affect an organization. It stands for Political, Economic, Social, Technological, Environmental and Legal factors. This method provides a comprehensive understanding of the various external influences on a business or project, helping decision makers identify opportunities and threats. The analysis includes the assessment of these factors to determine their relative importance and impact on the organization and guides strategic orientation and decision-making processes (Gandrita, D. M., 2023). PESTEL analysis is particularly useful in sectors such as tourism where macroeconomic influences play an important role in shaping the business environment (Kara, E, 2018).

While PESTEL analysis is a structured and systematic approach, it also allows for a degree of flexibility and emergence in strategy development as it considers a wide range of factors that can affect the organization. The method helps to quickly adapt to changing market conditions by providing insights into business opportunities and threats (Marinović-Matović, I et al., 2020). Furthermore, PESTEL analysis is often used in combination with other strategic tools such as SWOT analysis to provide a holistic view of both internal and external factors affecting an organization.

In this study, the current state and future of autonomous vehicle technologies in Turkey are analyzed using PESTEL analysis. PESTEL analysis allows us to understand the influences on the external environment of an industry or issue by evaluating political, economic, social,

technological, environmental and legal factors in a systematic way. This analysis is a common tool used to understand various aspects of an issue and to make strategic decisions.

In the assessment of political factors, the strategies and regulations enacted to promote autonomous vehicle technologies in Turkey are analyzed. In the assessment of economic factors, the impact of domestic initiatives and investments on the development of autonomous vehicle technologies is investigated. In the assessment of social factors, the attitudes and adoption tendencies of consumers in Turkey towards autonomous vehicles are examined. In the assessment of technological factors, the impact of R&D activities and technology investments in Turkey on the development of autonomous vehicle technologies is investigated. In the assessment of environmental factors, the environmental impacts and sustainability potential of autonomous vehicle technologies are analyzed. In the evaluation of legal factors, how the current legal regulations in Turkey affect the use of autonomous vehicles and future legal requirements are examined.

3.RESULTS & DISCUSSION

3.1. Political Factors

The policy drivers for autonomous vehicle technologies in Turkey are quite extensive and various strategies and regulations are being implemented to support the development of these technologies. Enacted in 2019, the "National Intelligent Transportation Systems Strategy Document" aims to support the development of autonomous vehicle technologies in Turkey and accelerate legal regulations (Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019). Furthermore, the "National Smart Cities Strategy and Action Plan Circular", which Turkey launched in 2019 to provide government support in the field of autonomous vehicle technologies, is among the important regulations in this field (Resmi Gazete, 2019). To implement the EU Strategy on autonomous mobility, the Coordination Board for Road Traffic Safety Strategy published the "2021-2030 EU Road Traffic Safety Policy Framework", which covers the details of collaborative intelligent transport systems, including vehicle-vehicle and vehicle-infrastructure communication (Karayolu Trafik Güvenliği Stratejisi Eşgüdüm Kurulu Başkanlığı, 2021).

Within the scope of the "Road Traffic Safety Action Plan 2024-2027", the Road Traffic Safety Strategy Coordination Board emphasized the importance of updating the training and qualifications of drivers to be able to operate autonomous vehicles as they enter the market. Furthermore, measures to ensure vehicle safety in the 2021-2023 period include equipping new vehicles with advanced safety systems in line with international type approval legislation (Karayolu Trafik Güvenliği Stratejisi Eşgüdüm Kurulu Başkanlığı, 2024). Turkey's Ministry of Industry and Technology has published the "2023 Industry and Technology Strategy" to establish industrial and technological policies on autonomous vehicle technologies. This strategy informs Turkish organizations by sharing examples from the US and Europe and emphasizes that the widespread use of connected, autonomous and electric vehicles will trigger development investments in the sector. Charging infrastructure and tax advantages are envisaged for the proliferation of electric vehicles, while pilot areas and legal infrastructure regulations are envisaged for the proliferation of autonomous vehicles (Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019).

Finally, the "Mobility Vehicles and Technologies Roadmap" prepared by the Turkish Ministry of Industry and Technology addresses connected, autonomous and shared vehicle technologies and autonomous vehicle traffic management technologies. This roadmap aims to prioritize the scope, cost and outputs of critical projects for connected and autonomous vehicles for organizations in Turkey (Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022).

3.2. Economic Factors

The economic drivers for autonomous vehicle technologies in Turkey are closely related to investments and developments in the sector. ADASTEC, which offers solutions for level-4 autonomous driving technologies, has received an important economic support by receiving an investment of 1 million dollars from the Informatics Valley GDPF, managed by APY Ventures. Founded in 2018, ADASTEC provides services with its level-4 autonomous driving software platform "flowride.ai", which offers state-of-the-art automation solutions for large-scale buses and commercial vehicles, and has NHTSA approval in the US and TUV Nord approval in Norway (Webrazzi, 2024). Local startups working on autonomous driving technologies also continue to receive investments. In this context, Leo Drive received seed investment from Japan-based automotive company TIER IV (Webrazzi, 2022). In addition, Robeff, which develops large-scale, electric and driverless delivery vehicles, received seed investment from Yıldız Tekno VCIT and Adventures VCIT with a valuation of USD 1.5 million, and this domestic startup received pre-seed investment from Leo Drive during its establishment phase (Swipeline, 2023).

Another example of the economic impact of autonomous vehicle technologies in Turkey is the investment in autonomous vehicle technologies by a company operating in Turkey's automotive industry in 2023. This investment aims to increase Turkey's competitiveness in the automotive sector and reduce unemployment (Otomotiv Sanayi Derneği, 2023). R&D investments to increase the competitiveness of local producers in the global market also have an important place among economic factors. In this context, the "Open Innovation Autonomous Vehicle Development and Test Platform", which was established with the OPINA Project implemented by the Ministry of Industry and Technology with the financing of the European Union and the Republic of Turkey, was put into service. OPINA is a technical infrastructure platform that provides software and hardware development, simulation, testing, certification, training and mentoring services in the field of smart, communicating and autonomous vehicle software and hardware development at national and international level, using open innovation methodology. This platform also provides national and international cooperation and business development opportunities. The aim of the project is to create and develop an industry, university and SME innovation collaboration ecosystem (Okan Üniversitesi, 2024).

Finally, the surveys reveal the economic conditions and expectations of the public. While 82% of the respondents stated that the budget they would allocate for a new vehicle purchase would be 500 thousand Turkish Liras or less, 87.7% stated that they would be willing to pay less than 50 thousand Turkish Liras extra to have autonomous features in the vehicle they would purchase. These statistics show that the biggest obstacle to the widespread adoption of level-2 autonomous features, which are currently available in luxury vehicles or as an option in economy model vehicles, is the economic situation.

3.3. Social Factors

Social factors such as consumer innovativeness, domestic product purchase intention and ethnocentrism are reported to be influential in the adoption of autonomous and electric vehicle technologies in Turkey. These factors show consumers' interest in new technologies and support for domestic products in Turkey (Avci, İ., 2020). Consumer innovativeness refers to people's interest in new technologies and their tendency to use these technologies, while the intention to purchase domestic products reflects consumers' trust and support for local producers.

However, a study on the social acceptance of autonomous vehicle technologies in Turkey examined the perceived benefits and concerns about the proliferation of driverless vehicles. The results of the study show that the majority of respondents view driverless vehicles positively, but the level of knowledge is generally low (Kocaeli Üniversitesi, 2021). Benefits

such as the ability to solve transportation problems of elderly and disabled people, to spare time for different activities during travel, and to provide transportation in emergencies play an important role in the social acceptance of driverless vehicles.

In another study, the attitudes of vehicle users in Turkey towards autonomous technologies were analyzed. While the majority of the respondents were positive towards autonomous technologies, it was determined that those who would buy new vehicles mostly wanted them to have level 3 or level 4 autonomous features. However, 43% stated that they do not trust autonomous vehicles (Nasır, S. et al., 2017).

All these findings suggest that social factors play an important role in the adoption of autonomous, electric and connected vehicle technologies in Turkey. Therefore, these factors should be taken into account in PESTEL analysis and appropriate strategies should be identified.

3.4.Technological Factors

Autonomous vehicle technology is defined as vehicles with automated control systems and the ability to navigate on their own by sensing their surroundings. This technology has been attracting interest and development for a long time. However, it will take time for autonomous vehicles to become fully widespread and accepted (Daraei, M., et al., 2017).

The proliferation of autonomous vehicles offers advantages such as increasing the efficiency of vehicles and contributing to traffic safety. However, it still has unresolved problems such as security and legal issues. In particular, risks such as cyber-attacks and vandalism should be considered. It may take many years for fully autonomous vehicles to be introduced and accepted (Silva, D. et al., 2021).

As autonomous vehicle technology becomes widespread, it is expected that there will be a mix of autonomous vehicles and conventional vehicles in existing traffic. This transition process needs to be well planned and organized. Economic, technical, social and political aspects should be carefully considered. A homogeneous traffic environment can be achieved by developing solutions for different autonomous vehicle densities (Lin, X. et al., 2021).

Autonomous vehicle technologies have been shown to reduce urban travel times, lower emissions and reduce the need for parking spaces. However, significant technical and financial challenges will be faced for the full development and deployment of this technology (Chehri, A. et al., 2019).

In addition to these studies, software and sensor systems need to be developed for the safe use of autonomous vehicles in traffic. However, it is important to consider factors such as the cost and reliability of this technology. Continuous efforts should be made to develop affordable and reliable autonomous vehicle technologies (Owsley, C. et al., 2010).

3.5.Environmental Factors

Intelligent Transportation Systems (ITS) have been developed to reduce the negative impacts of road transportation. ITS are designed to shorten travel times, increase traffic safety, use existing road capacities more efficiently, increase mobility, use energy more effectively and reduce environmental damage (Republic of Turkey Ministry of Transport and Infrastructure, 2020).

Autonomous vehicles in road transportation are expected to make significant contributions to energy savings. Studies show that vehicle automation can save between 30% and 45% of fuel consumption. It is also estimated that energy savings could be up to 37% if autonomous vehicles are used in combination with public transportation (Litman, T., 2017).

The impacts of vehicle automation at the regional level are also significant. Distance improvements and reductions in transportation costs can lead to green urban sprawl around metropolitan urban centers (Moorthy et al., 2017).

3.6.Legal Factors

Legislative changes and innovations that Turkey will need regarding autonomous vehicles used in road transportation and autonomous driving are discussed. The main findings of the study are as follows: Turkey's adaptation to the autonomous vehicles ecosystem has been successful especially in the field of technical legislation (Semiz, H., et al., 2023). However, Turkey has not yet taken an official position on the use of level 3, 4 and 5 autonomous vehicles and has not yet regulated the relevant domestic legislation. While this situation may cause serious legal problems especially in the use of level 3 and 4 vehicles, the use of level 5 vehicles will be quite difficult. Moreover, autonomous vehicles can operate independently of the driver, which requires reorganization of working hours. Since autonomous vehicles need to constantly transfer data online and process personal data, it is important to set conditions in accordance with national legislation and to protect personal data. In addition, improvements should be made to the communication infrastructure and 5G should be rolled out across the country. In the vehicle inspection process, inspection defect tables should be organized to take into account the characteristics of autonomous vehicles. In Turkey, there is no specific regulation in terms of criminal liability for autonomous driving and legislative work should be initiated in this regard. Finally, there are uncertainties regarding insurance for autonomous vehicles, and legislative work needs to be accelerated to determine definitions and responsibility sharing in this area.

4. CONCLUSION

Table 1 *- PESTEL Analysis*

Factor	**Summary**
Political	- National Intelligent Transportation Systems Strategy Document (2019) and National Smart Cities Strategy and Action Plan (2019) - 2021-2030 EU Road Traffic Safety Policy Framework - Road Traffic Safety Action Plan 2024-2027 - 2023 Industry and Technology Strategy - Mobility Vehicles and Technologies Roadmap (2022)
Economic	- ADASTEC's 1 million dollar investment from Informatics Valley GSYF - Leo Drive's seed investment from TIER IV - Robeff's $1.5 million seed investment from Yıldız Tekno VCIT and Adventures VCIT - R&D investments in the automotive sector and OPINA Project - Vehicle purchase budget and payment requests for autonomous features (82% with a budget of less than 500 thousand TL, 87.7% with an extra payment request of less than 50 thousand TL)
Social	- Consumer innovativeness and intention to purchase domestic products - Perceived benefits and concerns about driverless cars - Potential to solve transportation problems for elderly and disabled people - 43% of respondents do not trust autonomous vehicles
Technological	- Efficiency and traffic safety advantages of autonomous vehicles - Existence of risks such as security, cyber-attacks and vandalism - Mixed presence of autonomous and conventional vehicles in existing traffic - Potential for reductions in urban travel times, emissions and parking needs - The necessity to develop software and sensor systems
Environmental	- Traffic safety and energy savings with Intelligent Transportation Systems (ITS) - Vehicle automation saves 30% to 45% in fuel consumption - Potential for up to 37% energy savings with public transportation - Potential for green urban sprawl
Legal	- Successful harmonization in the field of technical legislation - Lack of regulations for 3rd, 4th and 5th level autonomous vehicle use - The need to reorganize working hours - Personal data protection and online data transfer requirements - Communication infrastructure and the need for 5G transition - Organizing the vehicle inspection process according to autonomous vehicles - Lack of regulations on criminal liability and insurance

In this study, a PESTEL analysis was conducted on autonomous vehicle technologies in Turkey and the effects of different factors on the development of this technology were analyzed. In political factors, it is observed that Turkey has developed various strategies and regulations to support autonomous vehicle technologies and is trying to comply with international standards. In economic factors, it is noted that the interest of domestic and foreign investments in the sector is increasing and Turkey is investing in various projects to increase its competitiveness in the automotive industry. In social factors, consumers' interest in new technologies as well as their perceptions of the social acceptance of self-driving vehicles are examined. In technological factors, the potential of autonomous vehicle technology and the importance of studies in this field are emphasized. In environmental factors, the environmental impacts of autonomous vehicle technologies and the potential for energy savings are discussed.

Özellikle hukuki faktörlerin incelendiği bölümde, Türkiye'nin otonom araçlar ekosistemine uyum sağlamada teknik mevzuat alanında başarılı olduğu ancak henüz seviye 3, 4 ve 5 otonom araç kullanımına ilişkin resmi bir pozisyon almadığı belirtilmiştir. Bu durumun ciddi hukuki sorunlara yol açabileceği ve otonom araçların yaygınlaşmasını engelleyebileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, kişisel verilerin korunması, haberleşme altyapısının iyileştirilmesi ve otonom araçlara yönelik cezai sorumluluk konularında hukuki düzenlemelerin gerekliliği vurgulanmıştır.

In the section examining legal factors in particular, it is stated that Turkey has been successful in adapting to the autonomous vehicle ecosystem in the field of technical legislation, but has not yet taken an official position on the use of level 3, 4 and 5 autonomous vehicles. It was emphasized that this could lead to serious legal problems and hinder the proliferation of autonomous vehicles. In addition, the need for legal regulations on the protection of personal data, improvement of communication infrastructure and criminal liability for autonomous vehicles was emphasized.

In conclusion, Turkey needs to adopt a strategic approach to support the transition to autonomous vehicle technologies and become a leader in this field, taking into account political, economic, social, technological, environmental and legal factors. In this way, the country can become an effective player in the transportation industry of the future and achieve sustainable development in economic, social and environmental terms.

ISBN: 978-625-372-170-1

5. REFERENCES

Avci, İ. (2020). The effect of ethnocentrism, country image and innovativeness on the intention to purchase a domestic branded car: A study in the context of Turkey's car (TOGG). Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (20), 439-466.

Chehri, A., & Mouftah, H. T. (2019). Autonomous vehicles in the sustainable cities, the beginning of a green adventure. Sustainable Cities and Society, 51, 1-24. DOI:10.1016/j.scs.2019.101751

Daraei, M., Vu, A., & Manduchi, R. (2017). Velocity and shape from tightly-coupled LiDAR and camera. IEEE, 4, 60-67.

Gandrita, D. M. (2023). Technology and family business: From conceptualization to implementation in strategic planning – A perspective article. Journal of Family Business Management, 14(2), 332-336. https://doi.org/10.1108/jfbm-07-2023-0105

Kara, E. (2018). A contemporary approach for strategic management in tourism sector: PESTEL analysis on the city Muğla, Turkey. Journal of Business Research - Turk, 10(2), 598-608. https://doi.org/10.20491/isarder.2018.446

Karayolu Trafik Güvenliği Stratejisi Eşgüdüm Kurulu Başkanlığı. (2021). 2021-2030 AB Karayolu Trafik Güvenliği Politika Çerçevesi. https://www.trafik.gov.tr/kurumlar/guvenlitrafik.gov.tr/yayinlar/kitap_makale_arastirma/kitap_pdf/2_-AB-Komisyonu-Sifir-Vizyonu11022022_2.pdf

Karayolu Trafik Güvenliği Stratejisi Eşgüdüm Kurulu Başkanlığı. (2024). Karayolu Trafik Güvenliği Eylem Planı 2024-2027. https://www.trafik.gov.tr/kurumlar/trafik.gov.tr/06-Yayinlar/Diger/2024_2027-Eylem-Plani.pdf

Kocaeli Üniversitesi. (2021). Otonom Araç Teknolojileri ve Toplumsal Kabul Araştırması.

Lin, X., Wang, F., Yang, B., & Zhang, W. (2021). Autonomous vehicle localization with prior visual point cloud map constraints in GNSS-challenged environments. *MDPI

Litman, T. (2017). Autonomous vehicle implementation predictions. Victoria, BC, Kanada: Victoria Transport Policy Institute.

Marinović-Matović, I., & Arsić, L. (2020). Ecological dimension of PESTEL analysis in small enterprises in the Republic of Serbia. Reciklaza I Odrzivi Razvoj, 13(1), 63-71. https://doi.org/10.5937/ror2001063m

Moorthy, A., De Kleine, R., Keoleian, G., Good, J., & Lewis, G. (2017). Shared autonomous vehicles as a sustainable solution to the last mile problem: A case study of Ann Arbor-Detroit area. SAE International Journal of Passenger Cars-Electronic and Electrical Systems, 10(2).

Nasır, S., & Özçelik, S. (2017). Sürücüsüz araçlara yönelik tüketici tutumları. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 4(12), 590-603.

Okan Üniversitesi. (2024, Mayıs 10). Türkiye'nin ilk otonom araç geliştirme ve test platformunu hizmete açtık. https://www.okan.edu.tr/haber/3566/turkiyenin-ilk-otonom-arac-gelistirme-ve-test-platformunu-hizmete-actik/

Otomotiv Sanayi Derneği. (2023). Otomotiv Sektöründe Yapılan Otonom Araç Yatırımları Raporu. [URL]

Owsley, C., & McGwin Jr, G. (2010). Vision and driving. Vision Research, 50(23), 2348-2361.

Resmi Gazete. (2019). 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı Genelgesi. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/12/20191224-14.pdf

Semiz, H., & Öztürk, E. A. (2023). Karayolu taşımacılığında otonom sürüşe geçiş sürecinde Türkiye'nin ihtiyaç duyacağı mevzuat değişiklikleri. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 6(1), 1-21. DOI Link

Silva, D., Földes, D., & Csiszár, C. (2021). Autonomous vehicle use and urban space transformation: A scenario building and analyzing method. Transportation Research, 4, 1-22.

Swipeline. (2023). Sürücüsüz teslimat araçları geliştiren Robeff, 1.5 milyon dolar değerleme ile yatırım aldı. https://swipeline.co/surucusuz-teslimat-araclari-gelistiren-robeff-1-5-milyon-dolar-degerleme-ile-yatirim-aldi/

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). AUS Akıllı Ulaşım Sistemleri (Erişim tarihi: 20.05.2024) hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/ulusal-akilli-ulasim-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-plani.pdf

Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2019). Otomotiv Endüstrisi Strateji Belgesi. https://www.uab.gov.tr/uploads/announcements/ulusal-akilli-ulasim-sistemleri-strateji-belgesi-v/ulusal-akilli-ulas-im-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-plani.pdf

Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2019). Sanayi ve Teknoloji Strateji Belgesi 2023. https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/SanayiStratejiBelgesi2023.pdf

Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2022). Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası. https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/plan-program/MobiliteAracveTeknolojileriYolHaritasi.pdf

Webrazzi. (2022, Ekim 20). Otonom sürüş teknolojilerine odaklanan yerli girişim Leo Drive, tohum yatırım aldı. https://webrazzi.com/2022/10/20/otonom-surus-teknolojilerine-odaklanan-yerli-girisim-leo-drive-tohum-yatirim-aldi/

Webrazzi. (2024, Mart 19). Otonom sürüş teknolojisi girişimi ADASTEC, APY Ventures'tan 1 milyon dolar yatırım aldı. https://webrazzi.com/2024/03/19/otonom-surus-teknolojisi-girisimi-adastec-apy-venturestan-1-milyon-dolar-yatirim-aldi/

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkının İki Boyutlu (2d) Modellerle İncelenmesi: Değirmendere Barajı Örneği

Said ÖLMEZ[1]
Turgay PARTAL[2]

Abstract

Humanity has always balanced living in harmony with nature and striving to improve its quality of life, while also contending with nature to sustain livelihoods. One example of this struggle is the construction and management of dams, which redirect, store, and utilize water for various purposes. Dams, with their massive water reservoirs, are also defined as risks and hazards. There are numerous studies on flood analysis through different software tools concerning dam breach analysis in the literature. This study focuses on the potential scenario of the Değirmendere Dam's collapse, situated in areas with residential areas, industrial and livestock facilities, agricultural lands, and major transportation routes. The scenario was processed in the HEC-RAS program using digital elevation model maps created with various technological tools and software. The Değirmendere Dam, located approximately 12 km northwest of the city center of Amasya in Turkey's Black Sea Region, was completed by DSİ in 2012 for agricultural irrigation and drinking water supply purposes. The dam has a volume of 1,351 hm3 with a core of clayey rock-fill, a height of 49,60 m from the streambed, and a reservoir capacity of 6,43 hm3. The analysis of dam breach scenario is piping in using the HEC-RAS program, capable of modeling two-dimensional (2D) unsteady flows. Through simulations, flood inundation maps, maximum flow depths, maximum flow velocities during flooding, and other relevant data were obtained in the event of the Değirmendere Dam's breach. Based on this data, the potential impact of flooding on settlements, facilities, roads, and lands in the dam's downstream area was predicted. The aim is to assist relevant institutions and organizations in disaster and risk management by providing necessary information for potential preventive measures.

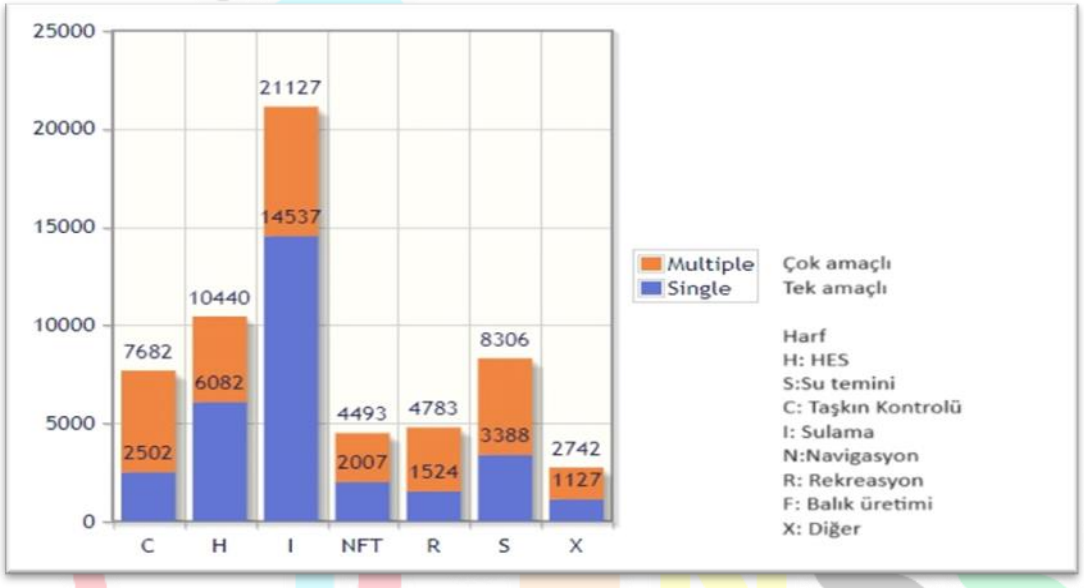
Keywords: Dam Break, Değirmendere Dam, Flood, Two-Dimensional Modelling, HEC-RAS

[1] İnşaat Mühendisi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, https://orcid.org/0009-0007-2426-0631
[2] Prof. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, https://orcid.org/ 0000-0002-3779-441X

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz yerkürenin doğal işleyişi içerisinde oluşan afetler canlılara ve insanlara her daim tehlike arz etmiştir. Afetler her zaman doğanın olağan işleyişinde meydana gelmezler, insan yapımı olan bazı mühendislik eserleri de afetlere sebebiyet verebilir. Mühendislik bilimlerinin gelişmesine paralel olarak insanoğlu doğa ile mücadele edebilme kabiliyetini artırmış, gittikçe daha büyük ve gelişmiş yapılar ortaya koymaya başlamıştır. Bu yapıların bir örneği olan barajlar, mühendislik eseri olan gövdelerinin arkasında biriktirdiği devasa su kütleleri sayesinde insanlığın tarımsal sulama, içme-kullanma suyu, enerji, rekreasyon, turizm, spor gibi birçok alanda ihtiyacını karşılamaktadır (Şekil 1).



***Şekil 1** - Barajların kullanım amaçlarına göre sayıları (ICOLD, 2024)*

Gövde, baraj rezervuarında suyu depolama amacını gütse de havzasından gelebilecek sellerin mansaba kontrollü bırakılmasını sağlayarak taşkın önleme görevi de yapmaktadır. Birçok alanda katkı ve avantaj sağlayan baraj seddeleri farklı sebepler sonucunda yıkıma uğrayarak büyük zararlara ve afetlere sebebiyet verebilmektedir. Devasa ölçülere dayanan bu yapılar; imalat ve işçilik hataları, hatalı malzeme seçimi, depremsellik, aşırı yağış, proje hataları, bakımsızlık, heyelan ve şev kaymaları vb. sebeplerden ötürü yıkılabilir. Barajların yıkılmaları durumunda ne denli büyük bir afete(taşkın, salgın hastalık, maddi ve manevi hasarlar) neden olabildiği tarihte yaşanan baraj yıkılma hadiselerinde acı bir şekilde tecrübe edilmiştir. Örneğin Çin'in Henan eyaletinde bulunan Banqiao Barajı'nın 1975 yılında yıkılmasıyla meydana gelen felaket, tarihteki en büyük baraj yıkılma hadiselerinden biridir. Bu olayın sebebi, aşırı yağışlar ve barajın tasarımındaki hatalardı. Yaklaşık 171.000 kişi yaşamını yitirmiş ve milyonlarca insan evsiz kalmıştır. 1976 yılında ABD Idaho'daki Teton Barajı'nın patlaması, barajın su birikintilerini taşıyamaması sonucu meydana gelmiştir. Bu olayda 11 kişi hayatını kaybetmiş ve ciddi maddi hasarlar oluşmuştur. 1963 yılında meydana gelen olayda İtalya'nın Veneto bölgesinde bulunan Vaiont Barajı'nın çökmesi, baraj gölünün altındaki toprak kaymasıyla tetiklenmiştir. Bu felakette yaklaşık 2.000 kişi hayatını kaybetmiştir. Fransa'nın

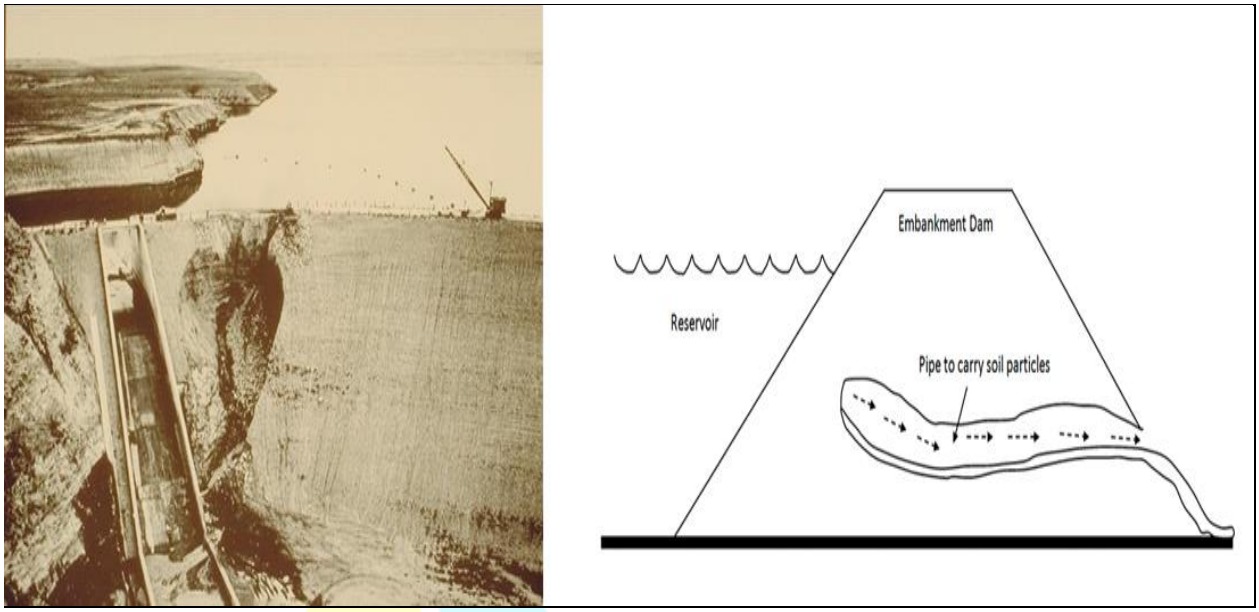
güneyindeki Malpasset Barajı'nın 1959 yılında yıkılması, aşırı yağışlar ve jeolojik faktörlerin etkisiyle gerçekleşmiştir. Bu felakette yaklaşık 400 kişi ölmüş ve büyük hasarlar oluşmuştur.

Yukarıdaki bilgilerden de anlaşılacağı üzere baraj yıkılmaları sonucu meydana gelebilecek taşkınlar; geçtiği alanlarda can kayıplarına, yaralanmalara, toprakta erozyona, tarım ve hayvancılık yapılan arazi ve tesislerin zarar görmesine, yerleşim alanlarının ve altyapı tesislerinin zarar görmesine, ulaşım ve iletişimde problemlere, içme sularında kirlenmelere neden olmaktadır. Baraj gövdelerinin yıkılmalarını sağlayan nedenler ve yüzde oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 - Barajların yıkılma nedenlerinin oransal dağılımı (Abay vd. 2015)

Yıkılma Biçimi	Yıkılma %	Yıkılma Nedeni
Üstten su aşması	34	-Uygun olmayan dolusavak tasarımı; -Dolusavakta sürüntü maddesi birikmesi; -Baraj tepesinin oyulması
Temel sorunları	30	-Farklı oturmalar; -Kayma ve şev duraysızlığı; -Yüksek tabansuyu basıncı; -Denetimsiz sızma
Borulanma ve sızma	20	-Borulanma nedeniyle içten çöküntü; -Dipsavak çıkışı gibi hidrolik yapılar boyunca sızma ve göçme; -Baraj gövdesinde çatlak
Boru ve vanalar	10	-Bağlantı noktaları veya çatlaklardan dolgu malzemesinin girmesi
Diğer	6	-Otlanma, hayvan etkileri v.b.

Baraj yıkılmasına sebep olan en önemli etkenlerden birisi de borulanma(piping) olayıdır. Yapı elemanlarında (genellikle baraj seddesi veya seddenin oturduğu temelde) suyun kendine bulduğu kılcal yollardan sızması ile yapının aşındırılması borulanma olarak tanımlanır. Borulanma baraj güvenliği için önemli bir problemdir. Daha çok mansap topuğundan başlayan aşınma olayı baraj altından ilerleyerek borular meydana getirir. Bu borulanmalar gövdede daha az sıkılıkta ve narin olan maksimum geçirgenlik yollarını takip eder. Borulanma baraj inşaatı bittikten sonra da uzun zamanlar gelişmeyebilir. Borulanma ile dışarı çıkan su önce küçük miktarda akış gösterebilir ama daha sonra büyük miktarlara ulaşabilir ve yıkılmaya neden olabilir. Sızdırmazlık görevi gören yapı elemanlarının borulanma etkisine karşı mukavemetini artırmak için; dolguda kullanılan geçirimsiz zon malzemesinin iyi derecelendirilmesi, sıkılık oranlarının optimum düzeyde olması ve plastisite değerlerinin gerekli kriterleri sağlamasına dikkat edilmelidir. Borulanmadan kaçınmak için sızma uzunluğunu (sızma yolu) arttırmak düşünülür. Sızma boyu uzunluğu, geçirimsiz çekirdek ile temel kayası/diğer yapı elemanları birleşimlerinde(kontak noktalarında) sızma yolunu uzatıcı önlemler alınarak uzatılabilir. Rezervuardan gövdeye kadar uzanan geçirimsiz blanket kaplamaları veya geniş gövde tasarımı da yapılan uygulamalardandır. (*Ankara Ü., 2024*).



Şekil 2 *– Gövdede borulanma sonucu yıkılmanın oluşumu*

LİTERATÜR

Bayraktar (2004), çalışmasında İstanbul ilinde şehir merkezi içerisinde ve etrafında nüfusu yoğun yerleşim alanları bulunan Alibeyköy Barajı'nın yıkılma senaryosu taşkınını ve hasarlarını konu edinmiştir. Üstten su aşması durumunu simüle ettiği çalışmada taşkın risk haritalarının elde edilmesinde coğrafi bilgi sistemleri ile uzaktan algılama yöntemlerini kullanmıştır. Hava fotoğraflarından yararlanılan çalışmada veri altlığı olarak 1:5000 ölçeğinde sayısal haritalar kullanmıştır. Çalışma alanının 3D üç boyutlu görüntüsü ERDAS programından yararlanılarak elde edilmiştir. Yıkılma taşkını için analizlerde kesitler oluşturmuş ve kesitler arasında poligon noktaları belirlenmiştir. Lineer interpolasyon yöntemiyle poligon noktalarında su yükseklik değerleri değişen zamana göre elde edilmiştir. Değişken su yükseklik değerlerine bağlı olarak poligon noktaları tekrardan konumlandırılarak simülasyonun iyileşmesi sağlanmış ve nihai hali elde edilmiştir. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama yöntemlerinin taşkın analizi ve risk haritalarının oluşturulmasında faydalı olacağı kanaatine varılmıştır. (Bayraktar, 2004).

Haltaş ve Kocaman (2015), yaptıkları çalışmada Kahramanmaraş il merkezine 20 km uzaklıkta bulunan Ayvalı Barajı'nın muhtemel yıkılma senaryosunda meydana gelecek taşkın sonucu Kahramanmaraş ve etki alanı çevresindeki yerlerin görebileceği zararları araştırmışlardır. HEC-RAS 4.1 programında bir boyutlu hidrodinamik model kullanılarak baraj yıkılma hidrografı elde edilmiştir. Topografya ile arazi geometrisi CBS yazılımları ile hazırlandıktan sonra HEC-RAS yazılımına tanıtılmıştır. Manning pürüzlülük (n) değerlerinin hesaplanmasında, uydudan elde edilen görüntüler ile havadan çekilen fotoğraflar kullanılmıştır. Daha sonra yıkılma taşkını iki boyutlu olarak FLO-2D 2009 yazılımı aracılığıyla modellenmiştir. İki boyutlu (2D) taşkın sonuçları ve FLO-2D Mapper (FLO-2D, 2009) programı aracılığı ile; yıkılma taşkınının yayılım haritaları, en yüksek akım derinliği, en yüksek su seviyesi, en yüksek akım hızı, en yüksek derinliğe ulaşma süresini gösteren haritalar oluşturulmuştur. (Haltaş ve Kocaman, 2015)

Baraj yıkılması çeşitli parametrelere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Literatüre baktığımızda üstten su aşması ve borulanma gibi nedenlerle büyük miktarlarda suyun membadan mansaba doğru bartaj gövdesini geçerek akması en öenmli yıkılma nedenleri arasında yer alır. Yıkılma olayında karakteristik veriler; yıkılma sonucu meydana gelecek taşkına ait pik debi miktarı, baraj seddesinde meydana gelecek yarık geometrileri ve erken uyarı sistemleri açısından büyük önem taşıyan yıkılmanın gerçekleşme süresidir. Aydemir ve Güven (2017) yılında yapmış olduğu çalışmalarında, baraj yıkılma parametrelerinin (oluşacak

gedik genişliği, pik debi değeri vb.) tahmini üzerine literatürde bulunan tahmin yöntemlerini kıyaslamış ve en büyük pik debi değerini elde etmek amaçlı kullanılan yöntemlerin uygunluklarını ve sonuçları kıyaslamışlardır. İncelemelerinin sonucunda Froehlich (2008) yönteminin, incelenen tüm barajlar ve 15 metreden büyük barajlar baz alındığında diğer yöntemlere göre daha somut, uygulanabilir ve gerçeğe yakınsamada yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. (Aydemir ve Güven, 2017)

Azimi ve ark. (2017), çalışmalarında tarihte gerçekleşmiş olan 86 adet baraj yıkılma olayından uygun olan 41 adedini analiz etmişlerdir. Literatürde de belirlenmiş üstten su aşması ve borulama(sızma) senaryosuna göre yıkılma modelleri oluşturulmuş, yarık oluşumu ise lineer olmayan model ile çalışılmıştır. Sonuçta elde edilen modeller, Froehlich (2008)'in aynı konudaki çalışması ile karşılaştırılmış ve çalışmalardaki modellerin birbiri ile uyumlu olduğu kanısına varmışlardır.

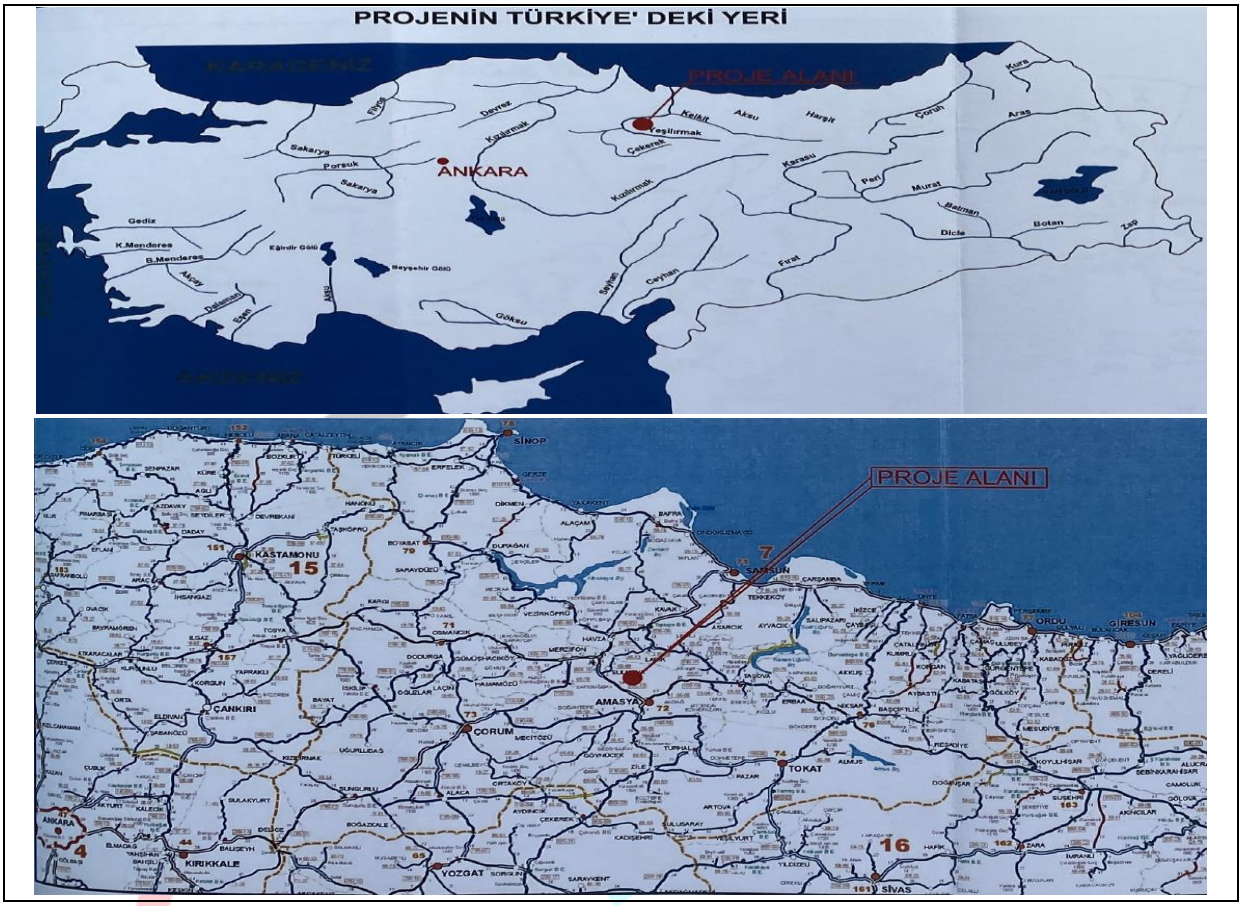
Aajamı (2019), yapmış olduğu çalışmada, baraj yıkılması konusunu toprak dolgu barajların yıkılma karakteristiklerini araştırarak modellemeyi amaçlanmıştır. Baraj gövdesinde oluşan çatlak sonucu borulanma neticesinde yıkılma senaryosu kurulmuştur. Bu doğrultuda Süleymanlı Barajı'na ait yıkılma modelleri elde edilmiştir. Yıkılma senaryosunun modellemleri Plaxis 2D ve Flow 3D yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Geçirimsiz çekirdek zonunda oluşan çatlak sonucu borulanmanın modellenmesi Plaxis 2D ile gerçekleştirilerek baraj seddesindeki deformasyonlar belirlenmiş ve sonuçlar Flow3D programına aktarılarak gövde üzerinden su aşması sonucu yıkılması irdelenmiştir. Baraj seddesinde oluşan en büyük bozulmaların, geçirimsiz çekirdek zonu(kil çekirdeğin) orta ve aşağı bölümünde oluştuğu ayrıca çatlak eğimlerinin de aşağıya doğru olması sonucu meydana geldiği kanısına varılmıştır. (Aajamı, 2019)

Bu çalışmada mansabında bulunan yerleşim alanları, sanayi ve hayvancılık tesisleri, tarım arazileri ve önemli ulaşım yolları bulunan Değirmendere Barajı'nın olası yıkılma senaryosu; fotogrametrik alımlar yapabilen İHA aracılığı ile hazırlanan veriler AgiSOFT ve ArcGIS yazılımlarında işlenerek santimetre hassasiyetinde gerçeğe yakın oluşturulan sayısal yükseklik modeli haritalar elde edilmiş ve HEC-RAS programına aktarılmıştır. İki boyutlu (2d) kararsız (zamanla değişen) akımların modellenebildiği HEC-RAS programında borulanma sonucu baraj yıkılma analizi gerçekleştirilmiştir.

ÇALIŞMA ALANI

Değirmendere Barajı, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesinde bulunan Amasya il merkezinin yaklaşık 12 km kuzey-batısında Kanlı dere üzerinde DSİ tarafından 2012 yılında tamamlanmış tarımsal sulama ve içme-kullanma suyu temini maksatlı yapılmış bir barajdır (Şekil 3). 1,351 hm^3 hacmindeki gövdesi kil çekirdekli kaya dolgu tipinde olan barajın dere tabanından yüksekliği 49,60 m olup, rezervuarında 6,43 hm^3 su biriktirme kapasitesine sahiptir. Kanlı Dere üzerinde inşa edilmiş olan barajın bazı karakteristik bilgileri aşağıda verilmiştir;

- Kil çekirdekli zonlu(yarı geçirimli, kaya) dolgu gövde tipi
- Gövde temelden 52,7 m, talvegden 49,6 m yükseklikte,
- Kret uzunluğu 319,02 m
- Memba Şevi: 3,00/1 (Y/D) Mansap Şevi: 2,75/1 (Y/D)
- Gövde hacmi 1,568 milyon m^3
- Depolama kapasitesi: 4,393 hm^3 aktif hacim ve 1,125 hm^3 ölü hacim olmak üzere toplamda 5,518 hm^3
- Tarımsal sulama ve içme suyu temini amaçlı inşa edilmiştir. Değirmendere ve Duruca köylerine ait toplam 242 hektar tarım arazisinin sulama ihtiyacını karşılayan depolaması ile 140 l/s içmesuyu temini de sağlayabilmektedir. (DSİ, 2000)

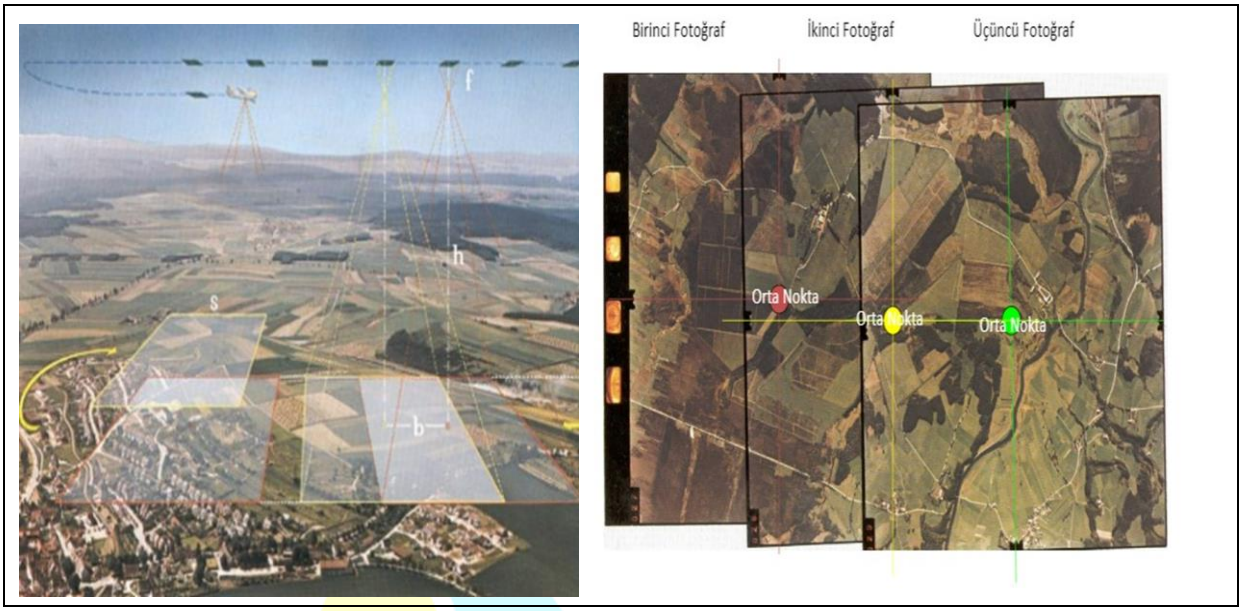


Şekil 3 – *Çalışmanın Türkiye haritasındaki yeri (DSİ, 2013)*

YÖNTEMLER

Analiz için gerekli olan arazi modeli oluşturulurken, DJI Phantom 4 RTK Modüllü İHA(İnsansız Hava Aracı) vasıtası ile fotogrametrik ölçüm ve alımlar yapılarak elde edilen veriler Agisoft Metashape ve 3Dsurvey yazılımları aracılığı ile bir dizi işlemden geçirilmiştir. RTK; Bir referans istasyonundan gerçek zamanlı olarak TUSAGA(Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı) istasyonundan konum bilgilerini radyo sinyalleri vasıtasıyla alıp işlemektedir.

Fotogrametri tekniği ile ölçülmesi istenilen cisimlerin veya yakın çevrelerinin resimleri elde edilir. (Şekil 4) Dijital ortamda oluşturulan görüntü üzerinde konumlar ölçülür. Daha sonra ise bilgisayar yazılımları ile bu görüntüler işlenerek haritalar elde edilmektedir. Fotogrametrinin bir örneği de, iki boyutlu veriler(görüntüler) yardımıyla üç boyutlu (3D) ölçümlerin elde edilmesidir. (İlhan, 2023)

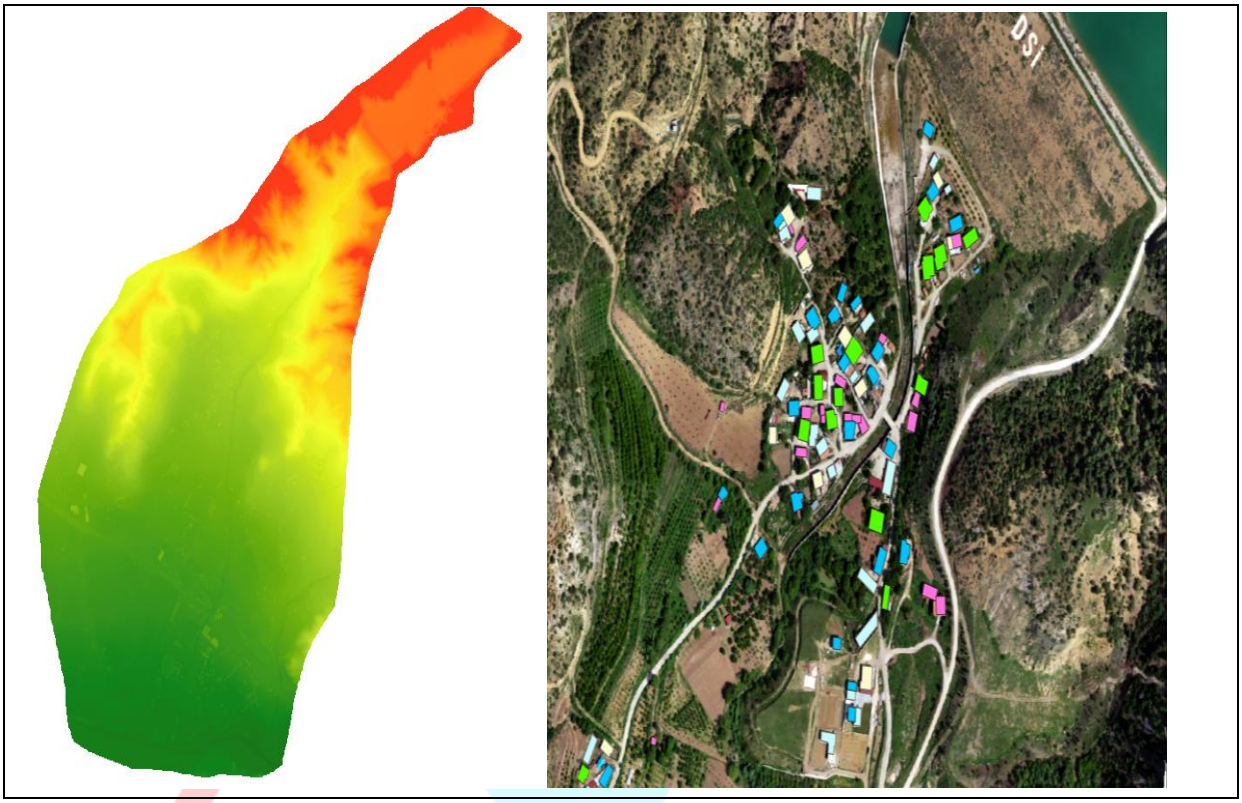


Şekil 4 *– Fotogrametri yöntemi çalışma prensibi (KTÜ, 2024)*

Agisoft Metashape; dijital(sayısal veri) görüntülerin fotogrametrik işlemlerinde, CBS uygulamalarında, görsel efektlerin elde edilmesinde ve farklı ölçeklerde nesnelerin ölçümlerinde kullanılmak üzere üç boyutlu (3D) konumsal veriler üretmeye imkan sağlayan bir yazılımdır. Fotogrametrik üçgenleme, yoğun nokta bulutu düzenleme ve sınıflandırma, dijital yükseklik modeli oluşturma/düzenleme vb. birçok haritacılık işlemler program aracılığı ile yapılabilmektedir. (Agisoft, 2024)

Fotogrametrik harita üretimi için Agisoft Metashape ve 3Dsurvey yazılımları kullanılmıştır. Daha önce belirlenen tahmini taşkından etkilenecek alanlarda, 150 m irtifadan İHA yardımı ile 4218 fotoğraf üretilmiştir. Agisoft yazılımına fotoğraflar yüklendikten sonra proje datum ve projeksiyonu (TUREF TM36) seçilmiştir. Ardından 'align photos ve optimize alignment' işlemleri yapılarak seyrek nokta bulutu oluşturulmuştur. Daha sonra 'build dense cloud' işlemi yapılarak yoğun nokta bulutu üretilmiştir. Oluşturulan bu yoğun nokta bulutu 'classify ground points' işlemi ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işleminin ardından yalnızca 'mesh' işlemi ve 'build dem' işlemleri gerçekleştirilerek DTM (Digital Terrain Model) sayısal arazi modeli oluşturulmuştur. Agisoft kullanılarak yapılan nokta bulutu sınıflandırılmasında bazı hatalar görülmesi nedeniyle yeterli görülmediğinden daha hassas arazi modeli elde etmek için 3Dsurvey programında model düzeltme işlemi yapılmış, 'build orthomosaic' işlemi ile ortofoto üretilmiştir. Santimetre hassasiyetinde doğrulukla elde edilmiş sayısal yükseklik modeli 3Dsurvey yazılımından 8 cm yer örnekleme aralığına sahip Tiff formatında dosya olarak dışarı çıkarılmıştır.

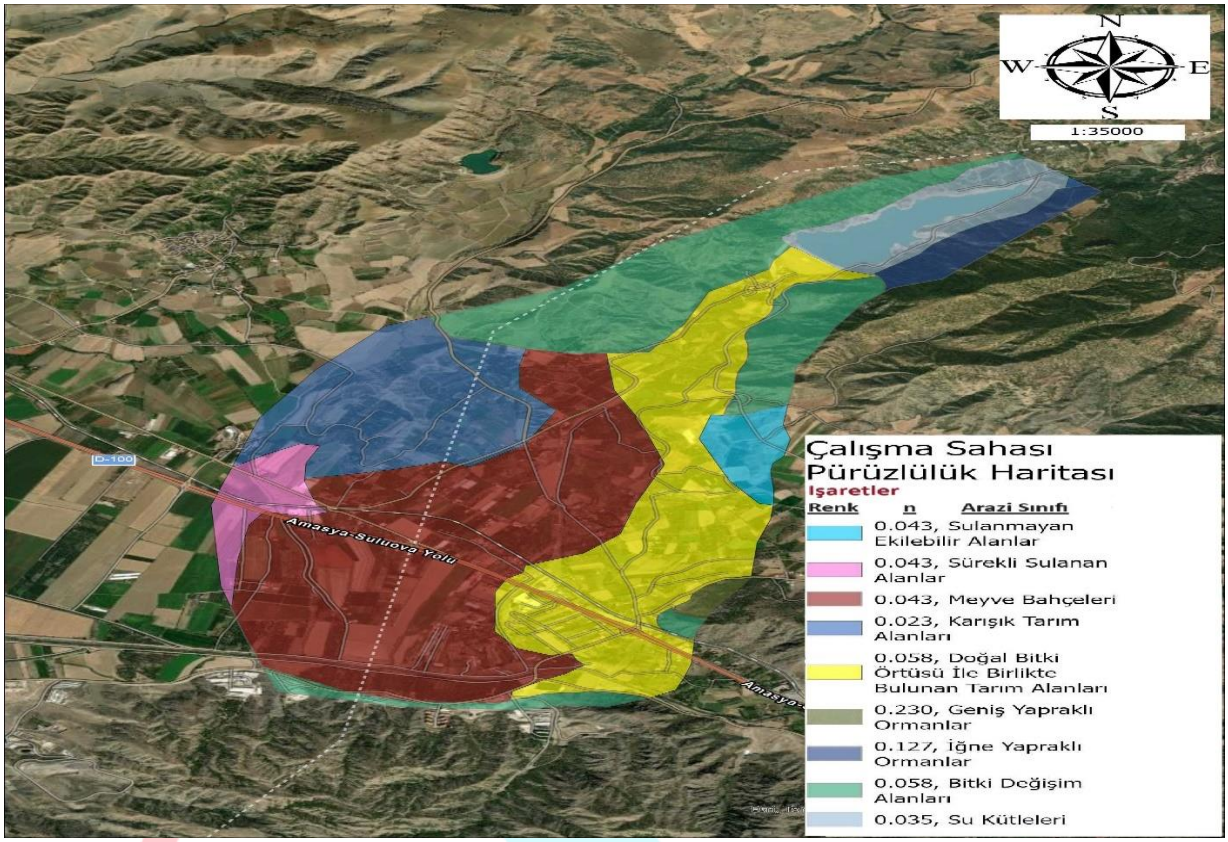
Üretilen DTM ve ortofoto Tiff formatında ArcGIS yazılımına yüklenmiştir. Ortofoto üzerinden proje sahasındaki binalar sayısallaştırılmıştır. Ardından raster calculatör işlemi ile Raster formattaki DTM üzerinde binalar kotlarına uygun biçimde yükseltilmiştir.



***Şekil 5** – ArcGIS yazılımında oluşturulmuş raster veri ve yükseltilmiş binalar*

HEC-RAS programı; USACE (Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği) tarafından ilk defa 1995 yılında geliştirilmiş, HEC-RAS 5 ve daha sonraki sürümlerinde (version) iki boyutlu değişken akımlar için hidrolik modelleme imkanı sağlanmıştır. Bu yeni sürümlerde bir boyutlu (1D) değişken akım modellemesi, iki boyutlu (2D) değişken akım modellemesi (Saint Venant denklemleri veya Diffusion Dalga denklemleri ile) ayrıca bir boyutlu (1D) ve iki boyutlu (2D) taşkın modelleme çalışmalarını birlikte çözümleme imkanı bulunmaktadır. 2D akım modellemesi, modele bir depolama alanı eklenmesine benzer şekilde, 2D akım alanı elemanları eklenerek gerçekleştirilir. Bir 2D akım alanı oluşturmak için iki boyutlu akım alanı poligonu çizilir, daha sonra 2D akım alanları 1D model elemanlarına ve/veya doğrudan sınır koşullarına bağlanır. Program kullanıcının isteğine bağlı hem 2D Saint Venant denklemleri ile (türbülans için momentum denkemleri ve Coriolis etkisi yaklaşımı) hemde 2D Difizyon dalga denklemleri ile çözüm yapabilmektedir. Genellikle 2D Difizyon dalga denklemleri programın hızlı çalışmasına ve daha kolay yakınsamasına imkan sağlar. (Ardıçlıoğlu, M. 2020)

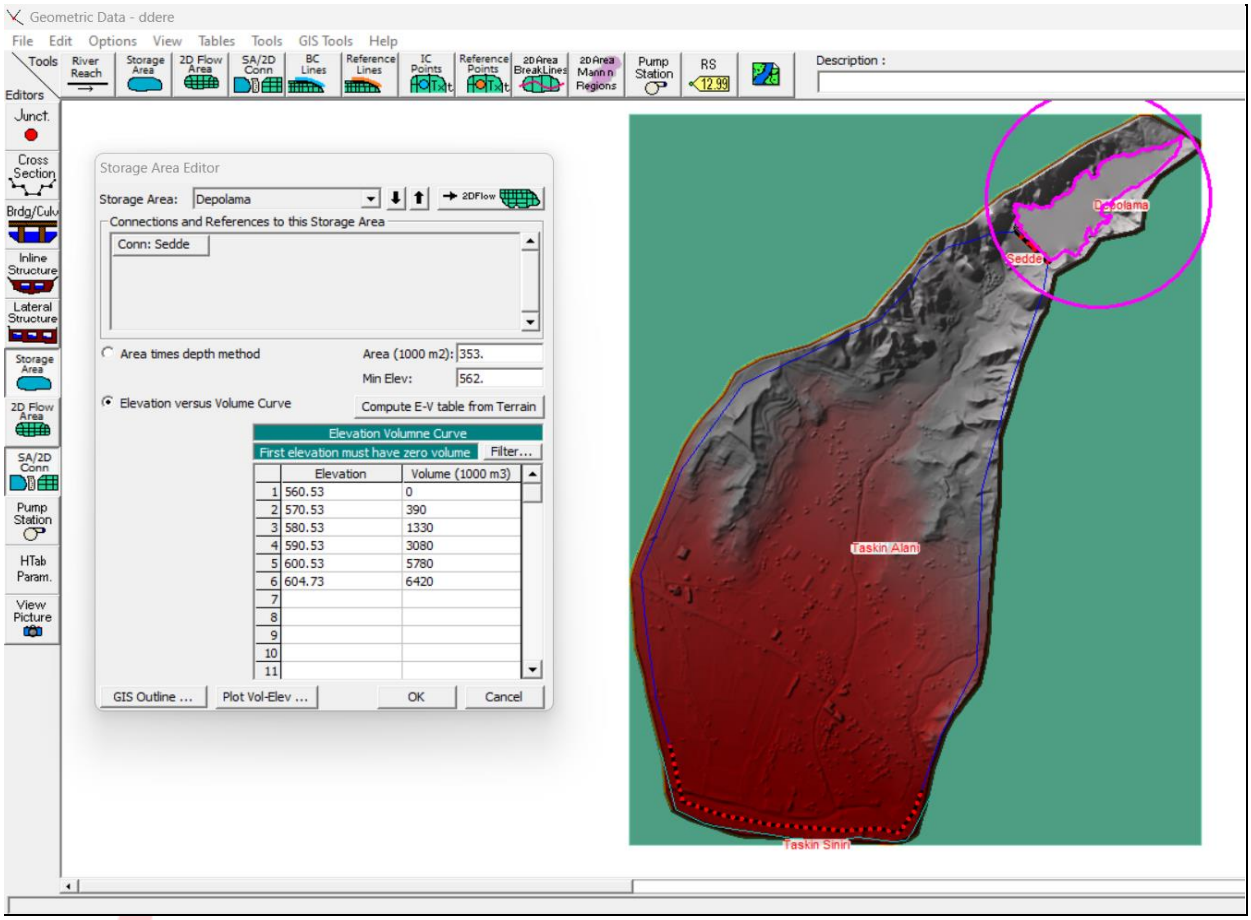
Taşkın analizinde bir diğer önemli parametre ise pürüzlülük değerleridir. HEC-RAS üzerinde yapılacak 2D analizlerde manning layer olarak tanımlanabilen arazinin pürüzlülük durumunu taşkın analizine yansıtan bir bölüm bulunmaktadır. Aynı zamanda bu çalışmada olduğu gibi ArcGIS üzerinde işlenerek hazırlanan SHP formatlı pürüzlülük haritası Land Cover olarak da HEC-RAS programına eklenebilmektedir. Avrupa Çevre Ajansı'nın yaptığı çalışmalar ile tespit edilmiş arazi örtüsü/kullanımı durumuna göre sınırlandırması/sınıflandırması yapılan, uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar yazılımı desteği ve görsel yorumlama metoduyla üretilen arazi örtüsü/kullanımını verisidir. Corine 2018 verilerinden 1/100.000 ölçekli olarak üretilmiş arazi örtüsü/kullanımı haritası ArcGIS programında vektör veri olarak açılmıştır. Çalışma alanımızın bulunduğu alanlar 'Clip' işlemi ile kesildikten sonra 'Attribute table' sekmesinden pürüzlülük katsayıları girilmiştir. Pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde Pestana vd. 2013 yılında yapmış olduğu çalışmada belirlenen değerler kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6 *– ArcGIS üzerinden hazırlanan manning (pürüzlülük) haritası*

HEC-RAS 6.4.1 versiyonunda yeni açılan 'Ras Mapper' arayüzünden daha önce çeşitli aşamalardan ve yazılımlardan yararlanarak hazırlanmış olan DEM (Dijital Yükseklik Modeli) olan TIF formatındaki arazi modelimizi programa tanıtılmıştır. Arazi modeline uygun çalışma alanının Dünya üzerindeki yerini temsil eden DATUM ve projeksiyon değerleri 'Set Project' işlemi ile ITRF96 3^0 – 36 prj dosyası seçilir. 'Edit geometri' işlemi ile harita üzerinde tanımlanması gereken 'Storage Areas' baraj rezervuarı, '2D Flow Areas' iki boyutlu taşkın alanı, 'SA/2D Connections' depolama ile taşkın alanı arasında bulunan baraj gövdesini ve 'Boundary Conditions Line' mansap sınır koşullarını tanımlamaktadır. Taşkın alanı mesh adı verilen 40 m x 40 m kareler şeklinde 4288 adet bölümlere ayrılmıştır. Kullanılan arazi modeli ve kaynak harita hassasiyeti yüksek olduğundan göz önünde bulundurularak bu değer seçilmiştir, hassasiyeti düşük haritalarda değerler küçültülerek HEC-RAS analizini hesaplama aralıkları artırılabilir.

Ras Mapper arayüzünde gerekli alanlar ve sınırlar tanımlandıktan sonra ana ekran 'View/Edit Geometric Data' arayüzü açılır. Şekil – 7 de görülen ekranda 'Storage Area Editor' işlemi ile baraj rezervuarına ait hacim-satıh eğrisi değerleri girilmiştir. Analizde kullanılan fotogrametrik yöntemlerle elde edilen sayısal yükseklik modeli haritamız ile proje kotları arasındaki ondülasyon farkı 32,53 m olduğundan kotlar buna göre düzenlenerek programa girilmiştir.

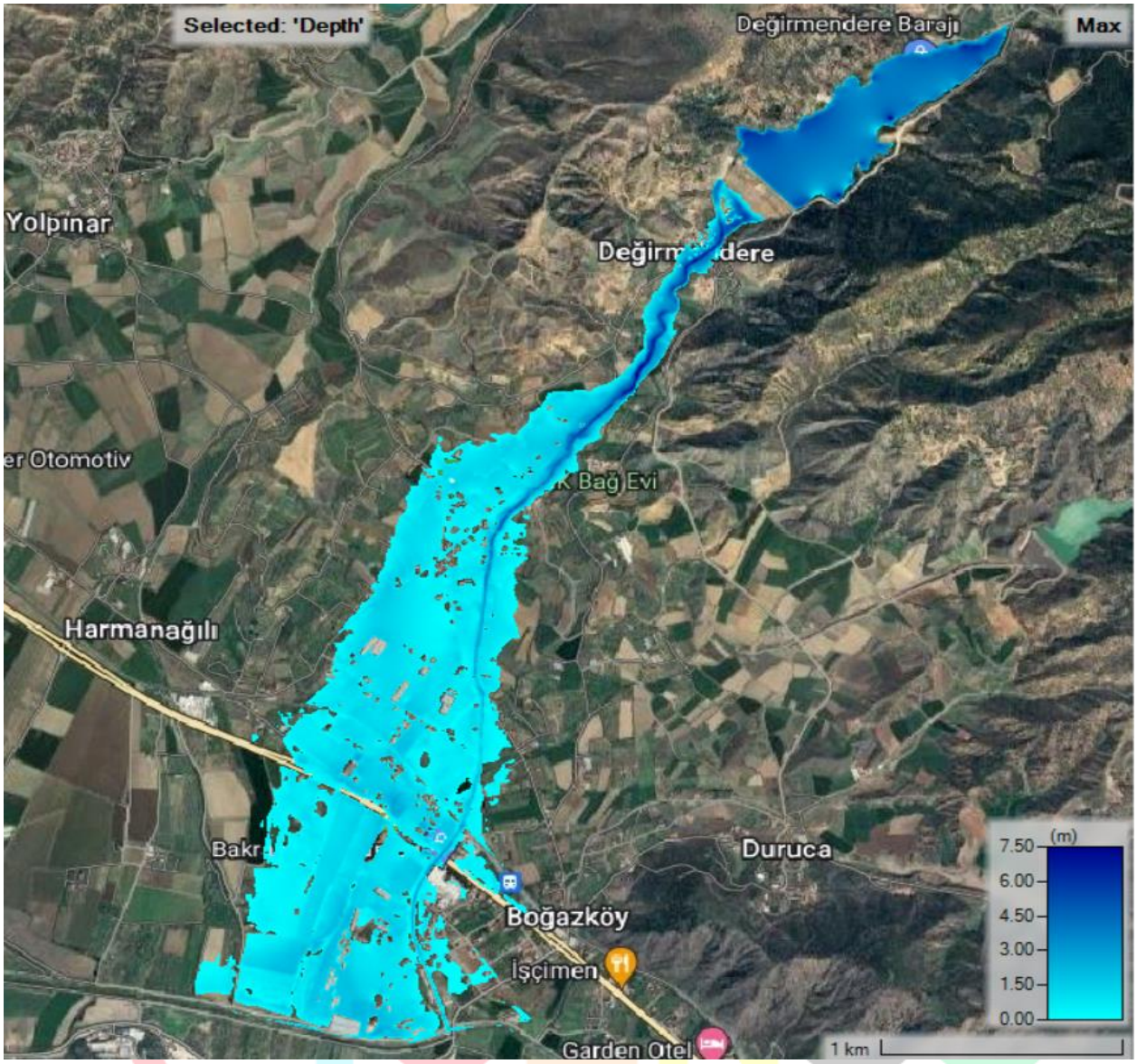


Şekil – 7 *View/Edit Geometry arayüzü*

'Connection Data Editör' sekmesi ile gövdeye ait veriler girildikten sonra yıkılma planı ayarları için 'Breach plan data' sekmesinde barajın yıkılma senaryosuna ait parametreler girilmiştir. Şekil – 8'de görüleceği üzere; yıkılma modu piping (borulanma), borulanma başlangıç kotu gediklenme parametreleri için Froehlich 2008 bağıntısı seçilmiş, son gedik genişliği, gedik şev değerleri, yıkılma süresi, baraj maksimum su seviyesi, maksimum su seviyesinde hacim, gövde memba ve mansap şev değerleri, gövde dolgu tipi ve yoğunluk değerleri girilmiştir. Barajın maximum su kotunda olduğu ve rezervuara gelen herhangi bir akımın olmadığı kabülü ile simülasyon tarihi 05 Mayıs 2024 saat 06:00 da başlayacak şekilde simülasyon süresi 6 saat seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

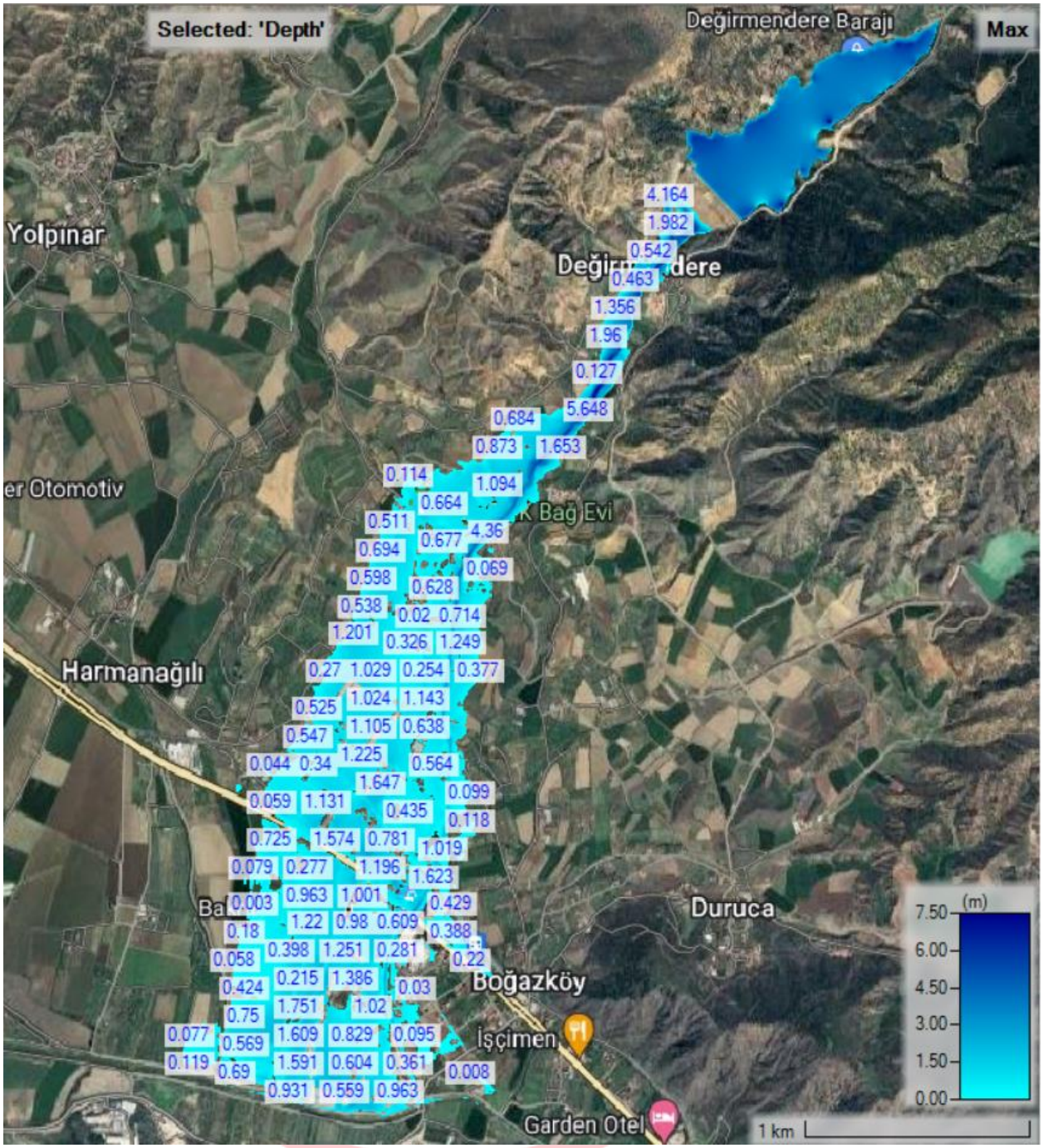
BULGULAR

Oluşturulan senaryo gereği Değirmendere Barajı'nın borulanma sonucu yıkılması neticesinde meydana gelecek taşkının iki boyutlu analizler ile simülasyonu HEC-RAS üzerinde yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen en yüksek akım derinliği haritası Şekil – 9'da görülmektedir.



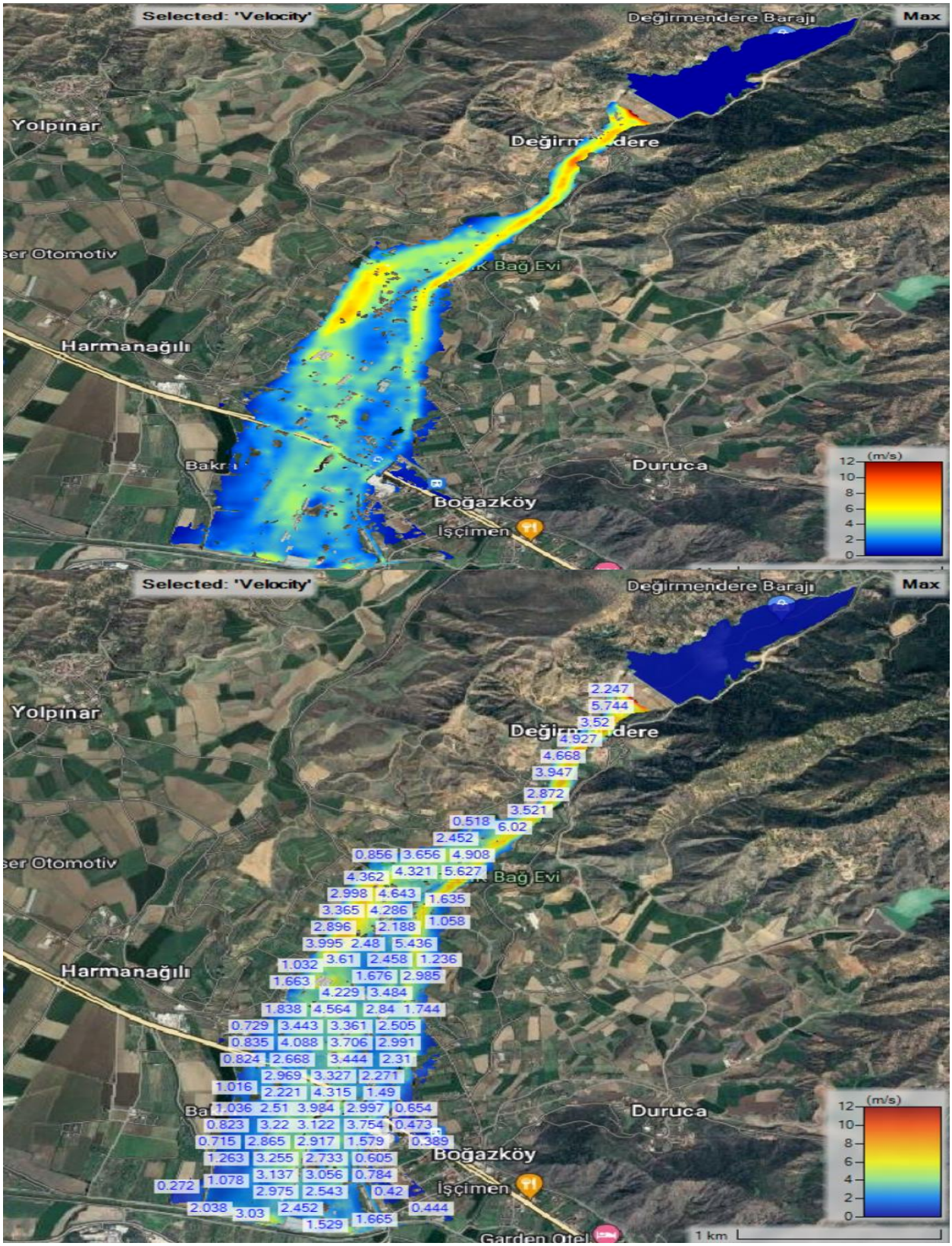
Şekil 9 *En yüksek akım derinliği haritası*

Yıkılma sonucu oluşan taşkının arazide ulaştığı en yüksek derinlik değerlerini, yazılımın taşkın alanından seçtiği bazı noktalarda okunan değerleri Şekil – 10'da görülmektedir. En yüksek derinlik değerleri baraj gövdesinin hemen mansabında bulunan Değirmendere köyünün de içerisinden geçen Kanlı derede ölçülmüştür.



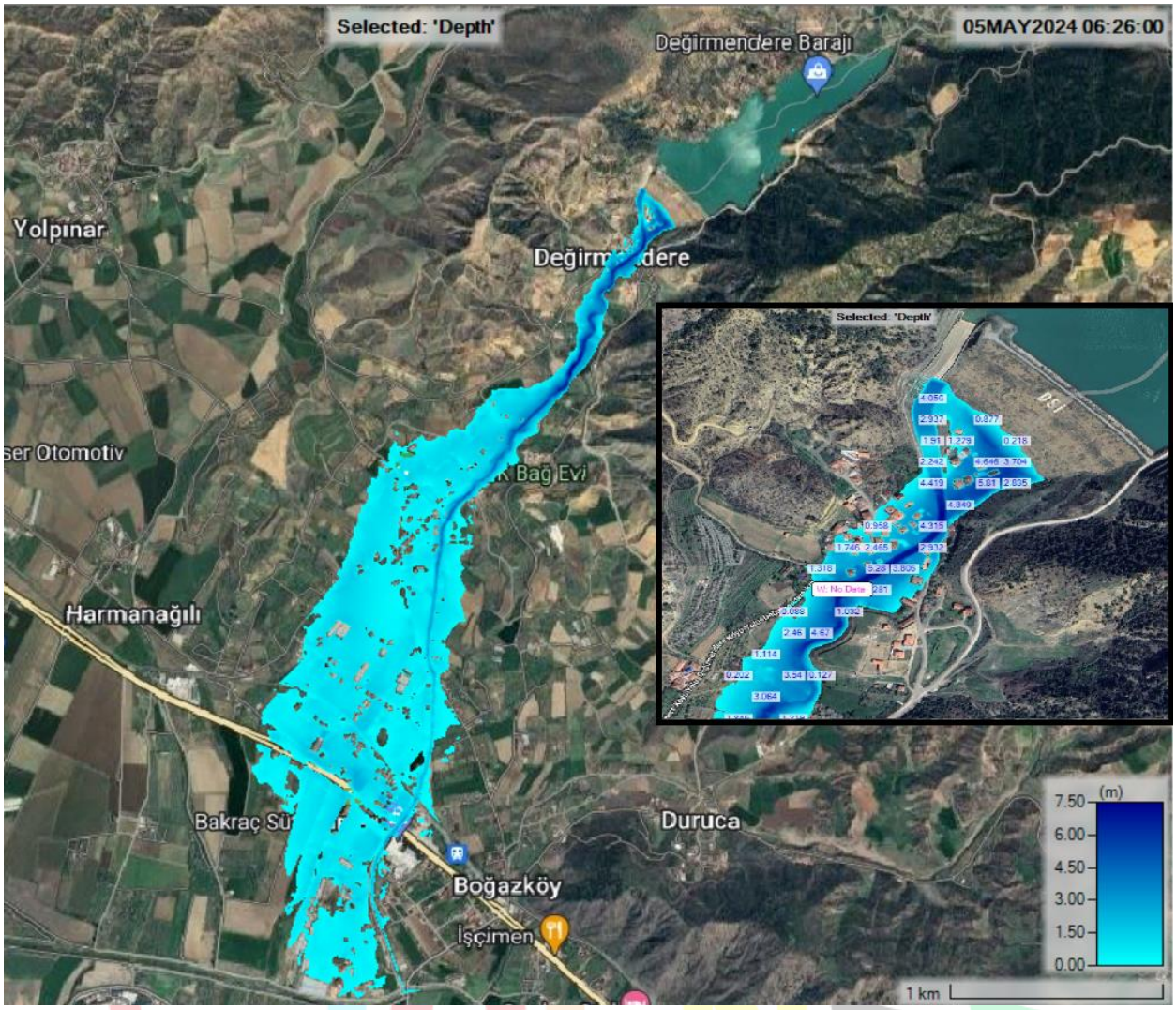
Şekil – 10 *En yüksek akım derinliği değerleri*

Analizler sonucu elde edilen bir diğer veri taşkın anında yersel olarak ölçülen hız değerleridir. Yıkılma taşkınında ölçülmüş en yüksek akım hızı değerleri Şekil – 11'de bulunan haritalarda görülmektedir.



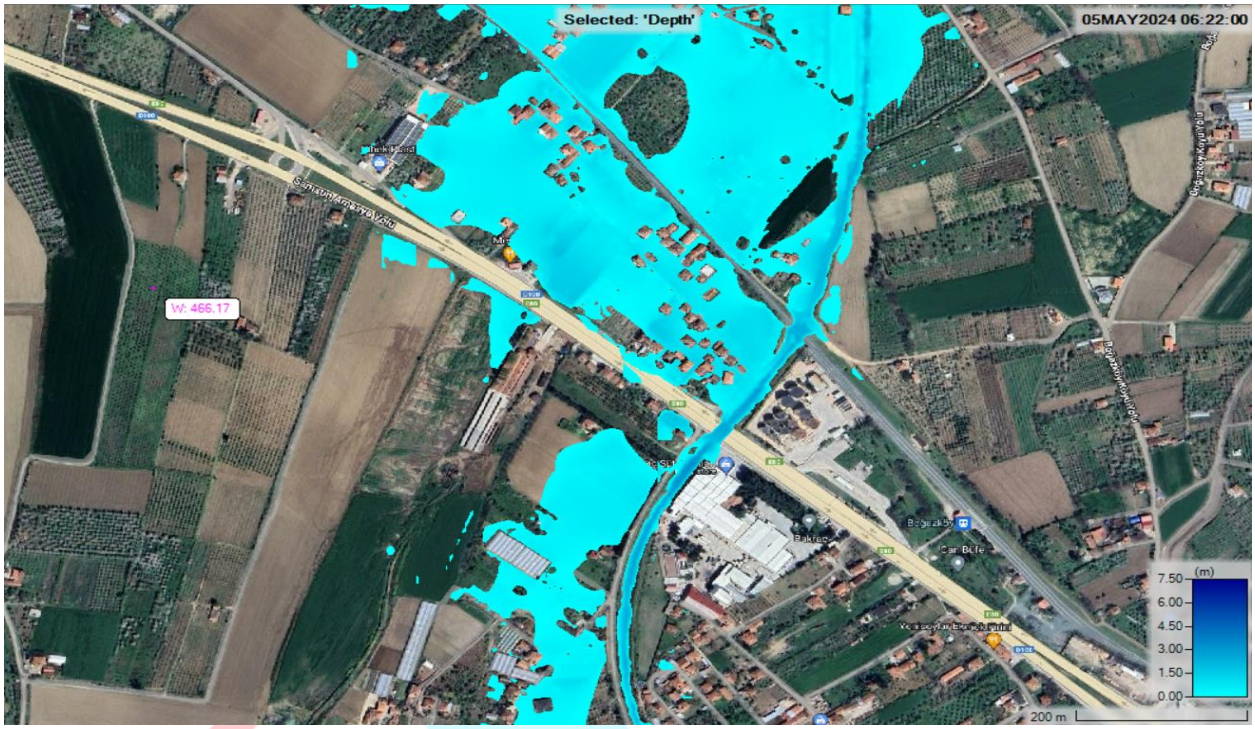
Şekil – 11 *En yüksek yersel hız değerleri*

Borulanma başlangıcından 2 dakika sonra gövdeden çıkan sular Değirmendere köyünde etkisini göstermeye başlamış, 26. dk itibarı ile en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Akım derinliğinin köy içerisinde Kanlı dere tabanından 7.5 m yüksekliğe ulaştığı görülmüştür.



Şekil – 12 *Yıkılmanın üzerinden 26 dakika geçtiği andaki taşkın durumu*

16. dakika itibarı ile yıkılma kaynaklı sular Kanlı dere yatağından Samsun-Sivas demiryolu hattı menfezine ulaşmış, 19. dakika itibarı ile dere kesiti yetersiz kalması sebebiyle taşkına sebebiyet vererek demiryolu ve çevresine zarar vermeye başlamıştır. Yine bu dakikalarda Değirmendere Köyü'nün güneyinde yer alan kümeevleri, tarım arazileri, tesislerin taşkın suları etkisinde olduğu Şekil – 12'de görülmektedir. Yıkılmanın 22. dakikasında taşkının Amasya-Samsun devlet karayolunu ve çevresindeki tesisleri etkisi altına aldığı Şekil – 13'te görülmektedir.



Şekil – 13 *Yıkılmanın 22. dakikasında demiryolu ve karayolu çevresi*

SONUÇLAR-ÖNERİLER

Amasya il merkezinin yaklaşık 12 km kuzey-batısında Değirmendere köyünün kuzeyinde Kanlı dere üzerinde bulunan Değirmendere Barajı'nın yıkılması durumunda meydana gelecek taşkının incelendiği çalışmada, taşkının karakteristikleri elde edilmeye çalışılmıştır. Barajın yılın büyük bölümünde tam dolu olması, mansabında yerleşim yerleri, tarım ve hayvancılık tesisleri, tarımsal araziler, sanayii tesisleri ile bölgenin önemli ulaşım yolları bulunması çalışmanın önemini artıran etkenlerdir. Yapılan analizler sonucunda taşkın afetinin gerçekleşmesi durumunda, öncelikle yerleşim birimlerinde can kaybının önüne geçilebilmesi, diğer zararların en aza indirilebilmesi için risk altında bulunan alanlar gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlarla, erken uyarı sistemleri ve afet risk analizi, önleme çalışmaları için faydalı olacağı değerlendirilmektedir. HEC-RAS yazılımının 6.4.1 versiyonu ile baraj yıkılması senaryosu modelinde borulanma simülasyonu yapılarak taşkın yayılım haritaları elde edilmiştir. Ulaşılan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Baraj yıkılması sonucu oluşan yıkılma hidrografında en yüksek debi değeri 26. dakikada 1953,25 m^3/sn olarak ölçülmüştür.
- Baraj yıkılması durumunda mansabında bulunan arazilerin yaklaşık 266 hektarlık bölümünün taşkından etkileneceği değerlendirilmektedir.
- Barajın mansabında bulunan yerleşim yerlerinden Değirmendere köy merkezinde yapıların yaklaşık % 70 lik kısmı, daha güneyde bulunan Değirmendere kümeevleri mevkiinde ise yapıların neredeyse tamamı taşkın etkisinde kalacağı değerlendirilmektedir.
- Harmanağılı köyüne ait yaklaşık 80 hektarlık arazide, bir çok tarım ve hayvancılık ile sanayii tesisinin taşkından etkileneceği değerlendirilmektedir.
- Amasya-Samsun devlet karayolu ile Samsun-Sivas devlet demiryolu hattına taşkınların 19 dakikada ulaşarak ulaşımda aksamalara, ilerleyen sürelerde yapısal hasarlara meydan vereceği değerlendirilmektedir.
- Boğazköy mahallesine ait yaklaşık 94 hektarlık arazide, konutların yaklaşık % 50'si, Kanlı dere ve karayolu yakınındaki sanayii tesisleri ile tarım/hayvancılık faaliyetlerinin yürütüldüğü tesis/arazilerin taşkından etkileneceği değerlendirilmektedir.

Yukarıdaki çıkarımlar doğrultusunda, baraj yıkılması durumunda meydana gelebilecek taşkınların afetlere sebebiyet vermesi kuvvetle ihtimaldir. Bu nedenle barajların yüksek risk gurubunda değerlendirilmesi, gerek inşaat gerekse işletme aşamalarında azami itina gösterilmesi son derece önemlidir. Olası afet durumları için acil eylem planı, erken uyarı sistemi gibi çalışmaların yapılması can ve mal güvenliği açısından büyük önem arzetmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Aajamı, A. (2019). *Toprak Dolgu Barajların Yıkılmasının Modellenmesi.* Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 63, İzmir.

Abay, O., Baykan, N. O., Baykan, N., (2015). Tarih Boyunca Barajların Elden Çıkma Nedenleri, *4. Su Yapıları Sempozyumu 19-20-21 Kasım 2015 Sempozyum Bildiriler Kitabı, Antalya, 2015.*

Agisoft Metashape, (2024). Anasayfa, Özellikler, https://www.agisoft.com/features/professional-edition/ (09.05.2024).

Ankara Üniversitesi, Açık Ders Notları, (2024) *JFM319 Mühendislik Jeolojisi, Baraj Yeri ve Rezervuarda Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları-1*, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/109300/mod_resource/content/0/JFM319-Baraj-1.pdf (09.05.2024)

Ardıçlıoğlu, M. (2020). *HEC-RAS Mapper ile Akarsuların 1D/2D Modellenmesi ve Uygulamalar*, Kayseri, 2020.

Aydemir, A., Güven, A. (2017). Baraj Yıkılma Modellerinde Kullanılan Debi Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 2017, 22-29*

Azimi, R.,Vatankhah,A.R. ,Kouchakzadeh, S., (2017).Using Nonlinear Modelling to Peak Discharge and

Average Breach Width From a Breached Embankment. *Azarian Journal of Agriculture*, vol(4) ıssue 5, p.145-156.

Bayraktar, Ö. (2004). *Baraj Yıkılmaları Nedeniyle Oluşacak Su Baskınlarının İzlenmesi ve CBS Yardımıyla Analizi.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 62, İstanbul.

Bozkuş, Z., and Bağ, F., (2011). Çınarcık Barajının Sanal Yıkılma Analizleri. *İMO Teknik Dergi, 5675–5688.*

DSİ, (2013). DSİ 7. Bölge Müdürlüğü, Amasya Merkez Duruca Göleti Planlama Raporu, Samsun, 2013.

DSİ, (2000). DSİ 7. Bölge Müdürlüğü, Amasya-Merkez Değirmendere Barajı Revize Planlama Raporu, Samsun, 2000.

Froehlich, D.C. (2008) Embankment dam breach parameters and their uncertainties. J. Hydraul. Eng., 134 (12), 1708–1721.

Haltaş, İ., Kocaman, B. (2015) Ayvalı Barajı Olası Yıkılma Taşkın Tehlike Modellemesi ve Haritalandırması, *VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi*, 70-78, 2015.

ICOLD, (2024). World Register of Dams, General Synthesis, https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp (26.03.2024)

İlhan, S. (2023). *İHA Görüntülerinden Yararlanarak Fotogrametrik Yöntemlerle Taşkın Analizinin Yapılması: Çan (Kocabaş) Çayı Örneği.* Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 70, Çanakkale.

Kol, Ç., Küpçü, S., (2008). *3D Analiz ESRI ArcGIS*. İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Müh. ve Eğtm. Ltd. Şti. 2008, Ankara.

KTÜ, (2024). Orman Amenajmanı Ders Notları, *Fotogrametri*, https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_137d4.pdf (10.05.2024)

Pestana, R., Matias, M., Canelas, R., Roque, D., Araujo, M., Van Zeller, E., Trigo-Teixeira, A., Ferreira, R., Proença de Oliveira, R., Heleno, S. (2013). *Calibration of 2D hydraulic inundation models in the floodplain region of the Lower Tagus River.* ESA Living Planet Symposium, At Edinburgh, United Kingdom.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

The Effect of Feature Selection Methods on the Performance of Classification Algorithms

Seda KAYA[1]
Tolga AYDIN[2]
Mete YAĞANOĞLU[3]

Özet

Büyük veri setlerinin artmasıyla birlikte makine öğreniminde performans arttırılmasının ve hızlı çalışma süresinin önemi artmıştır. Bunun için makine öğreniminin öncesinde ve sonrasında birçok iyileştirici işlem yapılmaktadır. Bu işlemler ile hem doğru sonuçlara ulaştıracak çözümler üretilirken hem de bu çözümlerin hızlı sonuç vermesi amaçlanmaktadır. Öğrenim gerçekleşmeden önce veri ön işleme ve özellik çıkarma yöntemleri bu işlemlerin başında gelir. Veri ön işleme aşaması ve özelliklerin çıkarılması gibi özelliklerin seçilmesi de büyük önem arz etmektedir. Çünkü veri setlerinden çıkarılan özelliklerin tümünün performansta olumlu etki edeceği kesin değildir. Bazı özellikler makine öğrenimi sonucunda benzer etkiye sahip olabilir ya da performansı bile düşürebilir. Bunun için özellik seçme yöntemleri ile tüm özellikler incelenerek sonuca etkileri araştırılmalıdır. Bu çalışmada özellik seçimi yöntemlerinin makine öğreniminin bir alanı olan sınıflandırma işlemlerinin sonucunda ne gibi etkisi olabileceği performansa nasıl etki edeceği örnek bir veri seti ile araştırılmıştır. Bu çalışmada Özyinelemeli Özellik Eliminasyonu, SelectKBest ve Temel Bileşen Analizi gibi çeşitli özellik seçme tekniklerini uygulanmıştır. Ek olarak, verileri analiz etmek için toplam yedi sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler arasında en yüksek doğruluk değeri Özyinelemeli Özellik Eliminasyonu yöntemi ile seçilmiş özelliklerde Rastgele Orman ve Gradyan Boosting sınıflandırma algoritmalarının sonucunda %87 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Özellik Seçimi, Sınıflandırma, Makine Öğrenimi, Özellik Çıkarma, OULAD

[1] Atatürk Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, sedacaglar@atauni.edu.tr , Orcid: 0000-0002-6368-3182
[2] Dr. Öğr. Üyesi, Atatürk Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, atolga@atauni.edu.tr, Orcid: 0000-0002-8971-3255
[3] Doç. Dr., Bilgisayar Mühendisliği, yaganoglu@atauni.edu.tr, Orcid: 0000-0003-3045-169X

ISBN: 978-625-372-170-1

Giriş

Özellik seçimi, özgün veri setlerinde gereken optimum özelliklerinin korunduğu özellik uzayının minimal bir alt kümesini seçmeyi amaçlar. Gürültülü, ilgisiz ve gereksiz özelliklerin elenmesiyle sadece ilgili veri kullanılarak makine öğreniminde performans ve anlaşılabilirlik arttırılabilir, daha kısa çalışma süresi sağlanabilir (Zhou, 2020: 4691). Günümüzde çok büyük veri setlerinden çalışmalar yapıldığı düşünüldüğünde yüksek performansın ve hızlı çözümün ne kadar öneminin arttığı bilinmektedir. Özellik seçimi işlemi ile bu durum ciddi şekilde daha iyi hale getirilebilir. Ayrıca aşırı uyum sorunu azaltılarak daha güvenilir sonuçların elde edilmesi sağlanabilir. Bu çalışmada halka açık olarak bulunan OULAD veri seti (Kuzilek et al., 2017) kullanılarak özellik seçiminin doğruluk üzerindeki etkisi incelenmiştir. OULAD veri seti İngiltere'deki Açık Üniversite'nin öğrencileri hakkında demografik ve bir öğrenim yönetim sistemi olan VLE ile etkileşim bilgilerini içermektedir. Bu veri setindeki özelliklerden kimisi doğrudan kullanılmış kimisinden ise gerekli özellik çıkarma işlemi yapılarak kullanılmıştır. Daha sonra Özyinelemeli Özellik Eliminasyonu, SelectKBest ve Temel Bileşen Analizi Yöntemleri kullanılarak özellik seçimi işlemi yapılmıştır. Ardından sınıflandırma işlemi için K – En Yakın Komşu (KNN), Rastgele Orman (RF), Aşırı Gradyan Arttırma (XGB), Lojistik Regrasyon (LR), Naive Bayes (NB), Karar Ağaçları (DT) ve Gradyan Boosting (GB) algoritmaları kullanılmıştır. Bulunan doğruluk değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada farklı olarak sınıflandırma öncesinde özellik seçimi işleminin yapılması ve özellik seçiminin performansı arttırması hedeflenmiştir.

Literatür

Literatür incelemesi üç amaç çerçevesinde yapılmıştır: OULAD veri setinin sınıflandırma amaçlı kullanıldığı çalışmalar, özellik seçme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar, OULAD veri setinde özellik seçme yöntemlerinin uygulandığı çalışmalar.

Waheed et al. (2020) risk altındaki öğrencileri tahmin etmek ve bu gibi durumlara erken müdahale için önlemler sağlamak üzere sanal öğrenme ortamlarının tıklama verilerinden elde edilen bir dizi benzersiz Özellik üzerinde derin bir yapay sinir ağı kullanmışlardır. Sonuçlar, önerilen modelin %84-%93'lük bir sınıflandırma doğruluğuna ulaştığını göstermektedir. Çalışma derin bir yapay sinir ağının temel Lojistik Regresyon (LR) ve Destek Vektör Makinelerinden (Support Vector Machine - SVM) daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir.

Gamie et al. (2020) öğrenciler ile elektronik öğrenme sistemleri arasındaki etkileşimini analiz ederek risk altındaki öğrencileri uyarmaya ve öğrencilerin eğitim sistemine katılım derecesini yönetmeye çalışmışlardır. Bu sebeple risk altındaki öğrencileri tahmin etmek için SVM, Karar Ağaçları (Decision Tree - DT), Sinir Ağları (Neural Networks - NN), Adaptive Boosting (AdaBoost), Rastgele Orman (Random Forest - RF), Aşırı Gradyan Arttırma (eXtreme Gradient Boosting – XGBoost) sınıflandırıcılarını kullanmışlarıdr. Hem RF ile hem de XGBoost ile %85 ile doğruluk sonucu bulmuşlardır.

Casalino et al. (2020) öğrencilerin sınavlardaki başarısızlığını/başarılarını tahmin etmeye yönelik bir model geliştirmek için RF ve adaptif rastgele orman (Adaptive Random Forest - ARF) algortimalarının kullanıldığı bir sınıflandırma çalışmasının sonuçlarını paylaşmışlardır. Ayrıca, sınıflandırılmadan bağımsız olarak bir Özellik önem analizi gerçekleştirmişlerdir. Bu Özellik önem analizi için özyinelemeli Özellik eliminasyonu

(Recursive Feature Elimination-RFE), L1 tabanlı özellik seçimi ve rastgele orman tabanlı özellik seçimi (Selection based on the Random Forest - RFS) algoritmaları kullanılmıştır.

Al-Tameemi et al. (2021) 2013 ve 2014 yıllarında sadece AAA ve BBB dersini alan öğrenciler için dört kez öğrenci performansını tahmin etme işlemi yapmışlardır. Tahmin etme işlemi için Derin Öğrenme (Deep Learning -DL) yöntemini seçmişlerdir. Ayrıca öncesinde özellik sayısını en aza indirmek ve daha etkili olanları seçmek için Spearman'ın Korelasyon Katsayısı (Spearman's Correlation Coefficient - SCC) yöntemi de kullanılmıştır. Sonuç olarak %93,2, %94,2, %96,2 ve %96,6 doğruluk değerlerini bulmuşlardır.

Liu et al. (2022) öğrenci performansını tahmin etmek için tıklama akışı verilerinin potansiyelini araştırmışlardır. Sadece BBB dersini seçen öğrencileri örneklem olarak almışlardır. Makine öğreniminden LR, K En Yakın Komşu (K Nearest Neighbors - KNN), RF, Gradyan Arttırıcı Ağaç (Gradient Boosting Trees - GBT) derin öğrenmeden Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Network – CNN) ve Uzun-Kısa Vadeli Bellek (Long Short-Term Memory - LSTM) sınıflandırıcılarını kullanmışlardır. Makine öğrenimi algoritmalarında özellik seçimi için Bilgi Kazanımı (Information Gain - IG) yöntemi kullanılmıştır ancak LSTM özellik seçimi işlemi yapılmadan %89,25'le en yüksek doğruluk oranını vermiştir.

Renò et al. (2022) bir öğrenme modeli tanımlamayı amaçlamışlardır. OULAD kıyaslama veri setinin analizi için denetimli istatistiksel öğrenme teknikleri araştırmış ve geliştirmişlerdir. Öğrencilerin öğrenme sürecinin değerlendirilmesi, bir dersi geçme veya kalma konusunda ikili tahminler yapılarak ve öğrencinin ara performansıyla ilgili özelliklerin yanı sıra e-öğrenme platformuyla etkileşimler kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Bunun için RF sınıflandırma algoritması ve topluluk modelleri (Ensemble Model - EM) kullanmışlardır. OULAD veri seti üzerinde eğitilen modeller, öğrencilerin öğrenme değerlendirmesini tahmin etmede %95'lik bir doğruluk gösterdi.

Souai et al. (2022) Sanal Öğrenme Ortamında öğrencilerin öğrenme davranışlarını modellemek, performanslarını tahmin etmek ve risk altındaki öğrencileri başarısızlıktan korumak için Derin Öğrenme algoritmalarının uygulanmasına odaklanmaktadırlar. Önerilen model, Çift Yönlü Uzun-Kısa Süreli Bellek algoritması (BLSTM) kullanılarak uygulanmıştır. Açık Üniversite Öğrenim Analitiği Veri Kümesine (OULAD) uygulanan BLSTM modeli, %97'lik bir çapraz doğrulama doğruluk oranına ulaşmıştır.

Balabied and Eid (2023) öğrenci performansını önceden tahmin edip erken müdahalelerle öğrencilere destek sağlayıp, öğrencilerin öğrenme süreçlerini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Öğrenci başarısını/başarısızlığını etkileyen çeşitli faktörler arasındaki kalıpları ve ilişkileri incelemek amacıyla bir model oluşturmuşlardır. Bunun için Rastgele Orman Sınıflandırıcısını kullanarak %90 doğruluk oranı elde etmişlerdir.

Meşe (2023) bilgi keşfi yönetimi ile sanal öğrenme ortamındaki materyallerin öğrencilerin başarılarına etkisini incelemiştir. Bilgi keşfi aşamalarını uygulamış ve son olarak DT ile sınıflandırma yaparak %82,7 doğruluk oranı bulmuştur.

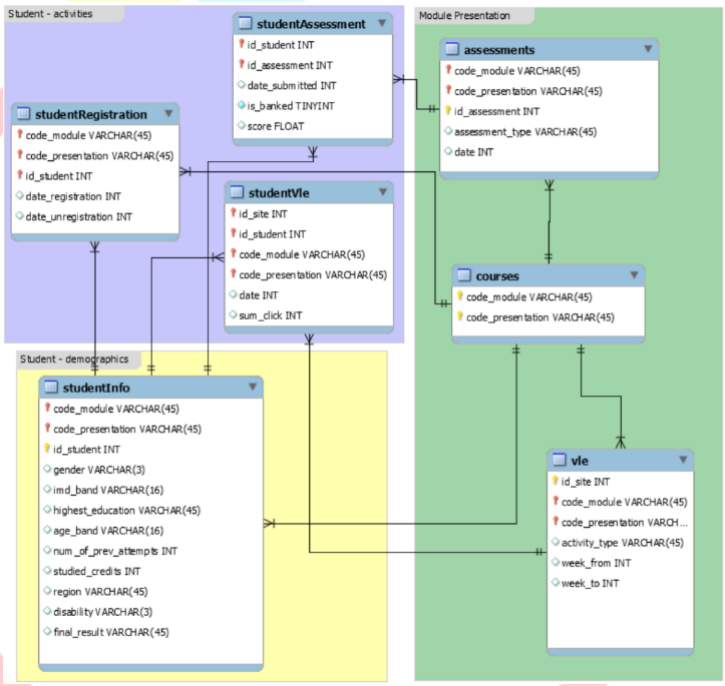
Zhang et al. (2023) çalışmalarında sadece STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) dersleri olan CCC, DDD, EEE ve FFF derslerini alan öğrencilerin E-öğrenme performansını makine öğrenimi algoritmaları aracılığıyla tahmin etmektedir. Bunun için Radyal Temel Fonksiyon Destek Vektör Makinesi (Radial Basis Function Support Vector Machine - RBF SVM), Doğrusal Destek Vektör Makinesi (Linear SVM), Bayes, KNN, DT, Softmax Regression (SR) algortimalarını kullanmışlardır. Dört ayrı dersin her biri için sınıflandırma işlemini uygulamışlar ve %78,66 ile %90,44 arasında doğruluk oranları çıkmıştır. En iyi doğruluk EEE dersinde RBF SVM ile elde edilmiştir.

Yöntem

Veri Seti

Çalışmada İngiltere'deki Open University'de öğrenme analitiğine ilişkin bir veri seti olan Open University Learning Analytics Dataset (OULAD) veri seti kullanılmıştır (Kuzilek

et al., 2017). OULAD, öğrenciler, dersler ve sanal öğrenme ortamına (VLE) ilişkin bilgileri içerir. Şekil 1'de de görüldüğü gibi yedi ilişkisel tablodan oluşan veri setinde değerlendirmeler, dersler, öğrenci bilgileri, öğrenci kaydı, öğrenci değerlendirmeleri, VLE ve öğrenci VLE ilişkisi tabloları bulunmaktadır. Sadece 2013 ve 2014 yılarının güz ve bahar dönemine ait AAA, BBB, CCC, DDD, EEE, FFF ve GGG adlı yedi ders bilgisi bulunmaktadır. Değerlendirme öğretmen bazlı değerlendirme (TMA), bilgisayar bazlı değerlendirme (CMA) ve sınav (Exam) şeklinde yapılmaktadır. Toplam 32593 öğrencinin demografik bilgisi yer almaktadır. Bu öğrencilerin cinsiyet, yaşadığı bölge, yaş aralığı, eğitim düzeyi, yaşadığı bölgenin çoklu ahlaksızlık endeksi bandı, dersi kaç kere aldığı, aktif olarak aldığı derslerin toplam kredi sayısı ve öğrencinin engellilik durumuna ait bilgiler yer almaktadır. Ayrıca öğrencilerin bir derse kayıt tarihi, eğer dersi bırakmışsa kayıt sildirme tarihi, öğrencinin ders değerlendirmesini gönderim tarihi bilgileri de yer almaktadır. Bu tarih bilgileri dersin başlangıç tarihinden önce/sonra kaçıncı gün olduğu bilgileridir. VLE ilgili ise derslerde ne tür aktivitelerin yapıldığı, hangi haftada başlayıp bittiği yer almaktadır. Öğrencilerin VLE ile hangi günlerde ne kadar etkileşime geçtiği tıklanma sayısı olarak tutulmuştur. Bu şekilde 10,655,280 giriş bulunmaktadır.



***Şekil 1**. OULAD veri setinin ilişkisel şeması (Kuzilek et al.2017)*

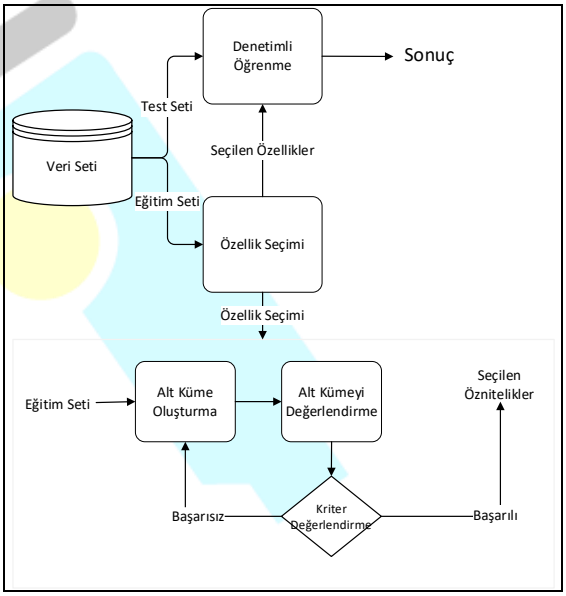
Ön İşleme ve Özellik Çıkarma

Tablolarda çoğunluğu eksik olan sütunlar ya da satırlar silinmiştir. Sayısal sütunlarda ortalama ile kategorik sütunlarda mod ile eksik veriler tamamlanmıştır. Tablolardaki "code_module" ve "code_presantation" sütunları ortak olacak şekilde birleştirilmiştir. Öğrencilerin bir ders için modül başlangıç öncesi ve modül başlangıç sonrası tıklama sayıları özellik olarak çıkarıldı. Derslerin oldukları dönem ve yıl bilgisi de yeni özellik olarak eklendi. Diğer çıkarılan özellikler ise öğrencinin ödevini erken/geç gönderme durumu, derslerin türü (sosyal bilimler/fen bilimleri), ödevlerin ağırlıklarının ve önceki öğreniminin kategorilendirilmesidir. Kategorik veriler dönüştürülmüştür. Öğrencinin final sonucu başarılı/başarısız olarak 2 sınıfa indirgenmiştir.

Özellik Seçimi

Veri kümeleri, makine öğrenimi sürecini olumsuz yönde etkileyen ilgisiz ve gereksiz özellikler içerebilir. Bu özellikleri öğrenme sürecinden çıkarmak; öğrenme hızını artırmaya,

aşırı uyumu azaltmaya, yüksek boyutluluktan kaçınmaya ve basit modeller oluşturmaya yardımcı olacaktır. Denetimli öğrenmede özellik seçimi Şekil 2'de görüldüğü gibi genel olarak dört adımdan oluşur. İlk adım, özellik uzayını keşfetmek ve bir aday özellik alt kümesi oluşturmaktır. Bir sonraki adım, bir değerlendirme kriteri ile bir öğrenici kullanılarak oluşturulan alt kümenin performansını ölçmektir. Üçüncü adım, seçim sürecinin çalışmasını durdurmaktır. Örneğin önceden tanımlanmış bir özellik sayısına ulaşılması veya doğrulukta herhangi bir gelişme olmaması gibi. Durdurma kriteri karşılanmazsa seçim süreci ilk adıma geri döner. Son adım sınıflandırıcının, seçilen özellikler ile test veri kümesindeki örneklerin etiketlerini tahmin etmeye çalışmasıdır (Büyükkeçeci ve Okur, 2023:1507). Böylelikle özellik seçme işlemi tamamlanır.



Şekil 2. *Denetimli Öğrenmede Özellik Seçimi (Büyükkeçeci ve Okur, 2023:1508).*

Bu çalışmada üç özellik seçim yöntemi kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır

SelectKBest: Ki-kare, ANOVA F testi veya karşılıklı bilgi gibi istatistiksel bir teste dayalı olarak en iyi K özelliklerini seçen basit bir özellik seçim yöntemidir (Abid-Althaqafi, 2024:205).

Özyinelemeli Özellik Eliminasyonu (Recursive Feature Elimination-RFE): Öğrenilen modele ve sınıflandırma doğruluğuna dayalı olarak en uygun özellik alt kümesini seçmeye çalışan bir özellik seçme yöntemidir. Bir sınıflandırma modeli oluşturduktan sonra sınıflandırma doğruluğunda düşüşe neden olan en kötü özelliği sırayla ortadan kaldırır (Jeon and Oh, 2020: 3211).

Temel Bileşenler Analizi (Principal Compenant Analysis- PCA): En önemli bilgileri korurken verileri daha düşük boyutlu bir alana dönüştüren bir boyut azaltma tekniğidir. Makine öğrenimi modeli, sonuçta ortaya çıkan temel bileşenleri veri kümesindeki özellikler olarak kullanabilir (Abid-Althaqafi, 2024:205).

Sınıflandırma

Sınıflandırma işlemi için K – En Yakın Komşu (KNN), Rastgele Orman (RF), Aşırı Gradyan Arttırma (XGB), Lojistik Regrasyon (LR), Naive Bayes (NB), Karar Ağaçları (DT) ve Gradyan Boosting (GB) algoritmaları kullanılmıştır. Hem tüm özellikler kullanılarak sınıflandırma yapılmış hem de özellik seçim işlemleri sonrasında sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırma yapılırken veriler 10 katlı çapraz doğrulama ile eğitim ve test olarak ayrılmıştır.

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

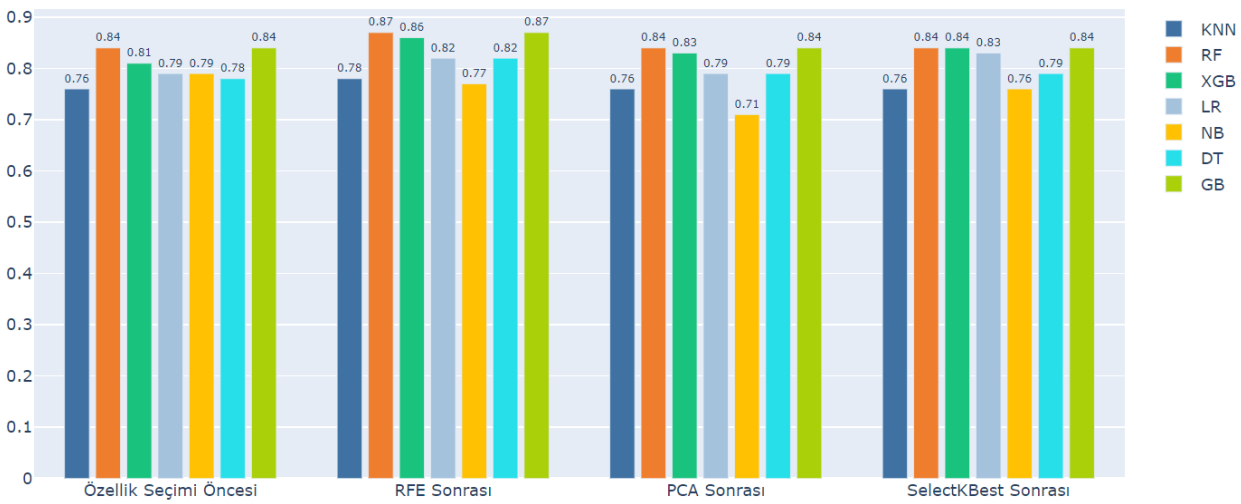
Performans değerlendirmesi hata matrisinin elde edilmesi ve doğruluk değerlerinin bulunması ile yapılmıştır. Hata matrisi sınıfların ne kadar doğru ne kadar yanlış olduğunu gösterir. Doğruluk bir sınıflandırmada doğru tahminlerin toplam tahminlere oranıdır.

Özellik seçimi öncesi ve özellik seçimi sonrası sınıflandırma işlemi sonucundaki doğruluk değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Tüm özellikler kullanılarak elde edilen doğruluk değerleri %76 ile %84 arasında değişmektedir. En yüksek doğruluk ise RF ve GB'ye aittir. RFE ile seçilen özellikler ile elde edilen doğruluk oranları %77 ile %87 arasında değişmektedir. En yüksek doğruluk ise RF ve GB'ye aittir. PCA ile seçilen özellikler ile elde edilen doğruluk oranları %71 ile %84 arasında değişmektedir. En yüksek doğruluk ise RF ve GB'ye aittir. SKB ile seçilen özellikler ile elde edilen doğruluk oranları %76 ile %84 arasında değişmektedir. En yüksek doğruluk ise RF, GB ve XGB'ye aittir.

Tablo 1. *Özellik Seçimi Öncesi ve Sonrası Doğruluk Değerleri*

	Tüm Özellikler	**RFE**	**PCA**	**SKB**
KNN	%76	%78	%76	%76
RF	%84	%87	%84	%84
XGB	%81	%86	%83	%84
LR	%79	%82	%79	%83
NB	%79	%77	%71	%76
DT	%78	%82	%79	%79
GB	%84	%87	%84	%84

Şekil 3'te de görüldüğü gibi genel olarak en yüksek doğruluk RFE ile seçilmiş özelliklerde RF ve GB sınıflandırmalarında bulunmuştur. KNN ve NB sınıflandırmaları genel olarak en düşük sonuçları vermiştir.



Şekil 3. *Özellik Seçimi Öncesi ve Sonrası Doğruluk Değerleri*

Doğruluk değerlerinin yanında özellik seçimi öncesi ve sonrası için duyarlılık, kesinlik ve F1 skor değerleri de hesaplanmış ve Tablo 2'de gösterilmiştir. En büyük duyarlılık değeri

PCA ile seçilmiş verilerde %91 ile NB'ye ve en büyük kesinlik değeri %91 ile RFE ile seçilmiş verilerde XGB ve GB'ye aittir. F1 skora bakıldığında ise birçok sınıflandırıcıda en yüksek değer %85 olmuştur.

Tablo 2. *Özellik Seçimi Öncesi ve Sonrası Duyarlılık, Kesinlik ve F1 Skor*

	Duyarlılık				**Kesinlik**				**F1 Skor**			
	Tüm Özellikler	RFE	PCA	SelectKBest	Tüm Özellikler	RFE	PCA	SelectKBest	Tüm Özellikler	RFE	PCA	SelectKBest
KNN	%76	%75	%76	%77	%78	%80	%78	%78	%77	%77	%77	%77
RF	%83	%80	%83	%81	%85	%88	%88	%85	%84	%84	%85	%83
XGB	%83	%80	%83	%81	%82	%91	%85	%88	%83	%85	%84	%84
LR	%81	%79	%78	%79	%80	%89	%81	%88	%80	%84	%79	%83
NB	%72	%69	%91	%67	%85	%80	%66	%85	%78	%74	%77	%75
DT	%83	%81	%83	%82	%77	%80	%78	%79	%800	%8	%80	%81
GB	%81	%80	%82	%81	%88	%91	%89	%89	%85	%85	%85	%85

Literatürde araştırılan çalışmalarda hangi sınıflandırma yöntemlerinin kullanıldığı, özellik seçiminin yapılma durumu ve bulunan en yüksek doğruluk değeri Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. *Literatürdeki Çalışmalarda Elde Edilen Doğruluk Değerleri*

Çalışmalar	**Sınıflandırma**	**Özellik Seçme**	**Doğruluk**
Waheed et al. (2020)	ANN, SVM, LR	-	ANN %93
Gamie et al. (2020)	SVM, DT, NN, AdaB, RF, XGB	-	RF, XGB %85
Casalino et al. (2020)	RF, ARF	RFE, RFS, L1	RF %90,5
Al-Tameemi et al. (2021)	DL	SRCC	SRCC+DL %93-%96
Liu et al. (2022)	LR, KNN, RF, GBT, CNN, LSTM	IG	LSTM %89,25
Renò et al. (2022)	RF, EM	-	RF %94,32
Souai et al. (2022)	BLSTM	-	BLSTM %97
Balabied and Eid (2023)	RF	-	RF %90
Meşe (2023)	DT	-	DT %82,7
Zhang et al. (2023)	RBF SVM, Linear SVM, KNN, DT, SR, Bayes	-	RBF SVM %90,44
Bu çalışma	KNN, RF, XGB, LR, NB, DT, GB	RFE, PCA, SKB	RFE+RF %87

Sonuç

Bu çalışmada özellik seçimi algoritmalarının sınıflandırma sonucuna nasıl etki ettiği araştırılmak istenmiştir. Bunun için seçilen bir veri setinde hem tüm özellikler için hem de özellik seçimi yöntemleriyle seçilen özellikler için sınıflandırma işlemi yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. En yüksek doğruluk RFE ile seçilmiş özelliklerde RF ve GB sınıflandırmalarında bulunmuştur. Ayrıca literatürde aynı veri setini kullanan çalışmalarda bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Her çalışmada OULAD veri setinden farklı özelliklere odaklanılmıştır. Kimi çalışmalarda ilk adımda sadece demografik özellikler seçilmiş kimi çalışmalarda vle etkileşim verileri seçilmiş kimi çalışmalarda ise her ikisi de seçilmiştir. Genel olarak bakıldığında özellik çıkarım işlemleri yapıldıktan sonra özellik seçimi yöntemlerinin kullanılmadığı görülmüştür. Bizim çalışmamızda ise çıkarılan özelliklerle bulunan doğruluk oranı özellik seçimi yapılan doğruluk oranından düşük çıkmıştır.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynakça

Abid-Althaqafi, N. R., & Alsalamah, H. A. (2024). The Effect of Feature Selection on the Accuracy of X-Platform User Credibility Detection with Supervised Machine Learning. Electronics, 13(1), 205.

Al-Tameemi, G., Xue, J., Ajit, S., Kanakis, T., Hadi, I., Baker, T., ... & Al-Jumeily, R. (2021, December). A Deep Neural Network-Based Prediction Model for Students' Academic Performance. In 2021 14th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE) (pp. 364-369). IEEE.

Balabied, S. A. A., & Eid, H. F. (2023). Utilizing random forest algorithm for early detection of academic underperformance in open learning environments. PeerJ Computer Science, 9, e1708.

BÜYÜKKEÇECİ, M., & OKUR, M. C. (2023). A Comprehensive Review of Feature Selection and Feature Selection Stability in Machine Learning. Gazi University Journal of Science, 1-1.

Casalino, G., Castellano, G., Mannavola, A., & Vessio, G. (2020, June). Educational stream data analysis: a case study. In 2020 IEEE 20th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON) (pp. 232-237). IEEE.

Gamie, E. A., El-Seoud, M., & Salama, M. A. (2020). Comparative Analysis for Boosting Classifiers in the Context of Higher Education. International Journal of Emerging Technologies in Learning, 15(10).

Jeon, H., & Oh, S. (2020). Hybrid-recursive feature elimination for efficient feature selection. Applied Sciences, 10(9), 3211. https://doi.org/10.3390/app10093211

Kuzilek, J., Hlosta, M., & Zdrahal, Z. (2017). Open university learning analytics dataset. Scientific data, 4(1), 1-8.

Liu, Y., Fan, S., Xu, S., Sajjanhar, A., Yeom, S., & Wei, Y. (2022). Predicting Student performance using clickstream data and machine learning. Education Sciences, 13(1), 17.

Meşe, C., Büyük Veriden Öğrencilerin Öğretim İçerik Tercihlerinin Başarıya Etkisinin Belirlenmesine Yönelik Veritabanlarından Bilgi Keşfi Yöntemi: OULAD Veri Seti Örneği. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 23(1), 121-138.

Renò, V., Stella, E., Patruno, C., Capurso, A., Dimauro, G., & Maglietta, R. (2022). Learning Analytics: Analysis of Methods for Online Assessment. Applied Sciences, 12(18), 9296.

Souai, W., Mihoub, A., Tarhouni, M., Zidi, S., Krichen, M., & Mahfoudhi, S. (2022, May). Predicting at-risk students using the deep learning BLSTM approach. In 2022 2nd International Conference of Smart Systems and Emerging Technologies (SMARTTECH) (pp. 32-37). IEEE.

Zhang, J., Qiu, F., Wu, W., Wang, J., Li, R., Guan, M., & Huang, J. (2023). E-Learning Behavior Categories and Influencing Factors of STEM Courses: A Case Study of the Open University Learning Analysis Dataset (OULAD). Sustainability, 15(10), 8235.

Zhou, P., Li, P., Zhao, S., & Wu, X. (2020). Feature interaction for streaming feature selection. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 32(10), 4691-4702.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Çevresel Göstergeler Altında Türkiye'deki İllerin Kümeleme Analizyle Gruplandırılması

Sefa ŞİMŞEK[1]
Hasan BULUT[2]

Abstract

The environment is generally defined as common living spaces where all living things interact and have a relationship. Nowadays, environmental problems are gaining momentum in parallel with the growth rate of the human population and degeneration of the environment negatively affects both human health and other living populations. To offer the world population a sustainable life in a clean nature in the future, international conferences, including Turkey, are organized, and solutions to environmental problems and polluted natural resources are sought in these conferences. On a national scale, studies are carried out at regular intervals by the Turkish Statistical Institute (TSI) and the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, and publications containing environmental indicators are presented to the public. Environmental indicators shed light on decision makers in analyzing the current situation and creating environmental policies. When the literature is reviewed, it is observed that there are very few publications comparing the provinces in Turkey using environmental parameters. The purpose of this study is twofold: To analyze the provinces in Turkey by comparing them under environmental parameters and to cluster the provinces with similar structures with cluster analysis in order to contribute to the development of common strategies. Cluster analysis can be defined as a collection of methods that group observations so that they are homogeneous within clusters and heterogeneous between clusters. In the study, 11 variables obtained from the Municipal Water, Municipal Wastewater and Municipal Waste Statistics, which the Turkish Statistical Institute carried out the field study in 2023 and announced the results, were taken into account and the average linkage method, which is among the hierarchical clustering techniques, was used in the clustering of the provinces. Cluster validity indices led to the determination of the number of clusters and the clustering method. As a result of the analysis, the number of clusters was determined as 2. When the provinces are divided into two clusters, there is only Istanbul province in the first cluster, while there are the remaining 80 provinces in the second cluster. Data analysis was carried out using the R Studio program.

Keywords: Average Connection Method, Clustering Analysis, Cluster Validity Indexes, Kofenetik Correlation Coefficient, R Programming

[1] Graduate Student , Ondokuz Mayıs University, Department of Statistics, Orcıd : 0000-0001-75491121
[2] Assoc. Dr., Ondokuz Mayıs University, Department of Statistics, Orcıd : 0000-0002-6924-9651

ISBN: 978-625-372-170-1

1-Giriş

Çevre genel olarak tüm canlıların ilişki içinde olduğu ortak yaşam alanları olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde insan nüfusunun artış hızına paralel olarak çevre sorunları da ivme kazanmakta, çevrenin dejenerasyona uğraması hem insan sağlığını hem de diğer canlı popülasyonunu olumsuz yönde etkilemektedir. İnsan nüfusunun artmasıyla birlikte yirminci yüzyılın sonlarında çevresel sorunlar bölgesel olmaktan çıkarak küresel sorun haline gelmiştir. Birleşmiş Milletler (BM); 1972 yılında Stockholm, 1992 yılında Rio ve 2002 yılında Johannesburg şehirlerinde konferans düzenleyerek çevre sorunlarına çözümler aramış, çevre kirliliğinin önüne geçebilmek için politikalar üretmeye çalışmıştır. Küresel bir hal alan çevre sorunları için Avrupa Birliği (AB) de çeşitli konferanslar düzenleyerek Yeşil Mutabakat metni yayınlamış, Avrupa Birliğine uyum kapsamında Türkiye'de bu kurumsal uygulama ve mevzuatı değerlendirmeye almıştır (Özen, 2022:69). Uluslararası düzeyde konferanslara katılan Türkiye, ulusal düzeyde ise çeşitli çalışmalar yaparak elde edilen çevresel göstergeleri kamuoyuna sunmaktadır. Bu çalışmaların başında Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) belediyelere uyguladığı çalışmalar ile elde ettiği; Belediye Su, Belediye Atıksu ve Belediye Atık İstatistikleri yer almaktadır. İl düzeyinde açıklanan bu istatistikler akademik çalışmalara kaynak oluşturmakla birlikte karar vericilere ışık tutmaktadır. Ülkemizde eğitim, sağlık, finans, gelişmişlik gibi alanlarda illerin sınıflandırılması örnekleri sıklıkla karşımıza çıkarken çevresel göstergelerin yer aldığı kümeleme örnekleri yok denilecek kadar azdır.

Tunalı (2023:202) çalışmasında Türkiye'de katı atık hizmeti sunan il belediyelerinin performansını değerlendirmiştir. Veri seti olarak 2020 yılını referans alan, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından iki yıl aralıklarla uygulanan Katı Atık İstatistikleri kullanılmıştır. Uygulanan kümeleme analizi sonucunda iller 5 kümeye ayrılmıştır. Araştırmacı bu çalışmasıyla daha sonra uygulanacak benzer çalışmalara öncülük etmek istemiştir.

Zülfikar ve Beken (2012:75-76) çalışmalarında Türkiye'deki belediyelerin 1994-2010 yılları arası çevresel göstergelerini değerlendirmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu ve T.C. Çevre ve Orman Bakanlığından elde edilen 11 değişken veri seti olarak kullanılmıştır. Veri analizi ilk aşamasında hiyerarşik kümeleme analizi algoritmalarından varyans (ward's) yöntemi tercih edilmiş, uzaklık ölçümü için ise kareli öklit yöntemi kullanılmıştır. İlk aşamada elde edilen sonuçlara göre iller 4 gruba ayrılmıştır. İkinci aşamada ise illerin gelişmişlik sıra düzeyleri ile belediye çevre hizmetleri arasındaki ilişki araştırılmış olup değişkenler arası negatif yönlü istatistiksel açıdan önemli ilişkilere rastlanmıştır. Mevcut çalışmada, hatalı sonuçlardan kaçınabilmek için veri düzenleme ve dönüştürme yöntemlerinden standart normal değişkenlere dönüştürülme yaklaşımına başvurulmuş, veriler standardize edilmiştir.

Özen (2022:68) çalışmasında 2010-2020 yılları arası Türkiye'deki çevresel göstergelerin nüfusa göre farklılaşması incelenmiştir. İlk adımda yıllar boyunca göstergeler incelenerek; belediyelerde içme suyu tesis sayısı, deşarj edilen atıksu miktarı, toplanan atık miktarı ve düzenli depolama tesisine gönderilen atık miktarında düzenli artışlar izlenmiştir. İkinci adımda toplam elektrik tüketimi ve sera gazı emisyon miktarı ile Türkiye nüfusu arasında bir ilişki olup olmadığına Sperman Korelasyon Katsayısı ile karar verilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak değişkenler arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişkinin olduğu saptanmıştır. Veriler SPSS analiz programında analiz edilmiştir.

Çemrek (2016:23-24) çalışmasında 12 çevresel parametre kullanarak illeri çevresel göstergeler bakımından istatistiksel olarak iki aşamada analiz edilmiştir. İlk aşamada verilere kümeleme analizi uygulanarak iller sırasıyla 3,4 ve 5 kümeye ayrılmıştır. 81 il 3,4 veya 5

kümede sınıflandığında her seferinde İstanbul tek başına bir küme oluşturmuştur. İkinci aşamada ise veri setinde bulunan değişkenlere faktör analizi uygulanarak değişkenlerin hangi faktör içinde yer aldığı sorusuna cevap aranmıştır. Analizde kullanılan veriler Türkiye İstatistik Kurumunun 2014 veri tabanından elde edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı; Türkiye'deki illeri çevresel parametreler altında sınıflamak, aynı grupta yer alan illerin ortak strateji geliştirmelerine olanak sağlayarak, karar verici makamlar ve akademik çalışmalarda kullanılmak için çevresel gösterge sağlamaktır. Çalışmada Türkiye İstatistik kurumunun alan çalışmasını 2023 yılında tamamlayıp aynı yıl içerisinde sonuçlarını paylaştığı en güncel çevresel veri seti kullanılmıştır.

2-Yöntem

Türkiye'de bulunan illerin çevresel göstergeler kapsamında analiz edilmesinde çok değişkenli istatistik yöntemlerinden biri olan kümeleme analizi kullanılmıştır. Literatür tarandığında kümeleme analizinin farklı yaklaşımlar altında, hiyerarşik (aşamalı) ve hiyerarşik olmayan (aşamasız) kümeleme analizi olarak iki temel gruba ayrıldığı ve bu iki temel grup altında farklı algoritmaların mevcudiyeti bulunmaktadır. Bu çalışmada, hiyerarşik kümeleme analizi grubu altında ortalama bağlantı algoritması kullanılmıştır. Bu bölümde kullanılan algoritma tanıtılmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan uzaklık ölçüsü ve küme geçerlilik endeksleri de bu bölümde tanıtılacaktır.

2.1 Kümeleme Analizi

Kümeleme analizi gözlemleri gruplarken gözlemler arası benzerlik ve benzemezlikleri kullanan yöntemlerin toplamıdır. Kümeleme analizi değişkenleri sınıflarken gözlemleri kümelemeye olanak sağlar. Bu işlem sonucunda oluşan kümelerde, gözlemler arası yüksek oranlı homojenlik, kümeler arasında yüksek oranlı heterojenliğe sahip grupların oluşması istenmektedir (Hair vd.,2014: 418). Çok değişkenli istatistiksel bir yöntem olan kümeleme analizi özellikle sağlık, finans, eğitim sektörlerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Çelik, 2013:175).

Kümeleme analizi değişkenleri bağımlı, bağımsız olarak ayırmamasıyla faktör analizinden, analiz sonunda gruplara ayrılması özelliğiyle de diskriminant analizinden ayrışmaktadır.

2.1.1 Hiyerarşik Kümeleme Analizi

Hiyerarşik kümeleme analizini hiyerarşik olmayan kümeleme analizinden ayıran en önemli özellik, başlangıçta küme sayısı bilinmeden analiz sonucunda küme sayısına karar verilmesinden kaynaklanmaktadır. Hiyerarşik kümeleme metodu peşpeşe seriler halinde devam ederek ardışık birleşme veya bölünme ile ilerler (Altın, 2021:37). Birleştirici hiyerarşik yöntemde başlangıçta tüm gözlemler ayrı ayrı kümeler iken benzerliklerine göre gruplandırılarak en sonunda benzerlik azalır ve tüm alt gruplar tek bir kümeye toplanır. Bölünmeli hiyerarşik yöntemde ise başlangıçta tüm gözlemler tek bir küme gibi davranmakta ve her seferinde merkeze en uzak gözlem kümeden ayrılmaktadır. Bu işlem her bir gözlem bir küme oluşturana dek devam eder (Bulut, 2023: 378). Hiyerarşik kümeleme analizi yönteminin pek çok farklı algoritması mevcuttur. Veri analizinde ortalama bağlantı yöntemi kullanıldığı için bu bölümde ilgili algoritmadan bahsedilecektir.

1959 yılında Michener ve Sokal tarafından literatüre kazandırılmıştır. Ortalama bağlantı yönteminde küme çekirdeğinde yer alan gözlemin aynı kümede yer alan gözlemlere olan ortalama mesafesi esas alınır. Bu yöntemde benzerlik kavramı kümelerin tüm üyelerine dayandığı ve uç değerlere bağlı olmadığı için aykırı değerler tarafından daha az etkilenir (Seber, 2009: 363-375). Uzaklık matrisi güncellemesinde X ve Y kümeleri arası uzaklık X kümesinde yer alan n_A ve Y kümesinde yer alan n_B gözlemler arası uzaklık ortalaması olarak alınır ve aşağıdaki eşitlikte belirtildiği gibidir.

$$d_{AB} = \frac{1}{n_A n_B} \sum_{i=1}^{n_A} \sum_{j=1}^{n_B} d(x_i\, x_j)$$

2.2 Uzaklık Ölçüleri

Kümeleme analizinde uzaklık, ortaklık ve korelasyon ölçüleri kullanılabilmektedir. Ölçüt uygunluğu veri setindeki değişkenlerin tiplerine bağlı olarak değişmektedir ve değişken tipi ölçüt uygunluğuna karar verici yapıdadır. Uzaklık ölçülerinin; aralıklı, oransal ölçeğe sahip değişkenlerin bulunduğu verilerde kullanımı uygundur. Uzaklık ölçülerin kullanılmasındaki temel amaç, gözlemler arası ilişki boyutunu sayısal anlamda inceleyerek gözlemlerin benzerlik oranlarını ortaya çıkarılmasıdır (Altın, 2021: 32-33).

2.2.1 Öklid Uzaklığı

Nicel veriler için kullanılan uzaklık fonksiyonlarından en popüler olanı Öklid uzaklığıdır (Baca, 2022 :5). Gözlemler birbirinden farklı ölçüm birimleriyle ölçülmüş değişkenlerden oluşuyorsa, ilk olarak değişkenlerin standart değerlere dönüşümü sağlanmalı daha sonra öklid uzaklığı hesaplanmalıdır. Öklid uzaklık genel formülü aşağıda belirtildiği gibidir.

$$d(x_i x_k) = \sqrt{\sum_{j=0}^{n} w_j (x_{ij} - x_{kj})^2}$$

2.3 Küme Geçerlilik Endeksleri

Kümeleme analizi sonuçlarının başarısını sınayan, kümeleme yönteminin belirlenmesi ve küme sayısına karar vermek için kullanılan pek çok endeks bulunmaktadır. Literatür tarandığında en çok önerilen endekslerden birkaçı bu alanda açıklanmıştır.

2.3.1 Silüet Genişlik Endeksi (Silhouette Width)

Rousseeuw tarafından literatüre kazandırılan bu yöntemde, kümeler arası uzaklık ve küme içi uzaklıklar ikişerli mukayese edilir. Mukayeseler sonucunda elde edilen uzaklıklar kullanılarak kümeleme başarı performansları belirlenir (Rousseeuw, 1987: 55). Uygun küme sayısı, analiz sonucunda maksimum olan değer olarak seçilir. (Aggarwal ve Reddy, 2014: 572).

[-1,1] arasında değerler alan bu endekste elde edilen değerin; 1'e yaklaşması uygulanan kümelemenin iyi olduğuna, 0.2 değerinin altında kalması ise küme yapısında eksiklikler olduğuna delil teşkil eder (Everitt vd., 2011: 129).

2.3.2 Dunn Endeksi

Dunn tarafından literatüre kazandırılan bu yöntemde; farklı kümelerde bulunan gözlemler arası minimum mesafenin, küme içinde yer alan gözlemler arası maksimum mesafeye oranlanmasıyla endeks değeri elde edilir.

Endeks değeri sıfırdan başlayarak sonsuza kadar değerler alabilmekte ve kümeleme sonucunun iyi olduğuna karar verebilmek için endeks değerin büyük olması gerekmektedir (Bulut, 2023:418).

3-Bulgular

Bu çalışmada kullanılan değişkenler ve tanımları aşağıda yer almaktadır. Deşişken seçimi yapılırken literatür tarama göz önünde bulundurulmuş olup, daha önce yayınlanmış akademik çalışmalarda sıklıkla kullanılan değişkenlere yer verilmiştir. Veri seti Türkiye

İstatistik Kurumunun çevre istatistikleri veri tabanı 2022'den elde edilmiştir. Veri setinde yer alan değişkenlerin ölçme düzeylerinde farklılıklar gözlemlendiği için hesaplamalara başlamadan önce verinin standartlaştırılması önerilmektedir (Bulut, 2018: 370). Kümeleme analizi kullanılarak uzaklık değerlerinin ölçülmesinden önce R programında scale fonksiyonu yardımıyla veriler standartlaştırılmıştır. Gerekli olan tüm analizler R Studio 4.3.2 versiyonu ile gerçekleştirilmiştir.

X_1: Su hizmeti verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı (%)

X_2: Belediyelerce kişi başı çekilen günlük ortalama su miktarı (litre/kişi-gün)

X_3: Belediyelerce içme ve kullanma suyu arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye sayısı

X_4: Belediyelerce içme ve kullanma suyu arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı (%)

X_5: Belediyelerce içme ve kullanma suyu şebekesi için çekilen toplam su miktarı (1000 m^3/yıl)

X_6: Kanalizasyon şebekesiyle hizmet verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı (%)

X_7: Belediyelerde deşarj edilen kişi başı günlük atıksu miktarı (litre/kişi-gün)

X_8: Atıksu arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı (%)

X_9: Şebekeden deşarj edilen toplam atıksu miktarı (1000 m^3/yıl)

X_{10}: Atık hizmeti verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı (%)

X_{11}: Toplanan belediye atık miktarı (ton/yıl)

X_{12}: Kişi başı ortalama belediye atık miktarı (kilogram/kişi-gün)

X_{13}: Belediye atık yönetimi belediye çöplüğüne gönderilen (ton/yıl)

Bu çalışmadaki uzaklık matrisinin belirlenmesinde kareli öklid, illerin kümelenmesinde ise hiyerarşik kümeleme algoritmalarından ortalama bağlantı tekniği kullanılmıştır. Kümeleme analizinde hangi yöntemin kullanılacağı ve küme sayısının kaç olacağına, daha önce Bölüm 2.3'de genel hatlarıyla açıklanan küme geçerlilik endekslerinden yararlanılarak karar verilmiştir. Analizlerde kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1- Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
X_1	81	88,11	100	97,86	2,67
X_2	81	162,40	476,83	248,14	60,54
X_3	81	0	40	6,09	7,08
X_4	81	0	99,99	44,01	33,05
X_5	81	4227	1103672	82422,23	142854,04
X_6	81	65	100	92,01	7,31
X_7	81	74	318	165,98	47,06
X_8	81	0	100	66,24	26,98
X_9	81	2129	1484482	66422,66	174179,74
X_{10}	81	93,60	100	99,23	1,33
X_{11}	81	21392	6552701	373873,57	786890,59
X_{12}	81	65	2	1,06	0,30
X_{13}	81	0	703118,00	50527,42	99872,68

Analizlerde kullanılacak algoritmanın ve küme sayısının belirlendiği küme geçerlilik endeksleri Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2- Küme Geçerlilik Endeksleri ve Küme Sayısı

Kümeleme Yöntemi	Küme Geçerlik İndeksi	Küme Sayısı			
		2	3	4	5
Hiyerarşik	Connectivity	**2.929**	5.8579	9.7159	12.6448
	Dunn	**0.9885**	0.5583	0.3599	0.3599
	Silhouette	**0.7029**	0.4532	0.3341	0.2609
k-ortalamalar	Connectivity	**2.929**	7.9869	48.8508	63.1361
	Dunn	**0.9885**	0.3136	0.1791	0.1579
	Silhouette	**0.7029**	0.3541	0.1622	0.1237
pam	Connectivity	51.8825	66.0298	68.9587	72.7079
	Dunn	0.0926	0.0926	0.1447	0.1447
	Silhouette	0.1326	0.1301	0.1289	0.1463
diana	Connectivity	**2.929**	5.8579	23.9901	44.9909
	Dunn	**0.9885**	0.5583	0.2052	0.2394
	Silhouette	**0.7029**	0.4532	0.2156	0.1689
sota	Connectivity	47.6063	72.6401	79.473	80.973
	Dunn	0.0764	0.0764	0.0764	0.0764
	Silhouette	0.1183	0.0688	0.0887	0.0927
agnes	Connectivity	**2.929**	5.8579	9.7159	12.6448
	Dunn	**0.9885**	0.5583	0.3599	0.3599
	Silhouette	**0.7029**	0.4532	0.3341	0.2609
model	Connectivity	49.6861	52.8488	89.4357	82.0881
	Dunn	0.0779	0.1303	0.0856	0.1293
	Silhouette	0.1367	0.1775	0.0018	0.098
clara	Connectivity	59.4758	62.4048	74.446	87.5762
	Dunn	0.0801	0.1303	0.1265	0.1187
	Silhouette	0.1112	0.1081	0.0915	0.0744

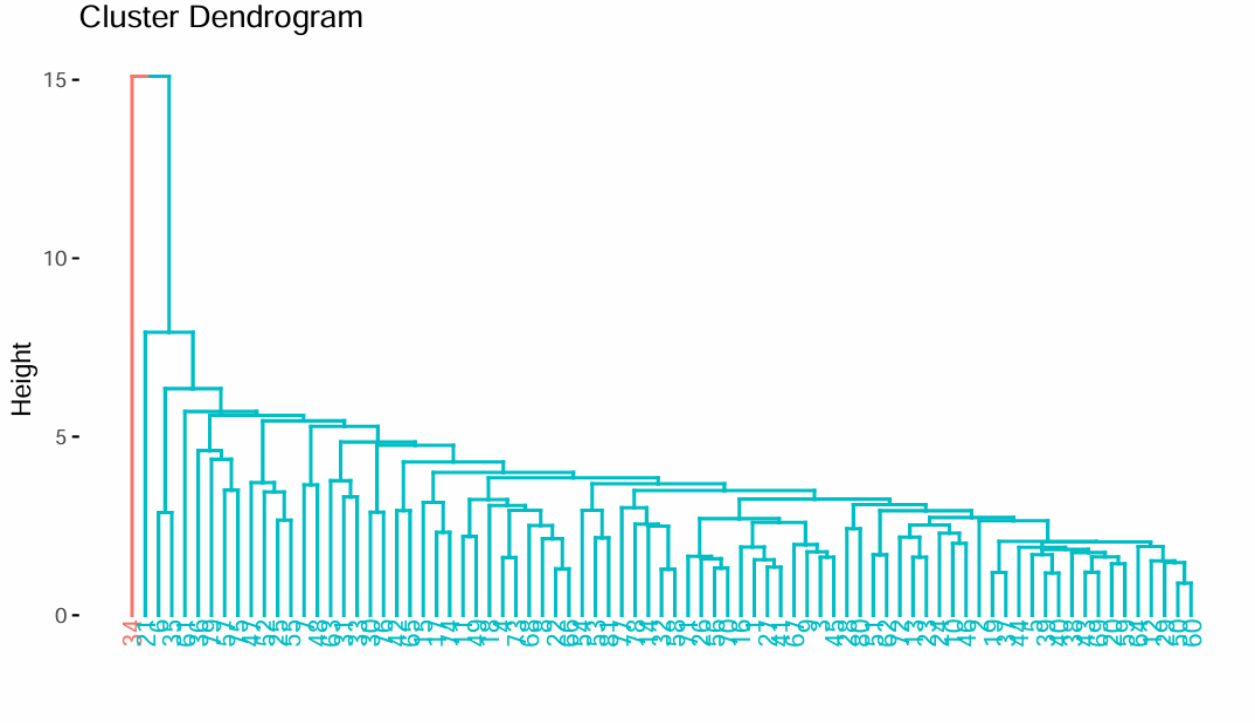
R Studio programında; Connectivity, Dunn ve Silhouette endekslerinin tümünde küme sayısının 2 olduğu hiyerarşik kümeleme algoritması önerilmiştir. Literatürde pek çok hiyerarşik kümeleme analizi algoritmaları mevcuttur. Veri seti için uygun olan algoritmanın seçimi sağlıklı analiz yapmak için çok önemlidir. Hiyerarşik algoritmalarla oluşan grupların kalitesini ölçmek için kofenetik korelasyon katsayı değeri akademik çalışmalarda en çok kullanılan yöntemdir. Söz konusu yöntem ile elde edilen değer 0.90 ve üzerinde ise grup kalitesi kabul edilebilir ve makul, ancak 0.7 ve altında ise yönteme kuşkulu yaklaşmak gereklidir (Seber, 2009: 371).

Tablo 3- Hiyerarşik Kümeleme Algoritmaları Kofenetik Korelasyon Katsayısı

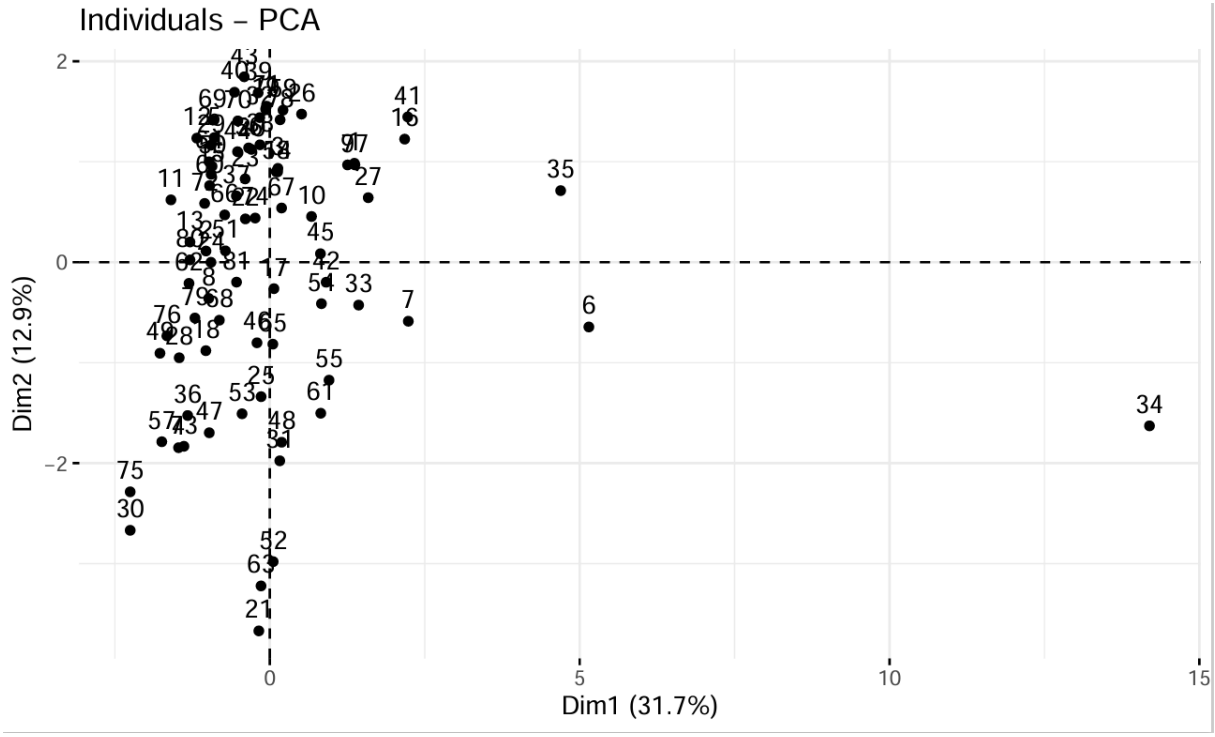
Yöntem	Kofenetik Korelasyon Katsayısı
Tek Bağlantı Yöntemi	0,9223734
Tam Bağlantı Yöntemi	0,6477717
Ortalama Bağlantı Yöntemi	0,9299791
Ward Bağlantı Yöntemi	0,3444049
Küresel Ortalama (Centroid) Yöntemi	0,9293252

Kofenetik Korelasyon katsayıları incelendiğinde en iyi gruplamanın 0,9299791 değere sahip ortalama bağlantı yöntemiyle sağlandığı bulgusu elde edilmiştir.

Küme sayısı 2 kabul ederek hiyerarşik kümeleme analizi yöntemine tabi tutulan illerin dendogram grafigi Şekil 1'de, temel bileşen skorları ise Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 1- Dendogram Grafiği



Şekil 2- Temel Bileşen Skorları

Uygulanan hiyerarşik kümeleme analizi sonucunda elde edilen küme yapıları Tablo 4'te yer almaktadır. Şekil 1' e göre iller 13 çevresel değişken altında 2 kümeye ayrılmıştır. İller 2 kümeye ayrıldığında, birinci kümede sadece İstanbul ili yer alırken ikinci kümede geriye kalan 80 il bulunmaktadır.

Tablo 4- Küme Sayısı 2 İken Hiyerarşik Kümeleme Analiz Sonuçları

Kümeler	İller
1.Küme	İstanbul
2.Küme	Adana, Adıyaman, Afyonkarahisar, Ağrı, Amasya, Ankara, Antalya, Artvin, Aydın, Balıkesir, Bilecik, Bingöl, Bitlis, Bolu, Burdur, Bursa, Çanakkale, Çankırı, Çorum, Denizli, Diyarbakır, Edirne, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Eskişehir, Gaziantep, Giresun, Gümüşhane, Hakkari, Hatay, Isparta, Mersin, İzmir, Kars, Kastamonu, Kayseri, Kırklareli, Kırşehir, Kocaeli, Konya, Kütahya, Malatya, Manisa, Kahramanmaraş, Mardin, Muğla, Muş, Nevşehir, Niğde, Ordu, Rize, Sakarya, Samsun, Siirt, Sinop, Sivas, Tekirdağ, Tokat, Trabzon, Tunceli, Şanlıurfa, Uşak, Van, Yozgat, Zonguldak, Aksaray, Bayburt, Karaman, Kırıkkale, Batman, Şırnak, Bartın, Ardahan, Iğdır, Yalova, Karabük, Kilis, Osmaniye, Düzce

4-Sonuç

Bu çalışmada hiyerarşik kümeleme algoritmalarından ortalama bağlantı yöntemi kullanılmıştır. İller çevresel göstergeler ışığında iki kümeye ayrılmıştır. Kümeleme analizi sonucunda, İstanbul ili tek başına bir küme oluştururken geri kalan 80 il bir kümede toplanmıştır. İstanbul ili gerek Türkiye'nin en kalabalık kenti olup çok turist ağırlamasına gerekse ülke sanayi sektörünün büyük kısmının bu şehir etrafında toplanmasına rağmen il nüfusunun ve iş yerlerinin tamamına içme suyu şebekesiyle arıtılmış temiz su sağlayabilmektedir. İstanbul ilinin temiz su kaynaklarından çektiği kişi başı günlük su miktarı Türkiye ortalamasının altında kalarak su kullanımında tasarrufuna öncülük edilmiş, ülkemizdeki temiz su rezervinin korunmasına katkı sağlamıştır. Haneler ve iş yerlerinde oluşan tüm atıksu ise kanalizasyon şebekeleriyle atıksu arıtma tesislerine taşınmış, atıksunun tamamının arıtılarak deşarjı sağlanmıştır. Kentte oluşan atıksunun tamamının tesislere taşınmasıyla deşarj edilen kişi başı günlük su miktarı Türkiye ortalamasının üzerinde yer almış, yer altı sularının kirlenmesine engel olunmuştur. Ayrıca kentteki tüm nüfusa atık hizmeti sunulmuş olup toplanan atıklar il çöplüğünde depolanmak yerine atık işleme tesislerine gönderilerek atığın bertarafı sağlanmıştır. Kentte oluşan çöplerin tamamının atık bertaraf tesislerine ulaştırılması hem il çöplüklerinde oluşacak çöp yığınlarının önüne geçmiş hem de toprağın ve havanın kirlenmemesine maksimum katkı vermiştir. İstanbul belediyeleri kentte yaşayan nüfusun tamamına sunduğu atık ve su hizmetleriyle toprağın, suyun kısacası çevrenin kirlenmemesine büyük katkı sağlamıştır. Çevresel göstergeler altında diğer tüm şehirlerden ayrılan İstanbul şehrinin hizmet uygulamaları, diğer iller tarafından örnek model alınarak ortak stratejilerle illerin çevresel göstergelerinin pozitif yönde arttırılabileceği düşünülmektedir. Bu çalışma ile karar vericilerin yanı sıra tüm kamuoyuna illerin çevresel göstergeleri hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynakça

Aggarwal, C. C. Reddy, C. K. (2014). *Data Clustering: Algorithms and Applications*. Londra: Chapman ve Hall/CRC Data Mining and Knowledge Discovery Series.

Altın, E. (2021). *Türkiye'de iller bazında ulaşım faaliyetlerinin gelişim durumunun kümeleme analizi ile belirlenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa

Baca, H. (2022). *Kümeleme analizi: Türkiye illerinin sektörel bazda kümelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kafkas Üniversitesi, Kars

Bulut, H. (2023). *R uygulamaları ile çok değişkenli istatistiksel yöntemler*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti. DOI: 10.19113/sdufenbed.444143

Çelik, Ş. (2013). Kümeleme analizi ile sağlık göstergelerine göre Türkiye'deki illerin sınıflandırılması. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, *14(2)*,175-194

Çemrek, F. (2016). Türkiye'deki illerin çevresel göstergeler bakımından incelenmesi: istatistiksel yaklaşım, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi, 9(1)*,18-25

Everitt, B. S. Landau, S. Leese, M. Stahl, D. (2011). *Cluster Analysis. 5th Edition*. United Kingdom: John Wiley and Sons. Ltd.

Hair, J. F. Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. ve Tatham, R. L. (2014). *Multivariate Data Analysis.* USA: Pearson.

Özen, H.A. (2022). Türkiye'deki çevresel göstergelerin istatistiksel açıdan değerlendirilmesi, *OMÜ Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi*, *2(1)*,67-81.

Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A Graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics, 20*, 53-65. https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7

Seber, G. A. (2009). *Multivariate Observations*. USA: John Wiley ve Sons, Inc

Tunali, D., (2023). Evaluation of municipalities provided waste services in Turkiye with cluster analysis. PressAcademia Procedia (PAP), 17, 202-203. http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2023.1785

TÜİK. (2023). Atık İstatistikleri, 2022. Erişim: 11 Nisan 2024, https://www.tuik.gov.tr/

TÜİK. (2023. Su ve Atıksu İstatistikleri, 2022. Erişim: 11 Nisan 2024, https://www.tuik.gov.tr/

Zülfikar, H., Belen N. (2014). Belediyeler ve çevre hizmetleri üzerine analitik bir bakış: Türkiye örneği, *Journal of Social Policy Conferences*,66-67 (1-2),75-100

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Endüstriyel Kuruluşlarda Gürültü Kirliliği, İç Ortam Hava Kalitesi ve Aydınlatma Etkinliği Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Semih Çağrı YAĞCIOĞLU[1]
Murat SOLAK[2]

Özet

Endüstriyel üretim yapan firmalarda iç ortamın durumu farklı parametrelerle incelenmektedir. İç ortam durumunun değerlendirilmesinde iç ortam hava kalitesi, gürültü kirliliği ve aydınlatma etkinliği gibi parametreler kullanılmaktadır. İç ortamın durumu çalışan sağlığını ve dolayısıyla üretim verimini önemli ölçüde etkilemektedir. İşletmelerde iç ortam hava kalitesi üretilen ürünün kapsamına göre değişmektedir. İç ortam hava kalitesi CO_2, PM (Partikül Madde) gibi parametrelerle belirlenmektedir. İç ortamdaki gürültü kirliliği de işletmelerde çalışanların sağlığı açısından ele alınması gereken bir diğer parametredir. İSG kapsamında değerlendirilen gürültü kirliliği ilgili yönetmelikler kapsamında değerlendirilmektedir. İşyerlerinin aydınlatma etkinliği yapılan işin verimi, çalışanların göz sağlığı ve tüketilen enerjiyi etkilediğinden ölçümlenmesi gereken bir diğer parametredir. Bu nedenle yeterli aydınlatmanın sağlanması, fazla aydınlatmanın enerji tüketimini artırmasından ve çevresel sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada iç ortam durumunun belirlendiği parametrelerin önemi, hangi yönetmelikler kapsamında değerlendirildiği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç ortam hava kalitesi, aydınlatma etkinliği, gürültü kirliliği

[1] Yüksek Lisans Öğrencisi Semih Çağrı YAĞCIOĞLU, Düzce Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Orcıd: 0009-0002-6876-2231
[2] Doç. Dr. Murat SOLAK, Düzce Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Orcıd: 0000-0003-1542-1599

ISBN: 978-625-372-170-1

1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde hızla artan nüfus, ihtiyaçların artmasıyla birlikte endüstrileşmeyi beraberinde getirmiştir. 18. yüzyılda Büyük Britanya'da başlayan sanayi devrimiyle birlikte çalışma hayatına el emeğinin yanı sıra makineleşmeninde gelişmesi, mevcut iş hacimlerinin artmasına neden olmuştur. Sürekli artan tüketici talebi ve buna bağlı olarak hızlı üretimin oluşturduğu olumsuz çalışma koşullarında, sanayi toplumlarının en önemli sorunları iş kazaları ve meslek hastalıklarının artması, üretim faaliyetleri, çevre kirliliğinin ve doğal kaynakların azalması olmuştur. Bu problemler iş sağlığı ve güvenliği, çevre kirliliği, çevre mühendisliği, sürdürülebilirlik gibi birçok kavramın hayatımıza girmesine neden olmuştur.

İş sağlığı ve güvenliği, bilim ve meslek dallarında temel olarak çalışma koşullarının analizi, çalışma koşullarının çalışanların sağlığı ve mutluluğu üzerindeki etkisi, işle ilgili tehlike ve risk faktörlerinin azaltılması ve iş performansının ölçülmesi amacıyla yapılan işlemler olarak tanımlanmaktadır (P.Arezes 2012). Çevre mühendisliği, doğal kaynakların kullanımına ve insan sağlığına uygun çevre koşullarının yaratılmasına odaklanan bir teknoloji alanıdır. Diğer teknik alanlardan farklı olarak doğal kaynakları tüketmek yerine, doğaya sahip olduğunu geri vermeye çalışan mühendisliktir (M. Karpuzcu, 2007).

Endüstriyel tesislerde, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) alanında yapılan çalışmalar, çalışanların refahının sağlanması ve güvenli bir çalışma ortamının teşvik edilmesi açısından her zaman büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmalar işyeri tehlikelerinin belirlenmesi, risk değerlendirmeleri, İSG mevzuatlarına uyum, uygun güvenlik tedbirlerinin uygulanması gibi geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır (K. Arıcı, 1999).

Bu alanda yapılan araştırmalar; Çalışma ortamının hava kalitesi, sıcaklığı, aydınlatması, gürültü düzeyi, konumu, düzeni ve konforunun işçi verimliliğinin sağlanmasında, iş kazalarının azaltılmasında ve çalışma ortamının iyileştirilmesinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Ülkeler, bu parametreler için çeşitli yönetmelik ve standartlar ile sınır değerler belirlemiştir. İşletmelerin, çalışanlarının sağlığını ve konforunu sağlaması ve yaşanılabilecek çeşitli risklerin önüne geçebilmesi için bu parametrelere dikkat etmesi, verilen sınır değerlere uyması gerekmektedir. Bu parametrelerin bilinmesi çevresel açıdan da enerji verimliliğinin sağlanması açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada iç ortam hava kalitesi, gürültü ve aydınlatma şiddeti parametrelerin önemi ve bu parametrelerin değerlendirildiği düzenlemeler incelenmiştir.

2. İşletmelerde Gürültü Kirliliği ve Önemi

Fabrikalardaki iç ortam gürültü kirliliği çalışanlar açısından önemli bir konudur. Endüstriyel iç ortamlardaki gürültü kirliliğinin geçmişi, fabrikaların ortaya çıkmaya başladığı Sanayi Devrimi'ne kadar uzanmaktadır. Makine ve üretim süreçlerindeki artış, bu tesislerde yüksek düzeyde gürültüye neden olmaktadır. Teknoloji ilerlemesiyle birlikte fabrikalardaki gürültü seviyeleri artmaya devam etmiş ve işçiler ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olmuştur(A.L. Bronzaft, 2000).

Fabrikalarda iç ortam gürültü kirliliğinin etkisi sadece çalışanların fiziksel ve zihinsel sağlığını etkilemenin yanında işyerinin genel verimliliği ve güvenliği üzerinde de etkileri vardır. Yüksek düzeyde gürültü iletişimi engelleyebilir, kaza riskini artırabilir ve iş tatmininde genel bir düşüşe neden olabilir (F.R. Job, 2012).

Olumlu bir perspektiften bakıldığında, fabrikalardaki iç ortam gürültü kirliliğinin ele alınması, çalışma koşullarının iyileştirilmesine, verimliliğin artmasına ve işçiler için daha iyi

genel sağlık sonuçlarına yol açabilir. Şirketler, ses geçirmezlik çalışmaları yürüterek, daha sessiz makineler kullanarak ve kulak koruma ekipmanları sağlayarak çalışanlar için daha güvenli ve daha rahat bir ortam geliştirebilir. Ayrıca gürültü kirliliğini azaltmanın önemi konusunda farkındalığın artırılması, gürültünün etkilerini hafifletmeyi amaçlayan düzenleme ve politikalara yönelik kamu desteğinin artmasını sağlayabilir(F.R. Job, 2012).

2.1. Gürültü Kirliliği

Gürültü, son çeyrek asırda büyük ölçüde insanların huzurunu ve işitme sağlıklarını olumsuz yönde etkileyen bir etken haline gelmiştir. Tanım olarak gürültü, insan sağlığına ve refahına geçici veya kalıcı zarar veren sesler veya "Hoş olmayan veya rahatsız edici hislere neden olan akustik bir olay veya istenmeyen ses grubu." olarak tanımlanabilir. Teknolojinin gelişmesi ve yaşam standartlarının hızla artmasıyla birlikte gürültüye neden olan kaynaklar ve bu kaynakların etki ettiği alanlar da hızla artmıştır. Kamu araçları, sayıları her geçen gün artan özel araçlar, işyerleri ve fabrikaların yanı sıra mutfaktaki elektrikli aletler, havalandırma üniteleri ve konforlu bir yaşam için kullanılan aletlerde insan sağlığını etkileyen gürültü kaynakları olmuşlardır. Bu sebeple "çevre kirleticiler" arasında "gürültü" kavramı da yerini almıştır (N. Çepel, 1998).

2.1.1. Gürültü Seviyeleri

Gürültü seviyesi sınıfları farklı gürültü seviyelerine göre "dB(A)" olarak 4 ana sınıfa ayrılmaktadır. Bu gürültü yoğunluğu sınıfları gürültü rahatsızlığı ile canlılar arasında yer alan ekolojik ilişkilere de açıklık getirmektedir. Bu sınıflar şu şekilde sunulabilirler. (Barner, 1983).

2.1.2. 1. Gürültü Seviyesi

Gürültü şiddeti 30-59 dB(A) olan sesleri kapsar. Bir kişi bu düzeydeki gürültüyü zarar görmeden tolere edebilir. Ancak 45-50 dB(A) gürültü, uykusu hafif olanlarda rahatsızlık yaratabilir (Barner, 1983).

2.1.3. 2. Gürültü Seviyesi

Gürültü yoğunluğu 60 ila 89 dB(A) arasında değişir. Gürültü rahatsızlık eşiği 80 dB(A)'dan başladığından, kişilerin işitme organlarını 85 dB(A) gürültü seviyesinde koruyan cihazların kullanılması gerekmektedir (Barner, 1983).

2.1.4. 3. Gürültü Seviyesi

Gürültü yoğunluğu 90-120 dB(A)'dır. Bu gürültü seviyesinde ciddi işitme kaybı meydana gelir. Temel olarak ağrı eşiği 130 dB(A) olarak kabul edilir (Barner, 1983).

2.1.5. 4. Gürültü Seviyesi

Bunlar gürültü yoğunluğunun 130 dB(A)'nın üzerinde olduğu durumlardır. Bu, bir kişinin tolere edemeyeceği gürültü yoğunluğu seviyesidir. Bu da insanların işitme organlarında basınç hasarına neden olur (Barner, 1983).

2.2.Gürültü Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Endüstriyel firmalarda kullanılan makine, alet ve ekipmanların yüksek hızlarda (4000-7000 rpm) çalışması çalışanlar için tempolu ve hızlı bir iş hayatına neden olmaktadır. İşverenlerin özellikle sağlık ve güvenlik konularındaki ihmalleri çoğu zaman iş kazaları ve meslek hastalıkları gibi sorunlara yol açmaktadır. Mesleki işitme kaybı ve gürültüye bağlı sağlık sorunları, 8-12 saat gibi uzun çalışma saatlerinin gürültüye maruz kalma eylem değeri olan 85 dBA'yı aştığı endüstrilerde en sık görülen mesleki rahatsızlıklardan biri haline gelmiştir (Ulukaya ve Çögenli, 2020).

Gürültü seviyelerinin daha yüksek olduğu tesisler:

1- Tekstil ve Dokuma Tesisleri

2- Madencilik Tesisleri

3- Kağıt Tesisleri

4- Metal İşleme Tesisleri

5- Havayolları ve Havacılık Faaliyetleri

6- Ahşap İşleme Tesisleri

7- Otomotiv Tesisleri

Kullanılan makinelerin gürültülü çalışması ve proseslerde (kaynakçılık, metal kesme, CNC işlemleri vb.) kullanılan hammadde ve aletlerin yapısından dolayı bu alanlarda üretim yapan tesislerde gürültü diğer sektörlerdeki tesislere göre daha fazla görülmektedir (Ulukaya Çögenli 2020).

Gürültü kirliliği insanları fiziksel, fizyolojik, psikolojik ve çalışma yeteneği açısından olumsuz etkilemektedir.

Gürültü rahatsızlıklarına neden olan gürültü yoğunluk seviyeleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. *Gürültü şiddetleri ve insan sağlığına olan etkileri*

Gürültü Şiddeti Db(A)	**Gözlemlenen Etkiler**
30	Uykusuzluk Başlangıcı
30-65	Öfke, Kızgınlık, Uyku Bozukluğu, Zihinsel Yorgunluk, Konsantrasyonun Yitirilmesi.
65-90	Solunumun Hızlanması, Kalp Atışlarında Zayıflıklar, Baş Dönmesi ve Baş Ağrısı, Ani Gelen Refleksler
90-120	Sürekli Rahatsız Hissedilmesi, Fizyolojik Tepkilerde Artış
120-140	Dış Kulağın Ciddi Seviyede Zarar Görmesi, Dengede Bozukluklar
140-180	Ciddi Derecede Beyin Tahribatı
>180	Kulak Zarının Patlaması

2.3. Gürültü Kirliliğinin Yönetmelik Açısından Değerlendirilmesi

Sanayileşmiş ülkeler gürültü sorununu çözmeye ve gerekli önlemleri uygulamaya 60-70 yıl önce başlamışlardır. Ancak ülkemizde bu sorunun çözümlenmesi ve ciddi yasal düzenlemelerin yapılması içinde bulunduğumuz yıllara kadar sürmüştür.

Gürültü standartları ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Birçok gelişmiş ülkede kabul edilebilir maksimum gürültü seviyesi 85 veya 90 dB(A)'dır. (Maruziyet haftanın 5 günü, sekiz saat sürüyorsa) 85 dB(A) değeri Avrupa ülkelerinde daha sık kullanılmaktadır (J. Acoust Soc. Am.53, 1211-1234,1973).

Kabul edilebilir gürültü seviyesi (kabul edilebilir işitme kaybı), kişinin ses seviyesi düşük bir ortamda 1,5 metre mesafeden günlük konuşmaları anlamakta zorlandığı noktadır. Tipik olarak bu, 500, 1000 ve 2000 Hz'de ortalama 25 dB'ye karşılık gelir. Bu, Amerikan Oftalmoloji ve Kulak Burun Boğaz Akademisi'nin tanımıdır (J. Acoust Soc. Am.53, 1211-1234,1973).

Ülkemizde 30 Kasım 2022 tarih ve 32029 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Çevresel Gürültünün Kontrolü Yönetmeliği" uygulanmaktadır. Amaç, çevresel gürültünün firmalardan kaynaklanan gürültünün alıcılar üzerindeki zararlı etkilerinin önlenmesidir. çevre. . Çevre ve insan sağlığına önem vermek ve çevresel gürültüyü azaltmak için gürültü kontrol önlemlerini uygulamak. Bu yönetmelik, ev içi faaliyetlerden kaynaklanan

gürültüyü, komşulardan kaynaklanan gürültüyü, çalışanların işyerlerinde maruz kaldıkları gürültüyü, ulaşım araçlarından kaynaklanan gürültüyü veya askeri bölgelerdeki askeri faaliyetlerden kaynaklanan gürültüyü kapsamamaktadır. (RG 30.11.2022-32029).

Bu yönetmeliğe göre çevresel gürültü sınır değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. *Çevresel Gürültü Düzeyi Sınır Değerleri*

Gürültü Kaynağı	**Ölçülen Parametre**	**Çevresel Gürültü Düzeyi**		
		Gündüz	**Akşam**	**Gece**
Endüstri tesisleri, ulaşım kaynakları	$LA_{eq,5min.}$	65 dB(A)	60 dB(A)	55 dB(A)
Müzik yayını yapan işyerleri (1)	$LA_{eq\ 63\text{-}250\ Hz}$	60 dB(A)	55 dB(A)	50 dB(A)
İşyerleri (2)	$LA_{eq,5min.}$	Arka plan + 5 dB(A)		Arka plan + 3 dB(A)
Birden çok işyeri olması halinde (3)	$LA_{eq,5min.}$	Arka plan + 7 dB(A)		Arka plan + 5 dB(A)
Tüm kaynaklar	LCmax	100 dB(C)		

20/6/2012 tarihli ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında yer alan işletmelerde çalışanların gürültüye maruz kalmaları sonucunda gerçekleşebilecek sağlık ve güvenlik risklerinden, özellikle işitme ile ilgili risklerden korunmaları için asgari gereklilikleri açıklayan 28.07.2013 tarihli ve 28721 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlülüğe giren ''Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik'' işletmelerde çalışanların gürültü maruziyet sınır değerini 87 dB(A) olarak belirlemiştir. Eğer maruziyet değeri, sınır değerden yüksek ise işverenler yeterli kulak koruyucu donanımların, çalışanlar tarafından kullanılmasını sağlamakla ve denetlemekle yükümlüdür (RG, 28.07.2013-28721).

3. İşletmelerde İç Ortam Hava Kalitesi ve Önemi

İç ortam hava kalitesi (IAQ), özellikle binada bulunanların sağlığı ve konforu göz önünde bulundurularak binalardaki ve çevresindeki hava kalitesini ifade etmektedir. Tarihsel olarak ticari ortamlarda iç ortam hava kalitesi büyük ölçüde göz ardı edilmiştir. Ancak iç ortam hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkilerine ilişkin araştırmaların ve farkındalığın artmasıyla birlikte şirketlerde iç ortam hava kalitesinin iyi tutulmasının gerekliliği belirlenmiştir. (J. Sundell, 2004).

Düşük iç hava kalitesi, çalışanlarda solunum sorunları, alerjiler ve genel rahatsızlıklar gibi çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu, çalışanlarda devamsızlığa, daha düşük üretkenliğe ve daha yüksek sağlık harcamalarına yol açabilir. Öte yandan, iç ortam hava kalitesinin iyi düzeyde tutulması, daha sağlıklı ve daha üretken bir iş gücüne yol açabilir, devamsızlığı azaltabilir ve genel iş performansını iyileştirebilir (J. Sundell, 2004).

İç ortam hava kalitesini ön planda tutan şirketler, çalışanları için daha konforlu ve elverişli bir çalışma ortamı geliştirebilir. Şirketler, düzenli hava kalitesi değerlendirmeleri, yeterli havalandırma sistemleri ve hava temizleme cihazlarının kullanımı gibi önlemleri uygulayarak çalışanlarının sağlıklı ve güvenli bir ortamda çalışmasını sağlayabilmktedirler. İyi iç ortam hava kalitesini korumanın faydalarına rağmen, işletmeler etkili hava kalitesi yönetimi stratejilerini uygulamada zorluklarla karşılaşabilirler. Bu zorluklar arasında hava kalitesi izleme sistemlerinin uygulanmasının maliyeti, havalandırma sistemlerinin düzenli bakım ihtiyacı ve eski binalarda iç ortam hava kalitesi sorunlarıyla baş etmenin karmaşıklığı yer almaktadır. Ancak doğru stratejiler ve kararlılıkla şirketler bu zorlukların üstesinden gelebilir ve çalışanları için daha sağlıklı bir iç ortam yaratabilirler (A. Persily, 2007).

3.1. İç Ortam Hava Kalitesi Parametreleri

İç ortamda geçirilen sürenin artması nedeniyle iç ortam hava kalitesi dünya çapında önem taşımaktadır. 1992 yılında Dünya Bankası, iç ortam hava kirliliği için gelişmekte olan ülkeler için en önemli dört çevre sorunlarından biri olarak tanımlamıştır. İç ortam hava kirliliği iki temel kaynaktan gelmektedir: İç ortamdaki kimyasallardan ve faaliyetlerden kaynaklanan kirlilik ve dış ortamdan iç ortama akan kirleticilerden kaynaklanan kirlilik (ASRAE, 1997).

Sürekli değişen çeşitli faktörlerin etkileşimi sonucu oluştuğu için kesin olarak tanımlanamayan iç ortam hava kalitesine "Normal koşullarda belli karışımlara sahip olan ve içinde insan sağlığı için zararlı madde içermeyen hava" olarak tanımlanır. ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning) 62-1989 ve 2001 standardı ise "kabul edilebilir iç hava kalitesi" olarak isimlendirilen iç hava kalitesini, "içinde, bilinen kirleticilerin konsantrasyonlarının, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı düzeylerde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği havadır" şeklinde ifade etmektedir (ASRAE, 1997).

İç ortamdaki hava kalitesini düşüren ve kirleten zararlı maddeler ancak farklı gruplara ayrılarak tanımlanabilmektedir. İç ortam hava kalitesini bozan kirletici grupları şu şekilde sıralanabilir.

1. Solunan havadaki karbondioksit miktarı (İnsanların ve canlıların nefes alması ve yanma reaksiyonları nedeniyle)
2. Koku (insan kaynaklı)
3. Mikroorganizmalar (çevre ve insan kaynaklı)
4. Nem (yemek pişirme gibi çevre ve insan kaynaklı)
5. Radon gazı (toprak kaynaklı)
6. Organik buharlar (kullanılan eşyalardan ve bina malzemelerinden kaynaklı)
7. Toz (Çevre ve kullanılan eşyalardan kaynaklı)
8. Alerjenlere maddeler ve organizmalar (çevre kaynaklı)
9. Sigara dumanı (insan kaynaklı)
10. Diğer kaynaklar

İç ortam havasını kirletici bir madde olan CO_2, dış ortamdaki havada çok az miktarda bulunur. Ancak miktarı ve değişkenliği nedeniyle esansiyel bir gazdır. Dış ortamdaki CO_2'nin ana kaynakları insanlar, fabrika ve ev gibi binaların bacaları, volkanizma ve doğal maden sularıdır. Fosil yakıtların enerji amaçlı kullanımı CO_2 miktarını %80 oranında artırmaktadır. Geri kalanı ise canlıların solunumu ve organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından parçalanması sonucu oluşur (ASRAE, 1997).

Son dönemde ormansızlaşma nedeniyle atmosferdeki karbondioksit miktarı da önemli ölçüde artmıştır ve bu da çevredeki CO_2 kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir. İç ortamdaki karbondioksitin temel kaynakları sızdıran bacalar, kazanlar, , odun sobaları, yanan yüzeyler, garaj egzozu ve sigara dumanı olmasına rağmen mevcut CO_2 seviyeleri çok daha yüksek seviyelere çıkabilmektedir. Kapalı ortamda insan sayısı artmakta ve yeterli havalandırma sağlanamamaktadır. Dış ortamdaki karbondioksit miktarı 300-400 ppm'dir (ASRAE, 1997).

İşyerlerinde izin verilen uluslararası maksimum CO_2 konsantrasyonu 5000 ppm'dir. Ancak günümüzde kapalı ortamlarda 1.000 ppm seviyelerine ulaşıldığında orada yaşayanlardan şikayet ve şikâyetlerin başladığı gözlemlenmiştir. EPA ve WHO, CO_2 için 1000 ppm'i geçmeyecek şekilde bir üst sınır belirlemiştir. CO_2'nin neden olduğu sağlık etkileri arasında baş ağrısı, iştah kaybı, göz, burun ve boğaz tahrişi ve üst solunum yolu tahrişi yer alır (ASRAE, 1997).

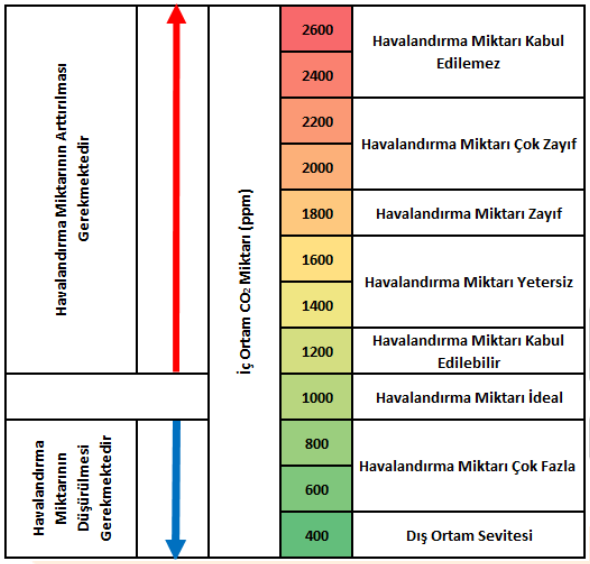
3.2. İç Ortam Hava Kalitesinin Yönetmelik Açısından Değerlendirilmesi

Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) bir parçası olan İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı'nın (OSHA) iç mekan hava kalitesini ölçmek için genel bir standardı yoktur. Hava

Kalitesi İndeksi (AQI), Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından oluşturulan standart değerlerden ve ulusal sınırlara dönüştürülmüş değerlerden oluşur. Kullandığımız Ulusal Hava Kalitesi Endeksi, EPA'nın beş temel kirletici parametresinden oluşan Hava Kalitesi Endeksi incelenerek oluşturulmuş bir endekstir. Hava kalitesi endeksi, partikül madde (PM10), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO_2), nitrojen dioksit (NO_2) ve ozon (O_3) için hesaplanır..(H. Bulut, 2012).

EPA ayrıca iç mekan hava kalitesini ölçmek için standartlar oluşturmuştur. İç mekan hava kalitesini, iç sıcaklığı (T), bağıl nemi (RH), hava hızını, karbondioksiti (CO_2), solunabilir asılı parçacıkları (PM), uçucu organik bileşikleri (VOC), nitrojen oksitleri (NOx), karbon monoksiti (CO), ozon (O_3), kükürt dioksit (SO_2), radon, formaldehit (HCHO) ve bakteri sayısı gibi parametrelerle değerlendirilir. "ASHRAE 2004 standartlarını" kullanan, Türkiye'nin de üyesi olduğu bir dernektir (Walterton vd., 1989).

1000 ppm'lik CO_2 konsantrasyonu, iç mekan hava kalitesinin temel prensibi olarak kabul edilir. CO_2 miktarı bu seviyeden düşükse iç ortam havası kabul edilebilir iç hava kalitesindedir. 1000 ppm CO_2 miktarına Pettenkofer sayısı da denir. 1000 ppm'in üzerindeki karbondioksit seviyesi, yeterli iç mekan havası elde etmek için havalandırmanın yeterli olmadığını gösterir. 600 ppm'nin altındaki karbondioksit seviyesi havalandırmanın azaltılabileceğini ve enerji tasarrufu yapılabileceğini gösterir. Şekil 1. de CO_2 seviyesi ile havalandırma arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 1. *CO_2 ve Havalandırma İlişkisi*

4. İşletmelerde İç Ortam Aydınlatma Etkinliğinin İncelenmesi

Tarihsel olarak, işletmelerde iç ortam aydınlatmasının önemi, fabrikalarda ve depolarda üretim seviyelerini korumak için yapay aydınlatmanın zorunlu hale geldiği Sanayi Devrimi'ne kadar uzanmaktadır. Akkor ampulün 19. yüzyılın sonlarında Thomas Edison tarafından icadı, iç ortam aydınlatmasında devrim yaratarak onu ticari kullanım için daha erişilebilir ve güvenilir hale getirmiştir. Bu yenilik, işletmelerin çalışma saatlerini uzatmasının ve verimliliği artırmasının önünü açarak önemli bir ekonomik büyümeye yol açmıştır. İşletmelerde iç ortam aydınlatma etkinliğinin etkisi çok yönlü olup, operasyonları ve çalışan performansını çeşitli yönlerden etkilemektedir. Yeterli aydınlatma, rahat ve teşvik edici bir çalışma ortamı yaratabilir, yorgunluğu azaltabilir ve konsantrasyon seviyelerini iyileştirebilir. Buna karşılık zayıf aydınlatma, göz yorgunluğuna, baş ağrılarına ve üretkenliğin azalmasına neden olabilir; bu da ticari ortamlarda uygun aydınlatma tasarımının önemini vurgulamaktadır (Boyce, 2014). İşletmelerde iç ortam aydınlatmasının geleceğinin LED teknolojisindeki gelişmeler, akıllı aydınlatma sistemleri ve sürdürülebilir tasarım uygulamalarındaki gelişmelerle şekillenmesi muhtemeldir. LED aydınlatma, maliyetleri ve çevresel etkiyi azaltan enerji tasarruflu çözümler

sunarken, akıllı aydınlatma sistemleri, optimum performans için uzaktan kontrole ve aydınlatma ayarlarının özelleştirilmesine olanak tanımaktadır. Gün ışığı hasadı ve sensör tabanlı aydınlatma kontrolleri gibi sürdürülebilir tasarım uygulamaları, enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik konusunda artan endişelere yanıt olarak ilgi görmeye devam edecektir (J.A. Veitch, 2001).

İşletmelerde iç ortam aydınlatmasının etkinliğine ilişkin perspektifler açısından, farklı sektörler ve çalışma ortamları için en uygun aydınlatma koşulları konusunda farklı görüşler bulunmaktadır. Bazıları uyanıklığı ve odaklanmayı teşvik etmek için parlak, tekdüze aydınlatmayı savunurken, diğerleri rahat ve sakinleştirici bir atmosfer yaratmak için daha yumuşak, daha doğal aydınlatmayı savunmaktadır. Önemli olan yönetmeliklerdeki sınır değerler, görev gereksinimleri, kişisel tercihler ve enerji verimliliği gibi faktörleri dikkate alarak işletmenin ve çalışanlarının özel ihtiyaçlarını karşılayan bir denge bulmaktır (Veitch, 2001).

4.1. Aydınlatma

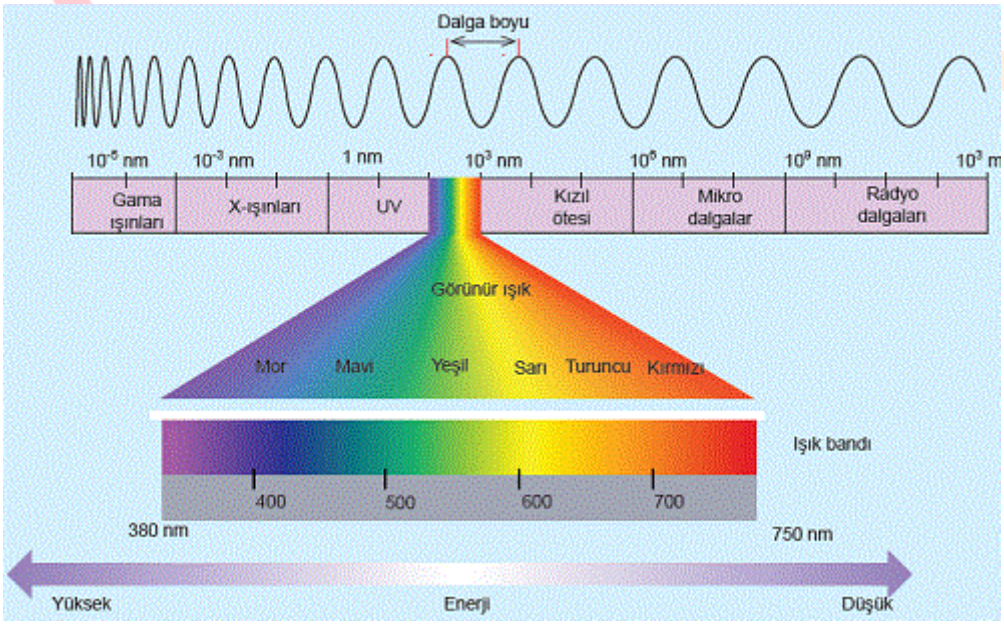
Işık, göz, nesne ve kişi arasındaki ilişkide en önemli unsurdur. Işık etrafımızdaki her şeyi görmemizi sağlar. CIE (Uluslararası Işık Komisyonu) ışığı şu şekilde tanımlamaktadır:

1. Görme organları ile gerçekleştirilen algı duyu faaliyetlerinin tümü,
2. Görme organlarını tetikleyen ışınım,

olarak tanımlanır ve görsel algılama, ışık ve görme ile oluşur (Ünver, 1984).

Güneş, yıldızlar ve aydınlatma gereçleri ışık kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Bunların dışında kalan cisimlerin görünür olabilmesi için herhangi bir ışık kaynağından yeterli miktarda ışık alması gerekir. Işık yaymayan bir nesne belirli şartlar altında oluşturulabilir; Örnek olarak fenerlerde ve lambalarda olduğu gibi ışık kaynağına dönüştürülebilir. Işık bu kaynaklardan açığa çıkan, doğrusal olarak yayılan bir enerji türüdür (Şirel, 1992).

İnsanlar elektromanyetik spektrumun oldukça düşük bir bölümünü görebilmektedir. Bu bölüm mordan kırmızıya kadar değişen renklerden oluşmaktadır. Dalga boylarına bağlı olarak kırmızı en uzun dalga boyuna, mavi-mor ise en kısa dalga boyuna sahip ışık renklerine karşılık gelmektedir (Şekil 2). Renkler, farklı dalga boylarında bulunan ışığın canlı beyninde yarattığı anımsamalardır. Işık kavramı ve renk kavramı ortak paydada değerlendirilmelidir. Görsel algının temel unsurları nesneler, ışık ve görsel algılamayı gerçekleştiren görsel organımız olarak tanımlanan gözdür (Şirel, 1992).



Şekil 2. *Elektromanyetik tayfta görülebilen ışık*

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun tanımına göre aydınlatmanın temel amacı "nesnelerin ve çevrenin yeterli görünürlüğünü sağlamak için ışık kullanmaktır". Aydınlatmanın amacı yukarıda tanımlandığı gibi herhangi bir cismin veya ortamın görsel algısını sağlayabilmektir. Aydınlatma tasarımı yaparken dikkate alınması gereken temel kriterler; aydınlatma miktarı, aydınlatma kalitesi, parlaklık ve yüzey özellikleri. Aydınlatma miktarı aydınlatma düzeyiyle ilgili bir kavramdır. Aydınlatma kalitesi, aydınlatmanın dağılımını, ışığın yönünü, aydınlatmada oluşan gölgeleri ve ışığın rengini ifade eder (Şirel,1992).

Hangi alanın aydınlatıldığı, nasıl bir aydınlatma kullanıldığı, nesnenin veya ortamın fiziksel özellikleri, renkleri, dokusu, hareketli mi yoksa sabit mi olduğu, ortamın içinde mi yoksa dışında mı olduğu, mimarisi, aydınlatmanın miktarını ve dolayısıyla kalitesini belirler. Aydınlatma teknolojisi, tüm bu değişkenler göz önünde bulundurularak aydınlatmanın nasıl bir şekilde yapılması gerektiğini belirleyen teknoloji dalıdır. Dolayısıyla aydınlatma teknolojisi, görsel algının optimum şartlarda oluşmasını sağlamakla birlikte, bunun insan doğasına uygun, inşaat maliyetleri ve işletme maliyetleri açısından en ucuz çözümle mimariye uygun tatmin edici sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır (Şirel, 1991).

Kaliteli ve verimli bir aydınlatma, aydınlatılan alıcı ortama yeterli miktarda ışık gönderilmesiyle mümkündür. Kullanılmayan alanların aydınlatılması ve kullanılan alanların aşırı aydınlatılması enerji israfına neden olurken, yetersiz aydınlatma da ciddi güvenlik ve konfor sorunları oluşturabilmektedir (Ünver, 2001).

Özetle iyi aydınlatma aşağıdaki avantajları sunar.

1. Görme gelişir.
2. Gözün sağlığının korunması sağlanır.
3. İş kazalarında azalma sağlar.
4. Ortamda gerçekleştirilen faaliyetlerin verimliliği artar.
5. Finansal potansiyeli arttırır.
6. Ortam ve birey güvenliği sağlanır.
7. Konforlu ortamlar oluşturulur.

Aydınlatma Tekniği ve teknolojilerinde; aydınlatma ve ışık parametrelerine özel ölçüm, hesaplama ve değerlendirmelerin yapılabilmesi için aşağıda bulunan bazı temel değerler kabul edilmiştir (Ünver, 2001).

4.1.1. Işık Akısı

Işık üreteci tarafından 1 saniyelik zaman diliminde yayılan ışınım akısı enerjisine, üretecin "ışık akısı enerjisi" denmektedir ve (Ø) ile gösterilmektedir. Bu değer ışık üretecinin ışık gücünü gösterir. Birimi “lümen (lm)”dir. Işık akısı, bir ışık kaynağının saniyede yaydığı toplam ışık miktarını ifade eden bir terimdir. İnsan gözünün hassasiyetine göre ışık kaynağının saniyede yaydığı enerjidir. Tablo 3 te bazı ışık kaynaklarından yayılan ışık akısı miktarları gösterilmiştir (M, Ünver, 2001).

Tablo 3. *Bazı Işık Kaynaklarından Yayılan Işık Akısı Miktarları*

Kaynak	**Enerji**	**Akı**
Bisiklet farı	3W	30 lm
Akkor flamanlı lamba	74 W	900 lm
Florasan lamba	65 W	5000 lm
Yüksek basınçlı sodyum buh. lamba	100 W	10000 lm
Alçak basınçlı sodyum buh. Lamba	180 W	32000 lm
Yüksek basınçlı cıva buh. Lamba	1000 W	58000 lm
Metal halojen lamba	2000 W	190000 lm

4.1.2. Işık Şiddeti

Bir ışık kaynağının tek açıda ve belirli bir yönde yaydığı ışık akısının yoğunluğuna, ışık kaynağının "ışık şiddeti" denmektedir. Işık şiddeti "I" harfiyle gösterilmektedir. Birimi "Candela (cd)"dir (Ünver, 2001).

4.1.3. Parıltı Lüminans

Bir ışık kaynağının veya kendi başına ışık yayan veya ışık kaynaklarından alınan ışığı yansıtan, dağıtan veya yayan bir cihazın yüzey biriminin yaydığı ışık gücüne, onun ışık şiddeti (parlaklık) denmektedir. "L" harfiyle gösterilmektedir. Birimi "Stilb (sb)", "cd/cm^2'dir. Daha küçük birimi ise "Apostilb (asb)"dir. Çevremizdeki nesneler yalnızca belirli yüzeylerdeki parlaklıklarıyla görüntü oluştururlar. Gözle en kolay görülebilen yüzeyin parlaklığı yaklaşık olarak 200-600 asb değerindedir. Gözün kontrast duyarlılığı ise 200-10.000 asb aralığındadır. (M, Ünver, 2001).

4.1.4. Aydınlık Düzeyi

Aydınlık seviyesi, birim yüzeye düşen ışık akısı miktarıdır. Işık kaynağından yüzeye gelen ışık akısı yüzey alanına (m^2) bölünerek o yüzeyin m^2 cinsinden ışık seviyesi elde edilir. (E) olarak gösterilmektedir. Birimi "lüks"tür. (M, Ünver, 2001). Tablo 4'te aydınlık düzeylerine ilişkin örnek değerleri görülmektedir.

Tablo 4. *Aydınlık düzeylerine ilişkin örnek değerler*

Yazın öğle saatler (bulutsuz bir hava)	100000 lx
Yol aydınlatması	5-30 lx
Açık bir gecede dolunay	5-25 lx

Aydınlatmada kullanılmakta olan ışığın kaynağına ve aydınlatılması amaçlanan ortamın özelliklerine göre birçok farklı aydınlatma türü bulunmaktadır. Kullanılmakta olan ışık kaynağına göre doğal aydınlatma ve yapay aydınlatma, aydınlatılacak ortama göre ise iç aydınlatma ve dış aydınlatma kavramları bulunmaktadır. Doğal aydınlatmada kaynak güneş ışığıdır. Dolayısıyla bu tür aydınlatmalarda temel amaç doğadan gelen ışığın etkin bir şekilde kullanılmasıdır. Yapay aydınlatmada elektrikli ışık kaynakları kullanılır. İç aydınlatmada temel amaç kapalı ortamların aydınlatılmasının sağlanmasıdır. evler, sinema salonları, hastaneler, işyerleri gibi ortamların aydınlatılması iç aydınlatma kapsamındadır. Dış aydınlatmanın hedef alanı ise açık ortamlar olup yollar, parklar, umumi alanlar ve araç park alanları gibi açık alanların aydınlatılmasını kapsamaktadır (Özkaya, 2000). Bir endüstride veya ofiste uygun aydınlatma işin yapımını kolaylaştırır. Parlama ve gölgeler olmadan yeterli aydınlatma, göz yorgunluğunu ve baş ağrılarını azaltır. Hareketli makina aksamlarının yeterli aydınlatılması yaşanılabilecek iş kazaların önüne geçilmesi hususunda yardımcı olmaktadır. Verimli bir aydınlatma sistemi aynı zamanda aydınlık ortamdan karanlık ortama geçişte meydana gelen "geçici körlük" nedeniyle meydana gelen kazaları da azaltma potansiyelini azaltmaktadır (Güler, 2003).

4.2. Aydınlatma Veriminin Yönetmelik Açısından Değerlendirilmesi

Türkiye'de "İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik" ine göre iş yeri aydınlatmasının değerlendirmesinde TS EN 12464 standart serisi esas alınmaktadır. 12464-1 numaralı standart ilk kez, Avrupa Standartlar Komitesi'nin Işık ve Aydınlatma başlıklı 169 Numaralı Teknik Komitesi (CEN/TC 169) nin 2 numaralı çalışma grubu (WG2) tarafından oluşturulmuş ve 2002 yılında yayımlamıştır. Standardın, birinci revizyonu 2011, ikinci revizyonu 2021 yılında yapılmıştır. Üye ülkelerin Şubat 2022'e

kadar onay vermeleri istenmiştir. Ülkemiz adına üye kuruluş olan TSE, 30 Eylül 2021 de standardı onaylamış ve "ulusal standart" olarak yayımlamıştır (TS EN 12464-1 2021).

Standart; İşyerinin bölümlerine ve yapılan işin niteliğine göre parlaklık dağılım değerini, parlaklık sınırını ve rengin görsellik değerini belirlemiştir. Bu standart iş sağlığı ve güvenliği mevzuatını kapsamamaktadır (TS EN 12464-1 2021).

Standartta belirtilen aydınlatma kriterleri; Yansıtma Oranı(%), Aydınlık Düzeyi (Lx), Kamaşma (UGRL), Doğrudan Aydınlatma, Dolaylı Aydınlatma, Işığın Renk Sıcaklığı(K), Renksel Geri Verim (CRI) ve Gün Işığıdır (TS EN 12464-1 2021).

Tablo 5,6 ve 7 de TS EN 12464-1 2021 standardında yer alan bazı endüstriyel sektörler ve hizmet sektörleri için belirlenmiş olan minimum aydınlatma düzeyleri gösterilmiştir.

Tablo 5. *Kimya Endüstrileri ve Çimento Endüstrileri İçin Minimum Aydınlatma Düzeyleri*

Kimya Endüstrisi, Plastik ve Lastik	**Aydınlatma Düzeyi (Lx)**
İnsan Gücü Gerektiren Üretim Prosesleri	100
İçinde Devamlı Personelin Çalışmakta Olduğu İş İstasyonları	200
Kontrol Ve Gözlem Noktaları	300
Laboratuarlar, Paketleme Yapılan Yerler	300
Görsel Konsantrasyon Gerektiren İşler	500
Renk Kontrolleri	1000
Çimento Endüstrisi, Seramik ve Cam Cement	**Aydınlatma Düzeyi (Lx)**
Fırınlar, Mikserler Ve Tuğla İşlemede İş İstasyonları	200
Öğütme, Cilalama, Karmaşık Parçaların Kalıplanması	300
Emaye Kaplama, Yuvarlama, Presleme, Döküm	500
Mercek Kesimi, Cam Kesimi, Orta Hassaslıktaki İşler	750
Çok İnce İşler	1000

Tablo 6. *Çelik Üretimi ve Hastaneler İçin Minimum Aydınlatma Düzeyleri*

Çelik Üretimi, Haddehaneler, Fırınlar	**Aydınlatma Düzeyi (Lx)**
Otomatik Üretim Prosesi	50
İnsan Desteği Gerektiren Üretim Prosesi	100
İçinde Devamlı İnsanların Çalıştığı İş İstasyonları	200
Kontrol Ve Gözleme Noktaları	300
Rest Noktaları Ve Kontrol	400
Hastaneler	**Aydınlatma Düzeyi (Lx)**
Gündüz	200
Muayene Odaları	500
Personel Odaları	100
Laboratuarlar	500

Tablo 7. *Tesis İçi Gezinme Alanları Ve Tuvalet Temizlik İlkyardım Bölümleri İçin Minimum Aydınlatma Değerleri*

Tesis İçi Gezinme Alanları	**Aydınlatma Düzeyi (Lx)**
Personel İçin	50
Personel Ve Araçlar İçin	100
Merdiven, Rampalar, Hareketli Merdivenler	100
Yükleme Rampaları, Otomatik Konveyörler	100
Trafik Alanındaki Konveyörler	100
Tuvalet, Temizlik, İlkyardım Bölümleri	**Aydınlatma Düzeyi (Lx)**
Kantinler	200
Sigara Ve Dinleme Odaları	100
Rekreasyon Odaları	300
Duşlar, Tuvaletler, Soyunma Odaları	100
Revir Ve İlkyardım Odaları	500

5. Sonuç ve Öneriler

Endüstriyel işletmeler üretim süreçlerinde üretilen ürünlerin kalitesi, verimliliği ve niceliği konuları üzerinde durmaktadırlar. Ürün üretim sürecinde çalışanların farklı motivasyon kaynakları olsa da işin verimliliği açısından göz önünde bulundurulması gereken önemli bir konuda endüstriyel firmaların üretim yaptıkları iç ortamdaki durumun çalışanlar açısından değerlendirilmesidir. İç ortam durumu, iç ortam hava kalitesi, iç ortamdaki gürültü kirliliği ve iç ortam aydınlatma etkinliği gibi parametreler ile değerlendirilmektedir. Literatürde çeşitli endüstriyel firmalar için iç ortam durumunun belirlendiği parametrelerin ayrı ayrı incelendiği çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, iç ortam durumunun bütünsel olarak hem çalışan sağlığı hem de çevresel faktörler açısından incelendiği çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür.

Endüstri kuruluşlarında iç ortam gürültü kirliliğinin etkileri sadece çalışanların fiziksel ve zihinsel sağlığı ile sınırlı değildir, aynı zamanda işyerinin genel verimliliği ve güvenliği üzerinde de etkileri olduğu da bilinmektedir. Yüksek düzeyde gürültü sağlıklı ve etkili iletişimi engelleyebilir, iş kazası riskini artırabilir ve çalışanların motivasyon ve tatmininde genel bir düşüşe neden olabilir.

Gürültü seviyesi yüksek olan endüstri kuruluşlarında projelendirme aşamasında alınacak önlemler ile ısı, gürültü ve yangından korunma çözümleri bir arada uygulama başarısını artırmakta ve yatırım maliyetlerini düşürmektedir. Üretim prosesleri için makina ve ekipman seçilirken cihazların gürültü değerleri dikkatle kontrol edilmelidir. Makine yerleşimlerinde aynı gürültü seviyesine sahip makine ve ekipmanlar sürecin izin verdiği ölçüde tek bir bölüme yerleştirilmelidir.

Yeni kurulacak olan endüstriyel kuruluşlar için (Gürültü kontrol izin belgesine tabi işletmeler A ve B listeleri) yönetmelikte yer alan şartların sağlanması gerekmektedir. Halihazırda var olan tesislerde alınacak önlemler, daha maliyetli ve yapımı zorlu olabilir. Bu tesislerde de renovasyon çalışmaları, ilgili yönetmeliklerdeki sınır değerler, teknolojik gelişmeler, alanında uzman kişiler ve çalışan geribildirimleri önemle dikkate alınarak yapılmalıdır.

Düşük iç hava kalitesi, çalışanlarda solunum yolu sorunları, alerjiler ve genel rahatsızlıklar gibi çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu, çalışanlarda devamsızlığa, daha düşük üretkenliğe ve daha yüksek sağlık harcamalarına yol açabilir. Öte yandan, iç ortam hava kalitesinin iyi düzeyde tutulması, daha sağlıklı ve daha üretken bir iş

gücü sağlar, devamsızlığı azaltır ve genel iş performansını iyileştirir. İyi bir havalandırma sisteminin kurulması hem çalışan sağlığının hem de enerji verimliliğinin arttırılması açısından önem arz etmektedir. Havalandırma sistemlerine eklenecek olan hava kalitesi ölçüm cihazları ile iç ortam havası gözlemlenerek otomasyon sağlanması ile fazla havalandırmanın önüne geçilebilir. Böylelikle sistemin harcadığı elektrik enerjisi düşürülebilir. Ancak iç ortam havası değerlendirilirken işletme içerisinde oluşan emisyonlara dikkat edilmesi gerekmektedir. İşletmede kaçak emisyonlar mevcut ise bu sıklıkla kullanılan CO_2 sensörünün tek başına sağlıklı sonuç vermemesine neden olabilir.

İşletmelerde iç ortam aydınlatma etkinliğinin etkisi çok yönlü olup, operasyonları ve çalışan performansını çeşitli yönlerden etkilemektedir. Yeterli aydınlatma, rahat ve teşvik edici bir çalışma ortamı oluşturulmasına katkı sağlar, yorgunluğu azaltır ve konsantrasyon seviyelerini iyileştirir. Buna karşılık zayıf aydınlatma, göz yorgunluğuna, baş ağrılarına ve üretkenliğin azalmasına ve üretimde hatalar yapılmasına neden olabilir; bu da endüstriyel kuruluşlarda uygun aydınlatma tasarımının önemini vurgulamaktadır. Standartlar dikkate alınarak etkili aydınlatmanın yapılması, çalışılan alanın özelliklerine göre aydınlatma verimliliğinin sağlanması aynı zamanda gereksiz enerji harcamalarının da önüne geçecektir.

Sonuç olarak endüstriyel kuruluşlar, iç ortamlarının hava kalitesi, gürültü ve aydınlatmasını düzenlemek için daha etkili politikalar geliştirmeli ve uygulamalıdır. Bunun için yürürlülükte olan standartların gözönünde bulundurulması gerekmektedir. Endüstriyel kuruluşlar çalışanların iç ortam hava kalitesi, gürültü ve aydınlatmanın sağlık üzerindeki etkileri hakkında bilinçlendirilmesi için eğitim programları düzenlenmelidir. Bu sayede çalışanlar, kendi sağlıklarını korumak adına daha bilinçli davranabilirler. Tesislerde iç ortam koşullarının düzenli olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi olası risklerin erken tespiti ve iyileştirme çalışmalarının sürekli olarak devam etmesini sağlar. İç ortam koşullarını iyileştirmek adına yeni teknolojik gelişmelerin takip edilmesi ve bu gelişmelerin işletmeye entegre edilmesi önemlidir. Yeni teknolojilerle var olan problemlere daha etkili, ekonomik ve sürdürülebilir çözümler bulunabilir. Ayrıca, endüstrilerin iç ortam durumunun tek bir parametre üzerinden değil, çalışan ve iş sağlığını doğrudan etkileyen gürültü, iç ortam hava kalitesi ve aydınlatma etkinliği parametreleri üzerinden entegre olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

Referanslar

P.Arezes, P.Swuste, Occupational Health and Safety post-graduation courses in Europe: A general overview, Safety Science,2012

M. Karpuzcu, Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, 2007

Arıcı, K. (1999), İşçi Sağlığı ve Güvenliği Dersleri, Ankara, ss.1-53

Bronzaft, A. L. (2000). The effect of noise on man. Noise & Health, 2(6), 47-56.

Job, R. F. (2012). Noise sensitivity as a factor influencing human reaction to exposure to noise. Noise & Health, 14(61), 47-56.

Çepel, N., Çevre ve İnsan. Altın Kitaplar Yayını, İstanbul, 1998.

Barner, J., Experimentelle Landschaftsökologie. Ferdinant Enke, Stuttgart 1983.

Ulukaya F. Çögenli M.Z.,(2020) Gürültülü Çalışma Ortamının Çalışanlar Üzerindeki Psikososyal Etkilerinin İncelenmesi: Tekstil Sektöründe Amprik Bir Çalışma, Anadolu Akademi Sosyal Bilimler Dergisi, Sayı:1 Cilt: 2 Sayfa: 131-140.

Kryter, K. D. Impairment to hearing from exposure to noise. J. Acoust Soc. Am. 53, 1211-1234,1973.

Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği Resmî Gazete Tarihi: 30.11.2022 Resmî Gazete Sayısı: 32029.

Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik Resmî Gazete Tarihi: 28.07.2013 Resmî Gazete Sayısı: 28721.

Sundell, J. (2004). On the history of indoor air quality and health. Indoor Air, 14(s7), 51-58.

Persily, A. (2007). Indoor air quality in high performance buildings. ASHRAE journal, 49(9), 25-29.

H. Bulut, Havalandırma ve İç Hava Kalitesi Açısından CO2 Miktarının Analizi. Sablon 2012, Tesisat Mühendisliği - 128, 2012.

B.C. Wolverton, A. Johnson, K Bounds, Interıor Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement Final Report, Sverdrup Technology Inc., NASA Office of Commercial Programs--Technology Utilization Division, and the Associated Landscape Contractors of America (ALCA), 1989.

Boyce, P. (2014). The Impact of Light in Buildings on Human Health. Lighting Research and Technology, 36(3), 255-267.

Veitch, J. A. (2001). Effects of illumination on performance: a design paradox. Ergonomics, 44(4), 345-360.

Ünver, M., Principles Of Illumination Course Lecture Notes, Sakarya, 2001.

Ünver, R., Yapıların İçinde Işık- Renk İlişkisi, Yıldız Ünv. Doktora Tezi, 1984.

Özkaya, M., Aydınlatma Tekniği, İstanbul, 2000.

Şirel, Ş. Aydınlatma Tasarımında Temel Kurallar, Yfu Kitapçık No 07, 1992.

Şirel, Ş. Sistem Dekor Dergisi, Ocak 1991.

Ünver, M., Principles Of Illumination Course Lecture Notes, Sakarya, 2001.

Güler Ç., Ergonomiye Giriş (Ders Notları), Ankara Tabip Odası, Ankara, 2003.

ASRAE Temel El Kitabı (FUNDAMENTALS) “Havada Bulunan Kirletici Maddeler”, TTMD yayını, 1997.

BS EN 12464-1:2021 Light And Lighting. Lighting Of Work Places Indoor Work Places.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Comparison of Electric Powertrain Layouts to Investigate Optimization Solutions

Eren BABAYIGIT[1]
Ecem SAYAN[2]

Abstract

It wasn't long before it was predicted that hybrid electric/gasoline vehicles would become popular in vehicle evolution. However, battery cost has been decreased significantly last 2 decades. Also the new electric vehicle platforms provide more robust solutions for designers. They could find different solutions for different custumers' demands with same electric vehicle platform. In addition to that designers could easily change the subsystems of platform itself according to the different market demands. So, industry have realized that the battery electric vehicles will be more widespread than hybrid electric vehicles and will bring a lot of opportunities to create new products and related markets.For example micro mobility solutions become more widespread with those developments. With the evolution of battery electric vehicles, many traditional components of vehicles have changed with the new components. Major change is happened on the powertrain system of the vehicle. So, power electronic units and coolant and electrical layout have become more important on the vehicle architecture & packaging. Weight, volume, and interaction with the other components have significant role to create more sustainable vehicle packaging. To make simple and most effective design, electric vehicle industry has many different solutions. So, the solutions will be investigated in order to understand logic behind those designs and each role of the solutions.

Keywords: Battery Electric Vehicles, Power Electronic Units, Vehicle Architecture & Packaging Design, Powertrain Layout

[1] Makine Mühendisi, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ArGe Merkezi
[2] Makine Mühendisi, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ArGe Merkezi

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Introduction

Vehicle architecture design or packaging is the one of the most important elements for developing car. Proportions of the vehicle affect design process deeply and main source of creating proportion is packaging activities. Vehicles have a lot of systems and subsystems, and each system needs to be packaged according to product setup. Powertrain system is one of the main systems inside car that affect vehicle architecture highly. With the electric vehicles, electric powertrain still important part of the vehicle architecture layout as in conventional cars.

High voltage system layout and thermal management system layout are the subsystems of electric powertrain, and they have crucial roles for design. This new technology brought a lot of advantages and improvements for automakers. In this research, we will investigate electric powertrain layouts and different solutions of car brands.

2.The Basics of Electric Powertrain Packaging

A lot of engineering assumptions and constraints has changed with electric drivetrain. So, packaging is the main part of this changing. A different mindset is needed when packaging an electric system, than packaging a traditional vehicle. Electric motors are smaller, but traction batteries are fairly big in compared to those of internal combustion systems. If the system can be placed under the floor, for instance, it provides the designer the chance to reduce the length of the vehicle and adjust the proportions.

Because the electric motors are smaller than internal combustion engines, there is a huge opportunity to build vehicles with reduced packaging requirements. Unlike conventional powertrains, which are mechanically coupled and require special handling, the components of the electric powertrain can be spread throughout the package in wide apart places. The fuel or source of electricity is yet another notable distinction. Fuel tanks for conventional cars are quite tiny and can be shaped to place between various components, but traction battery is much larger and heavier. The center of gravity can be lowered as a result, which is advantageous. (Macey & Wardle, 2009)

2.1 Introduction to Electric Powertrain Layout

Powertrain architecture and layout design is affected by cost, performance, manufacturability, mass, service, NVH, reliability, safety etc. Thermal management system layout and high voltage system layout have crucial roles for establishment of those criteria. Electric powertrain includes high voltage battery, power electronics (Inverter, on board charger &DC / DC Converter), auxiliary components (HV Heater & E Compressor), power distribution unit, e motor, reducer, charging inlet and cooling system.

Power electronics, HV battery, e motor and reducer generate heat so that they need to be cooled. Also, cabin air conditioning is provided by auxiliary components. Besides, e motor and reducer are cooled by oil which has oil heat exchanger with main coolant line.

HV Battery is the energy storage system which includes relay box, battery management system (BMS), modules, sensors, etc. Besides, on board charger, DC / DC converter and inverter units convert power. Also, Charging Inlet provides AC & DC charging. These components are linked with high voltage cables and busbars. Fig. 1. shows basic layout of electric powertrain.

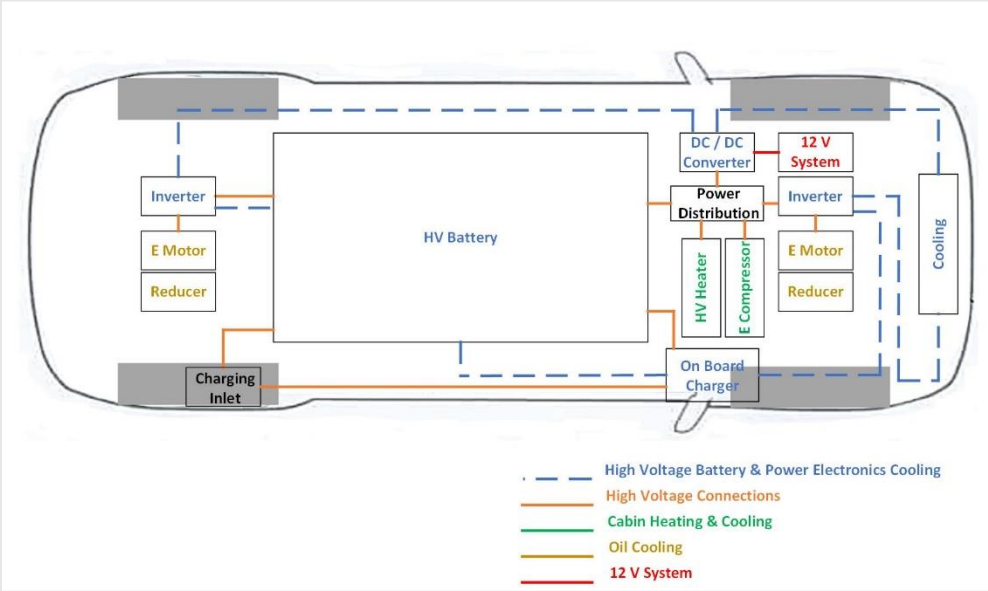


Figure 38.Electric Powertrain Layout

2.2 Benefits of 800 V Powertrain Layout Comparing with the 400 V

Increasing the voltage or current is the only way to provide fast charging. To maintain low resistance, increasing the current will require enlargement all the cables and connectors that conduct the electricity in the car. Since heat generation is a function of current squared, advanced cooling strategies will also need to be used. In addition to raising weight, which reduces vehicle range, increasing component size also raises material prices. On the other hand, increasing the voltage has the reverse effect of lowering the current needed for the equal power, allowing everything that conduct the current such as the motors, cord set used to charge the vehicle, and cables and connectors to remain smaller and lighter. So thermal management could have smaller pumps, compressor, and radiators because of less heat generation. Because of these factors, raising the voltage is the most economical method of raising the power entering and leaving the battery.

400V architectures are common nowadays. It is theoretically possible to charge a 60-kWh EV battery from 20 percent to 80 percent in less than 30 minutes at a 150 kW fast-charging station that delivers approximately 350A of current. The easiest way to decrease charging time to 15 minutes or less is to just double the voltage to 800V while keeping the current equally. This will increase the total charging power to 300 kW. (Aptiv, 2023)

Furthermore, since a high-voltage cables' bending radius is determined by its cross section, a vehicle's volume can be decreased by using a cable with a smaller cross section because of less current rate with 800V architecture, which also exhibits greater geometric flexibility for simpler routing. Also, this effect leads wiring and busbar connection inside high voltage battery with less space and weight. So, automakers would design more compact HV battery using less space of vehicle. (Jung, 2017) So electric powertrain layout will be less complex.

Carmakers will have the ability to control costs, decrease charging time, crate more space for packaging, decrease weight, produce more continuous power at 800 V, increase performance. Also because of fast charging ability, they will have opportunity to install higher battery power capacity on vehicle to decrease range anxiety. In addition, because of the lower heat generation opportunity, they will have more efficient thermal management system and it will decrease the complexity of cooling system. With all the benefits, they will have better customer experience and more robust designs.

2.3 Impacts of Combined Components on Electric Powertrain Layout

Car companies continue to enlarge battery packs and perform research to find denser materials with power because they understand that expectations about range and other features is so important for the future of BEVs. A bigger battery pack cause less space for high-voltage components which are essential for seamless functionalities of a BEV in the vehicle chassis. Individual units with those functions are on board charger, DC/DC converter, inverter, power distribution unit, EVSE controller, battery management system.

First BEV architectures tried to package each of the functions into an apart box and limit the length of the wiring harness required to reach the battery they served by placing each component close to the traction battery. However, every inch of wiring and connector that runs between the parts and the battery raises weight, expense, and additional failure potentials. In addition, a lot of those parts need to be shielded from other electronics to prevent electromagnetic interference caused by the high voltage.

The first solution is to combine those functions into single component. By sharing electronics and active-cooling mechanisms, streamlining power distribution, and improving connections with busbars and flexible connectors, a combined system could reduce packaging space nearly 30 percent. It could be integrated into the battery pack itself to make use of the current pack enclosure and cooling system. (Aptiv, 2022)

Combined components create a lot of advantages for electric powertrain. So, carmakers could decrease number of components and weight, save space and expenses to make more advanced And Less Complex Vehicles.

3. Electric Powertrain Layout Comparisons with Different Vehicles

Vehicle comparison, tables and figures have been prepared based on A2Mac1 data. We investigated D segment, rear wheel drive battery electric vehicles powertrain layout with packaging point of view. Table below shows some specifications of vehicles.

Brand	Total Weight [kg]	Segment	Body Style	Body Structure	Structure Motor Max Power [kW]	Nominal Energy [kWh]	Range [km]	Battery Nominal Voltage [V]
A	1898	D	SUV	Unibody	235	60,31	455	336
B	1939	D	Sedan	Unibody	150	61,4	550	409,6
C	2283	D	SUV	Unibody	150	83,4		352

Table 21.Brands Specifications

Brand A uses heat pump, so vehicle does not use heater. Brand B have heater and brand C have 2 different heaters for both cabin heating and battery heating. A have significantly higher level of motor power than the others. C is heavier than others and have more battery capacity. Rest of the vehicles' specifications are similar.

Fig. 2. shows us that Brand A have 3 components and 2 of them are combined. When we compare the vehicles, advantages of using combined components to decrease number of components that helps to have less complex pipe and cable layout and less fixation points.

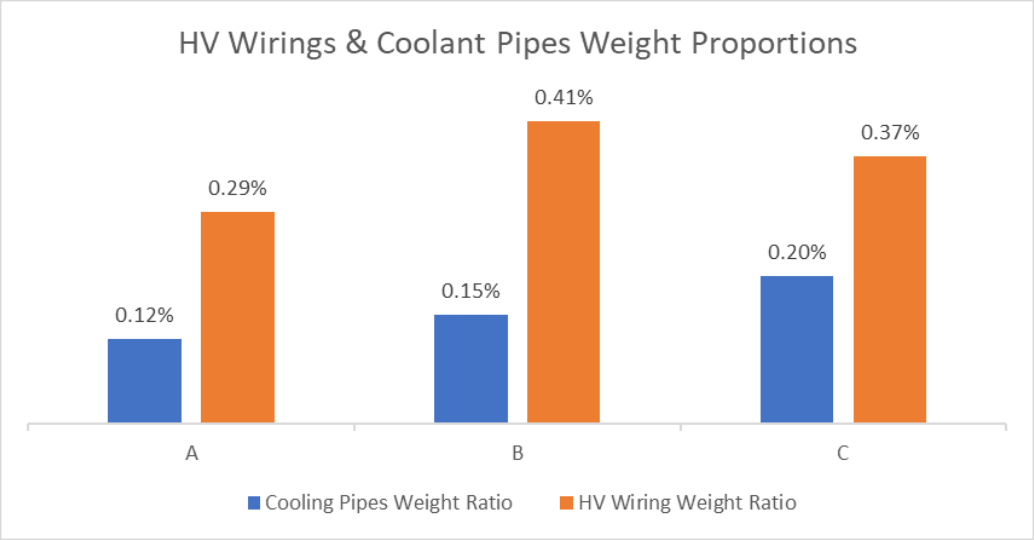


Figure 39. Wiring & Pipes Weight Comparison

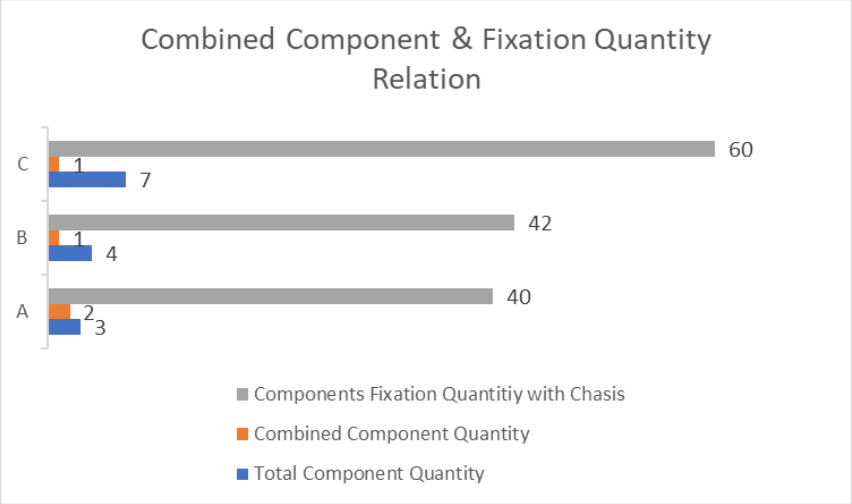
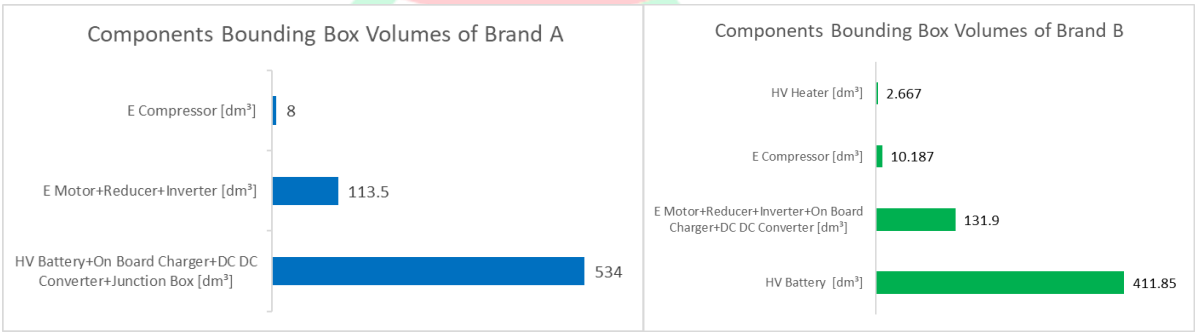


Figure 40. Quantity of Fixation Components & Combined Components for each Brand

Fig. 3. Shows that bounding box volumes of components for each vehicle. Total bounding box volumes of each vehicle are similar, but we can still see the less combined components with higher component quantity cause to increase complexity of layout (Fig. 2.). Despite, brand A have the highest volume, because of the higher combined component with less component quantity, have simpler layout than the other vehicles.



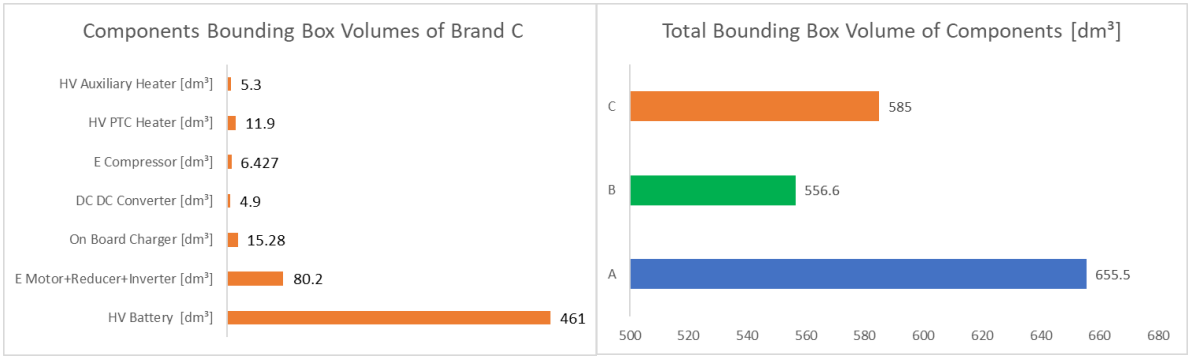


Figure 41. Bounding Box Volume Comparisons

We used data from A2Mac1,2024 for vehicles' datas.

4. Conclusion

With the electric vehicles, a lot of new brands are started and some of them are even more successful than conventional brands nowadays. Electric power train solutions are one of the most important factors. Conventional brands started to design EVs with internal combustion engine version platforms.

That created more complex powertrain structures when we compare with the new electric vehicle brands. In our study, brand A & B are new automaker brands, but brand C is a conventional automaker. We can see clearly that A & B have more robust design according to our comparison results. Combined components create a lot of advantages. Quantity of components are decreased and that cause less complex wiring and pipe layout together with less weight and space. As well as manufacturability & serviceability are affected positively. Besides, those solutions make more robust thermal management systems and create more efficient vehicles. With less space and weight, Designers have opportunity to create product with better proportions.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

McKay B. ; Qian L, (**November 14, 2022**), *Integrated power electronics: the road merges*, Retrieved: Jan 2024, https://www.aptiv.com/en/insights/article/integrated-power-electronics-the-road-merges.

A2MAC1. (2024). Benchmark DataBase. Retrieved Feb, 2024, from https://www.a2mac1.com/

Jung, C. (2017,Mar). Power Up with 800-V Systems: The Benefits of Upgrading Voltage Power For Battery-Electric Passenger Vehicles. *IEEE Electrif. Mag*., vol. 5, no. 1, pp. 53–58.

What to Watch When Designing Vehicle Architectures for 800V, Retrieved: Jan 2024, https://www.aptiv.com/en/insights/article/what-to-watch-when-designing-vehicle-architectures-for-800v

Macey, S. ; Wardle, G. (2009). *H-Point: The Fundamentals of Car Design & Packaging (First ed.)*. Design Studio Press.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Antibacterial Properties of Essential Oil-loaded Polymers

Yasemin KORKMAZ [1]
İkrime ORKAN UÇAR [2]

Abstract

Due to the immunity of microorganisms to antibiotics, efforts to develop different alternative solutions have gained popularity. In studies on this subject, alternative solutions of natural origin attract a lot of attention and essential oils are leading the way in this natural search. Approximately 3000 types of essential oils have been discovered and some of them are known to exhibit antibacterial properties thanks to the active ingredient in the essential oils. Essential oils are extracted from parts of the plant, such as wood, leaves and flowers, and there are many methods for their extraction. These methods include expression, fermentation, and distillation. These parts of the plant used in the extraction of the essential oil make a difference in exhibiting antimicrobial properties. Many essential oils exhibit antimicrobial activity thanks to the hydroxyl groups in the phenol structure. These phenolic compounds cause disruption of the enzyme systems of microorganisms and kill microorganisms by disrupting cell structure. This activity of essential oils has led to popular studies in areas such as food, health and biomedical, with studies on its compatibility with polymers thanks to its natural antibacterial activity. These polymers can include a variety of polymers, primarily polylactic acid, chitosan, and polycaprolactone. By loading these essential oils into polymers at different ratios, it is aimed to show antimicrobial effects against various microorganisms. The addition of these essential oils obtained from nature to polymers used in human-oriented applications such as food, health and biomedicine to exhibit antibacterial performance is seen as a promising solution for the future.

Keywords: Essential oil, plant, polymer, antibacterial, microorganism

[1]MSc Student, Duzce University, Department of Chemisty, yasmn.korkmzz@gmail.com Orcid:0009-0008-4915-885x
[2] Asst.Prof.Dr., Duzce University, Department of Biomedical Engineering, ikrimeucar@duzce.edu.tr, Orcıd:0000-0003-4026-1830

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Bakteri türlerinin ortaya çıkardıkları direnç bu türlerden kaynaklanan enfeksiyonlar da ciddi bir klinik problem olarak devam etmekte ve etkili antimikrobiyal sayısını önemli ölçüde azaltmaktadır. Kimyasal koruyucuların sebep oldukları ciddi karsinojenik ve sitotoksik etkilerden dolayı özellikle medikal ve gıda gibi sektörlerde kimyasal koruyucu kullanımını sıfıra indiren daha doğal alternatiflere yönelim giderek önem kazanmaktadır (Nychas, 1995: 58-89; Soković vd., 2010: 7532-7546). Esansiyel yağların kullanımı bu doğal alternatiflerden biri olup, farklı bitkilerden elde edilen esansiyel yağların antimikrobiyal özellikleri yüzyıllardır deneysel olarak bilinmesine rağmen, bilimsel çalışma kategorisinde son yıllarda doğrulanmıştır (Cosentino vd., 1999: 130-135; Deans ve Ritchie, 1987: 165-180; Janssen vd., 1987: 395-398).

Esansiyel yağlar antikanser, antiviral, antioksidan gibi özelliklerinden dolayı pek çok farklı uygulama alanı için araştırma konusu olmuş, ayrıca sahip oldukları küçük fenolik veya terpenoid bileşikler aracılığı ile antimikrobiyal aktiviteleri ile ses getiren ürünler olmayı başarmışlardır (Islam vd., 2013: 2-18; Rieger ve Schiffman, 2014: 561-568; Štular vd., 2018: 012011). Esansiyel yağların sitotoksik kapasitesi, prooksidan aktiviteye dayalı olarak, onları mükemmel antiseptik ve antimikrobiyal ajanlar haline getirebilir (Bakkali vd., 2008: 446-475). Bitkinin kaynağı, menşei, hasat zamanı, gelişim aşaması, ekstraksiyon tekniği, bitki materyalinin taze veya kurutulmuş olması, test mikroorganizmaları ve kullanılan antimikrobiyal metodoloji gibi faktörler, antimikrobiyal aktiviteyi etkileyen başlıca faktörlerdir (Cosentino vd., 1999: 130-135; Janssen vd., 1987: 395-398). Bu nedenle, yağların antimikrobiyal testleri yapıldığında her zaman dikkate alınmalıdırlar (Faleiro vd., 2003: 35-40).

Bu çalışmanın amacı başta biyomedikal ve gıda olmak üzere insan odaklı ve temas içerikli alanlarda kullanılan polimerik materyallerin antibakteriyel kategoride değerlendirilmesine doğal bir destek olan esansiyel yağların saf polimer malzemelerle olan kombinasyonları sonucu çözücü döküm tekniği kullanılarak elde edilen filmlerinin antibakteriyel aktifliklerini incelemektir.

ESANSİYEL YAĞLAR VE ANTİBAKTERİYEL AKTİFLİKLERİ

Uçucu yağ veya eterik yağ olarak adlandırılan esansiyel yağlar (Guenther,1948: 1-427) bitkilerin çiçeği, yaprağı, odunu gibi bölümleri başta olmak üzere çeşitli kısımlarından ekspresyon, fermantasyon, ekstraksiyon, buhar damıtma veya distilasyon gibi çeşitli yöntemlerle elde edilen ve elde edildiği bu bitkiye has kokusuna sahip olan uçucu aromatik yağlı sıvılardır (Burt, 2004: 223-253; Van de Braak ve Leijten, 1994: 1-116). Bu sıvıların bir kısmı berrak olsa da bir kısmı renklidir ve uçucudur. Genellikle yoğunluğu 1'den daha düşük olan (suya göre daha düşük yoğunlukta olan) organik çözücülerde çözünürler (Bakkali vd., 2008: 446-475). Esansiyel yağın elde edilişinde kullanılan bitkinin esansiyel yağının elde edildiği bölümüne göre kompozisyonunda (Novak vd., 2005: 186-192; Olawore vd., 2005: 54-56), coğrafi koşul ve yetiştiği çevre bakımından da türlerinde farklılık gözlemlenebilir (Arumugram vd., 2016: 369; Swamy vd., 2015: 506413).

Günümüzde bakteriyel enfeksiyonlar hala insan ölümlerinde başı çeken önemli bir neden olarak yer almaktadır. Bunlara ilaveten yüksek dozlarda birkaç antibakteriyel ajanın kullanımı ise insanlarda ciddi düzeylerde toksisiteye neden olabilir. Bu vahim durum, araştırmacıları bakteriyel suşlarla savaşmak için alternatif yeni moleküller araştırmaya teşvik etmiştir (Galvão vd., 2012: 751435). İşte tam bu noktada, bitki esansiyel yağları ve bunların

başlıca kimyasal bileşenleri bu bakteriyel suşlarla savaşmada birer antibakteriyel ajan olma yolunda potansiyel adaylardır (Swamy vd., 2016: 3012462). Esansiyel yağların antibakteriyel aktivitesinin etkisi, bakteriostatik (bakteri büyümesini engelleyici) veya bakterisidal (bakteriyel hücrelerini yok edici) düzeyde olabilir ve bu etkileri birbirinden ayırt etmek zordur (Burt, 2004: 223-253). Agar disk difüzyon tekniği esansiyel yağların antibakteriyel etkinliğini test etmek amaçlı kullanılan hızlı bir tekniktir. Bu teknikte, esansiyel yağlar filtre kâğıdı disklerine veya agar üzerinde açılan deliklere eklenir ve bakteri suşu ile homojen olarak inoküle edilmiş agarın içine yerleştirilir. İnkübasyon sonrasında, inhibisyon bölgesi antimikrobiyal etkiyi temsil eder (Faleiro, 2011: 1143-1156). Esansiyel yağların etkinliği, bakterilerin yapılarına (gram-pozitif ve gram-negatif bakteriler) ve hedef bakterilere göre farklılık gösterir (Hammer ve Carson, 2011: 255-306; Raut ve Karuppayil, 2014: 250-264).

ESANSİYEL YAĞ YÜKLÜ POLİMERLERİN ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİKLERİ

Polimerik matrislere antimikrobiyal ajanların ilavesi (esansiyel yağlar, doğal bitki özleri, gümüş gibi metal nanopartikülleri) yapıya geliştirilmiş antibakteriyel, antifungal veya antiviral özellikler kazandırır. Bu polimerik yapıların eldesinde ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama, çözücü döküm tekniği, yüzey kaplaması için yüzey modifikasyon işlemi gibi metotlardan faydalanılabilir (Srisa vd., 2022: 4042). Polimerin uygun çözücüde çözülmesi, kalıba dökülmesi ve polimer çözeltisindeki çözücünün uzaklaştırılması sonucu katı filmin elde edilmesi adımlarını içeren çözücü döküm yöntemi çok sayıda polimer için uygulanabilen, laboratuvar ölçeğinde ve pilot ölçekte en yaygın kullanılan yöntem çeşididir (Othman vd., 2023: 2200152; Suhag vd., 2020: 109582). Bu yöntem esansiyel yağ yüklü polimer eldesinde de pratikliği, komplike bir sistem gerektirmemesi ve diğer tekniklere nazaran nispeten ucuz olmasından dolayı genellikle tercih sebebidir. Kitosan başta olmak üzere polikaprolaton (PCL), polilaktik asit (PLA), aljinat gibi polimerler çözücü döküm tekniğini kullanılarak esansiyel yağ yüklü polimer yüzey eldesinde en çok kullanılan polimerlerdendir.

Hosseini ve arkadaşları kekik, karanfil ve tarçın esansiyel yağlarını hacimce %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında kitosan polimerlerine ilave ederek döküm tekniği ile elde ettikleri filmlerden kekik esansiyel yağı içeren filmlerin karanfil ve tarçın esansiyel yağı içerenlere kıyasla gram-pozitif bakteriler olan *Listeria monocytogenes* ve *Staphylococcus aureus (S. aureus)* ve gram-negatif bakteriler olan *Salmonella enteritidis* ve *Pseudomonas aeroginosa (P. auroginosa)* karşı daha büyük inhibisyon bölgeleri gösterdiğini rapor etmişlerdir. Filmler, gram-pozitif bakterilere karşı gram-negatif bakterilere göre daha etkili olmuştur (Hosseini vd., 2009: 727-743).

%0,5 ve %1 oranlarındaki kekik ve karanfil yağlarının *S. aureus* ve *Escherichia coli (E. coli)* bakterileri üzerine olan etkisini inceleyen bir başka çalışmada ise kekik ve karanfil esansiyel yağlarının kitosan ile kombinasyonu ile çözücü buharlaştırması sonucu elde edilen filmlerin kontrol grubuna göre her iki patojene karşı antimikrobiyal aktivitesi önemli düzeyde bulunmuştur. Özellikle *E. coli* O157: H7 gram negatif bakterisine karşı gözlemlenen belirgin bir orandaki antibakteriyellik etkisini katyonik karakter taşıyan kitosan moleküllerinin gram negatif karaktere sahip hücre membranındaki anyonik bileşenler ile etkileşime girmesi sonucu membran bütünlüğünü bozması (Helander vd., 2001: 235-244) ile ilişkilendirmişlerdir (Torlak ve Nizamlıoğlu, 2011: 125-129).

Okaliptüs esansiyel yağını kitosan polimerine hacimce %1, %2, %3 ve %4 oranında katan Hafsa ve arkadaşları döküm ve çözücü buharlaştırma tekniği uygulayarak elde ettikleri filmlerin antimikrobiyal aktivitelerini *E. coli, S. aureus, P. aeruginosa* bakterileri ve *Candida albicans (C. albicans)* ve *Candida parapsilosis (C. parapsilosis)* mayalarına karşı agar disk difüzyon tekniğini kullanarak belirlemişlerdir. Bu çalışma ile okaliptüs esansiyel yağı içeren kitosan bazlı filmlerin artan okaliptüs yağı konsantrasyonu ile antimikrobiyal etkinliklerinde de artış olduğu, suya olan düşük afiniteleri ve mükemmel in vitro antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri sebebiyle aktif filmler olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Hafsa vd., 2016: 356-364).

Sarı kantaron yağı içeren kitosan filmler çözücü döküm tekniği kullanılarak Güneş ve Tıhmınlıoğlu tarafından çalışılmış olup hacimce %0,25, %0,5, %1 ve %1,5 konsantrasyonlarda inceleme yapılmış, filmlerin antibakteriyel aktivitesi *S. aureus* ve *E. coli* bakterilerine karşı disk difüzyon tekniği ile değerlendirilmiştir. Saf kitosan ve sarı kantoron yağı içeren filmlerin her iki test mikroorganizması üzerinde de antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu göstermiş ve bu aktivite konsantrasyon artışıyla birlikte artmıştır. Çalışmada *E. coli* bakterisinin sarı kantaron yağı ile birleştirilmiş kitosan filmine *S. aureus* bakterisinden daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışma ile kitosan bazlı bu filmlerin NIH3T3 fibroblast hücreleri üzerinde sitotoksik etki göstermediği, hücre tutunması ve çoğalması için iyi bir yüzey sağladığı ve bu sebeple sarı kantaron katkılı kitosan filmlerin yara iyileştirme uygulamaları için potansiyel ve yeni bir biyomalzeme olabileceği gösterilmiştir (Güneş ve Tıhmınlıoğlu, 2017: 933-943).

Söğüt ve Seydim kekik yağı, üzüm çekirdeği yağı ve nar çekirdeği yağı olmak üzere 3 farklı esansiyel yağ üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada esansiyel yağlar %2 oranında olacak şekilde kitosan solüsyonlarına homojenize olacak şekilde karıştırılmış ve döküm tekniği ile film formunda elde edilmiştir. Oluşturulan filmler *E. coli, S. aureus, P. aeruginosa* ve *Listeria monocytogenes (L. monocytogenes)* bakterilerine karşı antibakteriyel analize tabii tutulmuşlardır. Yapılan bu çalışma ile kitosan/üzüm çekirdeği yağı bazlı filmlerin *E. coli* ve *P. aeruginosa*'ya, kitosan/nar çekirdeği yağı bazlı filmlerin ise yalnızca *P. aeruginosa*'ya karşı inhibisyon alanı gösterirken kitosan/kekik yağı kombinasyonundan oluşan filmlerin tüm mikroorganizmalara karşı inhibisyon alanı oluşturduğu sonuncuna ulaşılmıştır (Söğüt ve Seydim, 2018: 624-634).

Sedlarikova ve arkadaşları tarafından düşük molekül ağırlıklı kitosan polimerine %0,5 ile %2 arasında kekik esansiyel yağı ilave edilerek çözücü döküm tekniği ile elde edilen filmlerin gram pozitif kategorideki *S. aureus* ve *Bacillus cereus (B. Cereus)* ile gram negatif kategorideki *E. coli, Salmonella typhimurium (S. typhimurium)* bakterilerine karşı etkinliği agar difüzyon yöntemi kullanılarak tespit edilmiş, genel olarak artan kekik esansiyel yağı konsantrasyonunun paralelinde artan timol ve karvakrol içeriğinden dolayı daha yüksek inhibisyon zonlarına yol açtığı gösterilmiştir (Sedlaříková vd., 2019: 165).

PLA polimerine ağırlıkça %9 oranında bergamot, limon otu, biberiye ve karanfil esansiyel yağları Qin ve arkadaşları tarafından ilave edilerek çözücü döküm tekniği ile elde edilen 4 farklı esansiyel yağ içerikli polimer filmin hem gram negatif bakterilerden *E. coli* ve hem de gram pozitif bakterilerden *Bacillus subtilis (B. Subtilis)*'i inhibe ettiğini, farklı esansiyel yağlar içeren PLA filmlerin ise inhibisyon yetenekleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı sonucunu rapor etmişlerdir (Qin vd., 2017: 76-82).

Martinez-Abad ve arkadaşları çözücü döküm yöntemi ile oluşturdukları PCL filmlerine tarçın esansiyel yağının ana bileşeni olan sinnamaldehiti ağırlıkça %10 ve %20 oranında olacak şekilde ilave etmişlerdir. ATR ve FTIR spektroskopisi aracılığıyla salım çalışması gerçekleştirilmiş olup filmin oluşma sürecinde esansiyel yağların yüksek uçuculuğu gösterilmiştir. Film kürleme işleminden sonra polimer matrisinde sinnamaldehit salınımının oda sıcaklığında en az 50 saat boyunca sürdüğü rapor edilmiştir. Böylece bu antimikrobiyal maddenin, nispeten düşük konsantrasyonlarda bile yüksek bir biyosit aktivitesi sergilediği ve dolayısıyla paketlenmiş gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmak için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Martinez-Abad vd., 2013: 214-220).

Shah ve arkadaşları, polimerik membranların üretiminde kullanılan geleneksel toksik organik solventlerin çevreye ve insan sağlığına zararları sebebiyle Himalaya esansiyel yağlarını bazı polimerler için yeşil çözücüler olarak araştırmışlardır. PCL ile birlikte denemeye tabi tutulan polimerler arasında sadece PCL polimerinin tarçın, keklik üzümü ve limon otu içinde çözündüğü sonucunu rapor etmişlerdir. PCL ince filmleri tarçın, keklik üzümü ve limon otu kullanılarak çözücü döküm yöntemiyle üretilirken, elektrospun lifli membran yapıların üretilmesinde ise elektroeğirme yöntemi kullanılmıştır. Tarçın esansiyel yağlı elektrospun iskelet membranların hem bakteri hem de mantarlara karşı mükemmel

antibakteriyel/antifungal etkinliğe sahip olduğu rapor edilmiştir. Antibakteriyel aktivite ve biyouyumluluk değerlendirmesi, üretilen PCL membranlarının doku mühendisliği uygulamalarında yüksek potansiyele sahip olabileceğini ve çeşitli polimerlerden nanometre/mikrofiber membranların üretimi için yeşil elektrospinning sürecinin uygulanabilirliğini gözler önüne sermiştir (Shah vd.,2024: 136121).

Esansiyel yağların polimer filmlere yüklenmesi çalışmalarında aljinat polimeri de adını duyuran polimerler arasındadır. Farklı oranlardaki sarı kantaron yağının aljinat polimeri ile kombinasyonu sonucu çözücü döküm tekniği ile elde edilen filmlerin *E. coli* ve *S. aureus* bakterileri için antibakteriyel karakter taşıdığı ve hatta filmlerin içeriğindeki sarı kantaron konsantrasyonundaki artışla *S. aureus*'a karşı gösterilen antibakteriyel aktiviteyi önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır. Filmlerin yara iyileşmesi ve antibakteriyel etkilerinin içerdiği sarı kantaronun konsantrasyonu ile ilişkili olabileceği ve filmlerdeki sarı kantaron içeriğinin optimizasyonu için daha fazla çalışma yapılması gerektiği bildirilmiştir (Mutlu vd., 2022: 134-148).

Iqbal ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma, antibakteriyel madde olarak kekik esansiyel yağının sodyum aljinata çözücü döküm tekniğiyle kombine edilmesi ve daha sonra *Proteus vulgaris (P. vulgaris), Pasteurella multocida (P. multocida), E. coli, S.aureus* ve *Bacillus subtilis (B. Subtilis)*'a karşı göstermiş oldukları antibakteriyel aktivitelerinin incelenmesini içermektedir. Çalışmanın sonucunda en yüksek kekik esansiyel yağı içeriğine sahip olan membranların daha mükemmel antioksidan ve antibakteriyel etkinliğe sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Sonuç olarak, kekik esansiyel yağı ile yüklenmiş sodyum aljinat bazlı polimerik membranların, yara iyileştirme için etkili bir biyomateryal adayı olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Iqbal vd., 2023: 15593258231204186).

Tüm bu çalışmalara ilaveten poliakrilonitril (PAN) (Verma ve Balasubramanian, 2014: 292-300), poliüretan (PU) (Kucinska-Lipka vd., 2019: 2725-2742) ve selüloz asetat (CA) (Laroque vd., 2021: 463-474) gibi polimerlerin esansiyel yağlar ile kombinasyonunu çözücü döküm tekniği ile gerçekleştiren ve antibakteriyel aktivitelerini inceleyerek bu polimerlerin biyomedikal ve gıda odaklı uygulamalarda birer aday olduklarını vurgulayan çalışmalar da mevcuttur.

SONUÇ

Polimer filmlere yüklenen esansiyel yağlarla yapılmış olan tüm bu çalışmalar esansiyel yağların antibiyotiklere doğal bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Esansiyel yağın antimikrobiyalliğinin, elde ediliş yöntemi, eldesinde kullanılan bitki bölümü, bitkinin yetiştiği coğrafi konum gibi pek çok değişkene bağlı olması olumsuz yönleridir. Ancak bu olumsuzluklara rağmen ulaşılabilirliği ve doğal kökenli olması önde gelen olumlu taraflarıdır. Esansiyel yağların antimikrobiyal özellikte olmasının baş sorumlusu fenolik bileşikler olup fenolik bileşiklerin bakterilerin hücre duvarı geçirgenliğini bozarak bakterilerin ölmesine sebep olduğu bilinmektedir. Çözücü döküm tekniği ile gerçekleştirilen çalışmalarda polimer filmlere yüklenen çeşitli esansiyel yağların birçok gram pozitif ve gram negatif bakterileri türlerine karşı etkili olduğunu gösterilmektedir.

Bu sonuçlar biyomedikal ve gıda uygulamaları başta olmak üzere antibakteriyelliğin arandığı çok sayıda alanda tamamen doğal kökenli esansiyel yağların kullanımını teşvik etmekte ve gelecek çalışmalar için umut vaat edici nitelik taşımaktadır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Arumugam, G., Swamy, M. K., & Sinniah, U. R. (2016). Plectranthus amboinicus (Lour.) Spreng: botanical, phytochemical, pharmacological and nutritional significance. *Molecules*, *21* (4), 369. doi: 10.3390/molecules21040369.

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils–a review. *Food and Chemical Toxicology*, *46* (2), 446-475. doi: 10.1016/j.fct.2007.09.106.

Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. *International Journal of Food Microbiology*, *94*, 223-253. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022.

Cosentino, S. C. I. G., Tuberoso, C. I. G., Pisano, B., Satta, M. L., Mascia, V., Arzedi, E. & Palmas, F. (1999). In-vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian Thymus essential oils. *Letters in Applied Microbiology*, *29* (2), 130-135. doi: 10.1046/j.1472-765x.1999.00605.x.

Deans, S. G., & Ritchie, G. (1987). Antibacterial properties of plant essential oils. *International Journal of Food Microbiology*, *5*(2), 165-180. doi: 10.1016/0168-1605(87)90034-1.

Faleiro, M. L., Miguel, M. G., Ladeiro, F., Venancio, F., Tavares, R., Brito, J. C., Figueiredo, A. C., Barroso, J. G. & Pedro, L. G. (2003). Antimicrobial activity of essential oils isolated from Portuguese endemic species of Thymus. *Letters in Applied Microbiology*, *36* (1), 35-40. doi: 10.1046/j.1472-765x.2003.01259.x.

Faleiro, M. L. (2011). *The mode of antibacterial action of essential oils. Science against microbial pathogens: Communicating current research and technological advances*, 1143-1156, Boca Raton, Fla, USA: BrownWalker Press.

Galvão, L. C. D. C., Furletti, V. F., Bersan, S. M. F., da Cunha, M. G., Ruiz, A. L. T. G., Carvalho, J. E. D., Sartoratto, A., Rehder, V. L. G., Figueira, G. M., Duarte, M. C. T., Ikegaki, M., de Alencar, S. M. & Rosalen, P. L. (2012). Antimicrobial activity of essential oils against Streptococcus mutans and their antiproliferative effects. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2012*, 751435. doi: 10.1155/2012/751435.

Guenther, E. (1948). *The essential oils*. 1-427, New York: D. Van Nostrand Company, Inc.

Güneş, S., & Tıhmınlıoğlu, F. (2017). Hypericum perforatum incorporated chitosan films as potential bioactive wound dressing material. *International Journal of Biological Macromolecules*, *102*, 933-943. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.04.080.

Hafsa, J., ali Smach, M., Khedher, M. R. B., Charfeddine, B., Limem, K., Majdoub, H., & Rouatbi, S. (2016). Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan films containing Eucalyptus globulus essential oil. *LWT-Food Science and Technology*, *68*, 356-364. doi:10.1016/J.LWT.2015.12.050.

Hammer, K. A., & Carson, C. F. (H. Thormar, Ed.). (2011). *Antibacterial and antifungal activities of essential oils. Lipids and essential oils as antimicrobial agents*. 255-306. London, UK: JohnWiley & Sons.

Helander, I. M., Nurmiaho-Lassila, E. L., Ahvenainen, R., Rhoades, J., & Roller, S. (2001). Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of gram-negative bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, *71* (2-3), 235-244. doi: 10.1016/s0168-1605(01)00609-2.

Hosseini, M. H., Razavi, S. H. & Mousavi, M. A. (2009). Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, *33* (6), 727-743. doi: :10.1111/J.1745-4549.2008.00307.x.

Iqbal, D. N., Ashraf, A., Nazir, A., Alshawwa, S. Z., Iqbal, M., & Ahmad, N. (2023). Fabrication, properties, and stability of oregano essential oil and sodium alginate-based wound-healing hydrogels. *Dose-Response*, *21* (4), 15593258231204186. doi: 10.1177/15593258231204186.

Islam, S., Shahid, M., & Mohammad, F. (2013). Perspectives for natural product based agents derived from industrial plants in textile applications-a review. *Journal of Cleaner Production*, *57*, 2-18. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.06.004.

Janssen, A. M., Scheffer, J. J. C., & Svendsen, A. B. (1987). Antimicrobial activity of essential oils: a 1976-1986 literature review. Aspects of the test methods. *Planta Medica*, *53* (5), 395-398. doi: 10.1055/s-2006-962755.

Kucinska-Lipka, J., Gubanska, I., Lewandowska, A., Terebieniec, A., Przybytek, A., & Cieśliński, H. (2019). Antibacterial polyurethanes, modified with cinnamaldehyde, as potential materials for fabrication of wound dressings. *Polymer Bulletin*, *76*, 2725-2742. doi: 10.1007/s00289-018-2512-x.

Laroque, D. A., de Aragao, G. M. F., de Araújo, P. H. H., & Carciofi, B. A. M. (2021). Active cellulose acetate-carvacrol films: Antibacterial, physical and thermal properties. *Packaging Technology and Science*, *34* (8), 463-474. doi: 10.1002/pts.2570.

Martínez-Abad, A., Sánchez, G., Fuster, V., Lagaron, J. M., & Ocio, M. J. (2013). Antibacterial performance of solvent cast polycaprolactone (PCL) films containing essential oils. *Food Control*, *34* (1), 214-220. doi:10.1016/j.foodcont.2013.04.025.

Mutlu, B., Erci, F., & Çakir Koç, R. (2022). Production of alginate films containing Hypericum perforatum extract as an antibacterial and antioxidant wound dressing material. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, *37* (2), 134-148. doi:10.1177/08839115211073155.

Novak, J., Draxler, L., Gohler, I. & Franz, C. M. (2005). Essential oil composition of Vitex agnus-castus - comparison of accessions and different plant organs. *Flavor and Fragrence Journal*, *20*, 186-192. doi: 10.1002/ffj.1404.

Nychas, G. J. E. (Gould, G.W. (eds)). (1995). *Natural antimicrobials from plants. In new methods of food preservation*. 58-59. London, UK: Blackie Academic Professional. 10.1007/978-1-4615-2105-1_4.

Olawore, N. O., Ogunwande, I. A., Ekundayo, O. & Adeleke, K. A. (2005). Chemical composition of the leaf and fruit essential oils of Murraya paniculata (L.) Jack. (Syn. Murraya exotica Linn.), *Flavor and Fragrance Journal*, *20*, 54-56. doi: 10.1002/ffj.1365.

Othman, S. H., Kahar, N. S., Nordin, N., & Ahmad Shapi'i, R. (2023). Properties and Food Packaging Applications of Solvent Casting-Made Starch-Based Films Incorporated with Essential Oils: A Review. *Starch*, *75* (5-6), 2200152. doi: 10.1002/star.202200152.

Qin, Y., Li, W., Liu, D., Yuan, M., & Li, L. (2017). Development of active packaging film made from poly (lactic acid) incorporated essential oil. *Progress in Organic Coatings*, *103*, 76-82. doi: 10.1016/j.porgcoat.2016.10.017.

Raut, J. S., & Karuppayil, S. M. (2014). A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*, *62*, 250-264. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.05.055.

Rieger, K. A., & Schiffman, J. D. (2014). Electrospinning an essential oil: Cinnamaldehyde enhances the antimicrobial efficacy of chitosan/poly (ethylene oxide) nanofibers. *Carbohydrate Polymers*, *113*, 561-568. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.06.075.

Sedlaříková, J., Janalíková, M., Rudolf, O., Pavlačková, J., Egner, P., Peer, P., Varad'ová, V. & Krejčí, J. (2019). Chitosan/thyme oil systems as affected by stabilizing agent: Physical and antimicrobials properties. *Coatings*, *9* (3), 165. doi: 10.3390/coatings9030165.

Shah, D., Jha, M. K., Mulmi, P., Mukhiya, T., Abdal-Hay, A., Sharma, R. K. & Pant, H. R. (2024). Himalayan essential oils: Future novel green solvent in polymer nano-processing. *Materials Letters*, *361*, 136121. doi: 10.1016/j.matlet.2024.136121.

Soković, M., Glamočlija, J., Marin, P. D., Brkić, D., & van Griensven, L. J. L. D. (2010). Antibacterial effects of the essential oils of commonly consumed medicinal herbs using an in vitro model. *Molecules*, *15* (11), 7532–7546. doi: 10.3390/molecules15117532.

Söğüt, E., & Seydim, A. C. (2018). Uçucu yağ içeren kitosan bazlı filmlerin karakterizasyonu. *Gıda*, *43* (4), 624-634. doi: 10.15237/gida.GD18040.

Srisa, A., Promhuad, K., San, H., Laorenza, Y., Wongphan, P., Wadaugsorn, K., Sodsai, J., Kaewpetch, T., Tansin, K. & Harnkarnsujarit, N. (2022). Antibacterial, antifungal and antiviral polymeric food packaging in post-COVID-19 era. *Polymers*, *14* (19), 4042. doi: 10.3390/polym14194042.

Štular, D., Jerman, I., Mihelčič, M., Simončič, B., & Tomšič, B. (2018). Antimicrobial activity of essential oils and their controlled release from the smart PLA fabric. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *460*, 012011, 18th World Textile Conference (AUTEX 2018) 20–22 June 2018, Istanbul, Turkey. doi: 10.1088/1757-899X/460/1/012011.

Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, *136*, 109582. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109582.

Swamy, M. K., Sinniah, U. R., & Akhtar, M. (2015). In vitro pharmacological activities and GC-MS analysis of different solvent extracts of Lantana camara leaves collected from tropical region of Malaysia. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2015*, 506413. doi: 10.1155/2015/506413.

Swamy, M. K., Akhtar, M. S., & Sinniah, U. R. (2016). Antimicrobial properties of plant essential oils against human pathogens and their mode of action: an updated review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2016*, 3012462. doi: 10.1155/2016/3012462.

Torlak, E., & Nizamlıoğlu, M. (2011). Uçucu yağ içeren yenilebilir kitosan filmlerinin Staphylococcus aureus ve Escherichia coli O157: H7 üzerine etkinlikleri. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, *17*, 125-129. doi:10.9775/kvfd.2010.3768.

Van de Braak, S. A. A. J. & Leijten, G. C. J. J. (1994). *Essential oils and oleoresins: A Survey in the Netherlands and other major markets in the European Union*. 1-116. Rotterdam: CBI, Centre for the Promotion of Imports from Developing Countries.

Verma, V., & Balasubramanian, K. (2014). Experimental and theoretical investigations of Lantana camara oil diffusion from polyacrylonitrile membrane for pulsatile drug delivery system. *Materials Science and Engineering: C*, *41*, 292-300. doi: 10.1016/j.msec.2014.04.061.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Orman yangınlarının erken tespitinde kullanılan gözetleme kulelerinin yer seçimi problemi: AHP yöntemi ile bir uygulama

Zehra YAVUZ[1]
Dilara ÇAMALAN[2]
Gizem GENÇ[3]
Mehmet PINARBAŞI[4]

Özet

Bu çalışmada orman yangınlarının tespiti için kullanılan gözetleme kulelerinin yer seçimine etki eden kriterlerin değerlendirilmesi üzerinde durulacaktır. Orman yangınlarının erken tespit edilmesi ve söndürme birimlerine hızlı haber verilmesi, yangınların büyümeden kontrol altına alınmasına katkı sağlar. Erken tespitin etkili yapılabilmesi için etkin bir yangın gözetleme yönteminin kullanılması gerekmektedir. Gözetleme kuleleri çeşitli kameralar ile donatılarak belirli açılardan ormanların izlenmesinde ve yangınların tespitinde en sık kullanılan etkili yöntemlerden biridir. Yangının meydana geldiği yeri tam olarak tespit etmek, yangının büyüklüğünü anlamak, müdahale yöntemine karar vermek açısından gözetleme kulelerinden elde edilecek bilgiler büyük önem arz etmektedir. Bu açıdan gözetleme kulesinin kurulacağı yer de oldukça önemlidir. Bu çalışmada gözetleme kulelerinin kurulacağı yerin tespitine etki eden kriterler AHP yöntemi ile değerlendirilmiştir. Kriterler üç grup altında sınıflandırılmıştır: coğrafi özellikler, iklim ve yangın kaynakları. Bu başlıklar kendi içinde on adet alt kritere ayrılmıştır. Bu alt kriterler eğim, vadi etkisi, ağaç yoğunluğu, yüksek sıcaklık, düşük nem, rüzgâr, insan yükü, elektrik hattı, biyolojik etkenler ve yıldırım kriterlerinden oluşmaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda insan yükü kriterinin en yüksek ağırlığa sahip kriter olarak belirlendiği görülmüştür. Yer seçimine en az etki eden kriter ise düşük nem kriteridir. Bu bilgiler ışığında, orman yangınlarının erken tespiti için etkili bir gözetleme kulesi yer seçimi stratejisi geliştirilmesine yardımcı olunacaktır. Çalışma gelecekteki gözetleme kulesi kurulum projelerinin geliştirilmesi için literatüre önemli bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Orman Yangını, Gözetleme Kuleleri, Yer Seçimi, AHP, Çok Kriterli Karar Verme

[1] Öğrenci, Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Orcıd: 0009-0007-2372-5169
[2] Öğrenci, Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Orcıd: 0009-0003-4266-5430
[3] Öğrenci, Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Orcıd: 0009-0004-2368-393X
[4] Doç.Dr., Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Orcıd: 0000-0003-3424-2967

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

İnsanoğlunun gittikçe artan çeşitli gereksinmelerini karşılamada doğal kaynaklardan biri olan ormana oldukça büyük görevler düşmektedir. Ormanın kendine düşen görevleri yerine getirebilmesi, onun sürekli olarak çeşitli biyotik (canlı) ve abiyotik (cansız) zararlardan korunmasına bağlıdır. Ormana zarar veren abiyotik faktörler arasında bulunan yangın ise, Türkiye'de ormanların devamlılığını tehlikeye sokan etkilerin en önemlilerinden biridir. Özellikle, orman yangınlarının çıkmasında en uygun koşullara sahip Akdeniz ikliminin etkili olduğu Türkiye'nin önemli bir bölümü, bu afetin sürekli etkisi altında bulunmaktadır (Küçükosmanoğlu, 1994: 122).

Orman yangınları, orman ekosistemlerinde yıkıcı hasarlara sebep olmaktadır. Bu hasarların uzun süreli etkileri iklim değişikliğine ve kuraklığa neden olabilir. Orman yangınları sadece çevresel zararlara değil ayrıca ülkelerin ekonomik ve sosyal yaşamlarına da zarar vermektedir (Toptaş, 2018).

Orman yangınlarının gerçekleşmesine ve yayılmasına engel olmak için her türlü fiziki ve beşerî tedbirler alınmalıdır ve müdahalenin en kısa sürede yapılması gerekmektedir. Bu müdahalenin yapılması için yangın erken uyarı sistemleri çağımızda teknolojinin gelişmesiyle birlikte ortaya çıkmış ve giderek yaygınlaşmaktadır. Erken uyarı sistemleri, yangınların hızlı bir şekilde fark edilmesini ve müdahale edilmesini sağlayarak yangının yayılmasını önlemekte kritik rol oynar. Gözetleme kuleleri, insansız hava araçları, uydu görüntüleme sistemleri, yer tabanlı sistemler ve kameralar, termal kameralar, yapay zekâ ve makine öğrenimi, iletişim ve bilgi sistemleri, hava araçları ve helikopterleri orman yangınlarının erken tespit edilmesinde kullanılan erken uyarı sistemleridir. Bu araçlardan en etkilisi olan gözetleme kuleleri, orman yangınlarının erken tespit edilmesi ve kontrol altına alınmasında hayati önem taşır. Gözetleme kuleleri, ormanlık alanların yüksek noktalarına inşa edilir, bu sayede geniş bir görüş açısı sağlarlar. Bu konumlandırma, yangınların erken belirtilerini (duman veya ateş) tespit etmeyi kolaylaştırır. Kulelerde görev yapan personel, gün boyu sürekli olarak çevreyi gözlemleyerek yangının ilk belirtilerini fark edebilir. Yangınların erken tespiti, itfaiye ve yangın söndürme ekiplerinin hızla harekete geçmesini sağlar. Gözetleme kulelerinden gelen hızlı ve doğru bilgiler, yangın söndürme ekiplerinin yangın alanına en kısa sürede ulaşmasını ve yangının kontrol altına alınmasını kolaylaştırır. Bu durum, yangının geniş bir alana yayılmadan söndürülmesine ve yangın söndürme ekipmanları ve kaynakları daha etkili bir şekilde kullanılmasında fayda sağlar. Bu, hem maddi kaynakların korunması hem de çevresel zararların azaltılması açısından önemlidir.

Orman yangınları, sadece ormanlık alanları değil, aynı zamanda çevrede yaşayan insanları, hayvanları ve bitki örtüsünü de tehdit eder. Gözetleme kuleleri, yangınların hızlı bir şekilde fark edilip kontrol altına alınması sayesinde, bu tehditlerin en aza indirilmesine yardımcı olur. Böylece hem toplumsal hem de ekolojik denge korunmuş olur.

Sonuç olarak, gözetleme kuleleri, orman yangınlarının erken tespiti ve kontrol altına alınmasında kritik bir öneme sahiptir. Geniş görüş açısı, hızlı müdahale imkânı, verimli kaynak kullanımı, toplum ve ekosistem güvenliği ile eğitim ve farkındalık yaratma gibi çeşitli avantajlarıyla, orman yangınlarıyla mücadelede vazgeçilmez bir araçtır.

Çalışmada orman yangınlarının erken tespiti için kullanılan yöntemlerden olan gözetleme kulelerinin en doğru şekilde yerleştirilmesi amaçlanacaktır. Bu amaç doğrultusunda gözetleme kulesi yeri seçimi üzerine kriterler belirlenecek bu kriterler doğrultusunda çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP yöntemi kullanılacaktır.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) karar verme problemlerinde yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme yöntemidir. Yöntemin, performans değerleme sürecinde karar hiyerarşisinin oluşturulmasına, kriter ağırlıklarının belirlenmesine, nicel ve nitel kriterlerin birlikte değerlendirilmesine, yargıların tutarlılığının tespitine ve kurulan karar modelinin duyarlılığının test edilmesine imkân verdiğinden dolayı performans değerleme uygulamalarında kullanılmasının faydalı olduğu tespitinde bulunulmuştur. (Ünal, 2014:37)

Bu çalışmada 3 ana kriter 10 alt kriter belirlenmiştir. Ana kriterler: Coğrafya, iklim, yangın kaynakları, alt kriterler: eğim, vadi, ağaç yoğunluğu, yüksek sıcaklık, düşük nem, rüzgâr, insan yükü, elektrik hattı, biyolojik etkenler, yıldırım olmak üzere gruplandırılacaktır. Çalışma sonucunda en etkili kriter ve en az etkili kriter bulunacaktır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde orman yangınları, orman yangınlarında cihaz tespiti ve orman yangınlarında erken tespit için cihaz yerleştirilmesi konuları sıklıkla ele alınmaktadır. Bunun yanı sıra orman yangınının önceden tahmin edilmesi ile ilgili çalışmalar da bulmak mümkündür. Barzan (2014) orman yangınına en seri şekilde ulaşımı sağlayacak güzergahın belirlenmesi amaçlanarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Amira (2018) KSA içindeki enerji tüketimini optimize eder ve orman yangınlarının tespit süresini azaltmak için sistem geliştirilmiştir. Alişer (2022) çalışmasında Dikkat Kapısı Modülleri yönteminde, derin ağ mimarisinin başarım değerlendirilmesi amacıyla zar (dice), tversky ve fokal fonksiyonları kullanılmıştır. Aral (2023) CNN ile İHA görüş verileri ile orman yangını algılaması için görevleri geliştirilmiştir. Aslan (2010) kablosuz duyarga ağları ile orman yangınlarını erken tespit etmek ve izleyebilmek için kapsamlı bir sistem geliştirilmiştir. Oğuz vd. (2021) sistem çıktılarını inceleyip orman yangını ile ilgili araştırma yapmışlardır. Aksoy vd. (2021) çalışmada teknolojinin gelişimi ile yangınların erkenden tespitini amaçlamışlardır. Shamta (2023) orman yangınlarının erken tespiti ile doğal afetlerin yıkıcı etkilerini azaltmayı sağlamak için çalışma yapmıştır. Toptaş (2019) orman yangınları ile mücadele sürecinde, yangının erken tespit edilmesi ve ihbar sistemlerine ulaştırılması için çalışma yapmıştır. Baltacı ve Yıldırım (2017) orman yangınlarının bir dış etkene bağlı olarak değişkenliğinin araştırmasını yapmışlardır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde yangında kısa sürede ulaşımı sağlayacak güzergâh belirleme, erken tespit için farklı cihaz ve yöntemler üzerine yapılan çalışmalara rastlanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada özellikle son dönemlerde artan orman yangınlarında yaşanan kayıpları en aza indirmek için gerekli olan erken tespiti yapabilmek için cihaz seçimi yerleşimi ele alınmıştır.

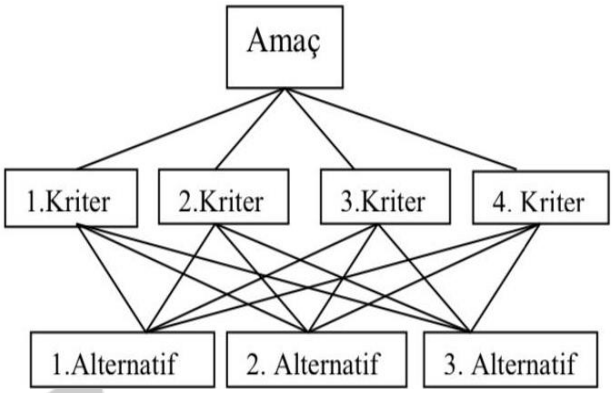
ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) 1980 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen bu yöntem, seçeneklerimi ve değerlendirme kriterlerimi ikili kıyaslamalar yaparak karşılaştırma imkânı tanıyor. AHP sayesinde, her bir kriterin ne kadar önemli olduğunu belirlenir ve bu kriterlere göre alternatiflerin göreceli önem değerleri hesaplanır. Bu sürecin sonunda, hangi alternatif için en iyi seçenek olduğu görülür. AHP' nin sunduğu bu yapılandırılmış yaklaşım, karmaşık karar verme süreçlerinde daha bilinçli ve dengeli seçimler yapılmasına yardımcı olur (Sarıçalı ve Kundakçı, 2016:47).

AHP yöntemi ile problemleri çözerken beş adım bulunmaktadır. Bu adımlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Adım: İlk olarak karar problemi tanımlanarak ortaya konulur.

2. Adım: Daha sonra var olan problem, belirli kriterlerden, mevcutsa alt kriterlerde ve alternatiflerden oluşan bir karar hiyerarşisi oluşturulur. Hiyerarşi oluşturulurken aynı seviyedeki öğelerin birbirinden bağımsız oldukları varsayılır (Erikan, 2002: 67). Karar problemi ile tepeden başlayan üste noktada amaç, kriterler ve en alt seviyede alternatifler olarak Şekil 1'de üç aşamalı yapıdır.



Şekil 1. *Basit hiyerarşi modeli*

3. Adım: Hiyerarşik yapı oluştuktan sonra ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karşılaştırma matrisi, kriterlerin birbirlerine göre önem seviyeleri Şekil 2' de verilen belirli bir mantık içerisinde oluşturulur.

$$A = \begin{matrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{n1} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{12}} & \frac{1}{a_n} & \dots & 1 \end{matrix}$$

Şekil 2. *Karşılaştırma Matrisi*

Çizelge 1. *AHP önem ölçeği (Saaty,1980)*

Sayısal Değerler	Önem Dereceleri
1	Eşit derecede önemli
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Kesin önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Karar verici ile ikili karşılaştırma yaparken Saaty (1980) tarafından önerilen 1–9 ölçeğini kullanılır. Bu karşılaştırma ölçeği Çizelge 1'de verilmektedir (Saaty, 2008:86). Hangi kriter daha önemli veya önemli sorusu sorularak bu ölçek kullanılır.

4.Adım: Bu adımda özvektör belirlenir. Özvektörün belirlenmesi kriterlerin önem ağırlıklarının bulunmasını sağlayacaktır. Denklem 1' de özvektörün nasıl hesaplanması gösterilmektedir.

İlk olarak Normalize karar matrisi oluşturulması gerekmektedir. İkili karşılaştırma matrisinin sütun toplamları ayrı ayrı hesaplanır. Matrisindeki her elemanın Normalize matrisinin oluşturulması için Denklem 1'deki gibi sütun toplamları o sütunda bulunan elemanlara bölünmeyesiyle gerçekleşir. Denklem 2'de normalize karar matrisinin satır toplamlarının ortalamalarını aldığımızda veya kriter sayısına bölündüğünde kriterlerin önem ağırlıkları bulunur.

$i = 1,2,3. \dots\dots\dots n$ *ve* $j = 1,2,3. \dots\dots\dots n$ *olmak* üzere;

$$bij' = \frac{aij}{\sum_{i=1}^{n} aij} \qquad (1)$$

$$Wi = \frac{\sum_{j=1}^{n} bij'}{n} \quad (2)$$

Özvektörün tutarlı bir şekilde ortaya konulup konulmadığını analiz edilir. İkili karşılaştırma matrisi ve bulunan özvektörü $W' = Aw$ matris çarpımı şekilde özdeğer vektörlerini elde edilir.

4.Adım: Bununla birlikte en büyük özdeğeri bulunması gerekmektedir. Denklem 3'ten yararlanarak özdeğer ve özvektörlerin oranların toplamlarını alıp kriter sayısına bölmesiyle bulunur.

$$\lambda max = \frac{1}{n}\left(\frac{w_1{}'}{w_1} + \frac{w_2{}'}{w_2} + \cdots + \frac{w_n{}'}{w_n}\right) \quad (3)$$

5.Adım: Tüm ikili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık oranı hesaplaması yapılır. Buradaki kritik nokta 0,1'den küçük veya büyük olması beklenir. 0,1'den küçük olması durumunda tutarlı bir hesaplamadır. 0,1'den büyük olması durumunda ise karşılaştırma matrisi tekrar gözden geçirilir ve matrisin tutarlı hale getirilmesi için gerekli düzenlemeler yapılır. Elde edilen en büyük özdeğeri alarak Denklem 4'ten tutarlılık indeksini hesaplarız.

$$CI = \frac{\lambda max - n}{n - 1} \quad (4)$$

Tutarlılık oranını hesaplanabilmesi için Çizelge 2'de kriter sayımıza göre seçilerek RI değeri tespit edilir. Denklem 5 yardımıyla tutarlılık oranı hesaplanır.

Çizelge 2. *RI Değerleri*

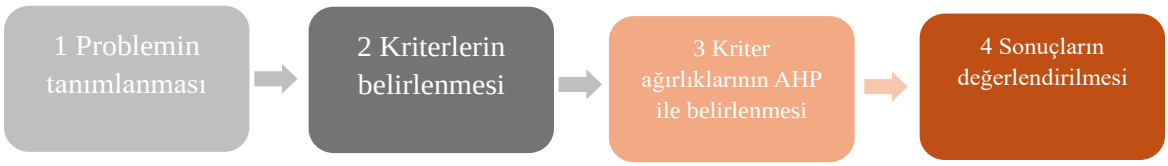
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

6.Adım: Tüm adımlar hiyerarşik yapının tamamı için tekrarlanır. İkili karşılaşmanın puanları sıralanır ve kriterlerin göreli ağırlıkları tespit edilir.

UYGULAMA

Bu çalışmada, Türkiye'deki orman yangını çıkmasına neden olacak en etkili 3 ana kriter 10 alt kriter temelinde değerlendirilerek belirlenmiştir. Uzman görüşü olarak Orman Genel Müdürlüğü ve İtfaiye Dairesi Başkanlığı'na ziyaretler gerçekleştirilmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılması için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yöntemi kullanılmıştır. Uygulamanın tüm süreci Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. *Uygulama Akış Şeması*

Problemin tanımlanması

Dünyada yaşayan insanlar, hayvanlar vs. herkes için ormanlar büyük bir öneme sahiptir. Dünyamız ve gelecek nesiller için insanlığın en büyük sorumluluk ve görevi ormanlarımız, doğayı korumaktır. Ormanların varlığı için en büyük tehlike şüphesiz orman yangınlarıdır. Orman yangınlarının gerçekleşmesine ve yayılmasına engel olmak için her türlü fiziki ve beşerî tedbirler alınmalıdır.

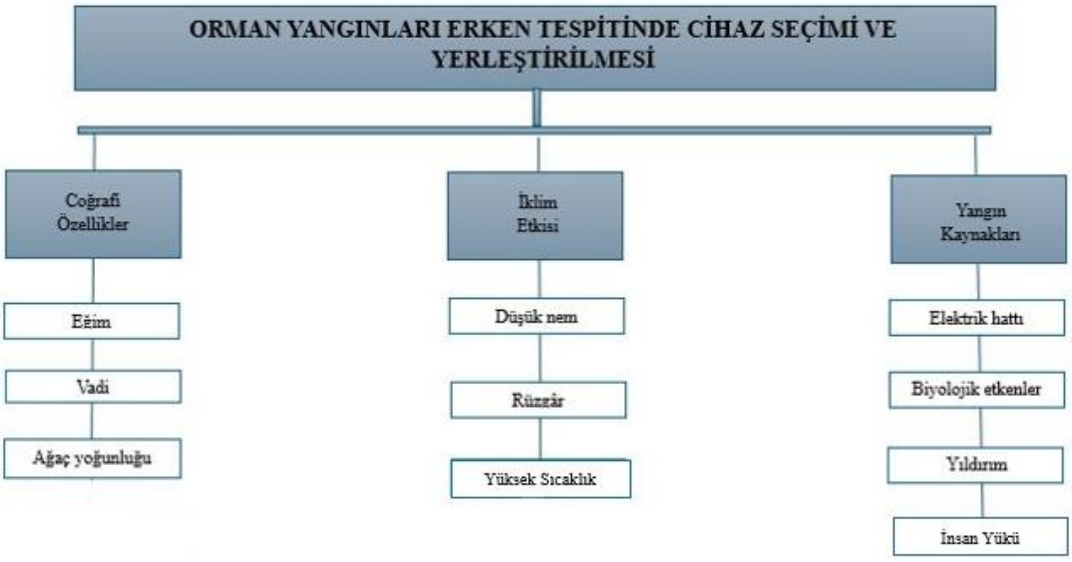
Orman yangınlarını önlemek için yangın tespit süresini en aza indirmek gereklidir. Bunun için günümüz teknolojisinde erken uyarı sistemleri önemli bir yere sahip olmalı ve desteklenmelidir. Orman yangınları erken tespitinde cihaz seçimi ve yerleştirilmesi oluşabilecek daha büyük zararların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle ülkemizdeki hatta dünyadaki birçok ormanda yangınlar erkenden kontrol altına alınarak doğa korunmuş olacaktır.

Orman yangınları ile ilgili yapılan bu çalışmada bilimsel ve matematiksel yöntemlerle orman yangınlarında yer tespitinde cihaz seçimi ve yerleştirilmesi problemi ele alınmıştır.

Kriterlerin Belirlenmesi

Kriterlerin belirlenmesi için Orman Genel Müdürlüğü ve İtfaiye Dairesi Başkanlığında ilgili kişilerden uzman görüşü alınıp, literatür incelemeleri yapılmıştır. Yapılan incelemelere göre orman yangınlarında yer tespitinde cihaz seçimi ve yerleştirilmesi etkili olan 3 adet ana kriter 10 adet alt kriter belirlenmiştir. Şekil 4'te hiyerarşik yapı şeklinde oluşturulan bu kriterler coğrafi özellikler, iklim etkisi, yangın kaynakları olarak belirlenmiştir.

Türkiye'nin yer aldığı coğrafya, orman yangınları açısından uygun meteorolojik koşulları içerir. Aynı şekilde iklim etkisi ve artan kuraklık orman yangınlarını daha sık ve şiddetli hale getirir. Uzmanlara göre (yaklaşık %54,5'inin) orman yangınlarının son yıllarda en fazla çıkış nedeni, orman içi ve bitişiğinde yer alan nüfus artışından kaynaklıdır. Bir başka durum ise yaz sezonunda kuvvetli fön rüzgarlarının olduğu günlerde, orman içerisinden geçen enerji nakil hatları yüksek enerji gereksinimi nedeniyle yangın çıkma riskinin en önemli kriteri söylenebilir. (Samut, 2014). Çalışmada belirlenen kriterler ve açıklamaları Çizelge 3'te verilmiştir



Şekil 4. *AHP hiyerarşik yapısı*

Çizelge 3. *Kriterler ve Açıklamaları*

Ana Kriter	Alt Kriter	Açıklama
Coğrafi Özellikler (CÖ)	Eğim	Eğimli arazilerde, yangın yerçekimi etkisiyle daha hızlı yayılabilir.
	Vadi Etkisi	Genellikle yamaçlarda bulunan vadiler yangınların yayılma hızını artıran bir unsurdur.
	Ağaç Yoğunluğu ve Türü	Daha yoğun ağaçlar, yangının daha hızlı yayılmasına ve yangınların daha şiddetli olmasına neden olabilir.
	Yüksek Sıcaklık	Orman yangınlarında yüksek sıcaklık, yangının yayılma hızını ve şiddetini artıran önemli bir etkendir.
İklim Etkisi (İE)	Düşük Nem oranı	Düşük nem oranı, yangının oluşma ve yayılma riskini artıran önemli bir faktördür.
	Rüzgar	Rüzgâr etkisi, yangının yayılma hızını ve yönünü belirleyen önemli bir faktördür.
Yangın Kaynakları (YK)	İnsan Yükü	Yapılan araştırmalar sonucunda orman yangınlarının %89'unun insan kaynaklı olduğu belirlenmiştir.
	Elektrik Hattının Geçtiği Yerler	Orman yangınları genellikle elektrik hatlarının arızalanması, kıvılcımların neden olduğu yangınlar veya aşırı elektrik akımıyla ilgili sorunlardan kaynaklanabilir.
	Biyolojik Etkenler	Böcek istilaları veya hastalıklar gibi biyolojik stres faktörleri, bitki örtüsünün sağlığını ve yangına karşı direncini azaltabilir, böylece yangın riskini artırabilir.
	Yıldırım	Atmosferde oluşan yıldırım deşarjı sonucu yangın meydana gelebilir.

Kritik Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu bölümde AHP yöntemiyle uygulamanın kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Ana kriterler kendi aralarında ikili olarak karşılaştırılmıştır. Bu işlemler ile Çizelge 4'te verilen ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem gruplanmış her alt kriter için ayrı ayrı yapılmıştır.

Çizelge 4. *Ana Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi*

Karar Değişkenleri	CÖ	İE	YS
CÖ	1	1	1/3
İE	1	1	1/5
YK	3	5	1

Çizelge 4'te verilen karar matrisine normalizasyon gerçekleştirilir. Daha sonra yöntemde anlatılmak üzere verilen AHP işlem adımları uygulanmıştır. Yöntem sonucunda tutarlılık oranı hesaplanırken Denklem 5'ten yararlanılmıştır. Eşitlikte yer alan RI değerini bulmak için kullanılan rassal indeksler Çizelge 2'te verilmiştir (Turgut vd., 2021). İşlemler sonucu tutarlılık indeksi 0,028 olarak bulunmuştur. Bu değer 0,10'dan küçük elde edildiği için ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu söylenebilir. Uygulama sonucunda bulunan ana kriter ağırlıkları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. *Ana Kriter Ağırlıkları*

Ana Kriterler	Kriter Ağırlıkları	Sıralama
Yangın Kaynakları	0,655487	1
Coğrafi Özellikler	0,186749	2
İklim Etkisi	0,157764	3

Şekil 4'te verilen hiyerarşik yapıya göre ana kriterlerin ağırlıkları AHP yönteminin her bir ana kriterin alt kriterleri için ayrı ayrı tekrar edilmiştir. Daha sonra ana kriter ağırlıkları ile alt kriterlere ait belirlenen ağırlıklar çarpılarak kriterlerin nihai ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen alt kriter ağırlıklarına ait sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. *Alt Kriter Ağırlıkları*

Sıralama	Alt Kriterler	Kriter Ağırlıkları
1	İnsan Yükü	0,353485
2	Elektrik Hattının Geçtiği Yerler	0,193338
3	Ağaç Yoğunluğu ve Türü	0,118277
4	Rüzgâr	0,114143
5	Yıldırım	0,072187
6	Eğim	0,048648
7	Biyolojik Etkenler	0,036477
8	Yüksek Sıcaklık	0,030478
9	Vadi	0,019825
10	Düşük Nem	0,013143

Sonuçların Değerlendirilmesi

AHP yöntemi ile ele alınan ana kriter değerlendirilmeleri sonucunda en önemli ana kriter yangın kaynakları kriteri olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi ise yangın kaynaklarının alt

kriterleri değerlendirmesinde de görüldüğü üzere insan yükü ve elektrik hattı kaynaklı en öncelikli kriter olmasıdır. İnsan yükünün en fazla etkiye sahip olmasının nedeni, insanların ormanlık alanlarda çeşitli faaliyetlerde bulunurken yangın riskini artırıcı davranışlarda bulunmalarıdır. İkinci olarak elektrik hattının bulunma nedeni ise hatlarda meydana gelen arızalar ve kıvılcımların kuru bitki örtüsünü tutuşturabilmesi, aşırı yüklenme, kısa devreler ve bakım eksiklikleridir. Yoğun bitki örtüsünün yangının hızla yayılmasını sağlaması üçüncü sırada ağaç yoğunluğu ve türü ile ilgilidir. Bir yangının hızla yayılmasını sağlayarak yangın riskini artırmaktadır. Vadi ve düşük nem yangın çıkmasına neden olacak kriterleri seçerken az etkiye sahip kriterler olarak belirlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda gözetleme kulelerinin, orman yangınlarının erken tespiti ve kontrol altına alınmasında kritik bir öneme sahipliğini saptayıp bu kulelerin en iyi konumlandırılmasına etki eden kriterler belirlenmiştir. Kuleler geniş görüş açısı, hızlı müdahale imkânı, verimli kaynak kullanımı, toplum ve ekosistem güvenliği ile eğitim ve farkındalık yaratma gibi çeşitli avantajlarıyla, orman yangınlarıyla mücadelede vazgeçilmez bir araç olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada 3 ana kriter bulunup bunlar kendi aralarında alt kriter dallarına ayrılmaktadır. Üç ana kriterimizden ilki coğrafi özellikler (eğim, vadi etkisi, ağaç yoğunluğu ve türü, yüksek sıcaklık), ikincisi iklim etkisi (düşük nem oranı, rüzgâr, insan yükü), üçüncüsü yangın kaynaklarıdır (elektrik hattının geçtiği yerler, biyolojik etkenler, yıldırım). Kriter ağırlık sıralamasında ilk üçte insan yükü, elektrik hattının geçtiği yerler, ağaç yoğunluğu ve türü kriterleri bulunmaktadır. En az ağırlıkta olan kriter ise düşük nem olarak tespit edilmiştir. Çalışmamızda kriter ağırlık yöntemi olarak yangın erken uyarı sistemlerinde kullanılan gözetleme kulelerinin AHP yöntemi ile değerlendirilmesi çalışılmıştır.

Gelecek çalışma önerileri olarak şu çalışmalar verilebilir. AHP yöntemi dışında ANP yöntemi gibi başka kriter ağırlık yöntemleri de kullanılabilir. Alternatif gözetleme kulesi konumları belirlenerek elde edilen ağırlıklar ile TOPSIS, PROMETHEE gibi yöntemler ile konumlar değerlendirilebilir. Gözetleme kulelerinin kapsama alanlarının da dahil edilmesi ile kullanılacak cihazlar da dahil edilip analizler yapılması da umut vadedici bir çalışma olacaktır. Bunların yanı sıra gözetleme kulesi dışında diğer tespit cihazlarının (İHA, drone, termal kamera vb.) yerleştirilmesi ve seçimi için de genişletilebilir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Aksoy, B., Korucu, K., Çalışkan, Ö., Osmanbey, Ş., & Halis, H. D. (2021). İnsansız Hava Aracı ile Görüntü İşleme ve Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Yangın Tespiti: Örnek Bir Uygulama. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *9*(6), 112-122.

Alişer, A. (2022). *Orman yangınlarını görüntü işleme ile tespiti*, (Yüksek Lisans), Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Elâzığ.

Amira, F. (2018). Orman *yangını algılama için sis destekli kablosuz sensör ağları .Orman yangınlarını algılamak için sis lifli kablolu sensörlü ağlar*, (Yüksek Lisans), İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.

Aral, A. (2023). *İnsansız hava araçlarında bulunan kameralar kullanılarak orman yangınlarının tespit edilmesi*, (Yüksek Lisans), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.

Aslan, Y.E. (2010). *Kablosuz sensör ağlarının orman yangını algılama ve izlemede kullanımına yönelik bir çerçeve. Kablosuz duyarlılıkla ağları aracılığıyla orman yangınları izleme ve erkin tespit sistemi*, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü. Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. Bilgisayar Bilimleri Ana Bilim Dalı. Bilişim Bilim Dalı, Ankara.

Avcı, M., & Korkmaz, M. (2021). Türkiye'de orman yangını sorunu: Güncel bazı konular üzerine değerlendirmeler. *Turkish Journal of Forestry*, *22*(3), 229-240.

Baltacı, U., & Yıldırım, F. (2017). Orman yangınları açısından riskli yılların güneş leke döngüsüne bağlı olarak önceden tahmin edilebilmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, *4*(2), 133-142.

Barzan, S. A. (2014). *Erbil'de orman yangınlarına en kısa sürede ulaşım sağlayacak güzergâhın belirlenmesinde CBS tabanlı sistemin kullanılması*, (Yüksek Lisans Tez), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik ve Bilimleri Dalı, Kahramanmaraş.

Erikan, L. (2002*). HV.K.K.'lığında aday seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ile etkin karar verme* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Küçükosmanoğlu, A. (1994). Ülkemizde orman yangınları ve yangın sezonları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, *44*(1-2), 121-128.

Oğuz, K., Oğuz, E., & Çamalan, G. (2021). İzmir-Tırazlı orman yangınının uydu ve model verileri ile analizi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, *4*(1), 1-12.

Saaty, T. L. 1980. The analytic hierarchy process, Newyork: McGraw-Hill.

Saaty, T. L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences, 1(1): 83-98

Samut, P. K. (2014). İki aşamalı çok kriterli karar verme ile performans değerlendirmesi: AHP ve TOPSIS yöntemlerinin entegrasyonu. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *14*(4), 57-67.

Sarıçalı, G., & Kundakçı, N. (2016). AHP ve COPRAS yöntemleri ile otel alternatiflerinin değerlendirilmesi. *International review of Economics and Management*, *4*(1), 45-66.

Shamta, İ. (2023). *İha kullanarak orman yangınlarının tespiti ve görüntülemesi için zeki gözetleme sisteminin geliştirilmesi*, (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezleri),

Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Karabük.

Toptaş, B., & HANBAY, D. (2019). Renksel ve dokusal özellikler kullanarak alev ve alev olmayan görüntü kesitlerinin sınıflandırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, *1*(1), 1-12.

Toptaş, M. (2018). *Orman yangınlarının görüntü işleme yöntemleri ile tespit edilmesi ve sınıflandırılması. Determination and classification of forest fire with image processing methods*, (Yüksek Lisans Tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

Turgut, Z. N., Danışan, T., & Eren, T. (2021). Spor ve moda dünyasında giyilebilir teknolojilerin ÇKKV yöntemleriyle değerlendirilmesi ve seçimi. *Herkes için Spor ve Rekreasyon Dergisi*, *3*(1), 1-11.

Ünal, Ö. F. (2012). Performans değerlemede analitik hiyerarşi prosesi (AHP) uygulamaları. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 37-55.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Investigation of the Lower Limb Asymmetry in Elite Female Football Players with Jump Test and Wearable Movement Analysis System

Zeynep KATIRCIOĞLU[1]
Begüm YALÇIN[2]
Hande ARGUNŞAH[3]

Abstract

Football, particularly among elite female athletes, is associated with a higher risk of injury due to high-impact movements. This study explores the significant role of lower limb asymmetry as a risk factor for injuries, focusing on balance and strength disparities between the dominant and non-dominant legs. Employing a detailed kinetic and kinematic analysis, the research utilizes the Drop Vertical Jump (DVJ) test, which incorporates two critical landing phases often underexplored in previous studies. The hypothesis of the study suggests that notable biomechanical differences between landings will provide detailed insights into joint kinematics, uncovering important variations throughout the different landing phases. The research employs the DVJ test, distinguished by its inclusion of two landing phases: the initial and the secondary landing phases. These phases are marked by the moment of initial contact with the dual force platform when the center of mass (COM) is at its lowest. The participants, 10 elite female football players aged 24.4 years (SD= 5.9 years), performed the DVJ from a 30 cm high platform. Each participant is required to complete at least three DVJ to ensure data reliability. Kinetic data, including forces and powers exerted upon landing, were measured using the dual force platform (Vald Force Deck). Simultaneously, Xsens Awinda is used to collect kinematic data from participants, therefore 17 wireless motion tracker sensors attached to participants specific segments to captured detailed kinematic data at the hip, knee, and ankle joints. This setup allowed for a precise analysis of the changes in the COM and the biomechanical behavior of the lower extremities throughout the landing phases. As a pilot study, the results of this research will serve as a reference for how limb asymmetry could be correlated with factors such as height, weight, playing position, and injury history in future studies.

Keywords: Drop Vertical Jump (DVJ), Lower Limb Asymmetry, First and Second Landing, Kinetic and Kinematic Analysis

[1] Undergraduate Student, Acibadem Mehmet Ali Aydinlar University, Department of Medical Engineering
[2] Research Assistant, Acibadem Mehmet Ali Aydinlar University, Department of Medical Engineering, Orcid: 0000-0002-9883-3742
[3] Assst. Prof., Acibadem Mehmet Ali Aydinlar University, Department of Medical Engineering, Orcid: 0000-0002-5776-1797

ISBN: 978-625-372-170-1

Introduction

Elite adult female football players are a focal point of sports injury research due to their distinct physiological and biomechanical profiles, which elevate their risk of injury in comparison to their male counterparts. Female athletes are more likely to have laxer joints and different muscle activation patterns than male athletes, which increase their risk of injury, especially in high-impact sports like football (Hewett et al., 2006). Studies have revealed that female football players are significantly more likely to sustain anterior cruciate ligament (ACL) injuries (Hewett et al., 2006; Martonick et al., 2022). By concentrating on elite adult female football players, researchers can pinpoint the biomechanical and physiological elements that contribute to injury risk. This focus aids in developing more effective training programs and protective strategies to mitigate these risks (Myer et al., 2004).

Studies suggest that inter-limb asymmetry can be a significant risk factor for injuries in football players; however, results are not always reliable (Guan et al., 2022). The term 'inter-limb asymmetry' describes variations in limb strength and function, which can result in an uneven distribution of force and a higher risk of injury. Lower extremity asymmetry is crucial as it can cause overloading of one limb, leading to unilateral lower limb injuries. These injuries include anterior cruciate ligament (ACL) injuries, patellar tendinopathy, chronic ankle instability, and ankle sprains (McPherson et al., 2016). Football players frequently use their stronger foot when shooting, which could cause imbalances in force and balance between their dominant and non-dominant legs. Because these asymmetries directly affect the dynamic motions needed for football, they may increase the risk of injury (Bishop et al., 2019). Football players participate in short bursts of high-intensity training, requiring them to execute a range of motions (ROM) such as kicking, sprinting, and changing directions, all of which need maximal lower-limb strength and power (López-Fernández et al., 2018; Bishop et al., 2021). As a result of their inability to use both limbs equally during high-intensity actions, football players are likely to acquire asymmetry (Bishop et al., 2019).

The Drop Vertical Jump (DVJ) is a biomechanical assessment tool that involves an athlete dropping off a static box, landing, immediately performing a maximal vertical jump towards a target, and then executing a second landing (Bates et al., 2013). The DVJ enables researchers to investigate variations in biomechanical risk factors, including joint kinetics and kinematics (Bates et al., 2013a). The DVJ task consists of two separate landing phases. The first landing phase happens prior to the athlete performing a maximal vertical jump from a stationary platform, and the second landing phase happens after the athlete completes the vertical jump (Bates et al., 2013c). The literature has predominantly focused on the first landing phase. Athletes are given precise directions for the first landing of the DVJ, whereas there are no clear instructions for the second landing (Bates et al., 2013a). In order to comprehend force absorption in comparison to the first landing, kinematic and kinetic analysis is essential. The lack of instructions for the second landing may have a detrimental effect on neuromuscular control and increase the risk of injury (Bates et al., 2013a).

The primary objective of this study was to examine lower limb asymmetry of elite young female football players during DVJ test kinetically and kinematically. More specifically, this study investigated detailed kinematic data patterns at the moment of initial contact with the dual force platform, focusing on when the center of mass (COM) is at its lowest point at the hip, knee, and ankle joints. Although the second landing phase has been less explored, limited studies indicate that it is associated with poorer neuromuscular control and an increased

risk of injury. Therefore, the hypothesis tested was that significant biomechanical differences between these landings will offer detailed insights into joint kinematics, revealing crucial variations across the different landing phases.

Methods

Participants and Instrumentation

The study cohort comprised elite female football players (n=10; age= 24.4 years (SD= 5.9 years) from the Fenerbahçe team. The mean BMI of the participants is 21.09 kg/ m^2. The Drop Vertical Jump (DVJ) test methodology was conducted at the Performance Analysis Center in Acıbadem Sports. Prior to the commencement of the tests, each participant was thoroughly briefed on the test procedures and provided their written informed consent. Modern apparatus was used in the testing protocol, such as the Vald Force Deck (ForceDecks, Vald Performance, Brisbane, AU) for measuring kinetic data and the Xsens MVN Awinda system (Movella North America Inc., Henderson, NV, USA) for collecting detailed kinematic data at the head, shoulders, sternum, upper arms, hands, pelvis, upper and lower legs, and feet. MTw sensors included accelerometers, gyroscopes, and magnetometers. These wireless, battery powered IMU sensors record data for in-depth analysis and give real-time data within a 50 m radius, sampling at up to 60 Hz. An essential piece of equipment for the DVJ test is the box, which was positioned precisely so that each foot would land on a different force platform if the athlete dropped straight down. This sophisticated setup facilitated a thorough analysis of each athlete's biomechanical performance.

Table1: *Participant Information*

Participant ID	Age (years)	Weight (kg)	Height (cm)	BMI (kg/m²)
P01	24	59.7	165	21.90
P02	32	67.9	175	22.20
P03	19	61.3	168	21.70
P04	29	61.8	168	21.90
P05	22	55.3	168	19.60
P06	31	57.7	163	21.70
P07	18	52.2	162	19.90
P08	17	60.5	171	20.70
P09	29	55.9	163	21.00
P10	20	67.4	182	20.30



Figure 1: *Xsens MVN Consisting of 17 Inertial and Magnetic Motion Trackers (Schepers, M. et al., (2018, March 23)*

Drop Vertical Jump Procedure

Prior to the commencement of the DVJ test, comprehensive measurements were taken to ensure accuracy and reliability. Anthropometric data, including height, weight, and limb length, were meticulously recorded for each participant. Following the measurements, participants put on t-shirts and athletic shorts to guarantee optimal range of motion (ROM) and accurate positioning of the sensors on joints and body parts. They then performed a structured warm-up routine to prepare for the testing, ensuring muscle readiness and minimizing the risk of injury.

First and foremost, a thorough demonstration was provided to ensure participants fully understood the procedure. Each participant then performed three trials of the DVJ task. The athlete started the test by placing their arms at their sides in a natural position while standing atop a 30 cm box. The participants executed a controlled first landing on the force platforms by plunging straight down from the box. As soon as they touched down on the platforms, they launched themselves into the highest possible vertical leap. A second landing, in which both feet contacted the force platforms once more, followed this motion. To ensure accurate measurement of kinetic and kinematic variables, each jump phase was carefully carried out and repeated three times. Also, ensuring the safety and well-being of participants during the data gathering phase was the responsibility of a proficient physiotherapist. Initially, measurements were collected from 13 participants. However, to ensure the quality and reliability of the data, the final analysis was conducted on 10 participants whose data met the required standards.

Data Organization

The data collected in sagittal plane during the DVJ tests were meticulously organized to ensure thorough analysis and interpretation. Kinetic data from the force platforms and kinematic data from the Xsens MVN Awinda motion trackers were recorded in real-time. Each trial's data included force measurements, jump height, and detailed joint movement at the hip, knee, and ankle. Each subject's best jump was used as a representation of that subject's

performance in data analysis. DVJ was divided into phases based on the data that were gathered. Joint (hip, knee, and ankle) data were analyzed between the moment of initial contact (IC) and the athlete reaching the lowest point of center of mass (COM). The data preparation process involves first selecting the most accurate marker (trajectory) from both landings of 3 jumps for each participant in DVJ tests. For the statistical analysis, data were interpolated to 30 data points. After the interpolation process, the maximum, minimum and ROM values of each person were calculated for the abduction/adduction, internal/external rotation, and flexion/extension (dorsiflexion/plantarflexion for the ankle) movement types in the hip, knee, and ankle joint. Also, the same process was done for COM data. These operations are carried out using the Xsens MVN Analysis Software system (Xsens MVN Record, version 2023.2.0) and MATLAB (Version: R2022b, The MathWorks Inc., Massachusetts, USA).

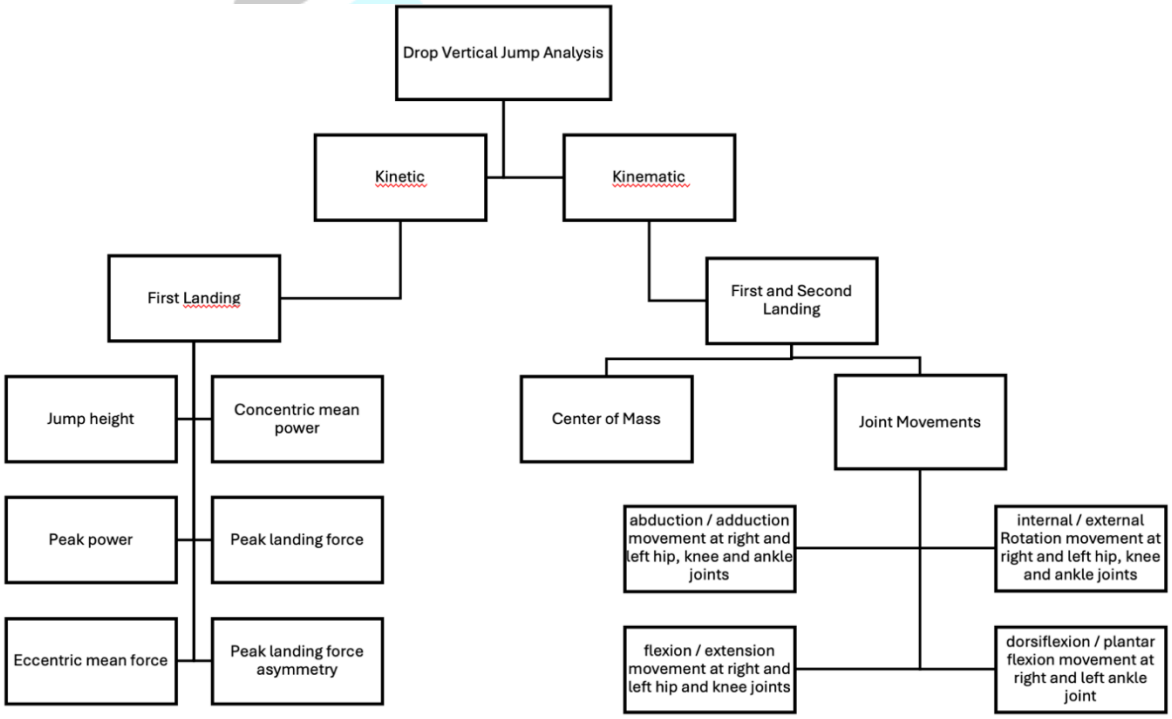


Figure 2: *Data Organization Schema*

Statistical Analysis

All statistical analysis were conducted in SPSS (IBM SPSS Statistics 29.0). According to the G power analysis, sample size was determined as 10. Spearman's rho analysis assessed statistical differences in mean and maximum values of kinetic data parameters (jump height, concentric mean power, peak power, peak landing force, eccentric mean force, peak landing force asymmetry). In the kinematic analysis, independent samples t-test was used to compare side types (right versus left), while paired samples test was used to evaluate landing types (first versus second). The significance level for all statistical tests after the alpha corrections was ($p < 0.05$).

Results

Kinetic Results

For each participant's mean values at the first landing of the DVJ (Figure 3 and 4), there is a very strong positive correlation between concentric mean power and peak power ($\rho = 0.903$, $p < 0.01$). (Figure 5) Also, the mean concentric power and the mean eccentric force exhibit a reasonably positive and significant association. ($\rho = 0.648$, $p < 0.05$).

For each participant's maximum values at the first landing of the DVJ, when the relationships between concentric mean power (W) and other variables are examined, it is seen that there is a very strong and positive correlation between concentric mean power and peak power ($\rho = 0.927$, $p < 0.01$). (Figure 5 and 6)

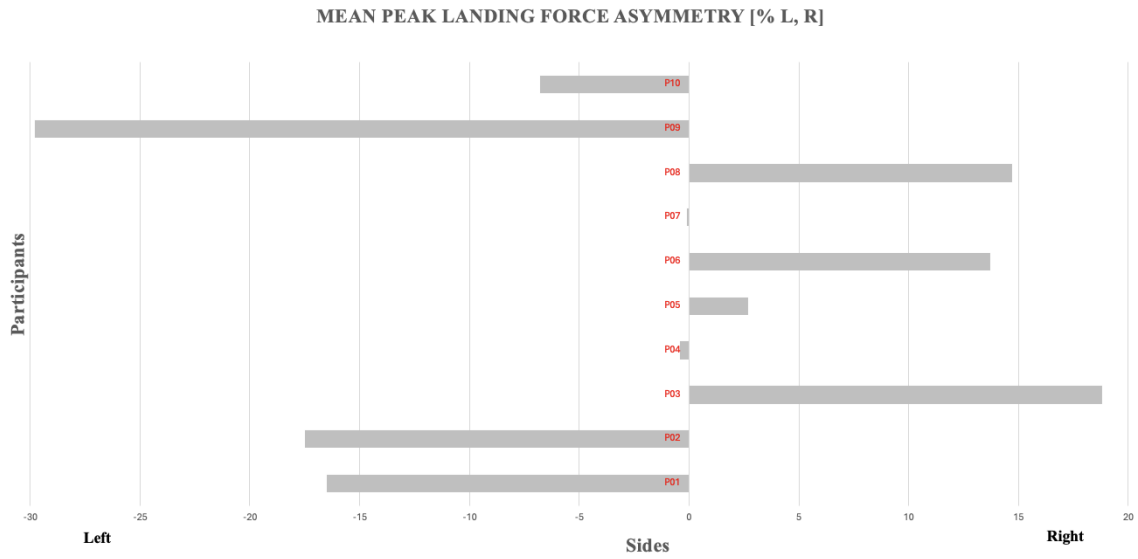


Figure 3: Group kinetics for mean peak landing force asymmetry

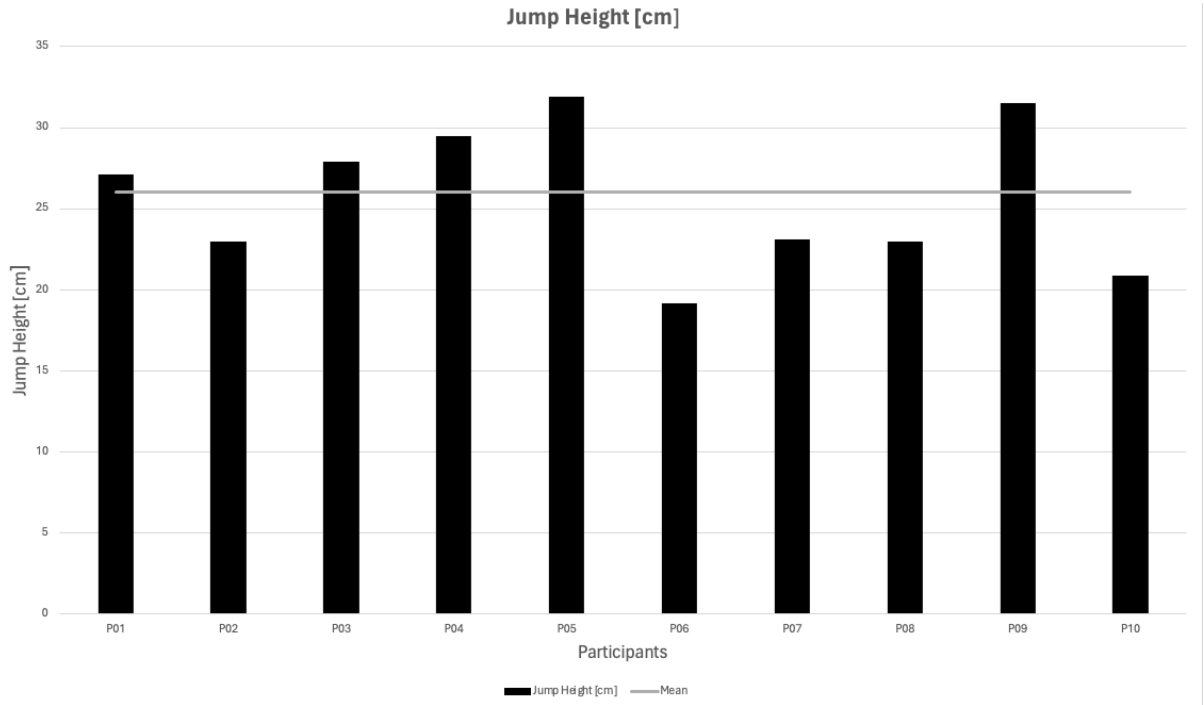


Figure 4: Average value of participants' jump heights

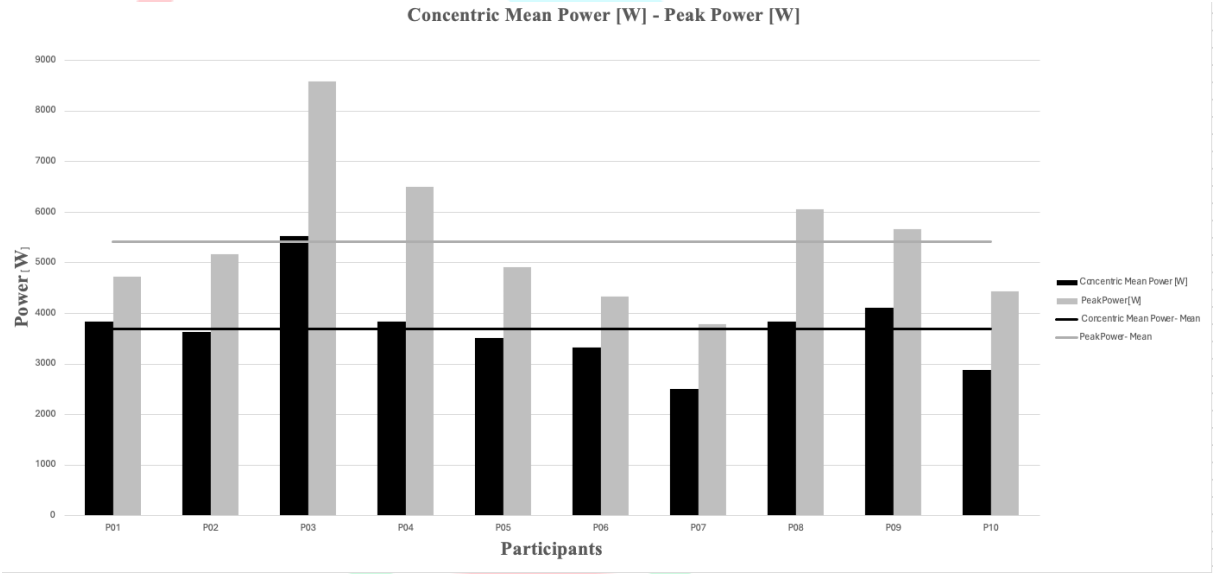


Figure 5: Average values of participants' concentric mean power and peak power

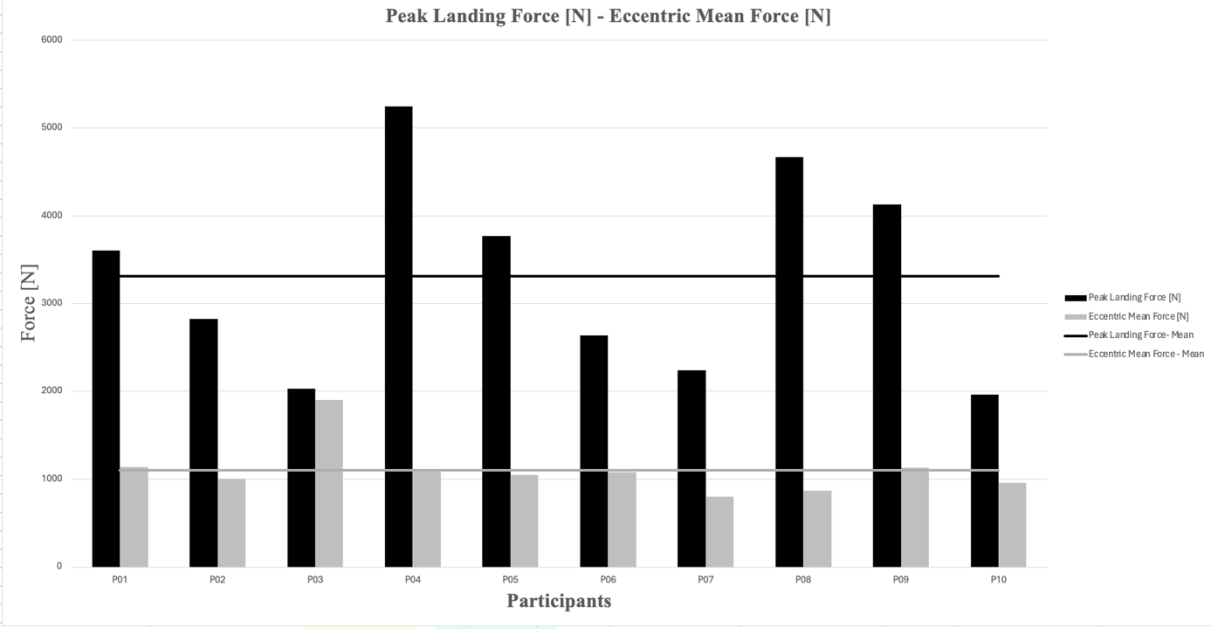


Figure 6: Average values of participants' peak landing force and eccentric mean force

Kinematic Results

Knee Joint

According to the independent samples t-test, no significant difference was observed between the right and left feet in the abduction/adduction movement of the knee joint during the first landing. Also, there is no significant difference was observed between the right and left feet in the abduction/adduction movement of the knee joint during the second landing.

In the internal external rotation movement of the knee, there is a significant difference between the right and left knee in the first landing according to the ROM ($p < 0.05$). According to the ROM, the average of the left knee is higher than the right knee. However, there is no significant difference between the right and left knee during the second landing in the internal external rotation movement of the knee.

During the knee flexion-extension movement in the first landing, no significant differences are observed between the right and left sides. During the second landing, there is no noticeable distinction in the knee flexion extension movement between the right and left knee.

Paired sample t-test was used to examine the differences between first landing and second landing. For the abduction/adduction movement, there is no difference between the first jump and the second jump according to the right and left knees. In the internal external rotation movement, there is a difference between the first landing and the second landing according to the right and left knees ($p<0.05$). The left knee minimum differs from the first landing (-4.4610157) to the second jump (-2.0644592). The left knee ROM differs from the first landing (-8.5016759) to the second landing (6.3107133). In the flexion/extension movement, there is a difference between the first landing and the second landing for all values according to the right and left knee ($p<0.05$).

Ankle Joint

According to the independent sample t-test performed during the first landing in the abduction/adduction movement of the ankle joint, there is no significant difference between the right and left ankle. Also, there is no significant difference between the right and left sides during the second landing in the abduction/adduction movement.

There is no significant difference between the right and left ankle during the first landing with internal/external rotation of the ankle joint. During the second landing, the internal/external rotation movement of the ankle joint does not significantly differ between the right and left sides.

There is no significant difference between the right and left sides during the first dorsiflexion/plantarflexion landing at the ankle joint. There is no significant difference between the right and left sides in the dorsiflexion/plantarflexion movement of the ankle joint during the second landing.

When the differences between landings were examined, no difference could be seen in the abduction/adduction movement type for the ankle joint compared to the right and left wrist. In the internal/external rotation movement, there is a difference between the first landing and the second landing according to the right and left ankle ($p<0.05$). The right wrist maximum differs from the first jump (1.0809711) to the second jump (4.7352742). In dorsiflexion/plantarflexion movement, there is a difference between the first landing and the second landing according to the right and left wrist ($p<0.05$). Left ankle maximum value from first landing to second landing; right ankle maximum value from first landing to second landing; and the right ankle minimum value differs from the first landing to the second landing.

Hip Joint

Firstly, when the differences between the right and left sides of the landings were examined, no significant difference was seen both the first landing and second landing in the abduction/adduction movement in the hip joint.

There was no significant difference between right and left both the first landing and the second landing in the internal/external rotation movement of the hip joint.

Also, the hip joint's flexion/extension of the hip joint did not significantly change between the right and left first and second landings.

The differences between the two landings were examined. While there is no difference in the abduction/adduction movement, there is a difference in the internal/external rotation movement according to the right and left hip joint ($p<0.05$). The maximum angle of the left hip joint differs from the first landing to the second landing. The maximum and minimum angles of the right hip joint differ from the first landing to the second landing. Additionally, in the flexion/extension movement, there is a difference between the first landing and the second landing for all values according to the right and left sides ($p<0.05$).

Center of Mass

According to the paired sample statistics, COM maximum, minimum and of motion values for the first and second landings differ significantly ($p<0.05$). According to the landing types, graphs illustrating specific joints and their corresponding movements are presented in Figures 7 and 8.

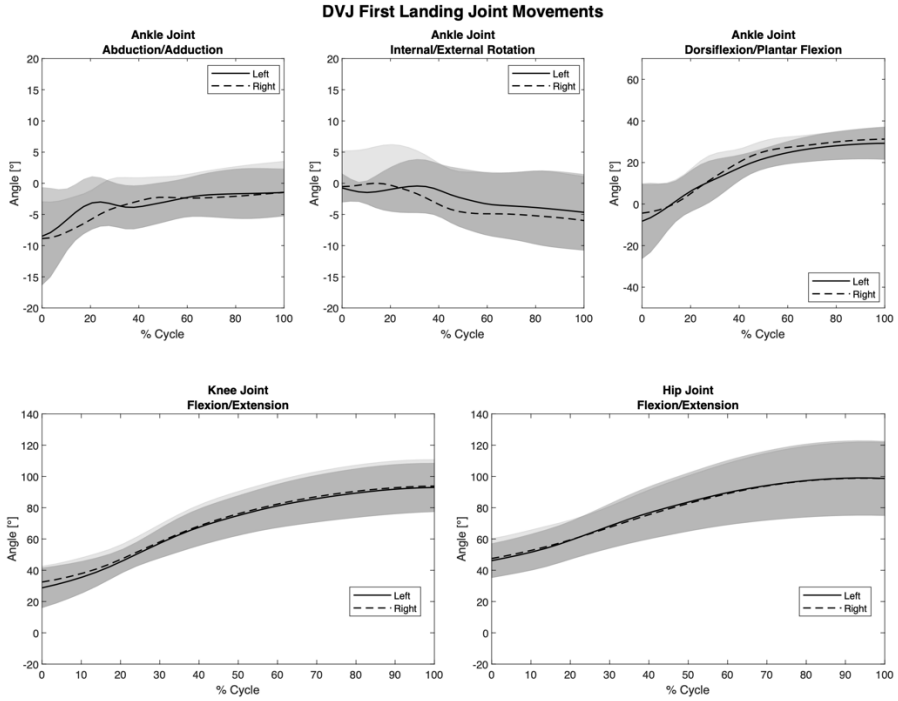


Figure 7: Group kinematics for DVJ first landing from initial contact to the lowest point of center of mass

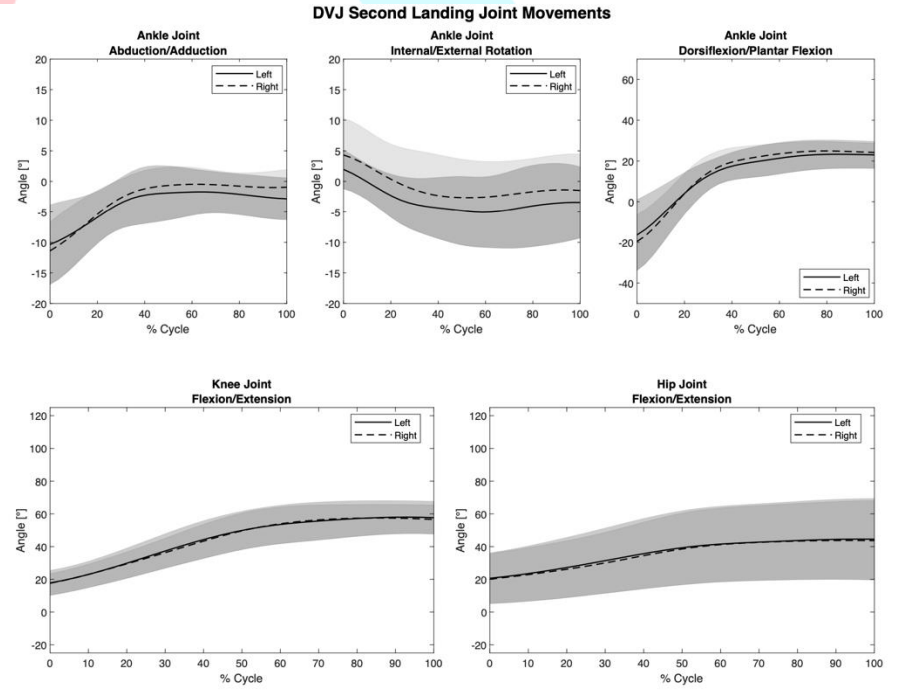


Figure 8: Group kinematics for DVJ second landing from initial contact to the lowest point of center of mass

Discussion

The results of this study highlight significant asymmetries and changes in kinematic behaviors in elite female football players during a DVJ task. A primary finding was the statistically significant asymmetry in knee internal/external rotation during the first landing phase, indicating that female football players exhibited unbalanced knee movements upon initial ground contact. This asymmetry can be attributed to the high impact stress experienced

during the first landing, which may cause female football players to rely more on their dominant leg. Additionally, the incomplete engagement of neural control and motor adaptation mechanisms during this phase could contribute to the observed imbalance.

In contrast, no significant differences were found between the right and left legs in the second landing phase, indicating that female football players achieved more symmetrical movements during this phase. This pattern of increased control and symmetry in the second landing phase highlights the female football players' ability to adjust their movements after the IC, showcasing their neuromuscular adaptation and control.

Further analysis comparing the first and second landing phases for the entire group revealed significant differences in several kinematic parameters, including knee internal/external rotation, hip internal/external rotation, ankle internal/external rotation, knee flexion/extension, hip flexion/extension, and ankle dorsiflexion/plantar flexion. These findings indicate substantial changes in joint behavior between the two landing phases. The first landing phase involves high impact absorption, which may lead to less controlled and more variable movements as the body reacts to the sudden force. This phase is characterized by greater reliance on the dominant leg and less engagement of neural control and motor adaptation mechanisms, leading to asymmetrical movements. In contrast, the second landing phase allows for correction and adaptation, resulting in more controlled and balanced movements. The female football players have already absorbed the IC, enabling them to perform more deliberate and symmetrical movements.

The rationale for examining the second landing phase in football players, similar to the reasoning in basketball studies, is to better understand how female football players manage repetitive landing tasks that mimic real-game scenarios. In football, movements such as headers, jumps to intercept the ball, and rapid changes in direction often require multiple landing events. Therefore, assessing the second landing phase provides insights into how female football players stabilize and control their movements after the IC, which is crucial for performance optimization and injury prevention.

Additionally, the study found no significant differences in abduction/adduction movements of the knee, ankle, and hip joints between the right and left sides during both landing phases. However, significant differences were noted in internal/external rotation movements and flexion/extension movements between the first and second landings. These findings align with previous research indicating that different muscle activation patterns and neuromuscular demands are placed on the lower extremities during drop jumps versus drop landings.

For each participant's mean values at the first landing of the DVJ, there was a very strong positive correlation between concentric mean power and peak power ($\rho = 0.903$, $p < 0.01$). Additionally, the mean concentric force and the mean eccentric force exhibited a reasonably positive and significant association ($\rho = 0.648$, $p < 0.05$). Furthermore, for each participant’s maximum values at the first landing, a very strong and positive correlation was observed between concentric mean power and peak power ($\rho = 0.927$, $p < 0.01$). The observed correlations between concentric mean power and peak power, as well as between mean concentric force and mean eccentric force, underscore the relationship between muscle power and joint movement efficiency during the DVJ task. These strong positive correlations highlight the importance of muscle power in executing effective and controlled landings.

Conclusion

This study provides valuable insights into the kinematic and kinetic behaviors of elite female football players during a DVJ task. The significant asymmetry observed in knee internal/external rotation during the first landing phase underscores the need for targeted interventions to address these imbalances. The findings highlight the importance of understanding different phases of athletic tasks.

A statistically significant asymmetry in knee internal/external rotation was found between the right and left legs ($p < 0.05$) during the first landing phase of the DVJ. This indicates that the female football players exhibited asymmetrical knee rotation when making initial contact with the ground. However, in the second landing phase, no significant differences were observed between the right and left legs in any of the analyzed joint movements, suggesting that the female football players achieved more symmetrical movements during the second landing. Additionally, other joint movements, including those at the ankle and hip, were symmetrical during both landing phases. This symmetry aligns with the repetitive and trained nature of the DVJ task in elite female football players, who are conditioned to perform such tasks with high efficiency and control.

The significant differences observed in kinematic data between the first and second landing phases suggest that the first landing involves less controlled and more variable movements due to high impact absorption. In contrast, the second landing phase allows for correction and adaptation, resulting in more controlled and balanced movements. These findings emphasize the importance of neuromuscular control and adaptation in achieving balanced and efficient movements in elite female football players.

The differences in kinematic parameters between the first and second landings were predominantly observed in the sagittal and transverse planes, specifically in flexion/extension and internal/external rotation movements at the knee, hip, and ankle. These mechanical differences suggest that the nature of the task changes from high impact and variable control in the first landing to more controlled and balanced movements in the second landing.

Studying symmetry and asymmetry in elite female football players is crucial for several reasons. First, it helps in performance optimization by identifying inefficiencies that can be addressed through targeted interventions. Second, it aids in injury risk assessment, as asymmetries are associated with increased risks of injuries such as ACL tears and ankle sprains. Third, the findings can inform training and rehabilitation programs, enabling the development of individualized strategies to enhance performance and prevent injuries. Asymmetries in joint movements can have significant implications for an athlete's overall musculoskeletal health. For instance, asymmetrical knee rotation increases the risk of ACL injuries, which are common in football. Similarly, asymmetries can lead to compensatory movements in other parts of the body, potentially causing injuries in the hip, lower back, or spine. Therefore, ensuring symmetrical movement patterns is essential for reducing injury risks and improving overall athletic performance.

The study acknowledges potential limitations, including the small sample size and the focus on group comparisons rather than individual analyses. Furthermore, only kinetic data for the first landing phase were available. Future research should include kinetic data for the second landing and observe muscle activation throughout both landings using surface electromyography (sEMG) to gain a comprehensive understanding of neuromuscular demands. Additionally, future research should expand on these findings by including larger sample sizes, incorporating individual analyses, and investigating the long-term effects of identified asymmetries. By doing so, a more comprehensive understanding of the biomechanics of elite female football players can be achieved, contributing to their success and well-being in sports.

Overall, this research underscores the importance of detailed biomechanical analysis in optimizing athletic performance and ensuring long-term musculoskeletal health. By addressing identified asymmetries through targeted interventions, elite female football players can achieve better balance, improved performance, and reduced injury risks.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

Bates, N. A., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2013a). Impact differences in ground reaction force and center of mass between the first and second landing phases of a drop vertical jump and their implications for injury risk assessment. *Journal of Biomechanics*, *46*(7), 1237–1241.

Bates, N. A., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2013b). Kinetic and kinematic differences between first and second landings of a drop vertical jump task: Implications for injury risk assessments. *Clinical Biomechanics*, *28*(4), 459–466.

Bates, N. A., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2013c). Timing differences in the generation of ground reaction forces between the initial and secondary landing phases of the drop vertical jump. *Clinical Biomechanics*, *28*(7), 796–799.

Bishop, C., Coratella, G., & Beato, M. (2021). Intra- and Inter-Limb Strength Asymmetry in Soccer: A comparison of professional and under-18 players. *Sports*, *9*(9), 129.

Bishop, C., Turner, A. N., Maloney, S., Lake, J., Loturco, I., Bromley, T., & Read, P. (2019). Drop Jump Asymmetry is Associated with Reduced Sprint and Change-of-Direction Speed Performance in Adult Female Soccer Players. *Sports*, *7*(1), 29.

Guan, Y., Bredin, S. S. D., Taunton, J., Jiang, Q., Wu, N., & Warburton, D. E. R. (2022). Association between Inter-Limb Asymmetries in Lower-Limb Functional Performance and Sport Injury: A Systematic Review of Prospective Cohort Studies. *Journal of Clinical Medicine*, *11*(2), 360.

Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2006). Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, Mechanisms and Risk Factors. *The American Journal of Sports Medicine*, *34*(2), 299–311.

López-Fernández, J., Sánchez-Sánchez, J., Rodríguez-Cañamero, S., Ubago-Guisado, E., Colino, E., & Gallardo, L. (2018). Physiological responses, fatigue and perception of female soccer players in small-sided games with different pitch size and sport surfaces. *Biology of Sport*, *35*(3), 291–299.

Martonick, N. J., Chun, Y., Krumpl, L., & Bailey, J. P. (2022). Lower extremity kinematic waveform analysis during a single leg drop task – including a single subject design. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *17*(7).

McPherson, A. L., Dowling, B., Tubbs, T. G., & Paci, J. M. (2016). Sagittal plane kinematic differences between dominant and non-dominant legs in unilateral and bilateral jump landings. *Physical Therapy in Sport*, *22*, 54–60.

Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2004). Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes. *PubMed*, *39*(4), 352–364.

Schepers, M., Giuberti, M., & Bellusci, G. (2018, March 23). Xsens MVN: Consistent Tracking of Human Motion Using InertialSensing. ResearchGate.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Düşük Maliyetli Katı Yakıtlı Roket Motoru Tasarımı

Zeynep Rümeysa Akgül[1]
Hakan Terzioğlu[2]

Özet

Üniversitelerde yapılan roket çalışmaları gerçek uçuş şartlarında test edilmek yerine birçok zaman sadece simülasyon ortamında test edilebilmektedir. Uygun test şartlarının sağlanması simülasyon ortamında öngörülemeyen hataların tespit edilerek çözülmesi için önemlidir. Test ortamının sağlanması ise roketin üretimi ve test atışının yapılması ile gerçekleştirilebilir. Test atışı için gerekli olan motor ülkemizde ticari olarak üretilip satılan bir ürün değildir. Kullanım alanı az ve ticari pazarı düşük olduğu için ulaşılabilir bilgi kaynağı azdır. Bundan kaynaklı olarak üretim ve geliştirme aşamaları birçok test ve tecrübe edilmesi gereken nokta içermektedir. Bu aşamaların fazlalığı maliyetleri yükseltebilmekte ya da iş gücünü arttırmaktadır. Yapılan çalışmada az maliyetle katı yakıtlı roket motoru üzerine bir çalışma olan Richard NAKKA'ya ait PVC K1000 motoru incelenmiş ve motor tasarımı hakkında teorik bilgi verilmiş ve benzeri bir motor tasarımı, tekrar düzenlenip basit bir model roket üzerinden OpenRocket üzerinden simüle edilerek uçuşa olan etkisi incelenmiş ve standart kompozit katı yakıt bulunduran başka bir motorun aynı roket üzerindeki uçuş değerlerine olan etkisi ile karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre kolay ulaşılabilir potasyum nitratın daha düşük yanma değerlerinden doğan itkinin verimsizliğini gidermek için alternatif yollar ve motor iyileştirmeleri incelenmiş, yakıt çekirdeğinin şekli sabit tutulup karışımın oranları ve tanecik boyutlarının etkisinin yanma biçimlerine dolayısıyla itki grafiğine verimli olan etkileri saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: havacılık, deneysel, katı yakıtlı roket motorları, roket, düşük maliyet

[1] Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, 0009-0007-7578-0047
[2] Dr. Öğr. Üyesi, Selçuk Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 0000-0001-5928-8457

ISBN: 978-625-372-170-1

1. GİRİŞ

Roketler yanmayla elde edilen itki sonucu içerisindeki faydalı yükü bir yerden bir yere taşıyan araçtır. Atmosfer içinde ve dışında hareket edebilir. Bu yüzden motorları hava solumalı jet motorları gibi atmosferdeki oksijeni kullanma ihtiyacı duymazlar. Füzeler ise atmosfer içinde askeri amaçla kullanılan roketler, akıllı mühimmatlara denir.

Roketler tarihinin başlarında uçları havayı rahatça delebilecekleri şekilde ovalleştirilmiş katı yakıtlı motorlardan oluşmaktadır. Ulaşmak istedikleri hedefe yerleştirildikleri kundak tarafından yönlendirilip açı veriliyor sonrasında serbest atış olarak fırlatılıyorlardı. M.Ö 500 Çinde dini törenlerde veya eğlence niyetiyle kullanılan fişekler sıkıştırılmış baruttan oluşan ilk roket örneği olduğu gibi aynı zamanda da katı yakıtlı roket motoru örneklerinden biriydi (Z. Burçak Kanatsız, 2002) (İnger, Roket, Füze ve Uçuş Ortamı Atmosfer, 2017). Çin ilerleyen zamanlarda roketi askeri amaçlı olarak kullanmaya başladı böylece roketlerin savaşlarda kullanılması moğollara ardından da araplara geçerek nihayetinde 1300'lerde Avrupaya kadar ulaşmıştır. Türklerin tarihinde roketin gelişimi ise Fatih Sultan Mehmet'in Şahi ve Havan toplarıyla üst seviyeye ulaşmıştır. 1668'de Almanya askeri roket deneylerini başlatan ve bu konu üzerinde insan gücü ve mali kaynaklar açısından en ciddi ve kapsamlı çalışmaları yapan ülkelerden biridir. Özellikle nazi Almanyasında Wernher von Braun'un geliştirdiği uzun menzilli balistik roketleri V1 ve V2'nin sahaya çıkması ile "balistik füze" ifadesi askeri terminolojiye sokulmuştur. 1945'te Almanyanın çekilmesi üzerine Hitler roketle ilgili elde edilen bilgilerin Amerikaya geçmesini engellemek için Von Braun ve ekibini ortadan kaldırmaya çalıştı ancak ekibin Amerika'ya kaçması ile liderlik değişti. Soğuk savaş döneminde ise Sovyet Rusya ve Amerika arasındaki teknolojik rekabet rusyanın V1 ve V2 bu roketlerinden faydalanarak uzaya çıkan roketlerin tasarlanması sağlamıştır. (Z. Burçak Kanatsız, 2002)

Uzaya çıkan roketlerin temelinde ise sıvı yakıtlı motorlar başroldedir bu motorların gelişim sürecinde Rus bilim adamı Konstantin Tsiolkovski 1880'lerde sıvı yakıtlı roketlerin uzaya çıkmak için kullanılabileceğini matematiksel olarak kanıtlanmasından faydalanılmıştır, o dönemlerde teorikte kalmış olsada Robert H. Goddard sıvı yakıtlı roketleri yapacaktı (Dobrovolskiy, 2018). Böylece balistik amaçlı füze kullanımı sürecinde öncelikle katı yakıt kullanılmış, uzun menzilli roketler için jet motorları denenmiş ve sıvı yakıtlardan da faydalanılmıştır. 2. Dünya savaşından kalma roket teknolojisi ve öncesine dayanan teorik bilgiyle 1954 de ilk uydu Sputnik uzaya gönderilmiştir.

Bugün roketler savunma ve uzayda birçok yerde ileri teknolojilerle kullanılmakta aynı zamanda yeni teknolojilerin gelişmesinde büyük rol oynamaktadır. Üniversiteler de dahil olmak üzere bu konunun araştırmaları ve testleri artış göstermekte olup model roket veya yüksek güç roketçiliği ile başlayan bu süreç sondaj roketleriyle devam edip daha ilerisine gitmektedir. Bu çalışmada da üniversitelerin roketle ilgili projelerinde kullanılmak üzere katı yakıtlı motor tasarımı üzerinde durulacaktır.

1.1. Roket Motoru Çeşitleri (Rocket Engine Types)

Roket motorları yanma sonucu açığa çıkan yüksek basınçlı gazın alçak basınca doğru nozulden tahliye olmasıyla itki oluşturarak kütlesini belli irtifa veya menzile taşıyacak kuvveti oluşturan sistemlere denir. Sanılanın aksine roket motorları itki üretmek için patlamadan yararlanmazlar, yanma ve patlama farklı kavramlardır, patlama yanma sonucunda meydana

gelen bir olaydır yani patlama sebebiyle yanma oluşmaz. Patlama; hızlı yanma esnasında ani bir enerji çıkışı gerçekleşmesidir dolayısıyla roketlerin hızlı yanma aşamasının patlama noktasına ulaşmaması gerekir. [4]

Roket motorları jet motorları ve türevleri gibi oksijeni atmosferden solumazlar, yakıt ve oksitleyiciyi kendi içerisinden temin ederler. Yakıtın motor tasarımında kritik olmasının sebebi spesifik/özgül impulsun motor için ayırt edici bir özellik olarak kullanılmasından gelir [5]. Tek başına impuls ifadesi ise Ns ile ifade edilir ve yakıtın ağırlığının buna denk kuvvet üretmesi için geçen saniyelerdir.

Roket motorlarının atmosfer içinde kullanılan kimyasal versiyonları 3 adettir;

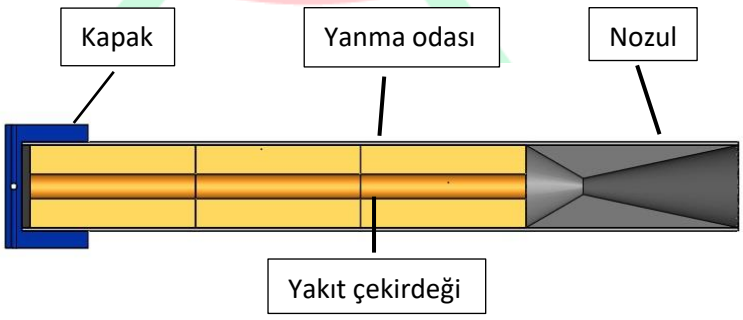
- Katı,
- Sıvı,
- Hibrit.

Bu motorlarda nozül ve yanma odası ortak yapısallarken sıvı yakıtlarda yanıcı ve yakıcı ayrı tanklarda bulunur. Hibrit yakıtlı motorlarda seçime bağlı olarak sıvı tercih edilen yanıcı ve ya yakıcı tankın içindedir, katı yakıt yanma odasının içerisinde bulunur. Bu sistemlere ek olarak soğutma sistemleri, vanalar ve ateşleyiciler eklenir (Dobrovolskiy, 2018).

Katı yakıt çoğunlukla ilk başlatıcı denilen ve roketin azami hız seviyesine ulaşması için kullanılan motorlardır. Katı yakıtlı motorların diğer yakıt türlerine göre malzemesine ulaşılması, elde edilmesi daha kolay dolayısıyla düşük maliyetlidir. Atmosfer içersinde kullanıma uygundur. Katı yakıtlı roketlerin dezavantajlarından biri ateşleme gerçekleştikten sonra yanmanın kontrol edilememesidir. Roket ateşlendikten sonra sonuna kadar yanmaya devam eder. Katı yakıtlara örnek olarak potasyum nitrat- şeker, amonyum perklorat, barut ve benzeri karışımlar örnek verilebilir.

Sıvı yakıtlı roketler ise yanıcı ve yakıcının tanklarda bulunduğu, bunların vanalar aracılığıyla nozulde ateşlenmesidir. Sıvı yakıtların katı yakıtlara göre avantajı itkisinin boyutunu ve yanma aşamaların kontrol edilebilmesidir. Dolayısıyla güdümü roketler veya belli bir yörüngeye ulaşmak isteyen uzay araçlarında hedefe doğru esnek hareket gösterilen yerlerde tercih edilirler. Atmosfer dışına çıkmak için kullanılan roketler sıvı yakıtlı roketlerdir. Sıvı yakıtlı roketlerin dezavantajı ise katı yakıta oranla daha tehlikeli olan hipergolik yakıtlar gibi kimyasallarla çalışılıyor olması ve kurulan tanklı sistemin egzos düzeneklerinin soğutma sistemleri bulundurmayı gerektirmesi mekanizmanın karmaşıklaşmasına ve ağırlaşmasına sebep olur.

Kimyasal içerikli motorlar atmosferi geçmek için tercih edilen yakıtlardır. Bunların dışında nükleer enerjiden faydalanılan ve elektrik enerjisinden faydalanılan iyon motorları da mevcuttur. Iyon motorları özellikle uydularda uzun mesefalerin kat edileceği uygulamalarda tercih edilir.



Görsel 1. Roket motorun temel parçaları, buradaki görsel katı yakıtlı bir roket motorudur.
(Basic parts of rocket engine, the image here is a solid fuel rocket engine.)

Motorlar 4 temel parçadan oluşurlar:

- Yanma odası
- Kapak
- Yakıt
- Nozul/lüle

Yanma odası, yüksek basınçlı gazın oluştuğu bölge olduğu için iç balistik şartlara yani yüksek sıcaklıklara ve basınca dayanıklı bir malzeme olması gerekmektedir. Çelik ve havacılıkta tercih edilen 6061 T6 gibi alaşımlı alüminyumlar bunlara örnektir.

Kapak, yakıtın yerleştirildiği girişi kapatarak yanma odasının tamamen kapanmasını sağlayan kısımdır. Bu kısımlarda sızdırmazlık önemlidir. Kapak kısmında farklı yakıt tipleri için yakıt geçişinin sağlandığı vanalarda bulunur.

Nozül, yanma odasına benzer şekilde hareket eder, oluşan gazın itkiye dönüştürülmesi esnasında boğaz kısmında şok dalgaları oluşabilir.

1.1.1. Katı yakıtlı roket motorlar *(Solid propellant rocket engines)*

Katı yakıtlı roket motorları diğer roket motorlarına oranla daha basit ve kabadır, gelişen kimya teknolojisiyle çok büyük itki değerlerine ulaşılsa bile atmosferi terk etmek için tercih edilmezler çoğunlukla askeri amaçlı füzelerde veya kademeli roketlerde sevk motorları, yönlendirici, genellikle ise ilk hareket motoru yani booster olarak kullanılır.

Bu motorlar yanma başladıktan itibaren burnout yani yanma sonuna kadar kesintisiz olarak yandıklarından dolayı kontrol edilemeyen türden motor çeşitleridir. Bu motorların neden, ilk hareket motorları olarak tercih edildiği açıklar çünkü rokete maksimum hızı, maksimum menzili ve rampa çıkışından ulaşılan yüksek hızla roket stabilliğini sağlarlar. Dolayısıyla ilk hareket motorlarının yakıtlarında istenen parametreler;

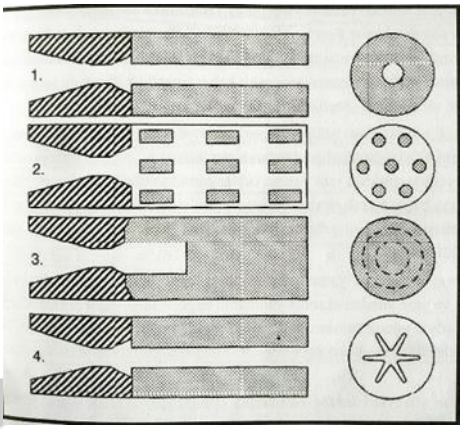
- Büyük yanma yüzeyleri buna bağlı olarak hızlı yanma ve yüksek basınca aniden ulaşmasından dolayı, yüksek itkiye sahip olmalarıdır (İnger, Roket Yakıtı Ve Çeşitleri, 2017)
- Yakıtın kütlesinin hafif olması ama yüksek enerji üretebilmesi,
- Dumansız olması,
- Yakıt tanelerinin küçük olması,
- Oksitleyici madde yüzdesinin fazla olması,
- Yanma hızını arttıran madeni tozlar veya bağlayıcıların kullanılması,
- Yanma yüzeyine paralel akan gaz hızı,
- Ateşlenmeden önceki sıcaklıkla diğer beklentiler arasındadır (Hayri YAMAN, 2018)

Sevk motorlarının parametreleri ilk hareket motorlarından farklıdır;

- Daha yavaş yanmaları ve bunun sonucunda daha uzun itki üretip boosterın kazandırdığı hızdan sonra hava direncine yenilmeden karşı bir yük oluşturacak şekilde ilerleme sağlanması beklenir (İnger, Roket Yakıtı Ve Çeşitleri, 2017)

Yakıtların kimliği konumunda olan özgül impuls değeri katı yakıtlarda, sıvı yakıtlı roketlerin aksine sadece kimyasal yapıya bağlı değil aynı zamanda yakıt geometrisine bağlıdır. Yukarıdaki paragraflarda anlatılan yanma yüzeyi alanları yanma hızını buna bağlı olarak içerideki basıncın ve sıcaklığın değişiminde dolayısıyla itki değerinin zamana göre değişiminde büyük rol oynar bunun nedeni gaz akışının yanma yüzeylerine paralel akışıdır.

Yakıt çekirdekleri tasarımcıya göre çeşitlendirilebilir ancak standart olarak bilinen 4 tanedir.



Görsel 2. Yakıt çekirdeklerinin bazı türleri (İnger, Yakıt Çekirdekleri Sınıflandırmaları, 2017) (Some types of grain cores)

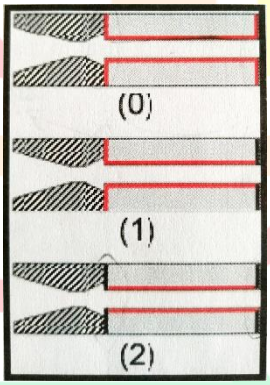
1 radyal yanmalı silindirik yakıt çekirdeği (üretim kolaylığından dolayı en çok tercih edilen)

2 silindirik peletli yakıt çekirdeği

3 eksenel çentikli sondan yanmalı yakıt çekirdeği

4 yıldız kesitli yakıt çekirdeği (geniş ve sabit yanma yüzeyleri dolayısıyla en çok tercih edilen geometridir çünkü yanma yüzeyinin yanma zamanı boyunca %+- 15 sabit kaldığı görülmüştür bu nötr yanma grafiği çizdiği ve stabil giden itki değerinden dolayı daha lineer bir uçuşun oluştuğu anlamına gelir (Hayri YAMAN, 2018)

Bu tasarımların bazı yüzeyleri inhibe edilerek yani yalıtılarak yanması engellenebilir böylece yanma boyunca meydana gelen basınç dolayısıyla itki grafiği daha kontrollü hale getirilebilir. Yanma süresinin artmasıyla yanma alanının küçüldüğü durumlarda itki grafiği zamanla düşer, bunlar azalan (regresive) özellikte çekirdeklerdir, tam tersinde ise zamanla yanma yüzeyinin artışı itkiyi artıracağından artan (progressive) çekirdeklerdir. Artan yanmalı çekirdekler ilk hareket motorlarının isterlerini daha iyi karşılar. (İnger, Roket Yapısında Yer Alan Elemanlar, 2017)



Görsel 3. Yakıt çekirdeklerinin yan kesiti üzerinden yanma yüzeyleri (İnger, Roket Yapısında Yer Alan Elemanlar, 2017) (Combustion surfaces through cross-section of fuel cores)

KYRM'lerin de özgül impuls değerinden yola çıkarak hesaplanılan toplam impuls değerleri araların da 2 katı olacak şekilde artış gösterir ve bu artış alfabetik olarak sınıflandırılarak motorun hangi kategoriye hitap ettiğini göstermekte kullanılır.

Rocket Classification	Total Impulse (Newton Seconds)	Impulse (Pound Seconds)	Type
1/8A	0.3125 NT Seconds	0.3125 LB Seconds	Micro
1/4A	0.625 NT Seconds	0.625 LB Seconds	Low Power
1/2A	1.25 NT Seconds	1.25 LB Seconds	
A	2.5 NT Seconds	0.56lb LB Seconds	
B	5 NT Seconds	1.12 LB Seconds	
C	10 NT Seconds	2.24 LB Seconds	
D	20 NT Seconds	4.48 LB Seconds	
E	40 NT Seconds	8.96 LB Seconds	Mid Power
F	80 NT Seconds	17.92 LB Seconds	
G	160 NT Seconds	35.96 LB Seconds	
H	320 NT Seconds	71.92 LB Seconds	HIGH POWER Level 1
I	640 NT Seconds	143.83 LB Seconds	
J	1280 NT Seconds	287.65 LB Seconds	HIGH POWER Level 2
K	2560 NT Seconds	575.51 LB Seconds	
L	5120 NT Seconds	1151.02 LB Seconds	
M	10240 NT Seconds	2302.04 LB Seconds	HIGH POWER Level 3
N	20480 NT Seconds	4604.087 LB Seconds	
O	40960 NT Seconds	9208.17 LB Seconds	

Görsel 4. Roket motorlarının sınıflandırılması (Gasmire, 2019) (Classification of rocket engines)

Model roketler için kullanılan küçük motorlarda genellikle barut veya yüksek yanmalı tozlar kullanılır bunlardan biri de 2.04/1 oranlı çinko/sülfürdür (Asılyazıcı, 2001) ancak bu yakıtlarda dikkat edilmesi gereken ise sıkışma ve basıncı engellemektir aksi taktirde patlayabilirler. Model roket motorları G sınıfına kadar girer. Roket boyutu büyüdükçe yakıt daha karmaşık kimyasallar olan kompozit yakıtlara dönüşür. Bunlara potasyum nitrat, amonyum percloreyt gibi yakıcılar(oksitleyiciler) ve alüminyum magnezyum gibi yakıcılardır. Farklı yanıcı ve yakıcılarla farklı yakıtlar oluşturulabilir ancak burada da oto ateşlenmeye dikkat edilmelidir.

Kompozit yakıtların ürettiği itki dışında diğer bir avantajı yakıtı elastik bir yapıya sokmasıdır bu sayede taşınma kolaylığı sağlar ancak yine de yakıtların üzerinde çatlak oluşmasına özellikle dikkat edilmelidir çünkü oluşan çatlak yanma alanında dengesizlik oluşturabilir ve istenmeyen ateşlenmeler çekirdeğin farklı yerlerine iletilerek motora zarar verebilir. Bu motorlar model roketlerde de kullanılabileceği gibi impulsu 160Ns den büyük olanlar H-O arası yüksek güç roketlerinde kullanılırlar.

Aşağıda motor tasarımı için gerekli olan formüller, değerler ve işlem yöntemi verilmiştir (Asılyazıcı, 2001). Motor tasarlamadan önce bazı değerler isteğe göre yazılabilir ve daha sonra elde edilen sonuçlarla değerleri değiştirerek daha verimli olması sağlanılır. Rampa değerleri ve motorun yanma süresi gibi elde etmek istenilen değerleri belirledikten sonra bilmeniz gereken bir model roketlerin rampadan çıkış hızının minimum 9m/s olmasıdır.

İlk önce model roketin rampayı terk etme hızı hesap edilir.

$$a_{rod}=\frac{V_{ram}{}^2}{2\,l_{ram}} \qquad (4)$$

$a_{rod=}$ roket kalkış ivmesi

V_{ram}=rampayı terketme hızı

l_{ram}=rampanın uzunluğu

Çıkan değer yer çekimi ivmesine (9,81) bölünerek roketin kaç "g" olduğu ($a_{rod,g}$) ordan da itki/ağırlık oranı bulunur.

$$T/W = a_{rod,g}+1 \quad (5)$$

T/W = itki ağırlık oranı

Buradaki ağırlık motor dahil ağırlıktır. Sonrasında motorun özgül impuls değerine geçilir;

$$I_{sp}=\frac{(T).(t_b)}{W_p} \qquad (6)$$

I_{sp}= özgül impuls

T= itki

T_b= yanma süresi

W_p= yakıt ağırlığı

Buradaki değerlerden yanma süresi isteğe göre seçilebilir. Ancak tasarım yaparken özgül impuls değeri belli olan bir değerden yola çıkarak sonraki değerlere ulaşmak daha kolaydır.

Bu değerler ile ilk itki hesaplanır. İlk itki hesaplamada yakıt kütle tesiri dediğimiz taşıdığımız yükün ihtiyacı olduğu yakıtı aslında yakıtın verimini belirten değerden faydalanılır. Bu değerin 0-1 arasında olması gerekir. Model roketler için bu değer 0.7'dir.

$$T_{ilk} = \frac{f_p W_r}{\left[\left(\frac{f_p}{\frac{T}{W}}\right) - \left(\frac{t_b}{I_{sp}}\right)\right]} \quad (7)$$

T_{ilk}= kalkış itkisi

Fp=0.7

W_r= roketin boş ağırlığı

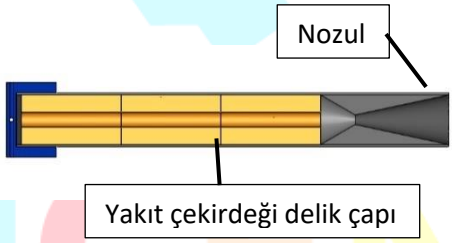
Elde edilen ilk itiyi T/W formülünde yerleştirirsek roketin kalkış ağırlığı yani motorun dahil olduğu dolu ağırlığı bulunur. Sonrasında ise dolu ağırlıktan boş ağırlık çıkartılır ve sadece motorun ağırlığı elde edilir.

$$W_{mot}=W-W_r \quad (8)$$

Bu değeri motor kütle tesiri ile çarpılırsa yakıt ağırlığını (W_p) elde edilir. Bu elde edilen değer özgül impuls ile çarpıldığında roketin impulsu ortaya çıkar. Bu değer ile motorun hangi sınıfa ait olduğu ortaya çıkar.

$$I=W_p.I_{sp} \quad (6)$$

Bu verileri elde ettikten sonra roketin balistik performans değerleri hesaplanır.



Görsel 5. Balistik performans değerine etki eden parametreler *(Parameters affecting the ballistic performance value)*

Boyun alanı ve boyun çapı hesabı;

$$A_{boyun}=\frac{Y_{wakhı}.C^*}{P_{yo}.9.81} \quad (9)$$

A_{boyun}=nozul boğazı alanı

$Y_{wakhı}$=yakıt ağırlığı akış hızı

C*=yakıtın karakteristik yanma hızı

Kullanılmak istenen yakıt standart bir yakıtsa C* hazır elde edilebilir ya da

$$C^*=\frac{Isp}{C_f} \quad (10)$$

C_f =itki katsayısı

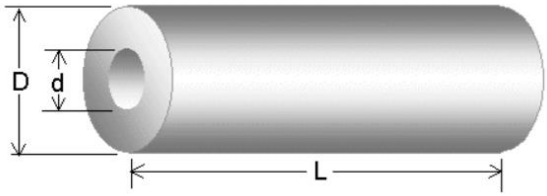
$$Y_{wakhı}=\frac{Wp}{t_b} \quad (11)$$

$$D_{boyun}=\sqrt{1{,}274.A_{boyun}} \quad (12)$$

D_{boyun}= nozul boğazı çapı

Nozulun çıkış çapının motor çapından küçük olması gerekmektedir [39].

Elde edilen değer sonuncunda istenilen yakıt debisini elde etmek için yakıt alanı dolayısıyla geometrisi bulunur.



Görsel 6. Yakıt çekirdeğinin bölümleri (Nakka, Solid Rocket Motor Theory, 2007)
(propellant grain parts)

$$Y_{akhı} = (dp)(Ayanma)r \qquad (13)$$

dp= yakıt yoğunluğu, yakıt kimyasının araştırılmasıyla elde edilir

$Y_{akhı}$ = yakıt akış hızı (kütle)

A_{yanma} = yanma alanı

r=yanma hızı, yakıt kimyasının araştırılmasıyla elde edilir.

$$A_{yakıt} = \frac{Y_{wakhı}}{r.d_p} \qquad (14)$$

$A_{yakıt}$ = yakıt alanı

Yakıt alanlarından sonra yakıt geometrisinin seçimi yapılır bu formüllerde silindirik çekirdek üzerinden hareket edilmektedir. Yanma yüzeyine paralel gaz akışının oluşması aşındırıcı (erozif) yanma denmektir. Erozyon, yanma hızının artış gösterdiği yerlerde meydana gelir bu da nozul civarı yerlere tekabül eder. Yanmasının ilerleyişi yakıtın boy ve çap oranından direk olarak etkilenecektir. (Hayri YAMAN, 2018)

Diğer bir değer ise delik çapının boyun alanına oranının 4'ten büyük olmasıdır.

$$D_{dmax} = \sqrt{4.D_{boyun}^2} \qquad (15)$$

D_{dmax}= maximum delik çapı

Burdan elde edilen sonuç sınır değerdir bu değerin üstünde değerler tercih edilmelidir.

Devamında yakıtın dış çapı hesaplanır.

$$D_{yakıt} = D_{del} + [2.(K_{yak})] \qquad (16)$$

K_{yak} = yakıt kalınlığı

$K_{yak} = r.t_b$

Yakıtın dış çapı hesabının üstüne yakıt yalıtım malzemesi eklenmek istenirse;

$$D_{mot} = D_{yakıt} + (2K_{yal}) \qquad (17)$$

D_{mot}=motor çapı

Sonrasında ise erozif yanmanın diğer etkili olduğu durumun yani yakıt çap boy oranından yakıt deliğinin boyu hesap edilecektir.

$$Ld = \frac{A_{yakıt} - [2.\frac{3,14}{4}.(D_{yakıt}^2 - D_{del}^2)]}{3,14.D_{del}} \quad (18)$$

Ld=yakıt uzunluğu

Bu kısımda son bir sağlama yapılır ve değerlerimizin doğruluğu kontrol edilir bunun için seçtiğimiz yakıtın yoğunluğundan ve ağırlığından faydalanırız.

$$W_p = d_p.(H_{modül}) \quad (19)$$

$$H_{modul} = 0,785(L_{modul}.\ D_{yakıt}^2 - D_{del}^2) \quad (20)$$

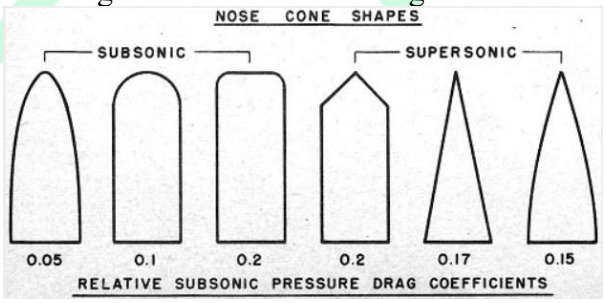
Böylece ölçüler tamamlanır, hedeflenen basınç değerleri ile seçilen malzemeler uyumlu olmalıdır.

1.2. Roketler ve Roket Tasarımı *(Rocket and Rocket Design)*

Roketler yanmayla elde edilen itki sonucu içerisindeki faydalı yükü bir yerden bir yere taşıyan araçtır. Atmosfer içinde ve dışında hareket edebilir. Bu yüzden motorları hava solumalı jet motorları gibi atmosferdeki oksijeni kullanma ihtiyacı duymazlar. Füzeler askeri amaçlı kullanılan ve atmosfer içinde hareket eden savunma veya taarruz amacıyla kullanılan, hedef için güdüm sistemleri barındıran akıllı mühimmatlardır. Model roketler katı yakıtlı roket motorları kullanan 1500gramın altında kalan roketler için kullanılan bir terimdir. Karton gibi hafif malzemelerden üretilebilirler ve motorlarında yakıt olarak genelde barut kullanılır. Yüksek güç roketleri, 1500gramın üstünde olan model roketlere göre daha yüksek itici güce sahip (160Ns den fazla) olan çoğunlukla katı yakıtın kullanıldığı roketlerdir. Sondaj roketlerinin alçak irtifa örnekleridir. Uçuştan sonra paraşüt ile kurtarılırlar ve görevleri tamamlanır. Sondaj roketleri ise alt yörünge uçuşları esnasındaki koşulları araştırmak için gönderilen, ölçüm yapan hatta daha sonraki sistemler için test yapan roketlerdir.

Roketler yukrıdan aşağıya doğru sırasıyla incelendiğinde temel 3 yapısal ile karşılışılır. Bunlar burun gövde ve kanatçıklardır. Bu parçalar aynı zamanda aerodinamik temel parçlardır ve roketin sürtünme katayısında majör etkilere sahiptir. Bir roketin ideal bir sürtünme katsayısına sahip olması için genellikle simetrik olması tercih edilir. Sürtünme katsayısı ve elde edilen hız, irtifa birbirine ters orantılıdır, bu elde edilmek istenen sürtünme katsayı küçüldükçe hızın arttığı anlamına gelmektedir.

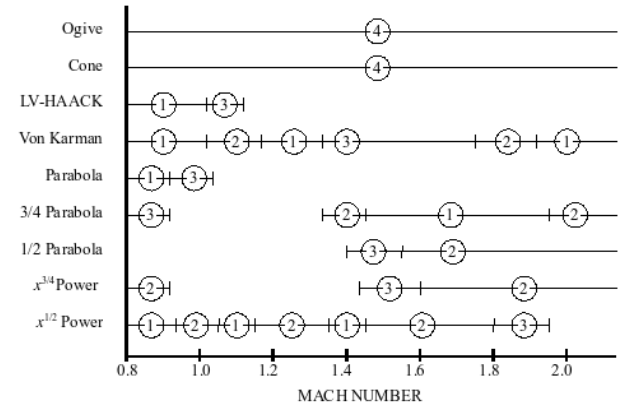
Burun konisinde sürtünmenin azalmasını sağlayan geometrik yapısıdır. Roketin tasarımında hedeflenen amaca göre farklı burun konisi geometrileri mevcuttur.



Görsel 7. ses altı ve ses üstü burun konileri tipleri (Stine, 2017)

Görsel 6'da burun konilerinin geometrileri ve rokete olan etkisi karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bunun dışında burun konilerinin görevi sadece aerodinamiği kolaylaştırmakla

sınırlı değildir. İstenilen amaca göre burun konisinin içi tamamen dolu olabilir veya boş tutularak çoğunlukla model roketlerde tercih edildiği gibi paraşüt, ayrılma sistemi, aviyonikler veya elektronik başka amaçları bulunan kompanentleri taşıyabilirler. Askeri amaçla kullanılan roketlerde burun konisinde çoğunlukla mühimmat veya güdüm bulunur.



Görsel 8. Transonik ve süpersonik ses bölgelerindeki değişik burun konisi şekillerine ait sürüklenme özelliklerinin karşılaştırılması. Sıralama değeri bakımından: (1) üst, (2) iyi, (3) orta, (4) alt. (Creative Commons Atıf-BenzerPaylaşım Lisansı, 2020)

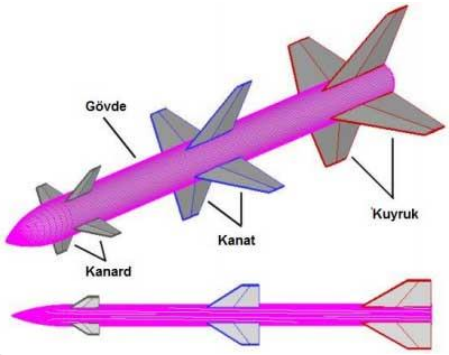
Bir diğer temel yapısal ise gövdedir. Gövde, havacılık için tercih edilen malzemelerden üretilen, genellikle silindir borulardan oluşan, standart bir roketin havayla temas eden aynı zamanda kütlenin büyük bir kısmını bulundurduğundan roketin stabilitesinde ağırlık olarak en büyük etkiye sahip yapısallardan biridir. Bir gövdede dikkat edilmesi gereken husus, uçuş ve ayrılma esnasında üzerine binen yüklere dayanması, yüksek irtifalarda, hatta ses üstü hızlarda şok dalgalarında ve termal geçişlerde hasar almamasıdır.
Kanatlar roketin temel aerodinamik yapısallarından biridir.

Rokette etkilediği parametreler

- Hız
- İrtifa
- Yön
- Açı
- Ses hızı
- Basınç merkezi/statik marjin/stabilite
- Sürtünme katsayısı

Uçaktakilerden farklı olarak kanatlar güdüm söz konusu olmadığı durumlarda kaldırma kuvvetinden faydalanılmak için kullanılmazlar. Roketlerin uçuş esnasında gidiş yönünü ve stabilliğini koruması için ağırlık merkezinin oluşturduğu momenti dengelemek amacıyla roketin bitişinde büyük bir basınç oluşturur. Bu değerlerin etki ettiği merkeze basınç merkezi denir.

Kanatlar rokette bulunduğu yere ve amaçlarına göre farklı isimlendirilirler:



Görsel 9. Kanatlar ve bulundukları yere göre adlandırılmaları. (ROKETSAN, 2020)

Burunda ve hemen altındaki alanda kullanılan kanatlara "kanard" denir. Motorlar sayesinde hareket ederek yön verirler, genelde askeri füzelerde tercih edilir. Gövdenin ortasında tercih edilen kanatlaraysa "kanat" denir. Bunlarda hareket kontrolü için kullanılmanın yanı sıra statik marjini dengeleme amaçlı da tercih edilebilirler. Ana kanatlar ise kuyruk olarak adlandırılırlar. Roketin aerodinamik parçalarında olduğu gibi bu değerleri elde etmesini sağlayan şeyde kanadın geometrisidir. Roket kanatlarında genelde 3 tip profil vardır, yuvarlatılmış, kare ve airfoil.

Roketin dış yapısalları ana hatlarıyla tanımlandıktan sonra iç bileşenleri montaj yapısalları ve görev bileşenleri olarak tanımlanabilir.

Görev bileşenleri;

Uçuş bilgisayarları,

Ayrılma sistemleri,

Kurtarma sistemleri olarak tanımlanabilir.

Uçuş bilgisayarları yani aviyonikler, roketin elektronik aksamlarıdır. Roketin görevine bağlı olarak içerideki sistemleri kontrol etme, yönelim, ölçüm yapma, araştırma yapma gibi görevleri gerçekleştirirler. Teknolojinin ilerlemesiyle aviyonikler roketlerdeki mekanik büyüklüğü ve karmaşıklığı azaltmış görev yapabilme kabiliyetlerini karmaşıklaştırmıştır. Standart bir rokette aviyonikler ve onlara bağlı sistemler uçuş bilgisayarı, haberleşme ve yer istasyonu olarak ikiye ayrılabilir. Bir uçuş bilgisayarı temel olarak işlemci, güç üniteleri, batarya, sensörler, röle çıkışlarından meydana gelir.

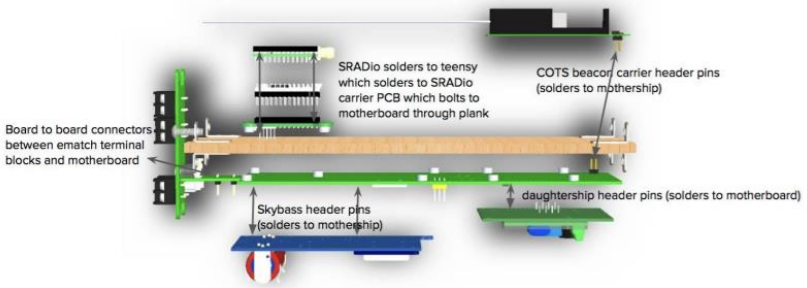
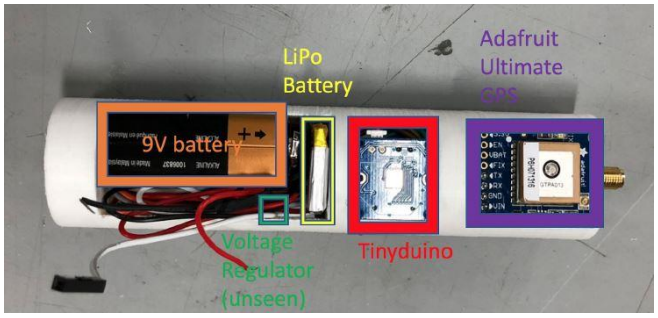
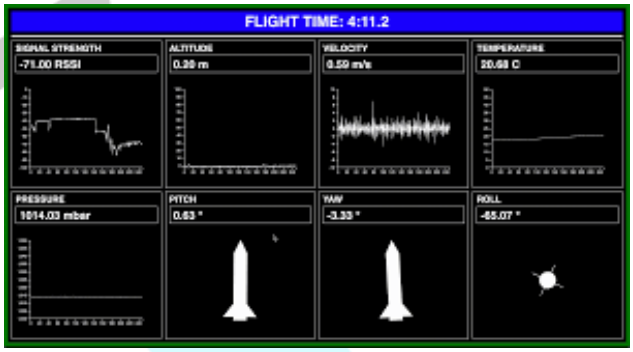


Figure 28. Exploded diagram of different avionics components

Görsel 10. Uçuş bilgisayarı elemanlarının bulunduğu bir örnek (Ruqayya Toorawa, 2018)



Görsel 11. Güç kaynaklarına örnek (Brandon Fallon, 2019)

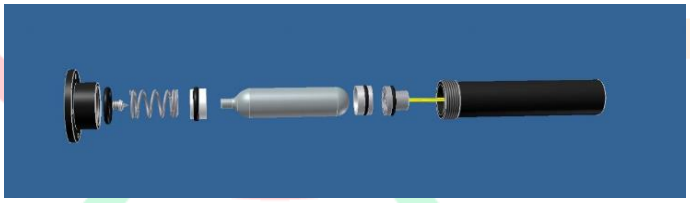


Görsel 12. Model roketin telemetri görselleştirme sistemi (Jones, 2020).

Ayrılma sistemleri ise roketin kurtarma sistemlerinin, bırakmak istediği uydu, mühimmat gibi faydalı yüklerin gövdeden çıkabilmesi veya kademeli roketlerde boosterın gövdeyi terk etmesi için tasarlanan mekanik olarak tetiklenen veya elektronik sistemlerle kontrol edilen ayırma sistemleridir. Ayrılma sistemleri de kendi içinde çeşitlendirilirler.

Pyro sistemler yanıcı kimyasalların yanma sonucu çıkardıkları duman veya patlama sonucu meydana gelen parçalamayla gövdeleri birbirinden ayırdığı sistemlere denir. Bu sistemler hafif oldukları ve yanma reaksiyonları daha kesin hareketler oldukları için başarılı ve verimli sonuçlar vermesinden kaynaklanır ancak tehlikelidirler ve uygulanması ve üretilmeleri çeşitli güvenlik prosedürleri takip edilerek yapılır.

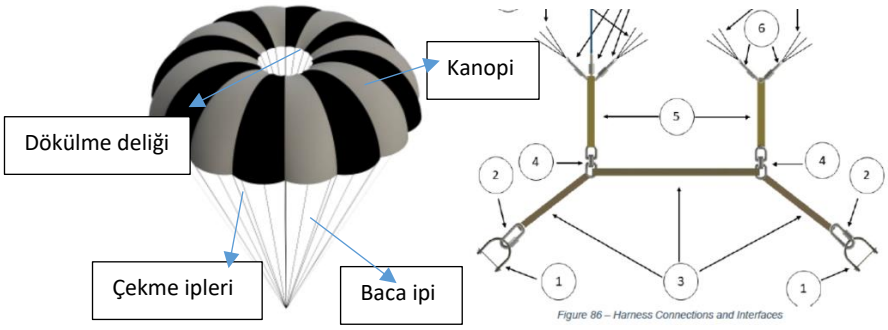
Görsel 20'de barut CO2 tüplerini patlatma görevi görür ve gövde içine sıcak gaz yerine soğuk gaz verilmiş olur.



Görsel 13. Barutlu CO_2 tüpleri patlatma görüntüsü (tinderrocketry, 2015)

Mekanik ayrılma sistemlerine geçildiğinde ise servo ve step motor gibi motorla tetiklenen, yaylı veya çarklı sistemlerden oluşurlar. Güvenlidir ancak ağır ve ateşli sistemlere kıyasla çok değişken bulundurmaları ve daha yavaş kalmalarından dolayı ilk tercih değillerdir.

Kurtarma sistemleri roketin parçalarının veya faydalı yüklerinin tekrar kullanılabilir olarak inmesini hedefleyen paraşüt, şeritler, pervaneler veya dikey iniş gibi tasarıma göre değişen sistemlerden oluşur. Bu sistemleri tasarlarken dikkat edilmesi gereken, cismin kontrollü veya serbest olarak inişini gerçekleştirmek için bulunduğu atmosfer koşulları ve üzerine binen yüklerin hesaba katılmasıdır. Paraşütler Görsel 21'de görüldüğü gibi sırasıyla kanopi, kanopi üzerinde dökülme deliği (spill hole) çekme ipleri, baca ipleri, karabinalar (2), fırdöndülerden (4) ve şok kordonlarından (3,5) oluşur.



Görsel 14. Paraşüt ve bağlantı görüntüleri (AKRONAUTS Rocket Design Team, 2018)

Kanopi hava geçirmeyen kumaştan yapılan kevlar gibi mukavemeti yüksek iplerle dikilip, havayı tutunan kısımdır. Farklı geometrileri vardır ve hepsinin kendi sürüklenme katsayısı bulunur. Dökülme delikleri, paraşütün savrulmasını engelleyip stabil bir çizgi halinde uçmasını böylece dönerek iplerin dolanmasını engeller fakat düşüş hızını artırır. Dökülme deliğinin ipleri baca ipi dediğimiz ipe bağlanır.

TABLE 2.1 SOLID TEXTILE PARACHUTES

Type	Constructed Shape: Plan	Constructed Shape: Profile	$\frac{D_c}{D_o}$	Inflated Shape $\frac{D_p}{D_o}$	Drag Coef. C_{D_o} Range	Opening Load Factor C_X (Inf. Mass)	Average Angle of Oscillation	General Application
Flat Circular			1.00	.67 to .70	.75 to .80	~1.8	±10° to ±40°	Descent
Conical			.93 to .95	.70	.75 to .90	~1.8	±10° to ±30°	Descent
Bi-Conical			.90 to .95	.70	.75 to .92	~1.8	±10° to ±30°	Descent
Tri-Conical			.90 to .95	.70	.80 to .96	~1.8	±10° to ±20°	Descent
Extended Skirt 10 % Flat			.86	.66 to .70	.78 to .87	~1.4	±10° to ±15°	Descent
Extended Skirt 14.3 % Full			.81	.66 to .70	.75 to .90	~1.4	±10° to ±15°	Descent
Hemispherical			.71	.66	.62 to .77	~1.6	±10° to ±15°	Descent
Guide Surface (Ribbed)			.63	.62	.28 .to .42	~1.1	0° to ±2°	Stabilization Drogue
Guide Surface (Ribless)			.66	.63	.30 to .34	~1.4	0° to ±3°	Pilot, Drogue
Annular			1.04	.94	.95 to 1.00	~1.4	<±6°	Descent
Cross			1.15 to 1.19	.66 to .72	.60 to .78	~1.2	0° to ±3°	Descent, Deceleration

Görsel 15. Çeşitli geometriler ve Cd/sürüklenme katsayıları (E. G. Ewing, Decelarators Characteristics, 1978)

Böylece genel hatlarıyla tüm görev bileşenleri tanımlanmış olur iç montaj yapılsalları ise bu bileşenlerin güvenli ve mukavemetl bir biçimde roket içinde konumlanmasını sağlayan diskler ve entegrasyon gövdeleri gibi yapılasallardır. Entegrasyon gövdelerinin çeşitli kullanım metodları mevcuttur bunlar aviyonik gövdesi, ayrılma sistemlerinin yerleştirildiği gövde veya iki gövdenin birbirine bağlanmasını sağlayan entegrasyon gövdesi. Entegrasyon gövdesi ayrılma noktası olarak kullanılacağında tolerans değerlerine ve malzemenin esnekliğine dikkat edilmelidir.

2.YÖNTEM (MATHERİAL and METHOD)

Buradaki hedefe yönelik olarak verimli ama ucuz bir motorun üretilebilmesi için roketin uçuşu üzerinden bir karşılaştırma yapılacaktır. Roketin uçuşu için kullanılacak programlar OpenRockettir. Motor için kullanılan programlar ise Meteor ve Engine Editor'dür.

Yapılan karşılaştırmada motorun rokete olan etkisi gözlemlenek istendiği için standart bir roket tasarımı yapılmıştır ancak motor tasarımı farklılıklarından dolayı kütle değişimleri gerçekleştiği için roketin uçuşuna etki edecek olan dış tasarım ve ağırlık merkezini sabit tutmak hedefiyle bazı iç değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Örneğin Openrocketin kütüphanesinde bulunan aerotech'e ait K sınıfı motor seçildiğinde roketin ağırlığı 4430 gr olmaktadır. Tüm roketlerin aynı kütlede olması iç disklerle durum dengelenmiş ve derlin malzeme olarak seçilen bir disk ile kütle 4578 gramda sabitlenmiştir.

Roket uçuşunun motorlara dayalı olarak karşılaştırmasının gerçekleştirilebilmesi için roketin toplam ağırlığın, boyunun ve çapının, aerodinamik yapısallarının geometrilerinin, statik margin aralığının, ağırlık merkezinin gövde üzerindeki yerinin sabit olması gerekir. Bu yüzden motora bağlı olarak meydana gelen değişiklikler kanat yükseklikleri hariç dışardan sabit tutulup içeriden yapılan değişiklerle optimize edilmiştir.

Söz konusu roket bir adet ayrılma noktasından, pyro tetiklemeli CO2 tüpü patlama mekanizması ile ayrılmaktadır. Normalde roketlerde inş esnasında tek paraşüt kullanımı sürüklenmeyi arttıracağından dolayı çiftli paraşüt sistemi tercih edilir ancak burada amaç rampadan zirveye uçuşu takip etmek olduğunda ve alçak irtifada uçuş gerçekleşeceğnden dolayı tek paraşüt kullanılmıştır. Söz konusu motor ise Richard Nakaya ait K1000 motorunun tasarım stilinde ama Türkiyedeki malzeme boyutlarına göre yeniden tasarlanan bir versiyonudur. İkiside postasyum nitrat sobitol yakıtını kullanmaktadır. OpenRocket motoru ise Aerotech'e ait yine K sınıfı ama kompozit katı yakıtlı tekrar kullanılabilir ve daha maliyetli bir motor olarak sunulmakta ve karşılaştırılmaktadır.

Bir sistemi tamamen anlayabilmek ve uygulayabilmek için çeşitli deneysel metodlar ve tersine mühendislik uygulamaları söz konusudur. Burada eğitim ve test amaçlı kullanılacak bir katı yakıtlı roket motorunun düşük maliyet ve hızlı üretilebilir sonucunda da uygulanan bir haline ulaşabilme için sırasıyla:

1. Denenmiş ve sonuç alınmış bir tasarımın bulunması,
2. Bulunan tasarımın malzemelerinin uyarlanması,
3. Tasarımın üretilmesi,
4. Tasarımın test edilmesi,
5. Teorik sonuçlarının karşılaştırılması,
6. Tasarımın hedefe göre geliştirilmesi veya kullanılması

Aşamaları takip edilecektir.

1. Aşama için;

Richard NAKKA'nın PVC roket motoru çalışmasından yararlanılmıştır. Bu motor, donanım mağazalarında ve ev eşyaları mağazalarından rahatlıkla alınabilecek malzemelerin kullanılmasıyla ve motor teorisinin (Nakka, Solid Rocket Motor Theory, 2007) yanında, Richard NAKKA'nın çalışmalarından (Richar Nakka, 2002) elde edilen verilerle deneme yanılma ile geliştirilmiştir. NAKKA'nın burada takip ettiği yol ise öncelikle tasarladığı G motorunu daha sonrasında ölçekleyip uyarlamaktır. Hesaplamalarda itici yakıt için KNSU yakıtının verilerini kullanmıştır.

Characteristics of KNSU Propellant (65/35 ratio)

	Parameter		Units	Note
	Process method	Cast		
Isp	Specific Impulse, ideal	166	sec.	[1]
Isp	Specific Impulse, delivered (typical)	130	sec.	[2]
C*	Characteristic exhaust velocity, theoretical	3106	ft/s	
To	Combustion temperature, theoretical @1000 psia	1447 (1720)	deg Celsius (K)	[3]
To	Combustion temperature, measured@1000 psia	1350	deg Celsius	[4]
	Density, ideal	1.89	gram/cu.cm.	
	Density, as cast (typical)	1.80	gram/cu.cm.	[5]
X	Mass fraction of condensed-phase products	0.424	-	
k	Ratio of specific heats, 2-phase flow	1.044	-	[6]
k	Ratio of specific heats, static	1.133	-	[7]
M	Effective molecular wt. of exhaust products	41.98	g/mole	[8]
	Burn rate behaviour	de St.Robert		
n	Burn rate pressure exponent, strand	0.319		
n	Burn rate pressure exponent, erosive	0.323		
a	Burnrate constant	0.0665		[9]
ro	Burn rate @ 1 atm.	0.156	in/sec	
r	Burn rate @ 1000 psia	0.602	in/sec	
Tcr	Auto-ignition temperature	> 300	deg. C.	

Görsel 16. KNSU yakıtının (potasyum nitrat ve şeker yakıtı) 65/35 oranına göre elde edilen karakteristic özelliklerine örnek bir tablo (Nakka, KN-Sucrose (KNSU) Propellant Chemistry and Performance Characteristics, 2017) (A sample table of characteristics obtained according to 65/35 of KNSU fuel (potassium nitrate and sugar fuel)

Ölçüleri verilen motorun görselleri aşağıdaki gibidir.

K1000 Motor Description	
Motor Weight	2735 grams (96.4 oz)
Motor Length	29.0 in.
Max. Motor OD	2.781" (2-13/16")
Casing ID (Typical)	2.04 in.
Propellant Type	KN/Sorbitol (65/35)
Propellant Weight	1618 grams (57.0 oz.)
Grain Type	Bates (outside surface inhibited)
Total Grain Length	25 in.
Number of Grain Segments	9
Inhibitor Sleeve Length	2-13/16 in.
Grain OD (w/o inhibitor)	1.97 in.
Core Diameter	1.0 in.
Kn (Min/Max)	194/236
Nozzle Throat Diameter	0.813" (13/16")
Nozzle Throat Insert	3/4" USS Flat Washer
Nozzle Exit Diameter	1-5/8"
Nozzle Expansion Ratio	4:1
Casing Stock Length	28 in.

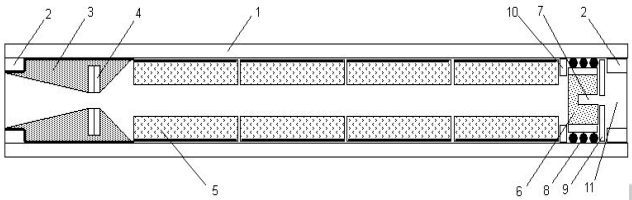
Görsel 17. K 1000 motorunun ölçülerinin Richard NAKKA'ya ait sitesinden görüntü (Richar Nakka, 2002) (Image of the dimensions of the K 1000 engine from Richard NAKKA's site.)

Görsel 8 in türkçeleşitirilmiş ve metrik sisteme göre yazılmış tablosu:

Tablo 1. K1000 motor ölçüleri (K1000 engine dimention)

Motor ağırlığı	2.735 kg
Motor uzunluğu	0.7366m
PVC borunundış çapı (max)	0.0706374 m
PVC borunun iç çapı (tipik)	0.051816 m
Yakıt	KN-şeker (65/35)
Yakıt ağırlığı	1.618 kg
Çekirdek tipi	Bates (dışı yalıtılmış)
Çekirdek sayısı	9
Toplam çekirdek uzunluğu	0.635 m
Inhibitor kol uzunluğu	2-13/16 inch
Çekirdek dış çapı	0.050038 m
Çekirdek delik çapı	0.0254m
Kn(max/min)	194/236
Nozul boğazı çapı	0.0206502 m
Nozul boğazı eki	9/16” pul
Nozul çıkış oranı	4:1
Kılıf stok uzunluğu	0.7112

Tasarım olarak kullanılacak model ise Richard NAKKA’nın F70 motorudur.



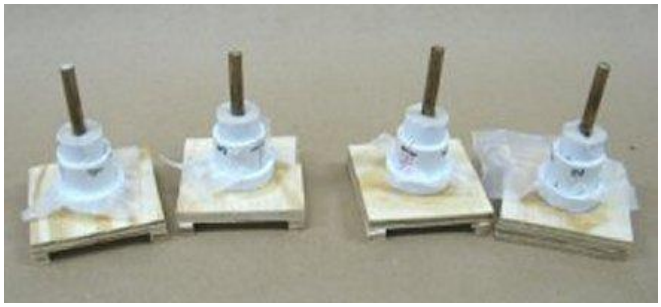
Görsel 18. F70 motoru teknik resmi (Richard Nakka, F70 PVC ROCKET MOTOR, 2017) (F70 engine technical drawing)

2. Aşamaya geçildiğinde kullanılacak malzemelerin uyarlanması sırasıyla;

1 numaralı yanma odası için ~ 50 cm uzunluğunda ~ 5 cm dış çapında ve et kalınlığı ~ 3mm olan bir PVC boru tercih edilmesiyle başlar. 2 numaralı parça nozulun ve çekirdeklerin düşmesini engellemek için yerleştirilmiş daha küçük çaplı bir pvc den kesilerek elde edilen bir parçadır ve yapıştırılarak kullanılabilir.

3 numaralı parça nozuldur bu parça kil, seramik veya inşaat betonu gibi malzemelerden döküm yapılarak ve sonrasında işlenerek istenilen geometriye getirilir burada yanma esnasında nozul boğazında oluşabilecek erozyonu engellemek için çelik rondelalar(4 numaralı parça) kullanılmıştır. Bu parça sert malzemeden dolu olarak üretilip üniversitelerde bulunan torna veya cnc gibi araçlarla işlenebilip kullanılabilir ancak yeterli imkan olmayan durumlarda nasıl üretileceği ayrıntılı olarak verilen kaynakta (Richard Nakka, F70 PVC ROCKET MOTOR, 2017) paylaşılmıştır.

5 numaralı parçalar yakıt çekirdekleridir. Motor tasarımın önemli parametrelerden biri olduğu için yakıt çekirdeklerinin inhibe ve expose edilen kısımları tasarımda değiştirilmeden uygulanmadır. Yakıtların kalıpları Görsel 10’da görüldüğü gibi PVC borulardan ve iç çekirdeklerin delik çaplarını verecek işlenmiş boruların merkezlenmesinden oluşur.



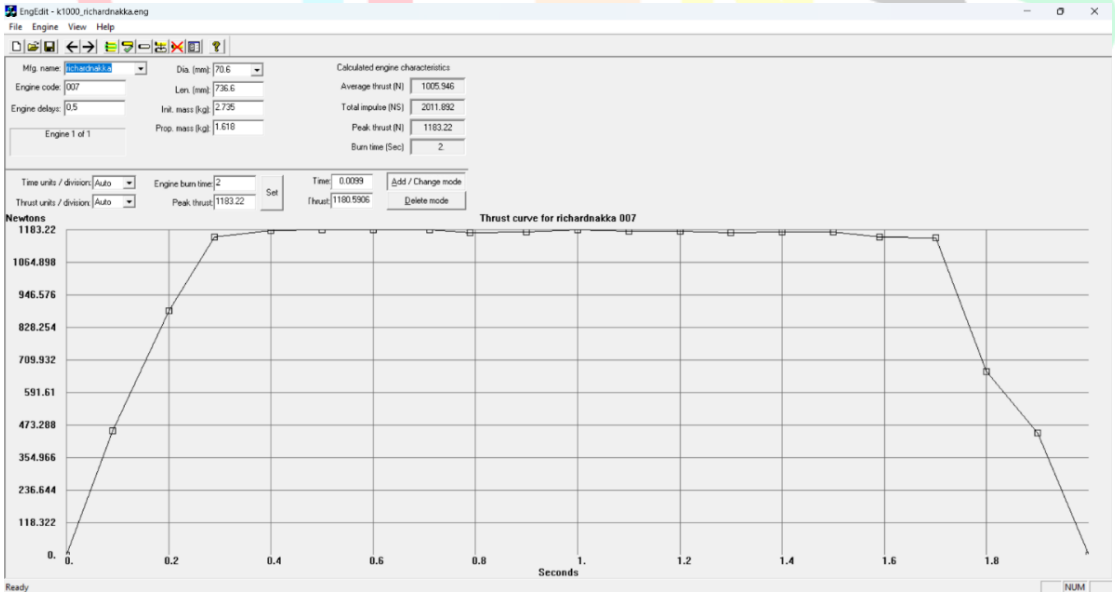
Görsel 19. Yakıt çekirdeklerinin dökümü (Richard Nakka, F70 PVC ROCKET MOTOR, 2017)(Casting of grain cores)

Motorun kapak ucuna doğru ise aynı yöntemle pvc parçalarından yararlanılırken 6. Parça yakıtın son kez yanarken ateşlediği bir uyarı fişeğidir çıkan duman sayesinde roketin nereye düşeceğini bulmak için veya daha basit model roketlerde yakıtın tükenmesinin ardından geçikmeli olarak paraşütü ateşleyen bir barut veya yanıcı başka bir malzemeden oluşan bir parçadır. Bu parça barut gibi parçaların sıkıştırılarak kullaması açısından tehlikeli olduğu için aynı mesafeyi kullanarak içerisine nozulun kullanıldığı malzeme doldurularak daha dayanıklı bir hale getirilmesi gibi bir alternatifte tercih edilmektedir. Parçaların devamında karmaşık plastik modeller gerektiğinde, okulların en rahat ulaşabileceği malzeme olan katmanlı imalat teknikleri bu motorda kullanılmak için uygundur.

Takip eden aşamalarda üretilen motorların hesaplarda elde edilen değerlere ulaşıp ulaşmadığını anlamak için statik testlere sokmak gerekir. Bu testlerde loadceller veya strain gages adı verilen sensörler dirence bağlı olarak verilen denkleme göre itkiyi ölçerler.

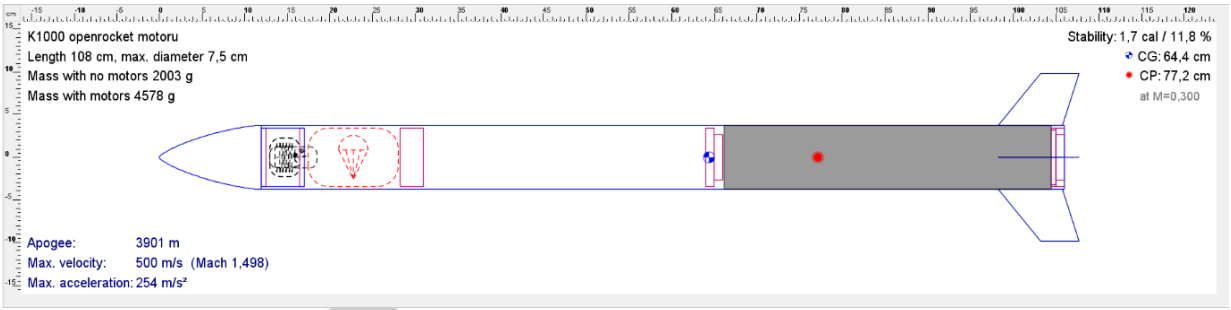
Artık elde edilen test sonuçlarına göre karşılaştırmalar yapılabilir ve katı yakıtlı roket motoru tasarımı denklemleri kullanılarak yapılacak geliştimeler doğrulanabilir.

Richard NAKKA'ya ait motorun OpenRocket üzerinde tanımlanması için öncelikle motorun test değerlerinin Engine Editor adlı programda tanımlanması gerekir. Sonrasında programa yazılan değerler ile OpenRocketin kullanabileceği bir .eng uzantılı dosya oluşur bu dosya OpenRockete aşağıdaki biçimde yerleştirilir.

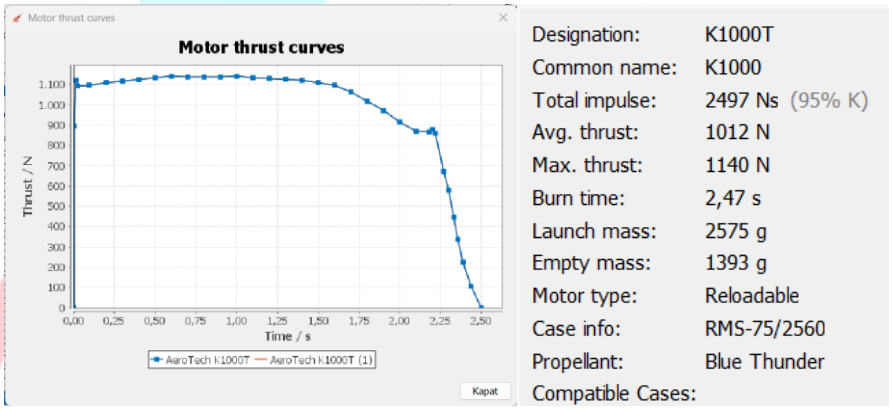


Görsel 20. Richard NAKKA'nın motorunun engine editorde tanımlanması

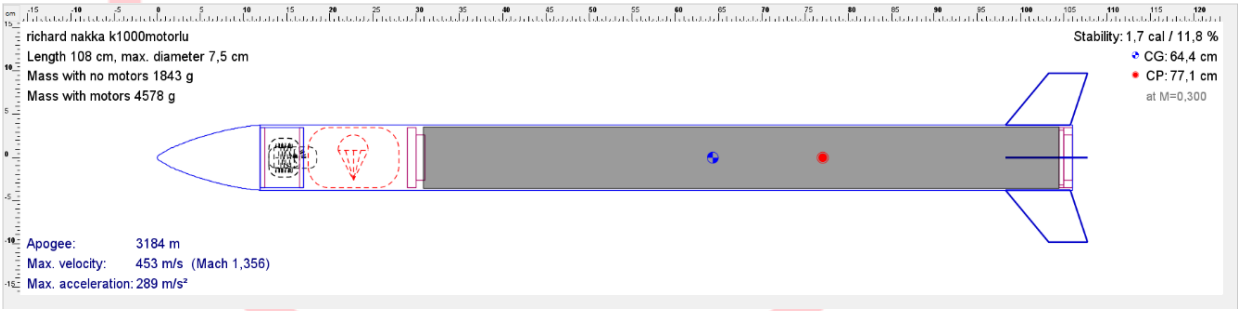
Sırasıyla roket tasarımları;



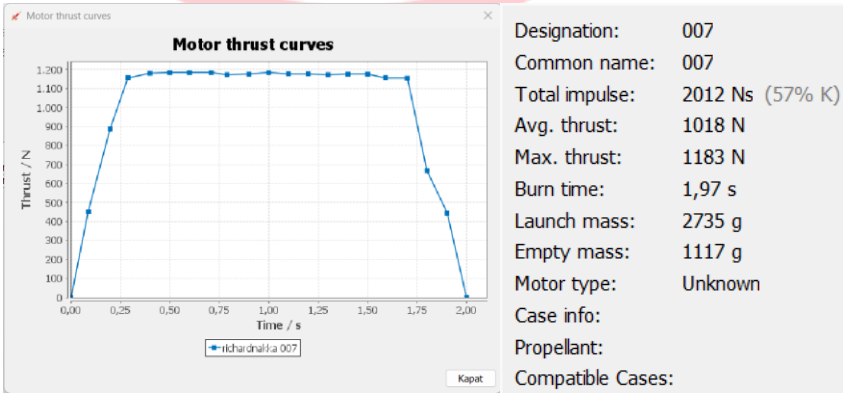
Görsel 21. OpenRocket kütüphanesinde bulunan Aerotech K1000T motorlu rokete ait tasarım.



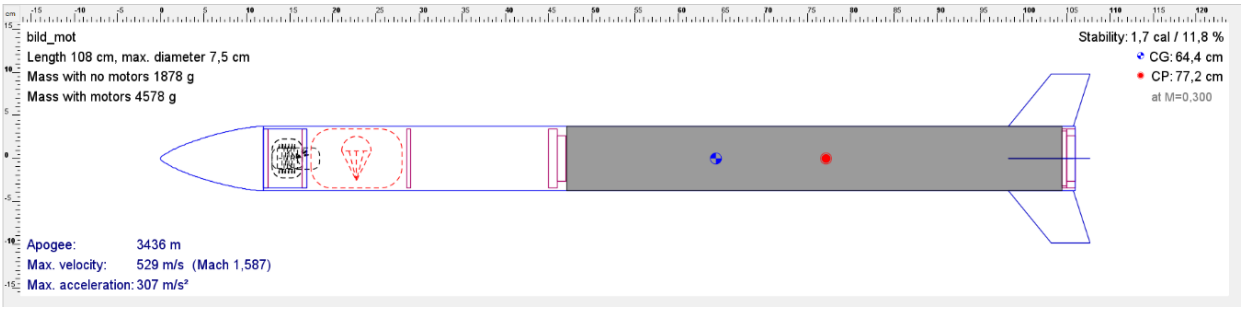
Görsel 22. Aerotech motorunun itki grafiği



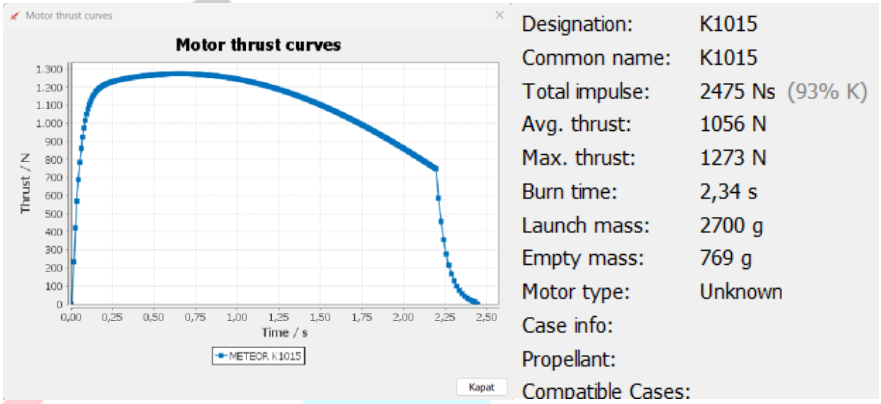
Görsel 23. Richard NAKKA'ya ait K1000 adlı motoru bulunduran roket tasarımı



Görsel 24. Richard NAKKA'ya ait motorun OpenRockette eklenmiş hali.

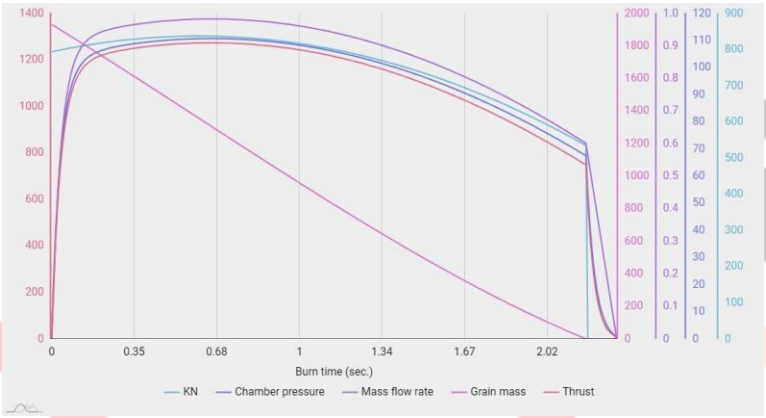


Görsel 25. Düşük maliyetli katı yakıtlı motor tasarımı yapılan K1015P roketi

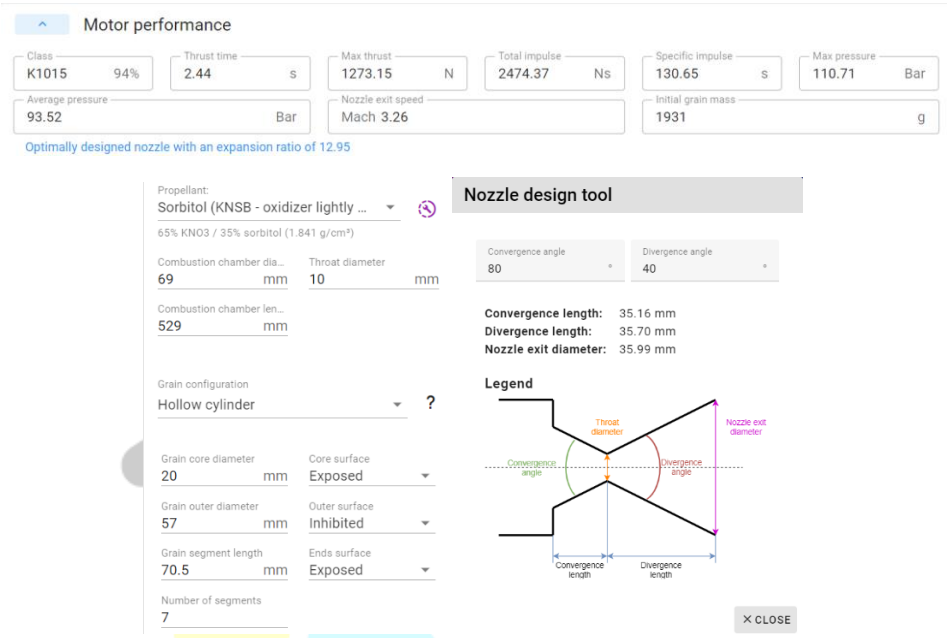


Görsel 26. K1015 motorunun Openrockete eklenmiş değerleri.

K1015 motorunun hazırlanış aşamaları;



Görsel 27. Meteor programında tasarlanan motorun itki grafiği



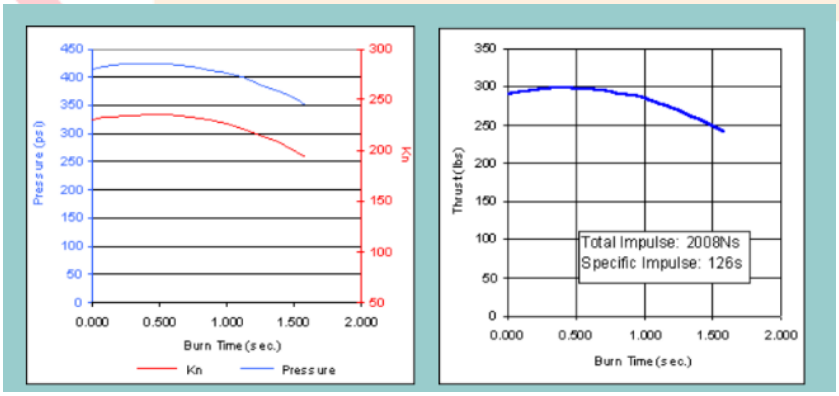
Görsel 28. K1015 motorunun Meteor üzerindeki tasarım değerleri ve çıkan değerler.

K1015 motoru Richard NAKKA'nın tasarım stiline göre yeniden tasarlanırken Türkiyede kolay ulaşılabilir pvc boruların ölçülerinden yola çıkılmıştır. Ölçülerin alındığı sitede (havuzmalzemesi, 2024) Richard NAKKA'nın kullandığı çapın altına düşülmemeye özen gösterildi çünkü çapın küçülmesi yakıtın azalması ve muadillerine göre daha az itki üreteceği anlamına gelir. Bu yüzden yanma odası olarak 75mm çapındaki pvc boru seçilmiştir.

Hazırlanan yakıtların tekrar başka bir üzerinden dökümle üretilmesi gerektiği için bu işlem 63mm'lik pvc boruya göre düzenlendi böylece yakıt çekirdeklerinin dış çapı 57mm olmuştur. Yanma odası ve yakıt çekirdeklerinin arasındaki mesafe ise yalıtım olarak yapılandırılmıştır.

3. SONUÇ ve TARTIŞMA (RESULT and DISCUSSION)

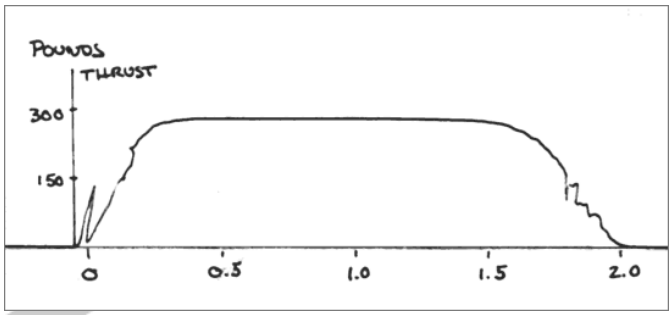
Richard NAKKA'nın üretilen motorun test standında elde verileri ve sonuçların yorumları (Richard Nakka, K1000 PVC Rocket Motor, 2004) paylaşılmıştır.



Görsel 29. K1000 tasarımının tahmini performans hesapları (Richard Nakka, K1000 PVC Rocket Motor, 2004) (K1000 Design Calculations for Estimated Performance)

Hesaplamaların sonucunda motorun yanma süresinin 1.59 sn olacağı gözüküyor ancak sonuçlarda 2 sn ye ye ulaşıyor. K1000 motorundan 3 tane üretildi ve ilk iki test yapısalları deneme amaçlı ateşlenirken sonuncu test test standında ölçülerek yapılmıştır. Test standı olarak kullandıkları stand daha önce tasarlanan PVC motorların test edildiği standdır. Sonuç olarak

motorun nozulunde çok az erozyon tespit edildiancak üfleme veya sızıntı, odanın iç kısmında aşınma gözlenmemiştir.



Görsel 30. K1000 itki eğrisi (Richard Nakka, K1000 PVC Rocket Motor, 2004)(K1000 thrust curve)

Bu eğriden, düz bir itme eğrisi elde etme hedefine ulaşıldığı söylenebilir. Eğriyi ilk kez gözlemlediklerinde, test standında bir sorun olduğu düşünmüşlerdir. Ancak test standı dikkatlice demonte edilip, analiz edildi ve anormal bir çalışma bulunmamıştır. Ayrıca, eğrinin analizi, tahmin edilenin %1'inden daha az olan 1993Ns'lik bir toplam dürtü vermiştir. Eğrinin ön kenarındaki sivri uç, ateşleyicinin ve ateşleme başlatıcılarının flaşıdır. Arka kenardaki tümsekler, alt 4 önleyici kovanın kalıntılarının dışarı atılmasıdır. Bu öncesinde tasarlanan "J" motorunda da gözlenmiş (Richard Nakka, PVC Rocket Motors J/K Class, 2002), ancak motorlara zarar vermemiştir.

Bu testlerle elde edilen sonuçlar, Sorbitol'ün yanık özelliklerine ilişkin bazı bilgiler sağlamıştır.

İlk olarak, Sorbitol'ün ilerleyici yanık yapısını telafi etmek için bir tahılın Kn'sini şekillendirmek mümkündür. Bu, bu tuhaf özelliğin, tanede çatlaklar açılıyorsa oluşabileceği gibi rastgele olmadığını gösterir. Ayrıca, engelleyici kolların yanıkta geç dışarı atılmış olması, yanma işleminin, yanma oranlarının daha hızlı olduğu veya erozyon memenin yakınında meydana geldiği gibi, konik bir şekilde değil, çekirdek boyunca eşit bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Bu bilgi, gelecekteki motorların geliştirilmesinde faydalı olabilir, çünkü bu motorların, aksi takdirde performanslarını sınırlayabilecek basınç yükselmeleri olmadan yapılabileceği anlamına gelir.

PVC motorlar çelik motorlar kadar yüksek dayanıma sahip olmadıkları için çabuk bozulacak ve yerlerine tekrar tekrar pvc boru kullanılacaktır, bunun için PVC boruları güçlendirmeye yönelik çalışmalar yapılabilir. Bu yüzden K1015 motorunun tekrar kullanılması hedeflenmese bile yakıt çekirdeği çapı ve yanma odası çapının arasındaki mesafe uygun yalıtımı sağlamak için yeterli büyüklüğe sahiptir.

Bu projelerin bir adım ileriye götürülebilmesi için testlerde tasarımı doğrulayabilmek adına yüksek basınçlarda yanma hızlarını ölçebilecek cihazların bulundurulması gerekmektedir.

K1000 Motor Performance Summary	
Motor Rating	K998
Total Impulse	1993 Ns
Burn Time	2.0 sec.
Average Thrust	224 lbs
Peak Thrust	266 lbs.
Specific Impulse	126 sec.
Average C_f ($I_{sp} \times g / c^*$)	1.35
Est. Peak Pressure	379 psi

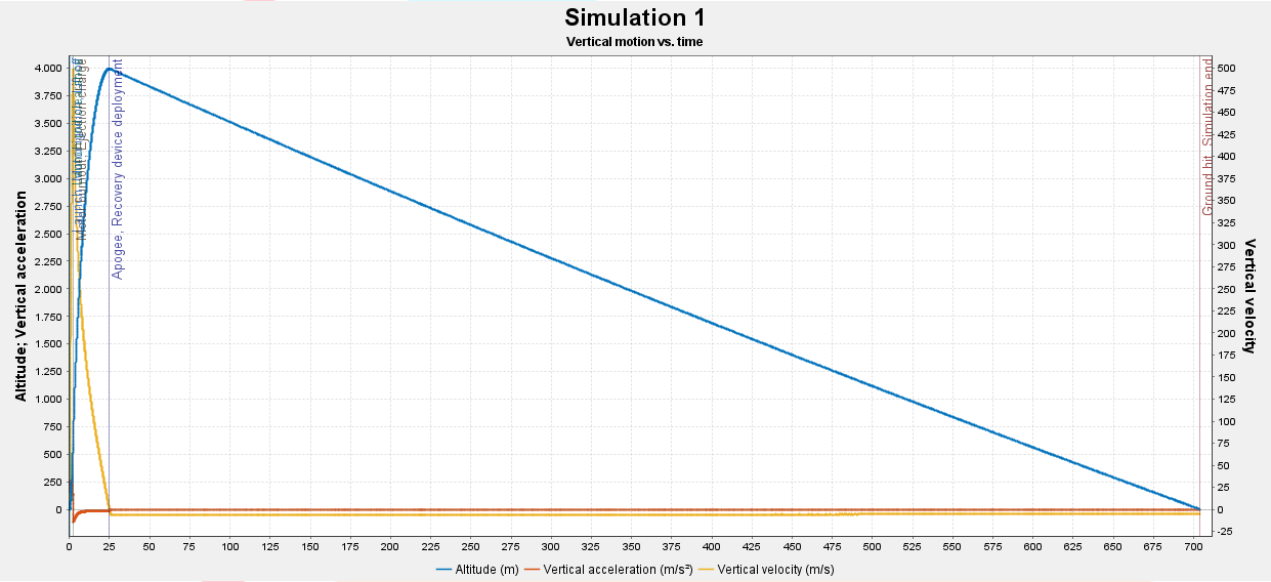
Görsel 31. K1000 motorunun değerleri

Tablo 2. K1015 motorunun değerleri (K1015 engine performance)

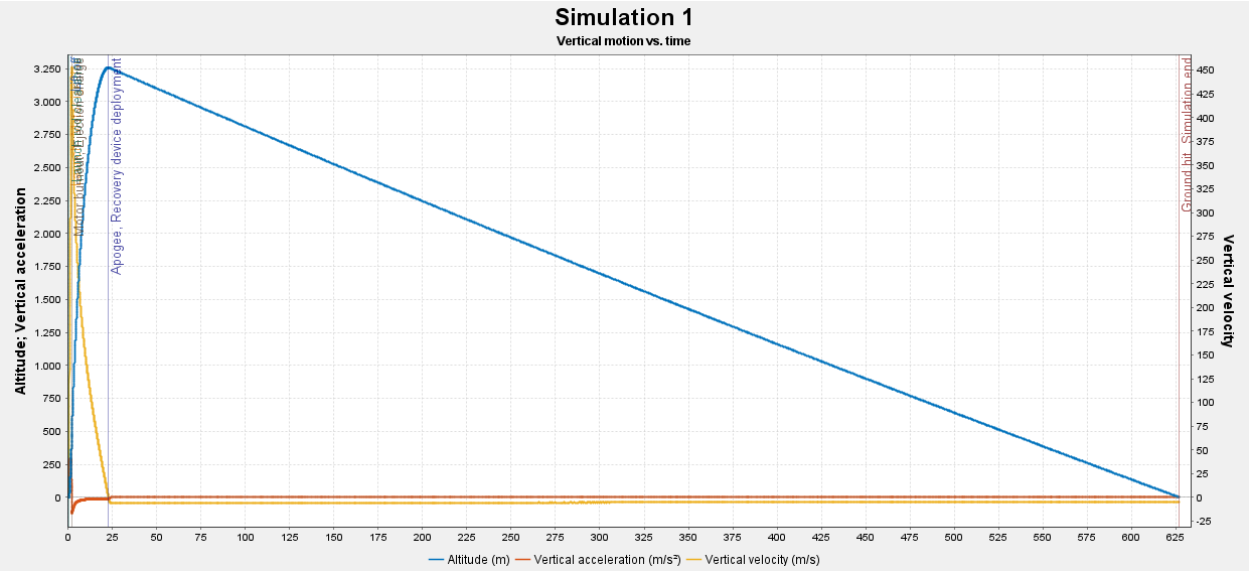
K1015 motor performansı	
Motor sınıfı	K1015
Toplam impals	2474.37
Yanma Süresi	2.44
Ortalama itki	1056
Maks. itki	1273.15
Özel impals	130,65
Maks. basınç	110.71 Bar

Sonuç olarak K1015 motoru toplam impals, maks itki, yanma süresi, ortalama itki gibi değerler bakımından yakıt kütlesi ve dar nozul boğazından kaynaklı olarak daha yüksek değerlere sahiptir.

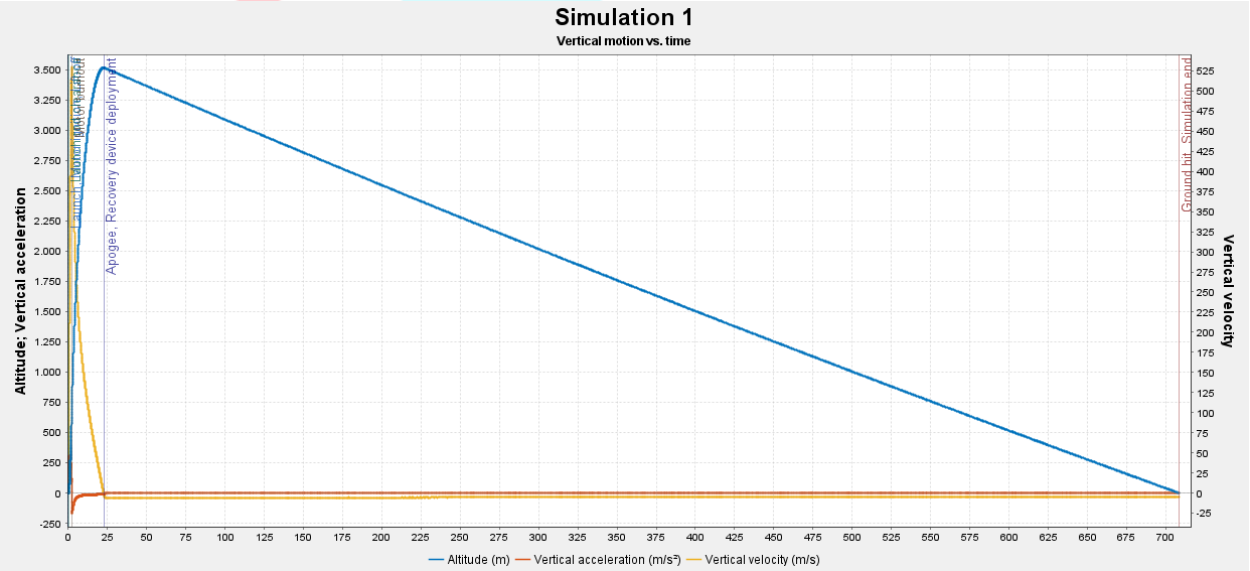
Bu motorların uçuş değerleri karşılaştırıldığında,



Görsel 32. Aerotech motorunun tasarlanan roket için ulaştığı maksimum irtifa değeri 3995 m'dir.



Görsel 33. Burada ise Richard NAKKA'ya ait motorun tasarlanan rokette elde ettiği irtifa değeri 3255m'dir ve en düşük değer sahiptir.



Görsel 34. Son olarak K1015 motorunun elde ettiği değer ise 3516,5 m'dir.

Böylece 3 karşılaştırma içerisinde örnek alınarak hazırlanan motordan daha verimli bir motor elde edilmiş olup bu tarz bir motorun uygun güçlendirme ile tekrar kullanılabilir motorlar gibi düşük maliyetli yüksek hızlı testleri gerçekleştirmek amacıyla kullanıma uygundur. Bu tasarım modeli takip edilerek motor sınıfı yükseltilebilir ve meteor üzerinden daha micro taneciklerle hazırlanmış potasyum nitrat karışımı değerleri ve metal tozları kullanılarak motorun değerleri yükseltilebilir ancak bunlar PVC'nin kısıtlı basınç ve sıcaklık değerlerinden dolayı daha da ilerleyemeden duracaktır. O yüzden model roket ve yüksek güç roketçiliğinin şartlarını karşılayabilir ancak sondaj roketleri için yetersiz kalacaktır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Akdeniz, N. (1994). Çevre ve Enerji Politikaları. *Günümüzün Çevre Sorunları* (s. 174-188). Ankara: Birleşmiş Milletler Türk Derneği Yayınları : 18.

AKRONAUTS Rocket Design Team. (2018). *Flight Readiness Review, The University of Akron College of Engineering, NASA Student Launch Initiative, AKRONAUTS Rocket Design Team, Project Lazarus.* OHIO: Flight Readiness Review, The University of Akron College of Engineering, NASA Student Launch Initiative, AKRONAUTS Rocket Design Team, Project Lazarus, March 5, 2018.

Aksay, C. S., Ketenoğlu, O., & Kurt, L. (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *S Ü Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, Sayı 25*, 29-41.

Asılyazıcı, E. (2001). Model Roket Tasarımı. İstanbul: YÖK.

Brandon Fallon, C. M.-S. (2019). *SEDS University Student Rocket Competition (USRC) Design Report.* Las Vegas: University Of Nevada.

Cebeci, 2004: 121-122. (tarih yok).

Coşturoğlu, M. (1994). Dünyada Ekolojik Devrim, Türkiye'de Gökova'yı Çoraklaştırma Çılgınlığı. *Günümüzün Çevre Sorunları* (s. 79-142). Ankara: Birleşmiş Milletler Türk Derneği Yayınları:18.

Creative Commons Atıf-BenzerPaylaşım Lisansı. (2020). *wikipedia*. (wikipedia) https://tr.wikipedia.org/wiki/Burun_konisi_tasar%C4%B1m%C4%B1 adresinden alındı

Creative Commons Atıf-BenzerPaylaşım Lisansı. (2021). *wikipedia*. (Wikimedia Foundation, Inc.) https://tr.wikipedia.org/wiki/GPS adresinden alındı

Creative Commons Atıf-BenzerPaylaşım Lisansı. (2021, Şubat 21). *wikipeida*. (Wikimedia Foundation, Inc.) https://tr.wikipedia.org/wiki/Kanat_profili adresinden alındı

Çoban, A. (2014). Doğa Toplum ve Yöntem. H. Reyhan, A. Mutlu, H. Doğan, & A. S. Reyhan içinde, *Sosyal Çevre Bilimleri* (s. 15-35). Ankara: Siyasal Kitabevi.

Dobrovolskiy, M. V. (2018). *Sıvı Yakıtlı Roket Motorları.* (D. G. Sakenova, Çev.) İstanbul: NDL Mühendislik Dış Ticaret Ltd. Şti.

Doğan, T. G., & Eby, G. (2013). *Uzaktan Bilgisayar Mühendisliği Eğitimi Sosyo-Teknik Kuram Çerçevesinde Esnek Bir Model Önerisi.* Ankara: Kültür Ajans.

Drescher, T. (1998). Rocket trajectory correction using strap-on GPS guided thrusters. *Position Location and Navigation Symposium (Cat. No.98CH36153)* (s. 387-394). IEEE.

E. G. Ewing, H. W. (1978). Booster Recovery . *Recovery System Design Guide* (s. 19). içinde California.

E. G. Ewing, H. W. (1978). Decelarators Characteristics. *Recovery System Design Guide* (s. 75). içinde Kalifornia.

Erlat, E. (2009). *İklim Sistemi ve İklim Değişmeleri.* İzmir: Ege Üniversitesi Yayınları No: 155.

Erlat, E. (2009). *İklim Sistemi ve İklim Değişmeleri.* İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.

Furman, A., & Yenigün, O. (2002). *The Environmental Dimension.* İstanbul: Boğaziçi University Pess.

G.Barry, R., & Chorley, R. J. (1998). *Atmosphere, Weather and Climate (7th edn).* Londra: Routledge.

Gasmire, C. (2019). *The Model Rocket*. https://themodelrocket.com/model-rocket-engine-sizes-and-classifications/ adresinden alındı

havuzmalzemesi. (2024, 05). *havuzmalzemesi*. havuzmalzemesi: https://www.havuzmalzemesi.com/urun/pvc-boru-90-mm-et-kalinligi-4-3-mm-3-10-atm adresinden alındı

Hayri YAMAN, C. E. (2018). KATI ROKET YAKITLARINDA YANMA HIZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER. *International Combustion Sysmposium*, 547-550.

Howard, Z. (2011, July 19). *Apogee Compannents.* https://www.apogeerockets.com/education/downloads/Newsletter291.pdf adresinden alındı

İnger, E. (2017). *Roket Yakıtı Ve Çeşitleri.* Ankara: Palme Yayıncılık.

İnger, E. (2017). Roket Yapısında Yer Alan Elemanlar. *Roket Ve Füze Mühendisliği* (Vadi Grup Ciltevi b., s. 39). içinde Ankara: Palme Yayıncılık.

İnger, E. (2017). Roket, Füze ve Uçuş Ortamı Atmosfer. *Roket ve Füze Mühendisliği* (s. 1). içinde Ankara: Palme Yayıncılık.

İnger, E. (2017). Yakıt Çekirdekleri Sınıflandırmaları. *Roket Ve Füze Mühendisliği* (s. 86). içinde Ankara: Palme Yayıncılık.

Jones, J. E. (2020). *johnjonesfour*. (John E. Jones IV) https://johnjonesfour.com/2020/10/04/model-rocket-telemetry-part-2 adresinden alındı

Jung. (2006).

Jung, 2. 1. (tarih yok).

Jung, 2006: 144. (tarih yok).

Keleş, R., Hamamcı, C., & Çoban, A. (2012). *Çevre Politikası 7. Baskı.* Ankara: İmge Kitapevi Yayınları.

Kiehl, J. T., & Trenberth, K. E. (1997). Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bulletin of the American Meteorological Society (78-2),* 197-208.

Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü. (2016, Mayıs 19). Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü Web Sitesi : http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR,44439/dunya-miras-listesine-alinma-kriterleri.html adresinden alındı

Kyle DeHoff, N. H. (2015). *DESIGN OF THE STRUCTURAL AND PROPULSION SYSTEMS FOR THE 2015 UNIVERSITY OF AKRON ROCKET TEAM.* OHIO: The University Of Akron.

Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J., & Tasa, D. (2013). *Essential of Geology 11. Basım, Çev. Ed: Cahit Helvacı.* Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

May, J. (2021). *Confluence*. (Atlassian Confluence) https://wiki.rit.edu/display/ritlaunch/Parachute+Selection+and+Snatch+Force adresinden alındı

Mira Endüstriyel Eğitim Danışmanlık Organizasyon İnşaat Sanayi Tic. Ltd. Şti. (tarih yok). Mira İple Erişim Eğitim Klavuzu. İzmir: Mira Endüstriyel Eğitim Danışmanlık Organizasyon İnşaat Sanayi Tic. Ltd. Şti.

Nakka, R. (2007). *Solid Rocket Motor Theory*. https://www.nakka-rocketry.net/articles/nakka_theory_pages.pdf adresinden alındı

Nakka, R. (2017). *KN-Sucrose (KNSU) Propellant Chemistry and Performance Characteristics*. https://www.nakka-rocketry.net/succhem.html adresinden alındı

Öztürk, K. (2002). Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22, Sayı 1*, 47-65.

Relative Vessel Motion Tracking using Sensor Fusion, Aruco Markers, and MRU Sensors. (2021, December 10). https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-the-proposed-sensor-fusion-algorithm-combining-the-camera-and-the-MRU_fig3_316592734 adresinden alındı

Richar Nakka, C. K. (2002, Mart 25). *PVC Rocket Motors*. Ocak 2022 tarihinde PVC Rocket Motors: https://www.nakka-rocketry.net/pvcmot4.html adresinden alındı

Richard Nakka, C. K. (2002, Aralık 23). *PVC Rocket Motors J/K Class*. Ocak 2022 tarihinde https://www.nakka-rocketry.net/pvcmot9.html adresinden alındı

Richard Nakka, C. K. (2004, Haziran 16). *K1000 PVC Rocket Motor*. Ocak 2022 tarihinde Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site: https://www.nakka-rocketry.net/pvcmot11.html adresinden alındı

Richard Nakka, C. K. (2017, Şubat 20). *F70 PVC ROCKET MOTOR*. (Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site) Ocak 2022 tarihinde https://www.nakka-rocketry.net/pvcmot12.html adresinden alındı

Rocketry Calculator. (2019). *rocketrycalculator*. (Rocketry Calculator) https://rocketrycalculator.com/rocketry-calculator/bp-estimator/ adresinden alındı

ROKETSAN. (2020, Mart 13). *SavunmaSanayiST*. (SavunmaSanayiST.com) https://www.savunmasanayist.com/roket-ve-fuze-nedir/ adresinden alındı

Ruqayya Toorawa, T. W. (2018). *RedShift Team 111 Project Technical Report for the 2018 IREC.* Kalifornia: Stanford University, Stanford, CA, 94305.

Stine, G. H. (2017, 08 12). *airplanesandrockets*. https://www.airplanesandrockets.com/rockets/model-rocketry-new-look-american-modeler-may-1961.htm adresinden alındı

Sugden, D. E. (2014). James Croll (1821–1890): Ice, Ice Ages and the Antarctic Connection. *Antarctic Science 26(6) doi:10.1017/S095410201400008X*, 604–613.

Taksheyev, V. (2019). *https://victortaksheyev.github.io/*. (github) https://victortaksheyev.github.io/portfolio/pages/telemetry.html adresinden alındı

Talu, N. (2015). *Türkiye'de İklim Değişikliği Siyaseti.* Ankara: Phoenix Yayınevi.

Tekeli, İ., Algan, N., Türkeş, M., Vaizoğlu, S. A., Güler, Ç., Tekbaş, Ö. F., . . . Çobanoğlu, Z. (2010). *Türkiye Açışından Dünyada İklim Değişikliği.* Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları: 22.

tinderrocketry. (2015). (sealtee) https://www.tinderrocketry.com/rocketry-co2-ejection-system adresinden alındı

Trenberth, K. E., & Stepaniak, D. P. (2003). Seamless Poleward Atmospheric Energy Transports and Implications for the Hadley Circulation. *Journal of Climate https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3706:SPAETA>2.0.CO;2*, 1691-1705.

Türkeş, M. (2012). Türkiye'de Gözlenen ve Öngörülen Đklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme . *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi 4(2)*, 1-32.

Z. Burçak Kanatsız, F. Ö. (2002, Nisan 8). *astronomi.istanbul.edu.tr*. (İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu) Ocak 2022 tarihinde Bilgi Merkezli Eğitim-Öğretim Modeli:Astronotik Dersi için bir Uygulama: https://astronomi.istanbul.edu.tr/ders_proje/konu2.htm adresinden alındı

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

A Solution Approach To the Problem of Customer Segmentation and Customer Lifetime Value Estimation in The E-commerce Industry

Aslınur BÜYÜKPİŞİRİCİ DURMUŞ[1]

Abstract

The opportunities in the e-commerce sector and changing customer habits have increased the importance of taking specific actions based on customer behavior. In this context, analytical approaches, statistics, and data science methodologies have been utilized in marketing activities in recent years. Being able to work with dynamic data enables companies to adapt agilely to the changing behaviors of their customers. The increasing competition and difficulty in sustaining market presence have made deriving meaningful insights from data essential. This study will utilize big data stored from the shopping behavior of e-commerce customers who made purchases in November, for the years 2022 and 2023. Data from a retail company operating in e-commerce will be used for access to data. The first objective of the study is to segment customers. In the second step, the lifetime value of customers will be estimated by calculating the expected value of all purchases made by customers in a company. Segmentation and regression algorithms from data science methods will be used. Data science approaches will also be used for estimating customer lifetime value. A two-stage approach will be presented for the analysis of customer segmentation and cluster results. Although segmentation and customer lifetime value estimation studies exist separately in the literature, a study aiming to apply both methods together specifically in the e-commerce sector, offering hybrid methods, selecting target customers suitable for the company's limited marketing budget, and predicting their expected values has not been observed. The findings of the study, after identifying customer clusters exhibiting similar shopping behavior and interpreting the results obtained from predicting customer lifetime value, will contribute to the company's marketing strategies.

Keywords: Data mining, customer segmentation, customer lifetime value, customer relationship management

[1] Yüksek lisans Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği

ISBN: 978-625-372-170-1

1 GİRİŞ

Müşteri kazanmanın ve kazandıktan sonra da elde tutmanın öneminin farkında olan işletmeler müşteri deneyimini en üst düzeye taşıyacak ürün politikalarını, kalite standartlarını ve çeşitli yöntemleri benimser. Müşterileriyle arasındaki bağlantıyı doğru yöneten işletmeler zamanla müşterilerini tanır, müşterinin beklentilerine, sesine kulak verir. Müşteri beklentilerini düzenli olarak ölçmeleri sonucunda da mal ve hizmetlerini bu kapsamda belirler. Müşteri istek ve beklentilerine uygun politikalar belirlenmesiyle müşteri memnuniyeti, sadık müşteriler ve hedeflenen kar marjı elde edilir.

Müşteri yaşam döngüsünün tespiti, sahip olunan müşterilerin hangi segmentte olduğunun belirlenmesi ve müşterilerin tanınması açısından önemlidir. CRM'de veri madenciliği uygulamak için müşteri yaşam döngüsünün tespiti önemli bulgular sağlar. Müşteriler gruplara ayrılarak o gruptaki müşteriler üzerinden farklı kampanyalar tanımlanılabilir. Her müşteri grubundaki müşterilerin alışveriş davranışları ve özellikleri farklılık göstereceğinden segmentlere ayırarak analiz edilmesi daha sağlıklı sonuçlar verecektir.

Bu çalışmanın amacı, ilk olarak müşteri segmentasyonu ve müşteri yaşam boyu değeri tahmini konulu çalışmaların literatür taramasının yapılmasıdır. Literatür taramasında adımı 2 ana başlığa ayrılmıştır. İlk başlık müşteri yaşam boyu değerini tahmin çalışmaları olup istatistiksel veya veri bilimi yöntemi kullanılmasına göre alt başlıkları bulunmaktadır. İkinci ana başlık ise kümeleme çalışmalarıdır. Burada kapsam genel olarak e-ticaret sektöründe tutulmuştur. Birch algoritması kullanılan çalışmalar, K-ortalamalar algoritması kullanılan çalışmalar ve e-ticaret sektöründeki diğer kümeleme algoritmaları olmak üzere 3 alt başlığa ayrılmıştır.

Uygulama adımında ilk olarak büyük verilerde kümeleme konusunda başarılı olan Birch algoritmasından yararlanılacaktır. Bu algoritma kullanılarak verinin yoğunlaştığı kümeler alınmış ve veri sayısı %42 oranında azaltılmıştır. Müşteriler kümesinden toplam yıllık e-ticaret ödemesi üzerinden belirli değerler arasında kalanlar hedef kitle olarak alınmıştır. Bu sayede aykırı değerler modelden elenmiştir.

İkinci aşamada regresyon modelleri kullanılarak 2023 yılı için formülden elde edilen müşteri yaşam boyu değeri (MYD) ile model eğitim ve test olarak ayrılacaktır. Ardından veri bilimi modelleri kullanılarak algoritma performansları sınanacaktır. Elde edilen bulgular açısından en uygun model seçilecektir. Son adımda müşteriler k-ortalamalar algortimasıyla MYD değerlerine göre kümelenecek ve işletme için önerilerde bulunulacaktır.

2 LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Müşteri Yaşam Boyu Değeri Tahmini

2.1.1 İstatistik Yöntemlerinin Kullanıldığı Çalışmalar

Batislam vd. (2007), Pareto/NBD ve BG/NBD modellerinin öngörü performansını, tekrar satın alma seviyeleri ve müşterinin aktif/pasif durumu açısından, gıda perakende şirket verilerini kullanarak karşılaştırmışlardır. Singh vd. (2009), çeşitli MYD modellerini önermek ve tahmin etmek için kullanılabilecek esnek bir Monte Carlo tabanlı Markov Zinciri modeli önermişlerdir. Wang (2009), BG/NBD'nin web sitesi verileriyle müşteri yönetiminin uygulanabilirliğini doğrulamak için bir tesisteki gerçek işlem verilerinden yararlanmışlardır. Oest ve Knox (2011), ABD'nin önde gelen bir internet perakendecisinden elde edilen iki yılı

aşkın bireysel düzeydeki site şikayet verilerine dayanarak, BG/NBD modelinin değiştirilmiş modelini önermişlerdir. Mzoughia vd. (2014), Markov zinciri modeline dayalı olarak hem negatif hem de pozitif karları ele alan, dolayısıyla her zaman bir hisse ve iyiliğin kaybedildiği durumları kapsayarak daha fazla esneklik sunan değiştirilmiş bir model önermişlerdir. Armelini vd. (2015), Almanya'da bir bankanın verilerini kullanarak müşteri sadakatini ölçmek üzere çalışmışlardır. Chen vd. (2015), müşterilerin yaşam boyu hareketlerini tahmin etmek için Pareto/NBD ve BG/NBD modelleri gibi olasılık modellerini kullanarak gelecekteki faaliyetlere odaklanmışlardır. Jasek vd. (2019), BG/NBD ve Pareto/NBD modellerinin türevlerinden oluşan 11 ayrı olasılıksal MYD modelinin ampirik istatistiksel analizine ve tahmin yeteneklerine odaklanmışlardır. Mammadzada vd. (2021), Azerbaycan'da faaliyet gösteren bir bankanın müşterilerinin gerçekleştirdiği finansal işlemlerin hem sayısını hem de tutarını dikkate alarak MYD'yi tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Dandis vd. (2022), Ürdün'deki fast food restoranlarında MYD tahmininde, marka deneyimlerinin ve ilişkisel faydaların tüm boyutlarının ilişkisel pazarlama sonuçları (tatmin, güven ve bağlılık) üzerinde anlamlı ve olumlu bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

2.1.2 Veri Bilimi Yöntemlerinin Kullanıldığı Çalışmalar

Kim vd. (2006), müşterileri değerlerine göre segmentlere ayırdıktan sonra, bir kablosuz telekomünikasyon şirketi üzerinde bir vaka çalışması ile müşteri segmentine göre oluşturulan stratejiler sunulmuştur. Khajvand vd. (2011), İran'da bir sağlık ve güzellik şirketinin müşteri segmentasyonu için RFM pazarlama analizi yöntemi kullanılmıştır. Kim vd. (2012), Kore'de tüketicilerin lüks markalara yönelik tutumlarını ve müşteri yaşam boyu değeri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Segarra-Moliner ve Moliner-Tena (2016), MYD aracılığıyla müşteri öz sermayesini ölçmeyi ve MYD kullanıcıları için bir model tasarlamak amaçlanmıştır. Sunder vd. (2016), ABD'de paketlenmiş tüketici ürünleri için MYD değerini hesaplamak için 3 yöntemden oluşan esnek bir çerçeve önermişlerdir. Çavdar ve Ferhatosmanoğlu (2018), Türkiye'de havayolu endüstrisinde müşterilerin sosyal ağ ve uçuş bilgilerini bütünleştiren MYD değerini tahmin etmek için yeni bir model geliştirmişlerdir. Bansal vd. (2020), Güney Afrika'da bir telekomünikasyon şirketinde genellikle müşterilerin devam eden olasılığını etkileyen belirli demografik faktörleri açıklamışlardır. Win ve Bo (2020), çevrimiçi perakende şirketinin uzun vadede hangi müşteri grubuna yatırım yapacağının kararının verilmesine MYD'lerine dayanarak yardımcı olacak gelecek yılın müşteri sınıfını tahmin etmeyi hedeflemişlerdir. Binh vd. (2021), Vietnam'da telekomünikasyon sektöründe 6 aylık veri ile MYD değerinin tahminlenmesine yönelik çalışma yürütmüşlerdir. Benk vd. (2022), Tahmin modelinde MYD metriklerine ek olarak farklı ürün kategorisi ve harcanan tutardaki eğilim olmak üzere iki yeni faktör daha sunmuşlardır. Vatankhah ve Samizadeh (2022), MYD değerini tahmin etmek için oluşturulan modelde müşterilerin diğer müşterilerle yaptığı bağlantılar da dikkate alınmıştır. Amendah vd. (2023), finansal (parasal değer ve pazarlama maliyetleri) ve finansal olmayan (güven, sadakat, satın alma sıklığı, güncellik ve kayıp oranı) ölçekleri oluşturarak hangilerinin MYD üzerinde etkili olduğunu perakende sektörü verisiyle ölçmüşlerdir. Kanchanapoom ve Chongwatpol (2023), RFM ve kümeleme modellerini geliştirmek için hem müşteri yaşam boyu değerinin hem de şirketler arası müşteri geçişinin nasıl entegre edileceğini göstermişlerdir. Valla vd. (2023), MYD ve ve kârlılığa dayalı uygun bir doğrulama metriği ile bir sigorta şirketi için sözleşmesi bitecek müşterin şirketten ayrılmalarının yönetimi için çerçeve tanımlamışlardır.

2.1.3 Kümeleme Çalışmaları

2.1.4 Birch Yöntemi

Assi vd. (2012), Avrupa Sosyal Araştırması'nın anketten elde edilen verilerinden, refah ve yaşam kalitesine göstergeye BIRCH algoritması uygulanmıştır. Madan ve Dana (2016), görsel kümelemede ilişkin bir dizi parasal olmayan BIRCH kümeleme algoritmasının değiştirilmiş bir versiyonunu tanıtmışlardır. Pitolli vd.(2017), etiketlenmemiş bir kötü amaçlı

yazılım veri kümesi kullanılarak benzer ürün ailelerini tanımlamak için yeni bir çözüm önermişlerdir. Lin vd. (2021), su altı akustik sensör ağlarında veri toplama planlama sorunu üzerine derinlemesine bir çalışma yapmışlardır. Wahyuningrum vd.(2021), bu çalışma KNN sınıflandırma yöntemini kullanmadan önceki adımda kümeleme yöntemi kullanılarak veri içerisindeki küme kombinasyonları arasından seçim yapmayı hedeflemiştir. Alzu'bi vd. (2022), meme kanseri kümelenmesi için benzersiz bir BIRCH tabanlı algoritma önermektedir. Yan vd. (2022), elektrikli araçların şarj etme davranış verilerini kullanarak kümelere yapmak hedeflenmiştir. Yin vd. (2023), alçak gerilim istasyon alanlarında manuel olarak bakımı zor olan ev-trafo ilişkisinin sık sık değişmesi sorununa yanıt olarak, bir ev-trafo ilişkisi tanıma yöntemi önerilmiştir. Sugiharto vd. (2023), müşterileri, onları tanımlayan özelliklere göre kümelemek için kullanılabilecek makine öğrenimi algoritmalarını incelemeyi amaçlamışlardır. Jahlan vd. (2024), maden bölgesi planlamasını anormallik tespiti ile değerlendirmek için DBSCAN ve BIRCH olmak üzere iki makine öğrenimi kümeleme yöntemini uygulamışlardır.

2.2.2 K-ortalamalar Yöntemi

Helgesen vd. (2009), uygulayıcıların pazarlama algısı ve işletme performansı arasındaki muhtemel ilişkilerini, daha sonra pazarlama eğitimi için olası etkilerini analiz etmeyi amaçlamıştır. Li ve Li (2018), B2C e-ticaret müşteri kümeleme sorununu çözmek amacıyla k-ortalamalar algoritması seçilmiştir. Prasetyo (2018), k-ortalamalar algoritmasını kullanarak Endonezya'da faaliyet gösteren 3 e- ticaret şirketi için en ucuz ürün arama sistemini yapmayı amaçlamıştır. Mathivanan vd. (2019), Malezya'daki bir e-ticaret şirketinin sitesindeki ürünlerini gruplandırmak için k-ortalamalar kümelemesini kullanarak adım adım kümeleme analizi sunmuşlardır. Deng ve Gao (2020), müşteri segmentasyonu için geleneksel kümeleme algoritmalarının yetersiz kaldığı yönlerden dolayı AP algoritması ve önerilen SAPK + K-ortalamalar algortiması karşılaştırılmıştır. Punhani vd. (2021), bir e-ticaret sitesinin veri seti ile k-ortalamalar algoritması kullanılarak analiz yapılmış ve yorumlanmıştır. Shen (2021), öncelikle davranışsal özellikler oluşturmak için RFM modeli kullanılmıştır. Daha sonra, ürün kategorilerini oluşturmak için ürün açıklamalarına TF-IDF yöntemi uygulanmış ve ardından e-ticaret müşterilerini gruplamak için k-ortalamalar kümeleme algoritması kullanılmıştır. Ye (2021), bir çevrimiçi perakende mağazasının bir yıl içindeki işlemlerini içeren uluslararası veri kümesi kullanılarak iptal edilen siparişlerine yönelik çalışma yapılmıştır. Andra ve Baizal (2022), PCA ve k-ortalamalar kümeleme algoritmasını kullanan işbirlikçi filtrelemeye dayalı bir e-ticaret ürün öneri sistemi önermişlerdir. Agrawal vd. (2023), internetten alınan bir e-ticaret veri setine k-ortalamalar kümeleme yaklaşımını kullanarak müşteri segmentasyonu konusuna odaklanmışlardır. Bhimarapu vd. (2023), bir e-ticaret web sitesinden alınan tarih, müşteriye ait bilgiler ve ürün bilgileri içeren veri kümesi; analize yönelik tüm faktörleri belirlemek için kullanılmıştır. Kathiravan vd. (2023), sahte haberlere ilişkin sosyal medyadan toplanan etiketli bir yapay veri seti kullanılarak kümeleme yapmak hedeflenmiştir. Rajput ve Singh (2023), gerçek zamanlı veri seti üzerinden k-ortalamalar kümeleme algoritması kullanılarak bir eticaret firmasının web sitesine mi yoksa mobil uygulamasına mı odaklanacağına karar vermeyi amaçlamışlardır. Reddy vd. (2023), e-ticaret sitesinin verileri kullanılarak müşterilerin tüketim davranışını keşfetmek için analiz edilmesi hedeflenmiştir.

2.2.3 E Ticaret Sektöründeki Diğer Yöntemler

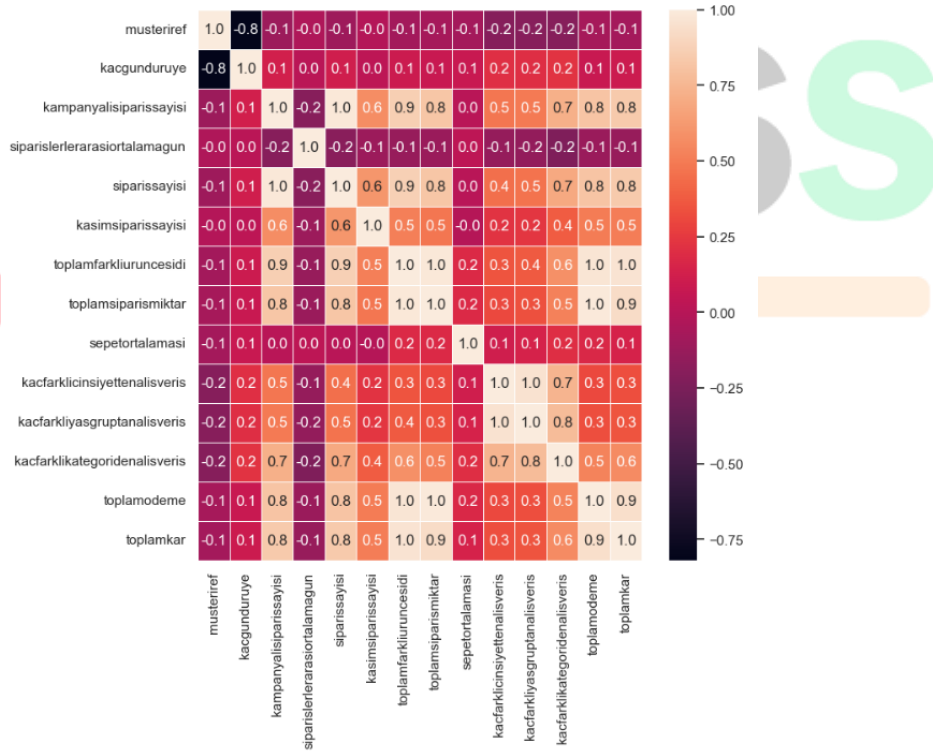
Ballestar vd. (2018), alışveriş yaptıkça kazandıran bir web sitesine üye olan müşterilerin davranışlarının, ticari etkinliğini nasıl belirlediğini incelemişlerdir. Muchardie vd. (2019), müşteri segmentasyonu problemi için psikografik faktörlerin e-ticarette müşteri memnuniyeti ve müşteriyi elde tutma üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Darwin vd. (2020), e ticaret sektöründeki veri setine yapılan ön işleme sonucunda 2.074 kayıt kullanılmış olup, uyarlamalı DBSCAN kullanılarak %92,63, k-ortalamalar kullanılarak %91,75 doğruluk elde edilmiştir. Liu (2020), geliştirilmiş 3D blok eşleştirme algoritmasına

dayanan bu çalışma ilk adımda e-ticaret ağlarının uluslararasılaştırılmış emtia görüntülerini tanımlamıştır. Sun ve Liang (2020), Çin'de çevrimiçi kurutulmuş meyve satın alma davranışının belirleyicilerinin etkisini araştırmak için kapsamlı bir teorik çerçeve geliştirilmiştir. Ekelik ve Emir (2021),Türkiye'de faaliyet gösteren bir internet sitesinin verileri kullanılarak müşterilerin alışveriş yapan ve yapmayan gruplarına göre 3 ayrı sınıflandırma yöntemi ile tahminleme yapmışlardır. Padigela ve Suguna (2021), müşterilerin e-ticaret sepetlerini doldurduktan sonra sepetlerini boşaltma ya da satın almama işlemlerini analiz etmek ve bu duruma yol açan faktörleri gözlemlemek için bir yaklaşım sunmuşlardır. Zhao ve Li (2021), geleneksel RFM modelini temel alarak RFAC modelini geliştirmiş ve önermişlerdir. Phadkar vd. (2023) , e-ticaret sektöründe segmentasyon yapmak amacıyla Rfm yönteminden yaralanmışlardır. Snehalatha vd. (2023), işletmelerin sahip olduğu çeşitli müşterileri gruplara ayırarak pazarlamada en çok neye ihtiyaç duyulduğunu ve şirketin karşılayabileceği en iyi tekliflerin neler olabileceğini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Venkatesh ve Vindhya (2023), çevrimiçi sosyal ağlardaki kullanıcı davranışını yüksek derecede doğrulukla tahmin etme potansiyeli açısından k-ortalamalar ve hiyerarşik kümeleme algoritmasıyla karşılaştırmışlardır. Griva vd. (2024), coğrafi ve davranışsal müşteri segmentasyonunun bir kombinasyonunu sunan iki aşamalı bir yaklaşım geliştirmişlerdir.

3 UYGULAMA

3.1 Verinin Tanıtılması

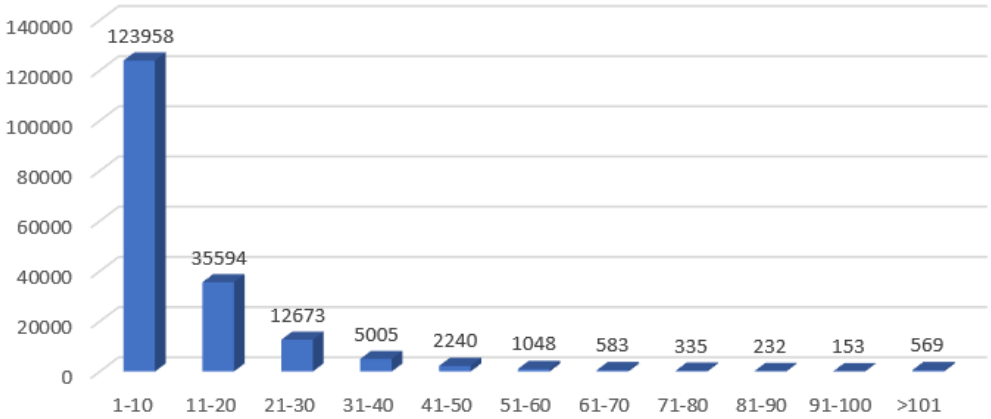
Yurtiçi ve yurtdışında faaliyet gösteren bir tekstil perakende şirketinin Türkiye'de 2023 yılında yapmış olduğu müşteri bazlı alışveriş verisi kullanılmıştır. Veri 182.391 satırdan oluşmaktadır. Veride, her müşteriye karşılık gelen referans kodu temsil eden MüşteriRef kolonu bulunmaktadır.



Şekil 1. *Değişkenlere ait ısı haritası grafiği*

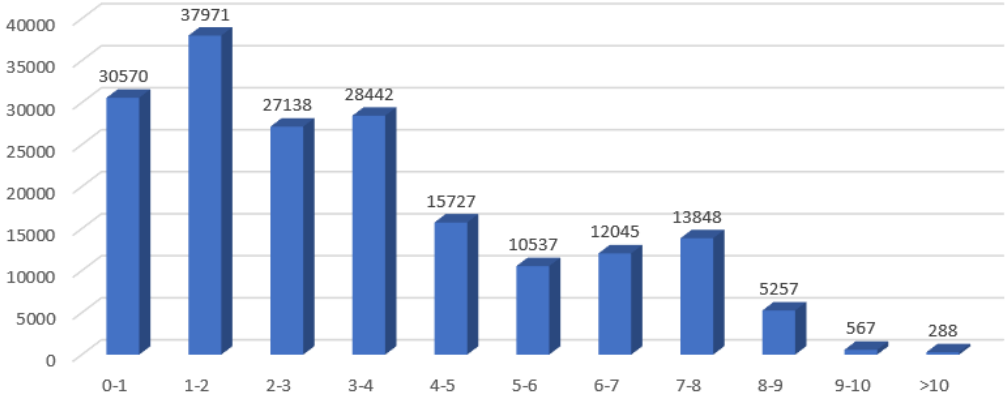
Veride yer alan kolonlara ait korelasyon değerleriyle Şekil 1'deki ısı haritası grafiği oluşturulmuştur. Parasal alanlar olan "Toplamodeme" ile "Toplamkar" arasında en yüksek korelasyon elde edilmiştir.

Verideki müşterilerin 1 yıl içinde verdikleri siparişler açısından dağılımı Şekil 2'de sunulmuştur. Bu grafiğe göre 10 siparişten daha az sipariş veren müşterilerin verinin %67,96' sını oluşturduğu söylenebilir.



Şekil 2. *Sipariş sayısına göre verinin dağılım grafiği*

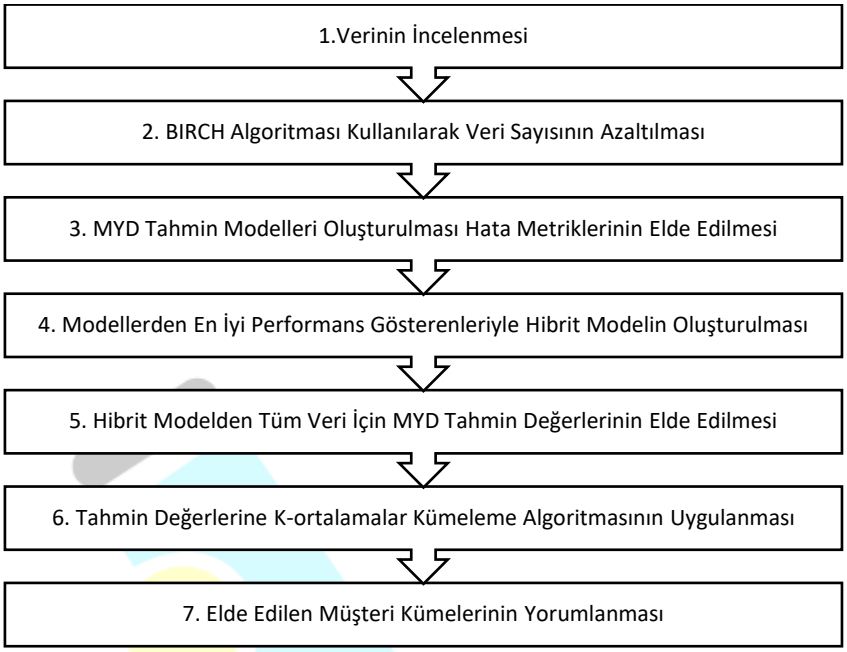
Verideki "kacgunduruye" kolonu kullanılarak bu alan yıla çevrilmiş ve Şekil 3 'deki üyelik yılına göre dağılım grafiği oluşturulmuştur. Dağılımın büyük bir çoğunluğunu 1-2 yıl önce üye olan müşteriler oluşturmaktadır. Bu grafikten yola çıkarak pandemi sebebiyle fiziksel mağazaların kapalı olduğu dönemin, e-ticaret sitesinin yeni müşteri kazanmasında katkı sağlamış olabileceği şeklinde yorumlayabiliriz.



Şekil 3. *İlk üyelik tarihi baz alınarak müşterilerin üyelik yaşı dağılımı (yıl)*

4.2 Modelleme

Modelleme aşamasında Python yazılım dili kullanılarak e-ticaret müşterilerinin MYD tahmin modelinin oluşturulması ve yorumlanması probleminin çözümü için asağıda Şekil 4'de sunulan akış şemasından ilerlenecektir.



Şekil 4. Modelin akış şeması

İlk adımda veri incelenmiştir ve veride eksik veri olmadığı gözlenmiştir. Ancak müşteri davranışlarının çok çeşitli olması sebebiyle veride ortalamanın üzerinde değerler yer almaktadır. Bu durumun modelin başarısını etkileyeceği düşünülerek veriyi temsil eden çok fazla satırın elenmediği bir yöntem olarak BIRCH kümeleme algoritmasından yararlanılmıştır.

İkinci adımda BIRCH kümeleme algoritması kullanılmıştır. BIRCH algoritması uygulanmasının ardından yeni veri 104.116 satırdan oluşmaktadır. Modellerin oluşturulması adımından önce veri, %30'u test olacak şekilde rassal olarak eğitim ve test olarak ayrılmıştır. Ardından biri istatistiksel olmak üzere 8 tanesi veri bilimi yöntemi olan toplam 9 tane model oluşturulmuş ve veri seti üzerinde sınanmıştır.

Tablo 1 'de eğitim verisinin kullanılan modeller üzerinde hata metrikleri yer almaktadır.

Tablo 1. *Kullanılan MYD tahmin modellerinin eğitim veri seti hatası*

Modeller	MAE	RMSE	MAPE	R-kare
BG-NBD ve Gamma Gamma	9603,409	10258,19	0,998731	-
Lineer Regresyon	1582,807	2555,31	0,186721	0,556105
Polinominal Regresyon	1040,969	1857,386	0,129699	0,76547
Ridge Regresyon	1582,807	2555,31	0,186721	0,556105
LASSO Regresyon	1582,798	2555,31	0,186717	0,556105
Karar Ağacı Regresyonu	605,6929	943,8895	0,078365	0,939433
Rassal Orman Regresyonu	243,4028	460,3294	0,030797	0,985594
XGBoost	650,42	1138,289	0,084422	0,911916
GBM	633,7961	1161,105	0,082673	0,908349

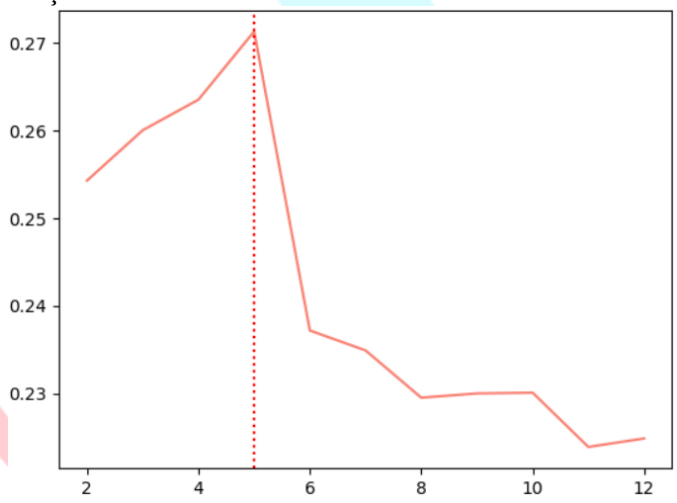
Aşağıdaki Tablo 2'de ise test verisinin kullanılan modeller üzerinde hata metrikleri yer almaktadır.

Tablo 2. *Kullanılan MYD tahmin modellerinin test veri seti hatası*

Modeller	MAE	RMSE	MAPE	R-kare
BG-NBD ve Gamma Gamma	9598,413	10282,86	0,998764	-
Lineer Regresyon	1565,067	2462,755	0,183270	0,569718
Polinominal Regresyon	1024,78	1774,241	0,125489	0,776676
Ridge Regresyon	1565,067	2462,755	0,18327	0,569718
LASSO Regresyon	1565,058	2462,752	0,183267	0,569719
Karar Ağacı Regresyonu	660,2226	1289,738	0,080557	0,881991
Rassal Orman Regresyonu	664,5664	1209,177	0,079682	0,896273
XGBoost	664,9462	1171,466	0,08142	0,902642
GBM	644,4517	1153,942	0,0794	0,905533

Tablo 1 ve Tablo 2'deki değerler yorumlandığında R-kare ve hata metrikleri açısından Rassal orman regresyonunun en başarılı model olduğu görülmüştür. Eğitim ve test veri setinin R-kare değerlerine bakıldığında modelimize güvenebileceğimiz söylenebilir. Hibrit yöntem oluştururken rassal orman ve karar ağacı regresyonunun birleştirilmiş yöntemi kullanılmıştır. Hibrit yöntemin eğitim veri seti R-kare değeri 0,9704, test veri seti R-kare değeri 0,8956 olarak elde edilmiştir.

Tahmin değerler kullanılarak k-ortamalar kümeleme algoritmasıyla müşteri segmentasyonu gerçekleştirme adımında ilk olarak k küme sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 5'te sunulan Silhoutte indeksi yorumlandığında k sayısının 5 olması gerektiği elde edilmiştir.



Şekil 5. *Silhouette indeks grafiği*

K-ortalamalar kümeleme algoritması uygulandıktan sonra tüm verinin eleman sayısının dağılımı Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. *K-ortalamalar algoritması uygulandıktan sonra kümelerdeki eleman sayıları dağılımı*

Küme No	Kümedeki Eleman Sayısı
0	31796
1	10666
2	37002
3	22957
4	1695

Küme numaralarına göre değerlerin ortalaması aşağıdaki Tablo 4'tedir. Her kümenin öne çıkan bazı karakteristik özellikleri olduğundan bahsedilebilir. Tablodan hareketle Küme 0 "İndirimciler" olarak nitelendirilebilir. Bu kümede sipariş sayısı genelin üzerindedir ancak sepet büyüklüğü daha küçüktür ve sepet genellikle uygun fiyatlı ürünlerden oluşur. Küme 4 ise "Toptancılar" olarak nitelendirilebilir. Bu gruptaki müşterilerin sipariş sayısı azdır ancak alışveriş yaptıklarında yüksek tutarlarda ve fazla sayıda ürünler satın alma davranışları vardır. Küme 1, 2 ve 3 ise ortalama sepet büyüklüğü ve potansiyel açısından küçük farklar gösteren müşteri gruplarını ifade etmektedir.

Tablo 4. *Küme sonuçlarının ortalama değerleri*

Küme No	kacgunduruye	siparissayisi	MYD tahmin
0	1252,000283	13,206064	6320,83747
1	1229,692012	6,107632	15905,10422
2	1318,678207	11,228042	8765,565378
3	1319,648343	8,469661	11665,99004
4	1121,715044	3,99882	24447,13188

SONUÇ

Bu çalışmada MYD ve müşteri segmentasyonunu birleştiren 2 aşamalı bir yaklaşım sunulmuştur. Kümeleme algoritmalarından hem veri eliminasyon için hem de son adımda müşteri gruplarının yorumlanması için yararlanılmıştır. İşletme bu veriler doğrultusunda müşterilerine özel kampanya, reklam gibi pazarlama faaliyetleri oluşturabilir.

Bu çalışmada veri kısıtları sebebiyle sadece alışveriş davranışı verisi kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda veride müşterinin demografik özelliklerinden de yararlanılabilir. Bu sayede daha geniş bir perspektiften sonuçlar elde edilebilir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Agrawal A, Kaur P. ve Singh M. (2023). "Customer Segmentation Model using K-means Clustering on E-commerce", International Conference on Sustainable Computing and Data Communication Systems (ICSCDS).

Alzu'bi A. ve Barham M. (2022). "Automatic BIRCH thresholding with features transformation for hierarchical breast cancer clustering", International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 12, No. 2.

Amendah E., Kohli A., Kumthekar N. ve Singh G. (2023). "Impact of Financial and Nonfinancial Constructs on Customer Lifetime Value (MYD): U.S. Retailer's Perspective", Journal of Relationship Marketing, VOL. 22, NO. 3, 202–237.

Andra D. ve Baizal Z. (2022). "E-commerce Recommender System Using PCA and K-Means Clustering", Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi).

Armelini G., Barrot C. ve Becker J. U. (2015). "Referral programs, customer value and the relevance of dyadic characteristics", International Journal of Research in Marketing, 32(4), pp. 449–452.

Assi J., Lucchini M. ve Spagnolo A.(2012). "Mapping patterns of well-being and quality of life in extended Europe", International Review of Economics.

Bansal G., Anand A., ve Yadavalli V.S.S. (2020). "Predicting effective customer lifetime: An application of survival analysis for telecommunication industry", Communications in Statistics—Theory and Methods, 49(10), 2305–2320.

Batislam E., Denizel M. ve Filiztekin A. (2007). "Empirical validation and comparison of models for customer base analysis", Intern. J. of Research in Marketing 24, 201–209.

Benk G., Badur B. ve Mardikyan (2022). "A New 360° Framework to Predict Customer Lifetime Value for Multi-Category E-Commerce Companies Using a Multi-Output Deep Neural Network and Explainable Artificial Intelligence", Information, 13, 373.

Bhimarapu H., Bhelkar S., Chavhan S., Dhule C. ve Agrawal R. (2023). "Customer Segmentation Based on E-Commerce using K-Mean Clustering", International Conference on Recent Advances in Science & Engineering Technology.

Binh T.V., Thy N.G. ve Phuong H.T.N. (2021). "Measure of MYD Toward Market Segmentation Approach in the Telecommunication Sector (Vietnam) ", SAGE Open, 11(2).

Chen X.,Geng R. ve Cai S. (2015). "Predicting microblog users' lifetime activities – A user-based analysis", Electronic Commerce Research and Applications 14 150–168.

Çavdar A.B., ve Ferhatosmanoğlu, N. (2018). "Airline customer lifetime value estimation using data analytics supported by social network information", Journal of Air Transport Management, 67, 19–33.

Dandis A., Eid M., Griffin D., Robin R. ve Ni A. (2022). "Customer lifetime value: the effect of relational benefits, brand experiences, quality, satisfaction, trust and commitment in the fast-food restaurants", The TQM Journal Vol. 35 No. 8.

Darwin, Purba R. ve Pasha M. (2020). "Search Query Clustering Comparation On E-Commerce Using K-Means And Adaptive DBSCAN", 3rd International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology (MECnIT).

Griva A., Zampou E., Stavrou V. ve Papakiriakopoulos D. (2024). "A two-stage business analytics approach to perform behavioural and geographic customer segmentation using e-commerce delivery data". JOURNAL OF DECISION SYSTEMS, VOL. 33, NO. 1, 1–29.

Jahlan A., Youssef M. ve Mohammed M. (2024). "Detecting Radioactive Mineralization using DBSCAN and BIRCH Algorithms". 6th International Conference on Computing and Informatics (ICCI).

Jasek P., Vrana L., Sperkova L., Smutny Z. ve Kobulsky M. (2019). "COMPARATIVE ANALYSIS OF SELECTED PROBABILISTIC CUSTOMER LIFETIME VALUE MODELS IN ONLINE SHOPPING". Journal of Business Economics and Management, Volume 20 Issue 3: 398–423.

Kanchanapoom K. and Chongwatpol J. (2023). "Integrated customer lifetime value (MYD) and customer migration model to improve customer segmentation", Journal of Marketing Analytics 11:172–185.

Kathiravan P., Shanmugavadivu P. ve Saranya Y. (2023). "Mitigating Imbalanced Data in Online Social Networks using Stratified K-Means Sampling", 8th International Conference on Business and Industrial Research.

Khajvand M., Zolfaghar K., Ashoori S., ve Alizadeh S. (2011). "Estimating customer lifetime value based on RFM analysis of customer purchase behavior: Case study", Procedia Computer Science, 3, 57–63. 2010.12.011.

Kim S.Y., Jung T.S., Suh E.H. ve Hwang H.S. (2006). "Customer segmentation and strategy development based on customer lifetime value: A case study", Expert Systems with Applications, 31(1), 101–107.

Kim K.H., Ko E., Xu B. ve Han, Y. (2012). "Increasing customer equity of luxury fashion brands through nurturing consumer attitude", Journal of Business Research, 65(10), pp. 1495–1499.

Li X. ve Li C. (2018). "The research on customer classification of B2C platform based on k-means algorithm", IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference(IAEAC 2018).

Lin C., Han G., Wang T., Bi Y., Du J. ve Zhang B. (2021). "Fast Node Clustering Based on an Improved Birch Algorithm for Data Collection Towards Software-Defined Underwater Acoustic Sensor Networks", IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 21, NO. 22.

Liu F. (2020). "3D Block Matching Algorithm in Concealed Image Recognition and E-Commerce Customer Segmentation", IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 20, NO. 20.

Madan S. ve Dana K. (2016). "Modified balanced iterative reducing and clustering using hierarchies (m-BIRCH) for visual clustering", Pattern Analysis and Applications.

Mammadzada A., Alasgarov E. ve Mammadov A. (2021). "Application of BG / NBD and Gamma-Gamma Models to Predict Customer Lifetime Value for Financial Institution", IEEE 15th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT).

Mathivanan N., Ghani N. ve Janor R. (2019). "Analysis of K-Means Clustering Algorithm: A Case Study Using Large Scale E-Commerce Products" ,IEEE Conference on Big Data and Analytics (ICBDA).

Muchardie B., Gunawan A. ve Aditya B. (2019). "E-Commerce Market Segmentation Based on The Antecedents of Customer Satisfaction and Customer Retention", International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech).

Mzoughia M. ve Limam M. (2014). "An improved customer lifetime value model based on Markov chain", Appl. Stochastic Models Bus. Ind., 31 528–535.

Oest R. ve Knox G. (2011). "Extending the BG/NBD: A simple model of purchases and complaints", Intern. J. of Research in Marketing 28 30–37.

Padigela P. ve Suguna R. (2021). "Segmentation of E-commerce users based on cart abandonment and product recommendation through collaborative filtering: the moderating effect of exorbitant pricing", International Journal of System Assurance Engineering and Management.

Phadkar S., Singhania C., Poddar S., Suryawanshi J. ve Chandurkar S. (2023). “Customer Segmentation for E-Commerce using Recency Frequency Monetary and Hierarchical Clustering”, 7th International Conference on Computing, Communication, Control and Automation.

Pitolli G., Aniello L., Laurenza G., Querzoni L.ve Baldoni R. (2017). “Malware Family Identification with BIRCH Clustering”, International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST).

Prasetyo V. (2018). “Searching Cheapest Product On Three Different Ecommerce Using K-Means Algorithm”, International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA).

Rajput L. ve Singh S. (2023). “Customer Segmentation of E-commerce data using K-means Clustering Algorithm”, 13th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering.

Reddy C., Rao N., Sisir A., Raju V. ve Aravinth S. (2023). “A Comparative Survey on K-Means and Hierarchical Clustering in E-Commerce Systems”, International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things.

Segarra-Moliner J. R. ve Moliner-Tena M.Á. (2016). "Customer equity and MYD in Spanish telecommunication services", Journal of Business Research, 69(10), 4694–4705.

Shen B. (2021). “E-commerce Customer Segmentation via Unsupervised Machine Learning”, The 2nd International Conference on Computing and Data Science.

Singh S., Borle S. ve Jain D. (2009). “A generalized framework for estimating customer lifetime value when customer lifetimes are not observed”, Qme, 7, 181-205.

Snehalatha N., Mohana Kumar S. ve Kachroo V. (2023). “CUSTOMER SEGMENTATION AND PROFILING FOR E-COMMERCE USING DBSCAN AND FUZZY C-MEANS”, Proceedings on Engineering Sciences Vol. 05, No. 3 539-544.

Sugiharto N., Elbert D., Arnold J., Edbert I. ve Suhartono D. (2023). “Mall Customer Clustering Using Gaussian Mixture Model, K-Means, and BIRCH Algorithm”, 6th International Conference on Information and Communications Technology”.

Sun Y. ve Liang C. (2021). “Effects of determinants of dried fruit purchase intention and the related consumer segmentation on e-commerce in China”, British Food Journal Vol. 123 No. 3, ,pp. 1133-1154.

Sunder S., Kumar V. ve Zhao Y. (2016). “Measuring the Lifetime Value of a Customer in the Consumer Packaged Goods Industry", Journal of Marketing Research (JMR). Vol. 53 Issue 6, p901-921. 21p.

Valla M., Milhaud X. ve Olympio A. (2023). “Including individual customer lifetime value and competing risks in tree-based lapse management strategies”, European Actuarial Journal 14:99–144.

Vatankhah S. ve Samizadeh R. (2022). “Determining Optimal Marketing and Pricing Policies by Considering Customer Lifetime Network Value In Oligopoly Markets”, Journal of Industrial and Management Optimization, Vol. 18, No. 5 , pp. 3263–3282.

Venkatesh V. ve Vindhya A. (2023). “Predicting the Accuracy of Fractionation of Patron’s Activities in Online Social Networks using Novel Kmeans Clustering Algorithm Comparing with Agglomerative Hierarchical Clustering Algorithm”, 6th International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I).

Wahyuningrum T., Khomsah T., Suyanto S., Meliana S., Yunanto P. ve Maki W. (2021). “Improving Clustering Method Performance Using K-Means, Mini Batch K-Means, BIRCH and Spectral”, 4th International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI).

Wang X. (2009). “Research of MYD Forecasting Model Based on E-commerce Website”, The 1st International Conference on Information Science and Engineering (ICISE).

Win T. ve Bo K. (2020). “Predicting Customer Class using Customer Lifetime Value with Random Forest Algorithm”, 2020 International Conference on Advanced Information

Technologies (ICAIT) Advanced Information Technologies (ICAIT), 2020 International Conference on. :236-241 Nov.

Zhao R. ve Li C. (2021). “Research on E-commerce Customer Segmentation Based on RFAC Model”, IEEE International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS).

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Numerical Analysis of the Effect of Collector Height and Radius on System Performance in Solar Chimney Power Plants

Fuat TAN[1]
Alp Eren DEDE[2]

Abstract

A Solar Chimney Power Plant (SCPP) is an environmentally friendly system designed to harness and convert solar energy by absorbing sunlight and utilizing the density difference caused by temperature variation to generate electricity. It primarily consists of a transparent collector, chimney system, wind turbine, and electric generator. At the core of this system lies a chimney structure to facilitate the release of hot air. It is crucial for the air beneath the collector, where a vacuum effect is aimed to be created, to attain high temperatures. This resulting vacuum promptly replenishes itself with air from the sides, thereby unidirectionally moving the air upwards. To enhance this vacuum effect, the collector should ideally be positioned at an optimal height. The ground beneath the collector is constructed from a material with a high heat capacity, aiding in effectively heating the passing air. Furthermore, achieving an optimal radius for the collector is important for increasing the quantity of heated air, thus impacting system performance. In this article, collector height and radius are chosen as design parameters to elucidate the performance of the Solar Chimney Power Plant (SCPP). The effects of these selected parameters on velocity, pressure, and temperature distributions were numerically analyzed using the ANSYS Fluent commercial software program. Through the application of the Central Composite experimental design method, analyses were conducted to establish the parameter table and simulate these parameters comparatively in a three-dimensional space to understand their influence on performance. The study concludes by presenting an analytical model for the optimal collector radius and height values for SCPP performance.

Keywords: SCPP, Efficiency, Collector Height, Collector Radius, CFD

[1] Ass.Prof., Balikesir University, Mechanical Engineering, fuattan@balikesir.edu.tr, Orcıd: 0000-0002-4194-5591
[2] Balikesir University, Mechanical Engineering, alperendede46@gmail.com, Orcıd:0009-0009-5391-8695

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Enerji, modern yaşamın vazgeçilmez ihtiyaçlarından biri olup, giderek karmaşık hale gelen doğası nedeniyle istikrarlı ekonomik gelişim için önemli bir konudur ve planlama gerektirir. Nüfus artışı, kentsel gelişme ve endüstrileşme nedeniyle dünya çapında enerji tüketimi artmaktadır. Dünya nüfusunun 2040 yılında şu anki nüfustan 1,6 milyarlık bir artışla 9 milyara ulaşması beklenmektedir. Benzer şekilde, dünya ekonomisinin gelecek 20 yıl içinde yaklaşık %3 oranında büyümesi beklenmektedir. Bu durum, enerji arzının daha fazla insana sağlanmasının gerekliliğini göstermektedir (IMF, 2019).

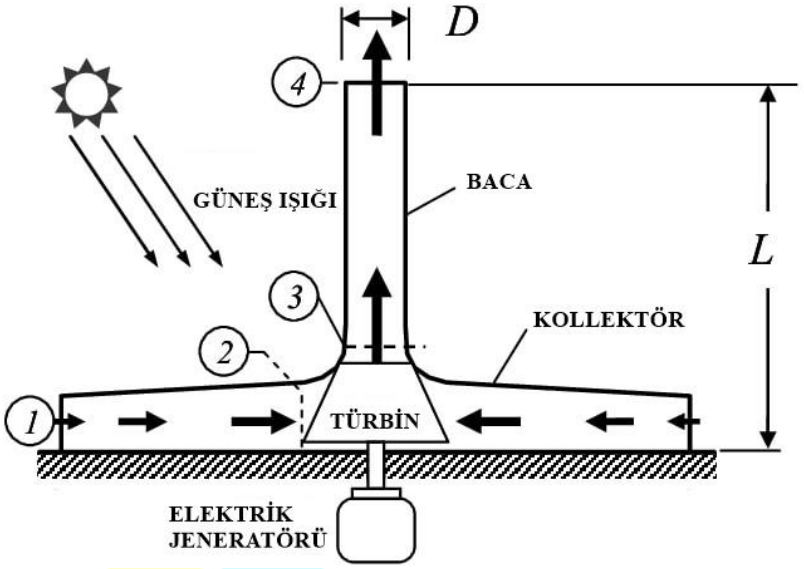
Fosil yakıtlar, elektrik üretimi için başlıca enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar dünya enerji tüketiminin yaklaşık %80'ini karşılamaktadırlar (IEA, 2018). Fosil yakıtlar, kükürt ve azot oksitleri, uçucu organik kimyasallar ve sera gazları gibi farklı kirletici gazların salınması yüzünden çevre üzerinde birçok olumsuz etki yaratır (Wang ve ark., 2022).

Sera gazı olan CO2, iklim değişikliğine ve küresel ısınma krizine neden olabilir. Sonuç olarak, dünya genelinde birçok ülke, yenilenebilir enerji teknolojilerini araştırmaya başlamıştır. Günümüzde, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi en yaygın yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (Karaarslan ve ark., 2022).

Geleneksel yöntemlerle tatlı su ve elektrik üretimi, yüksek maliyetli ve yoğun enerji harcayan bir süreçtir. Bu nedenle, birçok çalışma, çevresel açıdan sürdürülebilir yöntemler olan yenilenebilir enerji teknolojilerini elektrik üretim sistemleriyle entegre etmeyi amaçlamaktadır. Akış özelliklerine ve SCPP'nin avantajlarına dayanarak, güneş bacası teknolojisi temiz su üretimi ve elektrik üretimi için sık sık önerilmektedir. Benzer araştırmalar, su ve elektrik üretimini bir arada gerçekleştirebilen hibrit güneş bacası teknolojisi üzerinde durmaktadır. Hava ve suyun kütlesel ve enerji denklemlerinin dengelenmesine bağlı olarak, farklı matematiksel modeller geliştirilmiştir (Tawalbeh ve ark., 2023).

Güneş bacası güç santrali (SCPP), sıcaklık farkından kaynaklanan yoğunluk farkını kullanarak elektrik üretmek amacıyla güneş ışığını absorbe eden ve enerjiye çeviren bir çevre dostu sistemdir. Temel olarak şeffaf toplayıcı bir kollektör, baca sistemi, rüzgar türbini ve elektrik jeneratöründen oluşur. Bu sistemin merkezinde, sıcak havanın tahliyesine izin vermek için bir baca sistemi bulunur. Vakum etkisi oluşturmak amacıyla toplayıcı kollektörünün altında bulunan havanın yüksek sıcaklığa çıkması önemlidir. Oluşan bu vakum, yan taraflardan gelen havayla anında dolarak havayı tek yönlü olarak yukarı taşır. Bacanın alt kısmında, hava yukarı doğru hareket ettikçe elektrik üreten bir rüzgar türbini bulunur (Haaf ve ark., 1983).

Bu çalışmanın amacı, güneş bacası enerji santralinin performansını ve verimliliğini öngörebilen basitleştirilmiş bir analitik model sunmaktır. Çalışma, kollektör yüksekliği ve kollektör yarıçapının sistem üzerindeki etkisini incelemektedir.



Şekil 1. Güneş bacası güç santrali (Tawalbeh ve ark., 2022)

YÖNTEM

CFD analizi, geometri modelleme, ağ oluşturma, sınır koşullarını tanımlama, sayısal yöntemleri ve algoritmaları seçme, denklemleri çözme ve sonuçları sonradan işleme dahil olmak üzere birkaç adımı içerir. Sonuçların doğruluğu, model geometrisinin kalitesi, mesh kalitesi, sınır koşullarının doğruluğu ve uygun sayısal yöntemlerin seçimi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. CFD, kütlenin, momentumun ve enerjinin korunumu ilkelerinden türetilen Navier-Stokes denklemlerine dayanmaktadır. Sınırlama koşulları dikkate alınarak enerji denklemleri seçilmelidir. Bu çalışmada, akışı x, y ve z yönlendirme yönlerinde açıklamak için Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri kullanılmıştır. y yönü yerçekimi kuvvetinin ters yönüne doğrudur (Önal ve ark., 2022; Cüce, 2020).

X yönündeki momentum denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u)+\frac{\partial}{\partial x}(\rho uu)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho vu)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho wu)=-\frac{\partial P}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \quad (1)$$

Y yönündeki momentum denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v)+\frac{\partial}{\partial x}(\rho uv)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho vv)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho wv)=-\frac{\partial P}{\partial y}+(v+v_t)\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \quad (2)$$

Z yönündeki momentum denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho w)+\frac{\partial}{\partial x}(\rho uw)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho vw)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho ww)=-\frac{\partial P}{\partial y}+(v+v_t)\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) \quad (3)$$

Sürekli akış denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho v)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho w)=0 \quad (4)$$

Enerji denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u)+\frac{\partial}{\partial x}(\rho u u)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho v u)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho w u)=-\frac{\partial P}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \quad (5)$$

Güneş bacası güç santrallerinde toplayıcı altındaki hava akımında doğal taşınımla ısı transferi söz konusudur. Söz konusu doğal taşınım için boyutsuz Rayleigh eşitliği şu şekilde tanımlanır:

$$Ra = \frac{g\beta\Delta T {H_c}^3}{\alpha v} \quad (6)$$

Denklem 6'da, güneş bacası güç santrallerinde toplayıcı yüksekliği Hc, termal difüzyon katsayısı α ve kinematik viskozite v olarak ifade edilir. Bu çalışmada Ra sayısı 109'dan büyük olduğu için sistem türbülanslı olarak kabul edilir (Zandian ve ark., 2013).

DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ

Çalışma kapsamında kollektör yüksekliği ve kollektör yarıçapının sistem performansına etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda değiştirilecek parametreler ve bu parametrelere ait minimum ve maksimum sınır aralık değerleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. *Analizde incelenecek parametreler ve sınır aralıkları*

Geometrik parametre	**Değer**
Kollektör Yüksekliği	2-3 m
Kollektör Yarıçapı	75-125 m

SCCP sisteminde seçilen kollektör yüksekliği ve kollektör yarıçapı parametreleri için Central composite deneysel tasarım tablosu kullanılarak 9 farklı sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Verilen parametrelerin Ansys Fluent ticari paket programı üzerinden analizi yapılarak sonuç tablosu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sonuç tablosu aşağıda verilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. *Deneysel tasarım parametre tablosu*

Kollektör Yüksekliği	**Kollektör yarıçapı**	**Çıkış Hızı**	**Çıkış Sıcaklığı**	**Maksimum Sıcaklık**	**WallHeatFlux**
2	75	10,258	301,68	308,87	320,69
2	100	12,225	305,3	312,3	312,46
2	125	13,728	308,51	316,78	307,51
2,5	75	10,146	301,4	309,11	319,2
2,5	100	12,13	304,95	312,58	312,43
2,5	125	13,823	308,47	316,61	308,42
3	75	10,105	301,27	310,07	317,68
3	100	12,109	304,79	313,05	311,85
3	125	13,848	308,36	316,86	309,2

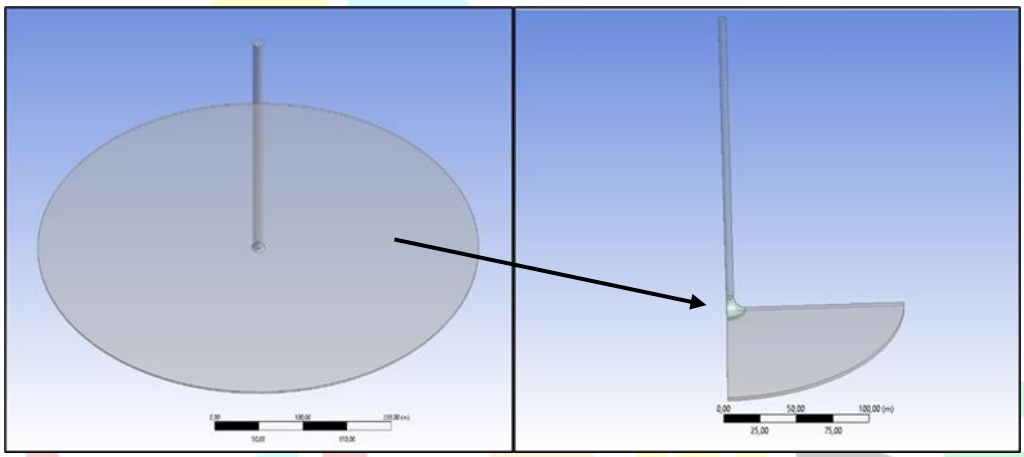
SCPP tasarımı yapılırken birçok değişken dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır. Bu çalışmada sayısal analizler, 3 boyutlu eksenel simetrik bir CFD modeli ile gerçekleştirilmiştir. Analiz için referans alınan geometriye ait ölçüler aşağıda verilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. *Güneş bacası güç santraline ait temel geometri ölçüleri*

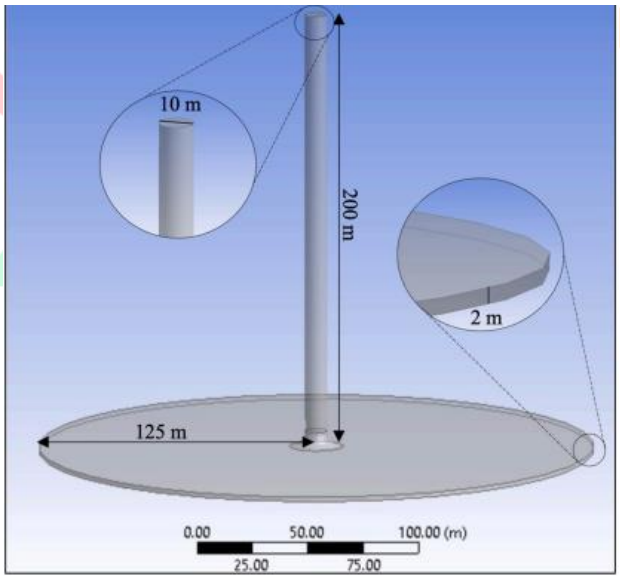
Geometrik parametre	Değer
Baca yüksekliği	200 m
Ortalama toplayıcı yüksekliği	2 m
Baca yarıçapı	5 m
Ortalama toplayıcı yarıçapı	125 m
Zemin kalınlığı	0.5 m

CFD ANALİZ ADIMLARI

CFD modeli, ANSYS Fluent kullanılarak oluşturulmuştur. Geliştirilen üç boyutlu CFD yaklaşımı, çalışmanın boyutu nedeniyle, sayısal modelleme yoğun bir mesh sayısını gerektirmekte ve her bir parametrik çalışma için iterasyon süresi uzun saatler sürebilmektedir. Ekonomiklik sağlamak amacıyla, tüm geometri yerine 90°'lik simetrik bir model oluşturulmuştur. Analizde kullanılan geometri ve işlem süresinin kısaltılmasında kullanılan simetrik model Şekil 2 de görülmektedir. Analizin ilk adımı güneş bacasının tasarım programı ile modellenmesidir. Bu amaçla Design Modeler tasarım programı ile Şekil 3 de ölçüleri verilen analiz modeli oluşturulmuştur.



Şekil 2: SCPP modeli ve 90° simetrik kesit görünümü



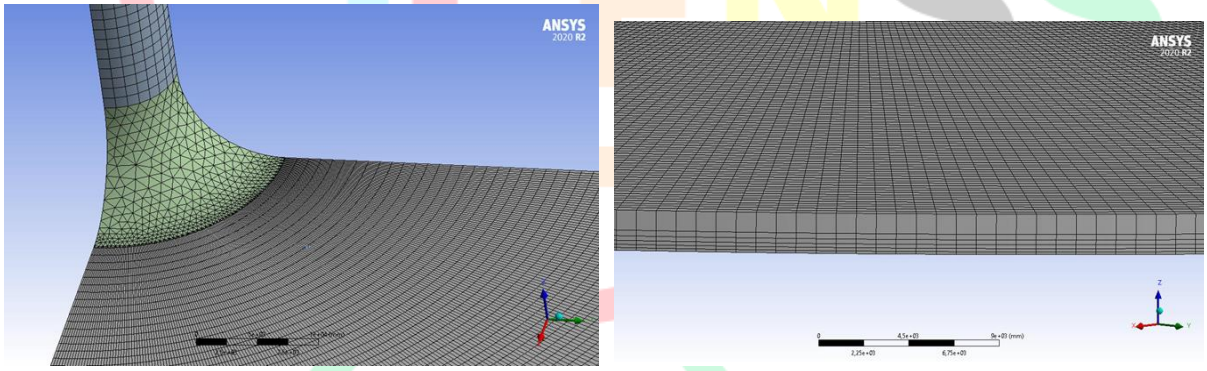
Şekil 3. Parçanın geometrik ölçüleri

Güneş bacası güç santrallerinin sayısal modellenmesi için baca, kollektör ve zemin malzemelerinin fiziksel özelliklerinin doğru belirlenmesi gerekir. Bu özellikler, simülasyon sonuçlarını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Çalışmada kullanılan malzeme parametreleri Tablo 4 te detaylı olarak verilmiştir.

***Tablo 4**: CFD modelde kullanılan malzemelere ait fiziksel özellikler*

Fiziksel Özellik (Birim)	Kollektör Yüzeyi (Cam)	Baca (Alüminyum)	Zemin (Çakıl/kum)
Yoğunluk (Kg/m3)	2500	2100	1700
Özgül ısıl kapasite (J/kgK)	840	880	2200
Isı iletim katsayısı (W/mK)	0.78	1.4	0.52
Soğutma Katsayısı	0.05	0	0.95
Işıma oranı	0.9	0.9	0.89
Geçirimlilik oranı	0.9	Opak	Opak
Kalınlık (m)	0.004	0.02	0.5
Kırılma indisi	1.526	1	1

Şekil 3 deki model 200 m baca yüksekliğine sahip SCPP modelidir. Bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda 200 m baca yüksekliği için 165116 mesh eleman sayısı ve 172139 düğüm sayısı elde edilmiştir. Analizde doğru veriler elde etmek, mesh yapısı ve özellikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Bu yüzden mesh işlemi dikkatli ve doğru bir şekilde yapılmalıdır. Mesh kalitesi göz önünde bulundurularak analizler gerçekleştirilmelidir. Güneş bacası modeline ait mesh yapısı Şekil 4 de gösterilmektedir.



***Şekil 4**. Modelin mesh görüntüsü*

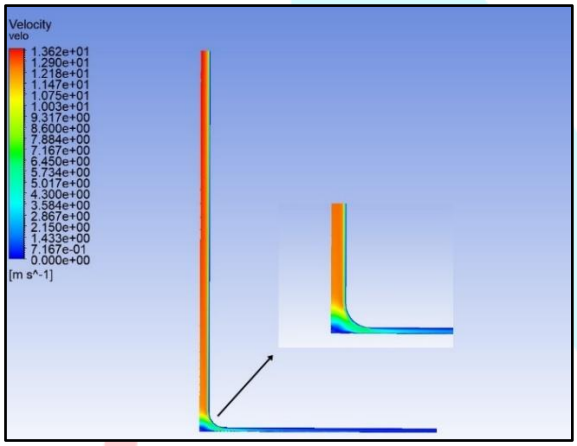
Mesh yapısı tamamlandıktan sonra, sonlu elemanlar analiz programında fiziksel model tanımlanmıştır. Kollektör giriş basıncı ve bacadan çıkış basıncı atmosfer basıncı ile karşılaştırıldığında P_{in} = 0 Pa ve P_{air} = 101325 Pa olarak kabul edilmiştir. Kollektör yüzeyi için sınır koşulu olarak çevre havası sıcaklığı 300 K olarak alınmıştır. Zemin, 305 K sıcaklığında adyabatik bir duvar olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, baca duvarının sınır koşulu da adyabatiktir. Tablo 5 te sınır koşulları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 5. *Analiz sınır koşulları*

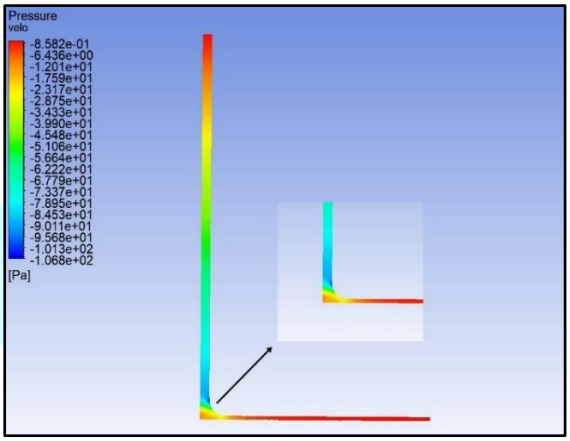
Sınır	Tip	Koşullar
Kollektor girişi (inlet)	Pressure inlet	P_{in} = 0 Pa, T_{air} = 300 K, h = 14 W/m^2
Kollektor yüzeyi	Transparent	T_0 = 303 K , Radiation = 850 W/m^2
Zemin	Opak / Adyabatik	T = 305 K
Baca çıkışı (outlet)	Pressure outlet	$P_{out}=P_{in}-\rho.g.H$
Baca	Opak / Adyabatik	q_{ch} = 0 W/m^2

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan analizlerin sonucunda, 200 m baca yüksekliği, 125 m kollektör yarıçapı ve 2 m kollektör yüksekliği ile SCPP'de oluşan hız ve basınç gradyanı Şekil 5 ve 6 da görülmektedir.



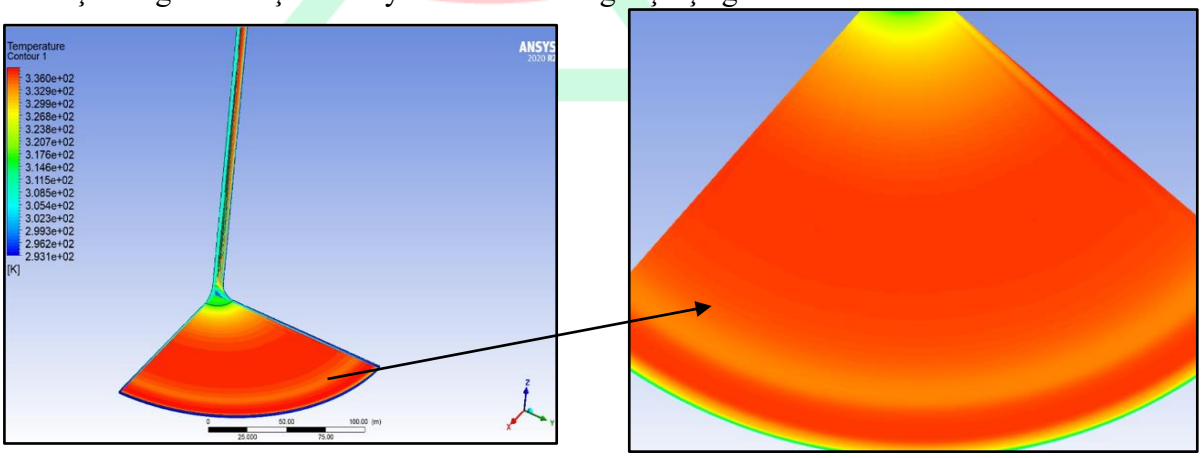
Şekil 5. Analiz sonucu oluşan hız gradyanı



Şekil 6. Analiz sonucu oluşan basınç gradyanı

Hız gradyanına bakıldığında beklendiği üzere baca çıkış merkezinde hız maksimum değerdedir. Kollektör ile bacanın birleşme bölgesinde türbinin altında yavaş bir akış hareketi gözlenmektedir. Girişte minimum olan hız, sıcaklığa bağlı yoğunluk farkından dolayı çıkışta maksimum hız değerine kavuşmuştur. Yukarıdaki şekilde bu durum açıkça görülmektedir. Yine aynı parametreler ile SCPP'de oluşan basınç gradyanları Şekil 6 da görülmektedir.

Birçok çalışmada, giriş ve çıkış basınçlarının aynı olduğu varsayıldığı için basınç gradyanları yer seviyesinde atmosfer basıncıyla baca çıkışında ölçülür ve bacanın giriş bölümünde bazı negatif basınçlar oluşur. Çıkışta oluşan negatif basıncın baca içinde bir vakum etkisi oluşturduğu ve akışın bu sayede hız kazandığı açıkça görülmektedir.



Şekil *7. Analiz sonucu oluşan sıcaklık gradyanı*

Şekil 7 de görüldüğü üzere güneş ışınları zemin tarafından emildiğinde, yerde bir sıcaklık artışı gözlenir. Hava ile yer arasındaki sıcaklık farkının artması nedeniyle, ısı transfer hızı artar ve yere yakın bölgelerde hava sıcaklığı artmaya başlar.

Tablo 6. *Matematiksel model*

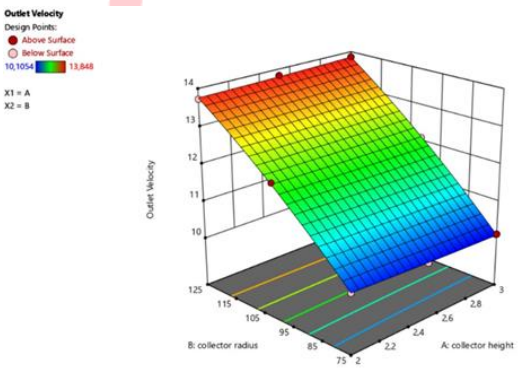
	Intercept	**A**	**B**	**AB**	**A²**	**B²**
(Outlet Velocity)^1	12,1465		1,81497			-0,170233
(Outlet Temp)^1	304,97	-0,177333	3,497			
(Max Temp)^1	312,499	0,3365	3,70083	-0,28025	0,2195	0,4045
(Wall Heat Flux)^1	312,323	-0,322667	-5,40617	1,17425		1,5405

Analizler sonucunda oluşan matematiksel model incelendiğinde çıkış hızı için elde edilen denkleme bakıldığında kollektör yarıçapı (B parametresi) etkisinin kollektör yüksekliğine (A parametresi) nazaran daha fazla olduğu belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Bu durum Grafik 1 de açıkça görülmektedir.

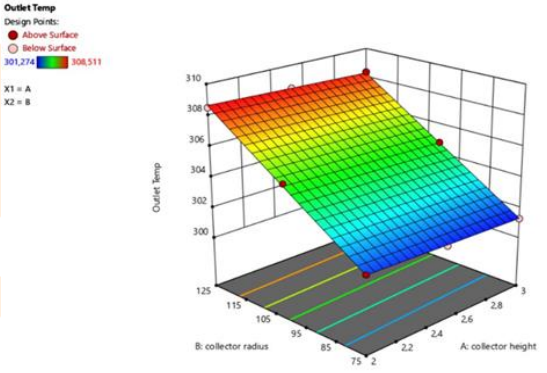
Çıkış sıcaklık sonuçları da hız ile paralel bir davranış sergilemektedir. Kollektör yarıçapı çıkış sıcaklığını doğrusal bir davranışla arttırırken kollektör yüksekliği ise kısmi olarak çıkış sıcaklığını düşürme eğilimindedir (Grafik 2).

Baca çıkışında oluşan maksimum sıcaklık değerine erişilmesinde kollektör yarıçapı ve kollektör yüksekliğinin pozitif katkısı vardır. Bunlardan kollektör yarıçapı daha etkin bir katsayıda rol oynamaktadır (Grafik 3).

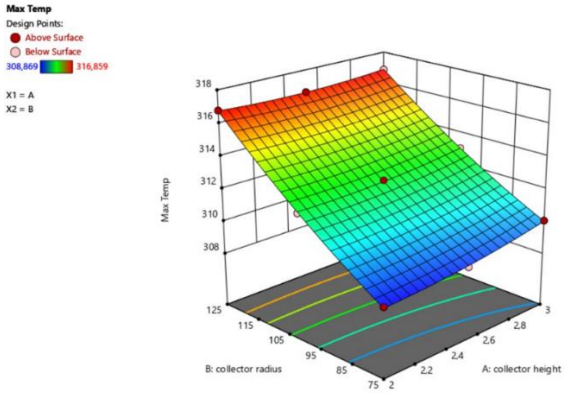
Kollektör yarıçap ve yüksekliği duvar ısı akısı değerini azaltma eğilimindedir fakat kollektör yarıçapı bu durumun belirleyicisidir (Grafik 4).



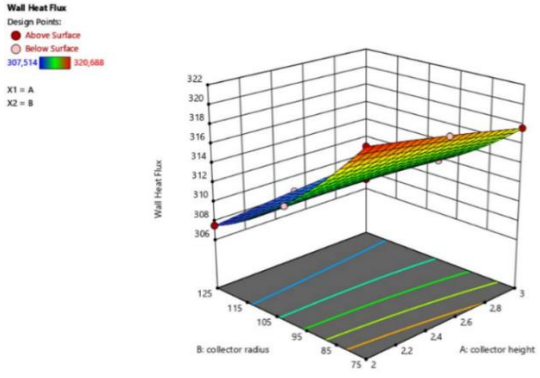
Grafik 1. *Çıkış hızı grafiği*



Grafik 2. *Çıkış sıcaklığı grafiği*



Grafik 3. Maksimum sıcaklık grafiği



Grafik 4. Duvar ısı akısı grafiği

Sonuç olarak analizde 9 ayrı parametrik analiz ile kollektör yüksekliği ve kollektör yarıçap parametrelerinin sistem performansına olan etkileri incelenmiştir. Tablo 2 de parametreler ve elde edilen sonuçlar görülmektedir. Sonuçlar literatür değerleri ile uyumludur (Tawalbeh ve ark., 2023). Temel geometri değerleri bu analiz modeliyle örtüşen güneş baca tasarımları yapılırken, bu ölçü aralıklarında elde edilen hız ve basınç gradyan sonuç değerlerinin gözönünde bulundurulması zaman ve ekonomik maliyet açısından bir avantaj sunacaktır.

KAYNAKÇA

Cüce E.. (2020). Güneş bacası güç santrallerinde toplayıcı eğiminin çıkış gücüne ve sistem verimine etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(2).

Haaf W., Friedrich K., Mayr G., Schlaich J. (1983). Part I: principle and construction of the pilot plant in manzanares. Int. J. Sol. Energy, 2, 3–20.

IMF. (2019). International Monetary Fund. World Economic Outlook

IEA. (2018). World energy outlook.

Karaaslan, A., Gezen, M. (2022). The evaluation of renewable energy resources in Turkey by integer multi-objective selection problem with interval coefficient. Renewable Energy, 182, 842–854.

Önal M., Koç A., Köse Ö., Koç Y., Yağlı H. (2022). Numerical examination of a solar chimney power plant designed for the ıskenderun region. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10, 548-562.

Tawalbeh M., Mohammed,S., Alnaqbi, A., Alshehhi, S., Al-Othman, A. (2023). Analysis for hybrid photovoltaic/solar chimney seawater desalination plant: A CFD simulation in Sharjah, United Arab Emirates. Renewable Energy, 202, 667-685.

Tawalbeh M., Muhammad Nauman Javed R., Al-Othman A., Almomani F. (2022). The novel advancements of nanomaterials in biofuel cells with a focus on electrodes' applications. Fuel, 322, 124-237.

Wang W., Fan L.W., Zhou P. (2022). Evolution of global fossil fuel trade dependencies. Energy, 238, 121-924.

Zandian A., Ashjaee M. (2013). The thermal efficiency improvement of a steam Rankine cycle by innovative design of a hybrid cooling tower and a solar chimney concept. Renewable Energy, 51, 465-473.

4TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-170-1

Effects Of Serum Oxıde (Ceo_2-Np) Applıcatıon On Salt Stress On Mıneral Materıal Change In Grafted And Ungrafted Vıne Saplıngs

Hasan BALTACI[1]
Seda SUCU[2]
Sezer ŞAHİN[3]

Abstract

In this study carried out in 2022, the effects of cerium oxide (CeO_2-NP) nanoparticles on salt stress in grafted and ungrafted vine saplings were investigated. In the study; 5 BB , 1613 C vine rootstocks with different salt sensitivities, and ungrafted saplings of Sultani Çekirdeksiz variety grown on their own roots and grafted seedlings of Sultani Çekirdeksiz variety grafted on these rootstocks were used. Salt stress was applied to plants at three levels as 0, 25 and 75 mM NaCl, and cerium oxide (CeO_2-NP) nanoparticle applications were applied to plants at four different levels (0, 25, 50 and 100 mg L^{-1}).In nutrient analysis, some of the macronutrients (N, Mg,Ca) and micronutrients (Fe, Zn, Cu,Mn) were examined. Although the values vary according to the nutritional elements, salt stress and cerium oxide concentration, the differences were found to be significant in many elements. The applied doses of cerium oxide showed varying effects depending on the rootstocks as well as different salt concentrations. While 100 ppm cerium oxide application had a positive effect on nitrogen nutrient uptake in 5 BB rootstock in 0 salt (control) and 25 salt applications, it had a negative effect in 75 salt application. Likewise, when looking at zinc, one of the micronutrient elements, cerium oxide 100 ppm application on 1613 rootstock had a positive effect under 0 salt, while it had a negative effect under 25 and 75 salt applications.

Keywords: Sultani Çekirdeksiz, 5 BB, Calcium, Magnesium

[1] Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 0009-0004-6377-4879
[2] Dr.Öğr.Üyesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 0000-0002-5187-5048
[3] Prof.Dr,Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,Toprak Bölümü ve Bitki Besleme Bölümü, 0000-0003-3177-0545

ISBN: 978-625-372-170-1

Introduction

Grapes, the fruit of the vine, are also distinguished from other fruits by their different ways of evaluation. Grapes have different uses for table use, for drying, for wine and must, making grapes a sustainable food. Recently changing climate conditions, increasing world population,Negative situations such as the decrease in agricultural areas for cultivation limit the cultivation of grapes as well as all agricultural products. Like all living things, plants may encounter various negative effects while continuing their lives. Situations that change the course of ongoing metabolic events in plants and negatively affect growth and development by limiting them are called abiotic and biotic stress factors (Gürel and Avcıoğlu, 2001). Abiotic stress factors in the plant; It negatively affects plant development by causing morphological and physiological changes (Wang et al., 2003).

Droughts and unstable precipitation due to global warming have led to the identification and breeding of drought-resistant plants and studies on drought resistance gaining importance (Jones, 2007). Although water resources occupy an important and rich place in the world, the quality of water causes the areas where water can be used in agricultural practices to be limited (Golldack et al. 2011). The salinity factor is generally seen in semi-arid or arid regions with low rainfall. Due to hot weather, the water on the soil surface evaporates and causes salts to accumulate on the soil surface. This situation emerges as one of the main reasons for the formation of salinity (Saruhan et al., 2008). In addition to temperature and water stress, salt stress can be considered one of the most important factors affecting yield and quality (Schultz and Stoll, 2010).

In recent years, one of the chemicals used in salinity studies in agriculture due to their reducing effects on salinity is cerium oxide nanoparticles (CeO 2 -NPs). These particles have come to the fore in agricultural applications due to their electrical, optical and thermal properties (Rajeshkumar and Naik, 2018). Fertilizers containing CeO_2-NPs can stimulate root development and enzyme activity (Cao et al. 2018). It is also reported that it induces oxidative stress depending on the size and concentration of the particle and acts as an antioxidant (Liu and Lal, 2015). In this study; 5 BB (medium resistant), 1613 (hardy) vine rootstocks with different salt sensitivities and ungrafted saplings of the Sultani Çekirdeksiz variety grown on their own roots and grafted saplings of the Sultani Çekirdeksiz variety grafted on these rootstocks were used. The effects of cerium oxide nanoparticles (CeO_2-NP) on nutrient exchange in grafted and ungrafted seedlings under salinity stress applied at different concentrations were examined.

Material and Method

Materials

Sultani Çekirdeksiz Sultan 7 Clone; As a result of clone selection made on Sultani Seedless grape variety; Clone number 7 was determined in terms of criteria such as yield, raisin quality, vine development. In Sultan 7 clone; Fresh grape yield per vine is 16.7 kg, average cluster weight is 360 g, average grain weight is 1.3 g, grains are green-yellow in color and thin-skinned. Since the bottom buds are inefficient, long pruning should be done. It ripens in the middle season (Yılmaz et al., 1997).

1613 C: Although it is very tolerant to phylloxera and lime, the leaves of the 1613 C rootstock, which is very resistant to nematodes, can carry phylloxera galls. This easily rooted

vine rootstock also has a high graft retention rate (Bodenheimer, 1941; Ülgen, 1962; Çelik, 1996, Çelik et al., 1998).

5 BB: 5BB rootstock, which has a shorter vegetation period compared to 420A rootstock, is a strong rootstock. It is resistant to around 20% active lime with high nematode resistance. Rooting of the rootstock, which has some problems in on-site grafting, is quite good. 5BB rootstock, which is compatible with clayey and moist soils, does not like very dry soils (Bodenheimer, 1941; Ülgen, 1962; Çelik, 1996, Çelik et al., 1998).

Chemical Material: The particle size of the Cerium (IV) Oxcide nanoparticle used in the study is <25 nm, bottle weight is 25 g, and molecular weight is 172.11. The product was purchased from the market as a commercial product of Merck.

Method

In the study, Sultani Çekirdeksiz grape variety grown on its own roots, 5 BB, 1613 C vine rootstocks and saplings of Sultani Çekirdeksiz variety grafted onto these rootstocks were used. All grafted and ungrafted seedlings were grown in a 5 L pot containing peat: perlite (1,1) growing medium. After planting in pots, the seedlings were watered with Hoagland nutrient solution for a month until they had at least 8 leaves. One month later, salt stress (0, 25 and 75 mM NaCl) was applied daily (with 1/2 Hoagland solution) and continued for 2 months. One month after salinity stress applications, Nanoparticle CeO_2-NP applications were sprayed on the leaves at 24-hour intervals in 4 different concentrations (0, 25, 50 and 100 mg L^{-1}) (Gohari et al., 2021). Samples for nutritional element enzyme analysis were taken at the end of the experiment. For nutrient element analyses, leaf samples were ground after drying and made suitable for analysis, and readings were made.

Results

Nitrogen (N) Value

The effects of salt stress applications according to cerium oxide doses on nitrogen value and the effects of cerium oxide doses according to salt stress applications are shown in table 1. Cerium oxide and salt stress applications showed statistical differences according to grafted and ungrafted seedlings. The highest values of the last measurement in terms of nitrogen value; 2.82% with 75 salt - 50 ppm cerium oxide in 5BB rootstock, 2.79% with 0 salt - 100 ppm cerium oxide in 1613 rootstock, 3.21% with 0 salt - 50 ppm cerium oxide in Sultani variety, 5 BB / Sultani combination It was obtained from the applications of 2.50% to 25% salt - 50 ppm cerium oxide, and 2.75% to 75% salt - 100 ppm cerium oxide in the 1613/Sultani combination. The values for all rootstocks, varieties, rootstocks and variety combinations are as in table 1. and figure 1.

Table 1. Effect of applications on Nitrogen value (%)

S.OXIDE SALT	OXIDE SALT	0	25	75
5BB	0	2,55 Aa	2,34 A a	2,77 Aa
	25	2,41 Aba	1,98 Bd	2,50 Ab
	50	1,63 Cc	2,13 Bc	2,82 Aa
	100	2,13 Bb	2,24 Bb	2,60 Ab
1613	0	1,90 Bb	2,40 Aa	2,46 Ab
	25	1,90 Bb	2,17 Ab	1,87 Bc
	50	1,37 C	2,46 Ba	2,66 Aa
	100	2,79 Aa	2,25 Cb	2,47 Bb
SULTANİ	0	2,27 Ac	2,13 Ba	2,13 Bb
	25	2,50 Ab	1,36 Cc	2,33 Ba
	50	3,21 Aa	1,84 Cb	2,33 Ba
	100	2,52 Ab	2,13 Ca	2,36 Ba
5 BB/SULTANİ	0	1,89Cc	2,12 Bc	2,22 Ac
	25	2,23 Ab	2,23 Ab	1,46 Bd
	50	2,46 BAa	2,50 Aa	2,36 Ba
	100	1,66 Cd	2,17 Bcb	2,31 Ab
1613 /SULTANİ	0	2,24 Bb	2,32 Bb	2,50 Ab
	25	2,27 Bb	2,46 Aa	1,64 Cc
	50	2,41 Aa	2,44 Aa	1,62 Ba
	100	2,13 Cc	2,28 Bb	2,75 Aa

The difference between the means shown in different capital letters in each row is significant. The difference between the means shown with different lowercase letters in each column is significant according to the Duncan multiple comparison test ($p<0.05$).

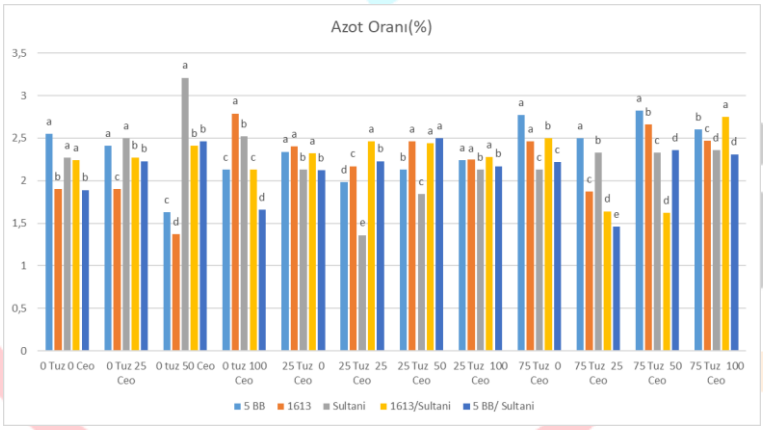


Figure 1. Nitrogen value differences in grafted and ungrafted plants according to cerium oxide doses at the same salt concentration

Calcium (Ca) Value

The effects of salt stress applications according to cerium oxide doses on calcium value and the effects of cerium oxide doses according to salt stress applications are shown in table 2. Cerium oxide and salt stress applications showed statistical differences according to grafted and ungrafted seedlings. The highest values of the last measurement in terms of calcium value; 4.87% with 0 salt - 0 ppm cerium oxide in 5BB rootstock, 6.56% with 75 salt - 25 ppm cerium oxide in 1613 rootstock, 5.31% with 75 salt - 0 ppm cerium oxide in Sultani variety, 5 BB / Sultani combination It was obtained from 4.56% and 75 salt-25 ppm cerium oxide applications, and 4.25% and 75 salt-50 ppm cerium oxide applications in the 1613/Sultani combination. The values for all rootstocks, varieties, rootstocks and variety combinations are as in table 2. and figure 2.

Table 2. Effect of applications on Calcium value (%)

S.OXIDE SALT	OXIDE SALT	0	25	75
5BB	0	4,87 A a	2,73 C b	3,44 B a
	25	1,52 Cd	2,12 Bc	2,45 Ad
	50	2,99 Bc	2,72 Cb	3,20 Ac
	100	3,31 Bb	3,57 Aa	3,34 Bb
1613	0	4,81 Cb	5,71 Aa	5,39 Bb
	25	5,84 Bc	5,77 Ca	6,56 Aa
	50	5,66 Aa	4,33 Cc	4,93 Bc
	100	4,38 Cd	5,65 Ab	4,77 Bd
SULTANİ	0	3,87 Bb	3,61 Cc	5,31 Aa
	25	3,74 Bc	3,69 Bc	4,66 Acb
	50	2,66 Cd	4,94 Aa	4,62 Bc
	100	4,81 Aa	3,87 Cb	4,74 Bb
5 BB/SULTANİ	0	3,73 Aa	2,68 Cc	3,44 Bd
	25	3,12 Bb	2,65 Cc	4,56 Aa
	50	2,65 Cc	3,42 Ba	3,65 Ac
	100	2,27 Cd	3,16 Bb	3,90 Ab
1613 /SULTANİ	0	3,74 Bb	2,82 Cc	3,86 Ab
	25	3,19 Bc	2,72 Cd	3,79 Ab
	50	3,97 Ba	3,76 Cb	4,25 Aa
	100	3,08 Bd	3,88 Aa	3,91 Ab

The difference between the means shown in different capital letters in each row is significant. The difference between the means shown with different lowercase letters in each column is significant according to the Duncan multiple comparison test ($p<0.05$).

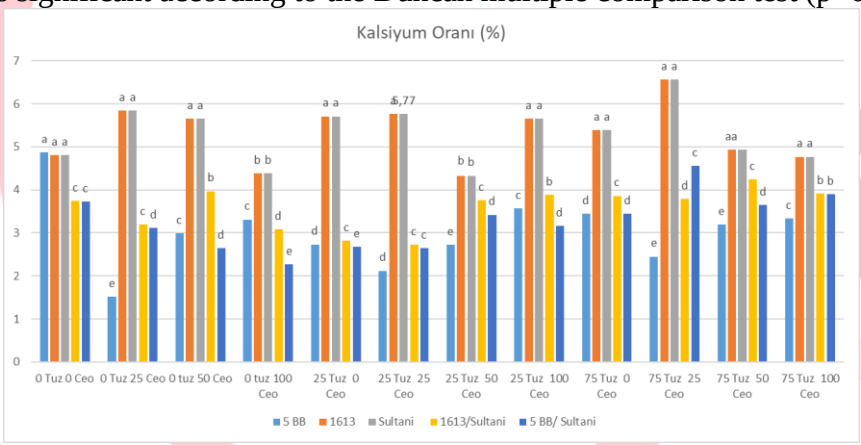


Figure 2. Calcium value differences in grafted and ungrafted plants according to cerium oxide doses at the same salt concentration

Magnesium (Mg) Value

The effects of salt stress applications according to cerium oxide doses and cerium oxide doses according to salt stress applications on magnesium value are shown in table 3. Cerium oxide and salt stress applications showed statistical differences according to grafted and ungrafted seedlings. The highest values of the last measurement in terms of magnesium value; 1.49% with 75 salts - 100 ppm cerium oxide in 5BB rootstock, 1.38% with 75 salts - 25 ppm cerium oxide in 1613 rootstock, 1.10% with 25 salts - 100 ppm cerium oxide in Sultani variety, 5BB / Sultani combination It was obtained from the applications of 1.05% with 75 salt - 25 ppm cerium oxide, and 1.11% with 0 salt - 25 ppm cerium oxide in the 1613/Sultani combination. Values for all rootstocks, varieties, rootstocks and variety combinations are as in table 3 and figure 3.

Table 3. Effect of applications on Magnesium value (%)

S. OXIDE SALT	OXIDE SALT	0	25	75
5BB	0	1,03 Bc	1,13 Ab	1,23 A b
	25	0,79 Cd	1,04 Bc	1,14 Ac
	50	1,38 Aa	1,17 Bb	1,08 Cd
	100	1,18 C b	1,35 B a	1,49 A a
1613	0	1,23 BAb	1,22 Ba	1,38 Aa
	25	1,24 Bb	1,13 Cb	1,38 Aa
	50	1,35 Aa	1,00 Cc	1,08 Bb
	100	0,90 Bc	1,10 Ab	1,09 Ab
SULTANİ	0	0,72 Ba	0,71 Bb	0,75 Ad
	25	0,71 Ba	0,65 Cc	0,88 Aa
	50	0,65 Bb	0,83 Aa	0,82 Ab
	100	0,73 Ba	0,72 Bb	0,77 Ac
5 BB/SULTANİ	0	0,83 Ab	0,75 B cb	0,83 Ac
	25	0,86 Ba	0,71 Cc	1,05 Aa
	50	0,77 Bc	0,86 Aa	0,79 Bc
	100	0,73 Cd	0,79 Bb	0,92 Ab
1613 /SULTANİ	0	0,74 Ac	0,64 Bc	0,76 Ab
	25	1,11 Aa	0,73 Cb	0,86 Ba
	50	0,72 Bc	0,72 Bb	0,88 Aa
	100	0,84 Bb	0,83 Ba	0,89 Aa

The difference between the means shown in different capital letters in each row is significant. The difference between the means shown with different lowercase letters in each column is significant according to the Duncan multiple comparison test ($p<0.05$).

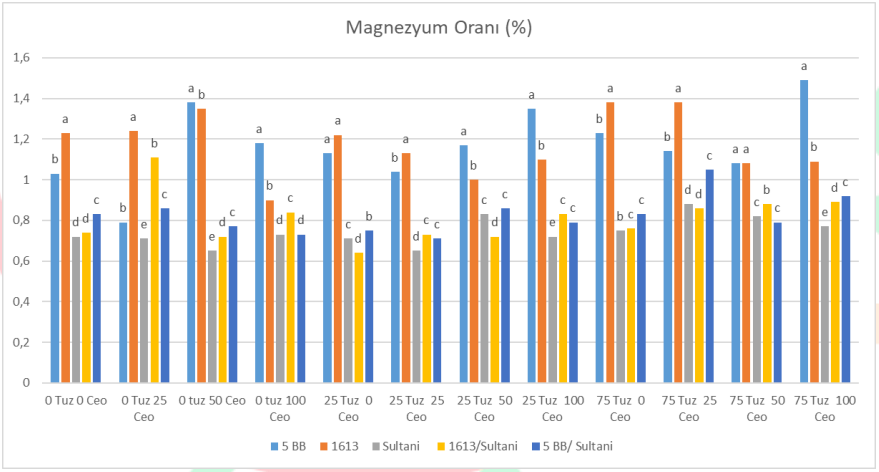


Figure 3. Magnesium value differences in grafted and ungrafted plants according to cerium oxide doses at the same salt concentration

Iron (Fe) value

The effects of salt stress applications according to cerium oxide doses and cerium oxide doses according to salt stress applications on iron value are shown in table 4. Cerium oxide and salt stress applications showed statistical differences according to grafted and ungrafted seedlings. The highest values of the last measurement in terms of iron value; 86.07 ppm with 25 salts - 100 ppm cerium oxide in 5BB rootstock, 66.36 ppm with 75 salts - 0 ppm cerium oxide in 1613 rootstock, 64.10 ppm with 75 salts - 100 ppm cerium oxide in Sultani variety, 5 BB / Sultani combination 58.17 ppm was obtained from the application of 75 salts - 50 ppm cerium oxide, and in the 1613/Sultani combination, 41.70 was obtained from the applications

of 25 salts - 25 ppm cerium oxide. Values for all rootstocks, varieties, rootstocks and variety combinations are as in table 4 and figure 4.

Table 4. Effect of applications on Iron value (ppm)

S.OXIDE / SALT	OXIDE SALT	0	25	75
5BB	0	22,28 Cd	26,93 B d	46,19 A a
	25	64,69 Aa	37,61 Bc	36,86 Cc
	50	34,52 Cc	47,65 Ab	46,38 Ba
	100	39,01 Cb	86,07 Aa	44,19 Bb
1613	0	56,35 Ba	53,46 Ca	66,36 Aa
	25	53,66 Bb	46,14 Cb	66,42 Aa
	50	43,80 Ac	43,21 Bc	27,58 Cc
	100	56,17 Aa	24,54 Cd	31,13 Bb
SULTANİ	0	62,11 Aa	35,83 Cd	49,11 Bb
	25	58,05 Ab	43,41 Cb	48,61 Bc
	50	52,29 Ac	47,15 Ba	35,63 Cd
	100	42,91 Bd	42,05 Cc	64,10 Aa
5 BB/SULTANİ	0	29,45 Bb	35,31 Bb	47,48 Ac
	25	51,12 Aa	37,48 Cb	43,93 Bd
	50	24,10 Bd	21,46 Cc	58,17 Aa
	100	27,45 Cc	49,20 Ba	51,85 Ab
1613 /SULTANİ	0	23,45 Bb	27,04 A c	21,36 Bd
	25	31,17 Ca	41,70 C a	38,69 Bb
	50	31,68 Ba	30,64 Cb	40,52 Aa
	100	18,08 Cc	25,01 Bc	30,11 Ac

The difference between the means shown in different capital letters in each row is significant. The difference between the means shown with different lowercase letters in each column is significant according to the Duncan multiple comparison test ($p<0.05$).

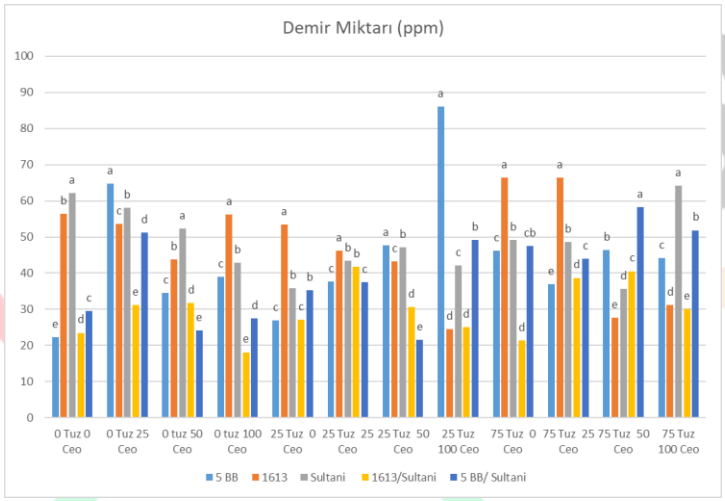


Figure 4. Iron value differences in grafted and ungrafted plants according to cerium oxide doses at the same salt concentration

Zinc (Zn) value

The effects of salt stress applications according to cerium oxide doses and cerium oxide doses according to salt stress applications on the zinc value are shown in table 5. Cerium oxide and salt stress applications showed statistical differences according to grafted and ungrafted seedlings. The highest values of the last measurement in terms of zinc value; 0 salt - 100 ppm cerium oxide with 8.2 ppm in 5BB rootstock, 75 salt - 25 ppm cerium oxide with 9 ppm in 1613 rootstock, 75 salt - 50 ppm cerium oxide with 6.72 ppm in Sultani variety, 9 in 5 BB / Sultani combination, 04 ppm was obtained from 75 salt-50 ppm cerium oxide applications, and

7.47 ppm was obtained from 75 salt-50 ppm cerium oxide applications in the 1613/Sultani combination. The values for all rootstocks, varieties, rootstocks and variety combinations are as in table 5 and figure 5.

Table 5. Effect of applications on Zinc value (ppm)

S.OXIDE SALT	OXIDE SALT	0	25	75
5BB	0	4,95 Bc	4,94 B c	7,14 A a
	25	7,71 Aa	4,96 Bc	7,39 Aa
	50	5,81 Ab	5,74 Ab	5,85 Ab
	100	8,28 Aa	7,43 Ba	7,36 B a
1613	0	3,91 Cb	8,72 Aa	7,52 Bb
	25	3,76 Bb	2,48 Cd	9,00 Aa
	50	1,71 Bc	4,29 Ab	4,27 Ac
	100	4,92 Aa	2,94 Cc	3,38 Bd
SULTANİ	0	4,21 Bc	4,86 Ab	4,25 Bb
	25	3,15 Bd	4,05 Ac	3,06 Bc
	50	4,43 Cb	5,76 Ba	6,72 Aa
	100	6,15 Ba	1,75 Cd	6,69 Aa
5 BB/SULTANİ	0	2,05 Cd	3,08 Bb	4,09 Ac
	25	6,50 Aa	1,61 Cd	5,23 Bb
	50	4,41 Bc	2,50 Cc	9,04 Aa
	100	5,45 Ab	4,34 Ba	1,83 Cd
1613 /SULTANİ	0	1,21 Bb	4,80 Aa	4,56 Ac
	25	1,47 Cb	2,65 Bb	5,56 Ab
	50	2,29 Ca	4,57 Ba	7,47 Aa
	100	2,27 Aa	1,34 Bc	1,57 Bd

The difference between the means shown in different capital letters in each row is significant. The difference between the means shown with different lowercase letters in each column is significant according to the Duncan multiple comparison test ($p<0.05$).

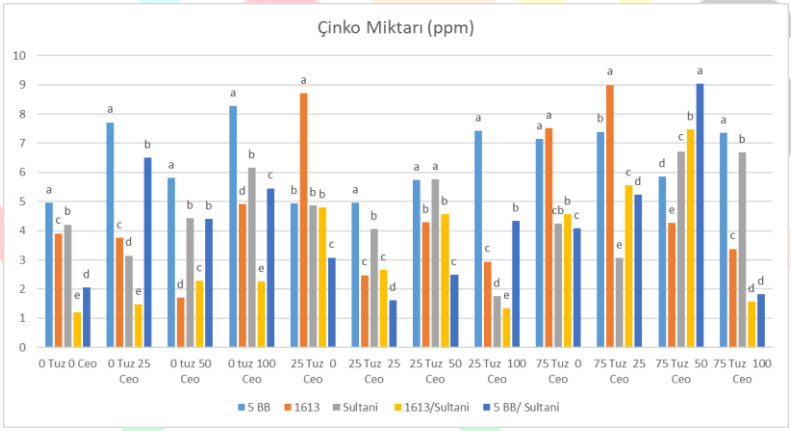


Figure 5. Zinc value differences in grafted and ungrafted plants according to cerium oxide doses at the same salt concentration

Copper (Cu) value

The effects of salt stress applications according to cerium oxide doses and cerium oxide doses according to salt stress applications on copper value are shown in table 6. Cerium oxide and salt stress applications showed statistical differences according to grafted and ungrafted seedlings. The highest values of the last measurement in terms of copper value; 25 salt - 25 ppm cerium oxide with 10.17 ppm in 5BB rootstock, 75 salt - 25 ppm cerium oxide with 21 ppm in 1613 rootstock, 75 salt - 100 ppm cerium oxide with 11.59 ppm in Sultani variety, 8 in 5 BB / Sultani combination, 53 ppm was obtained from 75 salt-25 ppm cerium oxide applications, and 9.62 ppm was obtained from 75 salt-25 ppm cerium oxide applications in the

1613/Sultani combination. The values for all rootstocks, varieties, rootstocks and variety combinations are as in table 6. and figure 6.

Table 6. Effect of applications on Copper value (ppm)

S.OXIDE SALT	OXIDE SALT	0	25	75
5BB	0	5,16 B b	3,03 C c	9,55 A a
	25	8,07 Ca	10,17 Aa	9,43 Ba
	50	7,96 Aa	8,38 Ab	7,77 Ab
	100	4,65 Cc	9,80 A a	6,04 Bc
1613	0	8,55 Aa	4,96 Bc	8,68 Ab
	25	7,84 Bb	8,00 B a	21,00 Aa
	50	7,63 Ab	7,50 Ab	3,25 Bd
	100	7,68 Ab	4,98 Cc	6,10 Bc
SULTANİ	0	8,68 Ab	4,04 Cd	7,21 B c
	25	9,35 Aa	5,32 Cc	8,87 Bb
	50	8,32 Bc	10,39 Aa	5,58 Cd
	100	5,40 Cd	5,95 Bb	11,59 Aa
5 BB/SULTANİ	0	5,26 Cd	8,13 Aa	7,19 B c
	25	8,46 Aa	6,83 Bb	8,53 Aa
	50	6,55 Bc	5,08 Cd	7,57 Ab
	100	7,01 Ab	5,45 Cc	6,44 Bd
1613 /SULTANİ	0	3,77 Bc	5,74 Aa	2,90 Cc
	25	6,99 Ba	5,38 Ca	9,62 Aa
	50	5,59 Ab	5,56 BAa	5,06 Bb
	100	2,64 Cd	3,96 Ab	3,33 Bc

The difference between the means shown in different capital letters in each row is significant. The difference between the means shown with different lowercase letters in each column is significant according to the Duncan multiple comparison test ($p<0.05$).

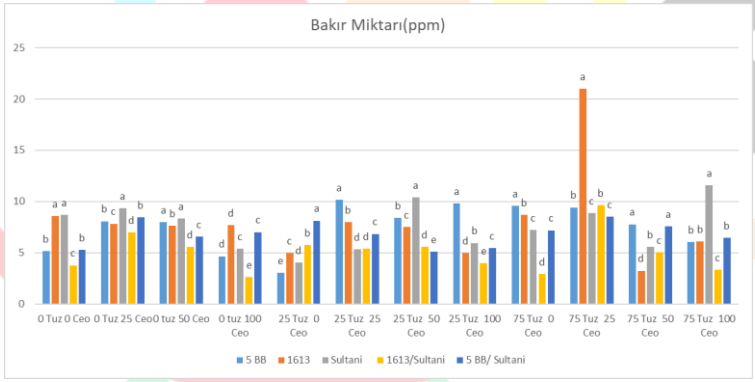


Figure 6. Copper value differences according to cerium oxide doses at the same salt concentration in grafted and ungrafted plants

Manganese (Mn) value

The effects of salt stress applications according to cerium oxide doses and cerium oxide doses according to salt stress applications on the manganese value are shown in table 7. Cerium oxide and salt stress applications showed statistical differences according to grafted and ungrafted seedlings. The highest values of the last measurement in terms of manganese value; 0 salt - 100 ppm cerium oxide with 67.41 ppm in 5BB rootstock, 75 salt - 25 ppm cerium oxide with 19.51 ppm in 1613 rootstock, 75 salt - 25 ppm cerium oxide with 64.37 ppm in Sultani variety, 5 BB / Sultani combination 51.23 ppm was obtained from 75 salt-0 ppm cerium oxide applications, and 55.16 ppm was obtained from 25 salt-100 ppm cerium oxide applications in

the 1613/Sultani combination. The values for all rootstocks, varieties, rootstocks and variety combinations are as in table 7. and figure 7.

Table 7. Effect of applications on Manganese value (ppm)

S.OXIDE / SALT	OXIDE SALT	0	25	75
5BB	0	4,38 B d	3,34 C b	9,66 A a
	25	8,43 A b	7,08 Ba	6,50 Bc
	50	5,37 Bc	7,37 Aa	7, 35 Ab
	100	67,41 Aa	7,15 Ba	5,55 Cd
1613	0	7,32 Cb	13,38 Ba	17, 43 Aa
	25	10,57 Ba	12,98 B	19,51 Aa
	50	9,49 Aba	9,50 Ab	9,64 Ab
	100	11,07 Ba	8,03 Cb	12,26 Ab
SULTANİ	0	48,12 Aa	31,51 Cb	40,44 Bc
	25	21,43 Cc	33,80 Bb	64,37 Ab
	50	31,89 Bb	50,68 Aa	45,65 Ad
	100	34,17 Bb	36,40 Bb	59,60 Aa
5 BB/SULTANİ	0	23,51 Cb	40,31 Ba	51,23 Aa
	25	30,71 Ba	24,63 Cc	42,89 Ab
	50	16,52 Cc	31,13 Bb	40,70 Acb
	100	21,47 Cb	28,95 Bcb	36,43 Ac
1613 /SULTANİ	0	21,83 Cc	38,83 Bc	50,53 Ab
	25	35,03 Bb	45,05 Ab	10,06 Cd
	50	42,83 Ba	45,72 Bb	67,24 Aa
	100	16,90 Cd	55,16 Aa	32,29 Bc

The difference between the means shown in different capital letters in each row is significant. The difference between the means shown with different lowercase letters in each column is significant according to the Duncan multiple comparison test ($p<0.05$).

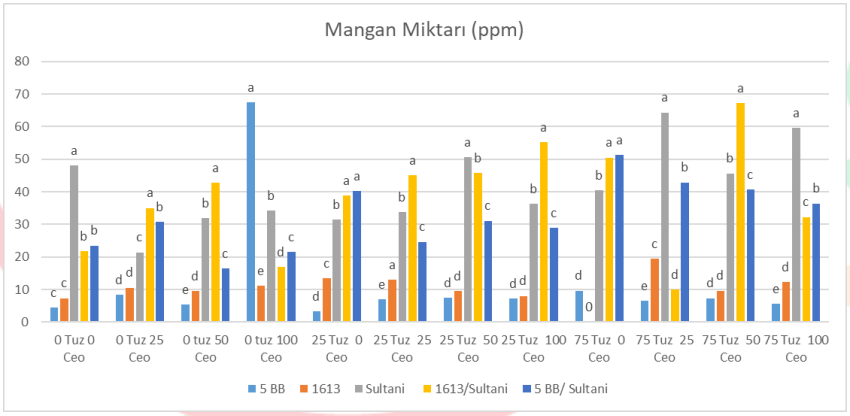


Figure 7. Manganese value differences according to cerium oxide doses at the same salt concentration in grafted and ungrafted plants

Discussion and Conclusion

Considering the effects of cerium oxide applications on nutrient uptake under salinity stress; Varying effects were observed in cerium oxide applications at different doses, depending on salt concentrations, on the macronutrients nitrogen, calcium, magnesium, and the micronutrients iron, zinc, copper and manganese. For example, while 100 ppm cerium oxide application had a positive effect on nitrogen nutrient uptake in 5 BB rootstock in 0 salt (control) and 25 salt applications, it had a negative effect in 75 salt application. Likewise, when looking at zinc, one of the micronutrient elements, cerium oxide 100 ppm application on 1613 rootstock had a positive effect under 0 salt, while it had a negative effect under 25 and 75 salt applications.

On plant nutrient uptake by plants; Many factors such as the type of plant, its age, root growth, the physical, chemical and biological properties of the soil, the types and amounts of elements useful in the soil, the agricultural methods applied, the chemicals used, and weather conditions are effective (Kacar and Katkat, 2010; Bolat and Kara). , 2017), this situation is quite realistic.

NaCl and CaCl2 were applied at 0, 0.2, 0.4 and 0.6% concentrations on Sultani Çekirdeksiz, Emperor and Black Corint grape varieties, and as a result of the study, Black Corint variety was more sensitive to salinity and Mg decreased in the leaves, while calcium and magnesium increased in the roots (Alsaidi and Alawi, 1984). In her study, Sivritepe (1998) applied salinity stress at different concentrations using 5 BB (medium tolerant) and 1613 C (tolerant) rootstocks with different salinity resistance in greenhouse cultivation, similar to the previous study. When the two rootstocks were compared, the K: Na and Na: Ca ratios in 1613 C rootstock were found to be higher. This situation is based on the difference in salinity resistance of the two rootstocks. Dogridge, 1613 C, Salt Creek and St. Salt stress was applied to George rootstocks at 0, 50, 100 and 250 mM NaCl concentrations and its effects on plant nutrient uptake were examined. As a result of the study, while Na content increased with increasing salt concentration, K content decreased and St. The Na/K ratio was found to be highest in George rootstock (Upreti et al. 2010).

Fisarakis et al. (2004) showed that salinity stress in water culture affects nitrate-nitrogen (NO3–N), phosphorus (P), magnesium (Mg), potassium (K) in 41 B, 140Ru, SO4 and 110R grown on its own roots and Sultani seedless variety grafted on these rootstocks. and its effects on calcium (Ca) concentrations were examined. As a result of the study, it was determined that it affected the amounts of Ca in the root and leaf, P and NO3-N in the shoot, and P and NO3-N in the stem in different parts of the vine. Salt tolerance research was conducted on the Flame seedless variety grown on its own root and grafted on the Freedom rootstock. As a result of the study, it was reported that Cl and Na values in the root and K and Ca content in the leaf were high. Considering the studies, the parts of the vine used, the varieties and rootstocks used, and the amounts of macro and micro nutrients taken under salt concentrations have varied. The data obtained in the study are parallel to the mentioned studies, varying according to the use of different types of rootstock, grafted or ungrafted status, different salt and nanoparticle concentrations.

As a result, changing climatic conditions negatively affect plants as well as all living things. One of the most important abiotic stress factors is salinity stress. Since it is almost impossible to eliminate the negative conditions that occur as a result of climatic factors, researchers can only cope with the situation by taking precautions. Breeding with species that have strong adaptability to harsh conditions and trying different cultural and chemical methods are some of these methods. In this study, the effects of nanoparticle application, which has been widely preferred in recent years, on salinity stress were examined. Considering these data emerging in future studies, new; Testing various rootstock stress factors, different nanoparticles and doses is very important for vegetative stress studies.

Acknowledge

This study consists of a part of the master's thesis of Hasan Baltacı, one of the authors of the article, titled "Effects of Cerium Oxide (Ceo_2-Np) Nanoparticle on Salt Stress in Grafted and Ungrafted Grapevine Saplings", which was conducted at Tokat Gaziosmanpaşa University.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

Alsaidi, LH, Shakir, LA, Hussein, AJ. 1984. Rooting of some grapevine cuttings as affected by salinity. Ann. Agric. ScL, 33(l), 479-499.

Bodenheimer, şi F.S. 1941. Türkiye'de Ziraate ve Ağaçlara Zararlı Olan Böcekler ve Bunlarla Savaş Hakkında Bir Etüd, Ankara

Bolat, İ. Kara, Ö. (2017). Bitki besin elementleri: Kaynakları, işlevleri, eksik ve fazlalıkları. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19(1), 218-228.

Cao, Z. , Rossi, L,Stowers, C. , Zhang, W. , Lombardini, L,Ma, X. , 2018. The impact of cerium oxide nanoparticles on the physiology of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under different soil moisture conditions. Environ. Sci. Pollut. Res. 25 (1), 930–939.

Çelik, H. 1996. Bağcılıkta Anaç Kullanımı ve Yetiştiricilikteki Önemi. Anadolu Dergisi, Ege. Tar. Araş. Enst. Cilt: 6, Sayı:2, s127-148, İzmir.

Çelik, H. Ağaoğlu, S, Fidan, Y, Marasalı, B, Sölemezoğlu, G. 1998. Genel Bağcılık. Sunfidan A.Ş. Mesleki Kitaplar Serisi 24 ZİRAAT MÜHENDİSLİĞİ l Yıl: 2019 l Sayı: 367 1, Fersa Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti. Kızılay, Ankara, 253 s.

Fisarakis I., Nikolaou N., Tsikalas P., Therios I. and Stavrakas D., 2005. Effect of salinity and rootstock on concentration of potassium, calcium, magnesium, phosphorus, and nitrate-nitrogen in Thompson seedless grapevine. *Journal of Plant Nutrition*, **27**(12), 2117-213.

Gohari, G.Zareei, E. Rostami, H. Panahirad, S. Kulak, M. Farhadi, H. Amini, H. 2021. Protective effects of cerium oxide nanoparticles in grapevine (Vitis vinifera L.) cv. Flame Seedless under salt stress conditions. Ecotoxicology and Environmental Safety.

Golldack, D.Lüking, I. and Yang, O. 2011. Plant tolerance to drought and salinity: stress regulating transcription factors and their functional significance in the cellular transcriptional network. Plant Cell Reports, 30(8); 1383–1391.

Gürel A. ve R. Avcıoğlu, 2001. Bitkilerde strese dayanıklılık fizyolojisi. 21. Bölüm, In: Bitki Biyoteknolojis i II, Genetik Mühendisliği ve Uygulamaları. (Eds. S. Özcan, E. Gürel ve M. Babaoğlu). Selçuk Üniversitesi Vakfı Yayınları. ss: 303- 313.

Jones, H.G. 2007. Monitoring Plant and Soil Water Status: Established and Novel Methods Revisited and Their Relevance to Studies of Drought Tolerance. Journal of Experimental Botany, 58,119–130.

Kacar B ve Katkat V (2010). Bitki Besleme. 5. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, Kızılay-Ankara.

Liu, R. , Lal, R. , 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. Sci. Total Environ. 514, 131–139.

Rajeshkumar, S. , Naik, P. , 2018. Synthesis and biomedical applications of cerium oxide nanoparticles–a review. Biotechnol. Rep. 17, 1–5.

Saruhan, V., Üzen, N., Eylen, M., & Çetin, Ö. (2008). Toprak tuzluluğunun kültür bitkilerine etkileri ve alınabilecek somut önlemler. Sulama Tuzlanma Konferansı, 319-328.Şanlıurfa

Schultz, H.R. & M. Stoll, 2010. Some critical issues in environmental physiology of grapevines: future challenges and current limitations. Australian Journal of Grape and Wine Research, 16: 4-24. DOI: 10,1111/j.1755- 0238.2009.0074.x

Sivritepe, N. 1995. Asmalarda Tuza Dayanıklılık Testleri ve Tuza Dayanımda Etkili Bazı Faktörler Üzerinde Araştırmalar. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı (Doktora Tezi), Bursa, 176 s.

Ülgen, K. 1962. Bağ Phylloxera' Sının Morfoloji Ve Biyolojisi Üzerinde Karadenizbölgesi Ve Fransa' Da (Montpellier' De) Araştırmalar. T.C. Tarım Bakanlığı, Samsunzirai Mücadele Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, sayı:6, ss. 55, Samsun.

Upreti, K.K. Murti, G.S. R. 2010. Response of grape rootstocks to salinity: changes in root growth, polyamines and absisic acid. Biologia Planttarum, 54(4): 730-734.

Wang, H. Miyazaki, S. Kawai, K. Deyholos, M. Galbraith, D.W, Bohnert, H.J. 2003. "Temporal Progression Of Gene Expression Responses To Salt Shock İn Maize Roots" Plant Mol Biol, 52(4) , 873-891.

Yılmaz, N. İlhan, İ. Samancı, H. Baldıran, T. 1997. Yuvarlak Çekirdeksiz Üzüm Çeşidinde Klon Seleksiyonu Çalışmaları. Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, No: 69, Manisa

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Harput Kalesi (Elazığ) ve Çevresi Peyzaj Tasarım Projesi

Özcan SAĞLAM [1]
Nurhan KOÇAN [2]
Abdulsamet BAŞTEMUR [3]

Özet

Çalışma alanı Elazığ ili sınırlarında yer alan Harput Kalesi ve çevresidir. Kale, Harput'un güneydoğusunda, ovaya hakim yüksek kayalar üzerinde bulunmaktadır. Harput'ta yerleşimin tarihi milattan önceki devirlere dayanmaktadır. Harput Kalesi, Urartu devrinin izlerini taşımaktadır. Kalede kaya içine oyulmuş merdivenler, tüneller ve suyolları bulunmaktadır. Harput, Türkler tarafından ele geçirilene kadar sadece müstahkem bir kale olarak varlığını sürdürmüş ancak Türklerin gelmesiyle birlikte büyüyen bir şehir haline gelmiştir. Harput'un stratejik konumu ve önemli ticaret yolları üzerinde bulunması, tarih boyunca çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yapmasına ve önemli bir yaşam alanı olmasına katkı sağlamıştır. Harput Kalesi günümüzde, özellikle günübirlik kullanıcılar olmak üzere ziyaretçi çekmektedir. Bu bağlamda çalışmada; Harput Kalesi'nin silueti ve mevcut yeşil dokusu göz önüne alınarak kaleyi kentin ana yaya omurgası oluşturacak şekilde bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu kapsamda Harput merkezinde yaşam kalitesini ve cazibeyi artıracak bir mekansal gelişim süreci oluşturarak alt ölçekli uygulamalara yön verebilmek için planlama kararları alınmıştır. Sonuç kısmında ise Harput Kalesi yayalaştırma ve çevre düzenlemesi önerileri ile kentin yaşam alışkanlıkları ve kent belleğini dikkate alacak şekilde insan merkezli bir çekim alanı oluşturulmuştur. Öneriler peyzaj tasarım projesi ve üç boyutlu görseller şeklinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Harput Kalesi (Elazığ), peyzaj tasarım projesi, tarihi miras, turizm.

[1] Undergrad., Bartın Üniversity, Landscape Architecture, Orcıd: 0000-0002-3538-6340
[2] Prof Dr., Bartın University, Landscape Architecture, Orcıd: 0000-0001-9433-7007
[3] Landscape Architect, Bartın Üniversity, Landscape Architecture, Orcıd: 0000-0001-9433-7007

ISBN: 978-625-372-170-1

1. GİRİŞ

Kaleler kentlerin kimliğinde görsel ve anlamsal değerleriyle önemli olan yapılardır. Bu alanlar eski dönemlerde kentin savunması ve yerleşimi için kullanılmıştır. Kaleler eski dönemlerin olanaklarına göre, gelebilecek olası düşman saldırıları için kente hakim olmak bakımından yüksek yerlerde kurulmuşlardır. Aynı zamanda sel ve taşkın gibi doğal afetlerden etkilenmemek, deprem gibi yer sarsıntılarına karşı dayanıklı olmak açısından sert kayaç zeminler üzerine inşa edilmişlerdir. Tarih boyunca kaleler, genellikle şehre hakim, ana yol aksında, coğrafik ve stratejik bakımdan önemli noktalarda arazinin doğal özelliklerinden yararlanılarak inşa edilmiştir. Kaleler çoğunlukla sürekli kalın bir duvar (sur) ve duvar boyunca dizilen aralıklı burçlardan oluşmaktadır.

Türkler, Anadolu'ya geldikleri zaman eski çağlardan kalma çoğu sağlam vaziyette pek çok kale ile karşılaşmışlardır. Anadolu'yu yurt edinen Türkler pek çok yeni kale inşa ettikleri gibi, stratejik bakımdan önemli yerlerdeki eski kaleleri de onarmışlardır. Kaleler, o yörenin iklim ve topografya özelliğine en iyi biçimde uydurularak şekillendirilmiştir (URL 5, 2019).

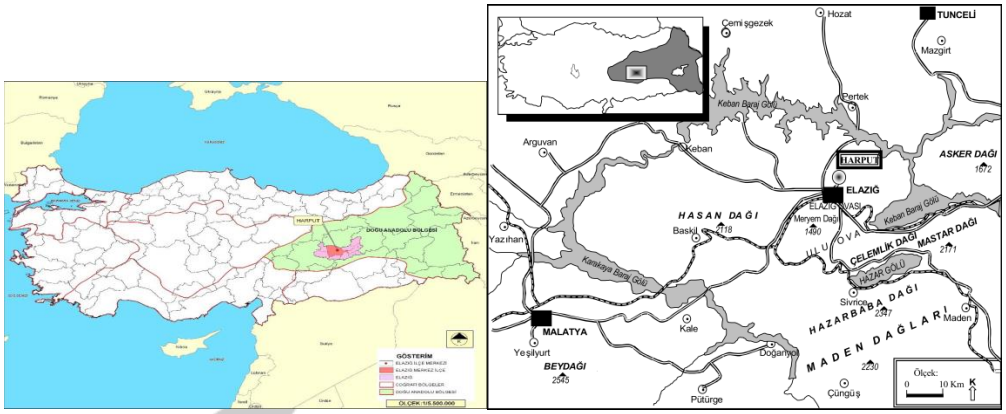
Günümüze kadar gelmeyi başarabilen tarihi kaleler eski savunma ve yerleşim görevlerini bir kenara bırakmakla birlikte kente hakim noktada geçmişi hatırlatan görkemli duruşlarıyla artık bulundukları kentlerin kent imgeleri ve landmarklarını oluşturmaktadır. Bu yapıların ve bulundukları alanların peyzaj tasarım çalışmalarıyla yeniden yorumlanması kente artı değer sağlamaktadır. Çünkü peyzaj tasarım çalışmaları kentlerin ve yapıların işlevsel ve görsel etkilerinin artırılmasında fikir ve uygulama araçları olarak rol oynamaktadır. Bu çalışmada Harput Kalesinin peyzaj tasarımları ile düzenlenerek korunması, açık alan ve yaya kullanımlarıyla alana yeni bir kullanım amacı yüklenmesi düşünülmüştür.

2. MATERYAL YÖNTEM

Çalışmada öncelikle çalışma konusuyla ilgili araştırmalar yapılmıştır. Alanın eski kullanımı ve mevcut durumu ile ilgili veriler toplanmıştır. Alan ve çevresine yönelik analizler yapılmıştır. Tarihi alana uyabilecek bir tasarım yaklaşımıyla alandaki sorunlar ve ihtiyaçlara yönelik kararlar alınmış ve alanın peyzaj tasarım projesi oluşturulmuştur. Projenin çizimi ve görselleştirilmesinde AutoCad 2016 ve SketchUp yazılımları kullanılmıştır.

3. ÇALIŞMA ALANI

Harput Kalesi Elazığ ilinde yer almaktadır. Kentin kuzeyinde yer alan Kızıldağ ve Keban Baraj Gölü, kentin kuzeydoğusuna kadar uzanmaktadır. Keban Baraj Gölü ile Elazığ il merkezi arasında, doğuda 1724 m rakımlı Hasret Dağı, güneydoğuda 1221 m rakımlı Kartaltepe yer alır. Kent merkezi ile bu coğrafya arasında en güneyde Doğu Anadolu'nun önemli ovalarından Uluova yer alır. Elazığ il merkezinin batısında Kavak Tepe yer almakta iken batı ve güneybatı yönünde bölgenin ikinci önemli ovası olan Kuzova yer almaktadır (Elazığ Belediyesi, 2006) (Şekil 1, 2).



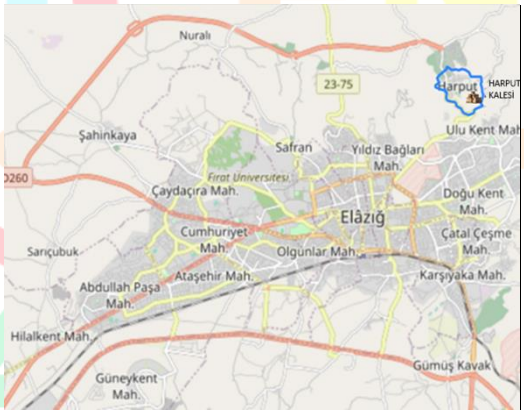
Şekil 1. Harput Lokasyon Haritası (Başgün, 2019)

Şekil 2. Elazığ ve Harput'un Coğrafi Konumu (Tonbul ve Karadoğan, 1999)

Harput Kalesinin yer aldığı Harput Mahallesi, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat bölümünde yer almaktadır. Elazığ il merkezinin 5 km kuzeydoğusunda, denizden 1280 m yüksekliktedir (Başgün, 2019) (Şekil 3, 4).



Şekil 3. Elazığ ve Harput Kalesi Konum İlişkisini Gösteren Uydu Fotoğrafı (URL 1, 2024)



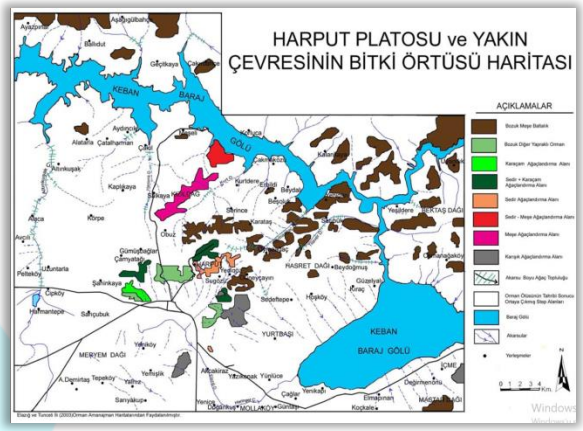
Şekil 4. Elazığ Merkez İlçesi Mahalleleri ve Harput Kalesinin Konumu (URL 3, 2024)

Çalışma alanı ve çevresi karasal iklim özelliklerine sahiptir. Bölgede uzun, şiddetli ve karlı kışlar ile birlikte sıcak ancak kısa süreli bir yaz mevsimi görülmektedir (Şengün, 2007). Yıllık ortalama sıcaklık 13.2ºC'dir. En yüksek ortalama sıcaklık 34.3ºC ile Temmuz ve Ağustos aylarında kaydedilirken, en düşük sıcaklık -3.9ºC ile Ocak ayında görülmüştür (MGM, 2023). Yöredeki kuzeybatı rüzgarlarının hakim yön olduğu görülmektedir. Elazığ ve Harput'un sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında, yıllık ortalama sıcaklık farkının 1,9ºC olduğu gözlemlenmektedir. Kış mevsiminde, Harput Elazığ'a göre belirgin olarak daha zorlu koşullara sahiptir (URL 2, 2024).

Elazığ topraklarının %50'si çayır ve meralar, %28'i tarım arazisi, %12'si orman arazisi ve %10'u su yüzeyi (barajlar ve göller) ile kaplıdır. Elazığ ilinin büyük bir kısmı kurak bölgelere geçiş kuşaklarının toprakları olan kırmızı kahverengi topraklarla örtülüdür (Yiğit, 1994). Bölgenin yüksek kesimlerinde dişbudak, kızılağaç, ceviz, çitlembik ve ardıç gibi türler bulunmaktadır. Dere ve nehir boylarında ise kavak ve söğüt ağaçlarına sıkça rastlanır (Elazığ Belediyesi, 2020).

Yörenin coğrafi konumu, jeolojik özellikleri ve iklim koşulları, yerleşim genelinde bozkır ve step görünümünün hakim olmasına ve yeşil dokunun yoğun olmamasına neden olmaktadır (Başgün, 2019) (Şekil 5, 6).





Şekil 5. Harput Tarihi Yerleşkesi Bitki Örtüsü (Başgün, 2019)

Şekil 6. Harput Platosu ve Yakın Çevresinin Bitki Örtüsü Haritası (Şengün, 2007)

İlin güneydoğusunda, il merkezine 25 km uzaklıkta, Elazığ-Diyarbakır Karayolu'na paralel konumda Hazar Gölü bulunur. Denizden 1250 metre yükseklikteki gölün uzunluğu yaklaşık 22 km en geniş yeri ise 5-6 km'dir. Hazar Gölünden turistik ve ekonomik olarak yararlanılmaktadır. Keban Baraj Gölü, Türkiye'nin en büyük yapay gölüdür. Keban Baraj Gölü'nde elektrik üretiminin yanı sıra su avcılığı yapılmakta ve balık üretimi de gerçekleştirilmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2020).

Elazığ, akarsu havzası açısından ilin güney kesimi dışında bütünüyle Fırat Havzası içinde yer almaktadır. Fırat, Doğu Anadolu'nun en önemli akarsuyudur. Keban ilçesine kadar olan bölümü Karasu ve Murat Nehirleri olarak başlıca iki ana koldan oluşur. Bu alanlar doğal güzellikleri ile ziyaretçilerin dikkatini çekmektedir (Elazığ Belediyesi, 2020).

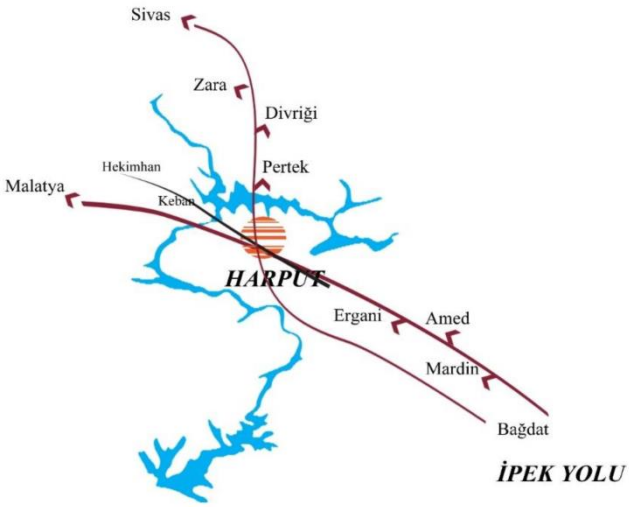
Harput'un en eski sakinleri M.Ö. 2000 yıllarından itibaren Doğu Anadolu'ya yerleşen Hurriler'dir. Ardından, bölge Hitit hakimiyeti altına girmiştir. M.Ö. 9. yüzyıldan itibaren Doğu Anadolu'da devlet kuran Urartular, Harput'ta uzun süre hüküm sürmüştür. Bugün hala ayakta duran Harput Kalesi, Urartu devrinin izlerini taşımaktadır. Kalede yapılan araştırmalarda, kaya içine oyulmuş merdivenler, tüneller ve hücrelerle suyolları bulunduğu tespit edilmiştir. M.Ö. 9. yüzyıldan beri müstahkem bir mevki olarak bilinen Harput, 4000 yıllık bir geçmişe sahiptir. Harput isminin ilk hecesi olan "Har", taş (kaya) anlamına, son hecesi olan "put" (berd) ise kale anlamına gelmektedir. Günümüz Türkçesi'nde "Taş Kale" anlamını taşımaktadır (Elazığ Belediyesi, 2020). Harput'un stratejik konumu ve önemli ticaret yolları üzerinde bulunması, tarih boyunca çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yapmasına ve önemli bir yaşam alanı olmasına katkı sağlamıştır (Danık, 1995).

Harput'un M.S. 1. yüzyıldan 3. yüzyıla kadar, zaman zaman Romalıların siyasi ve askeri etkisi altında olduğu bilinmektedir. M.S. 3. yüzyılda, Harput bölgesi tamamen Roma İmparatorluğu'na bağlanmıştır. 7. yüzyılın ortalarında Bizanslıların kontrolü altına giren Harput, bu yüzyılın sonlarından 10. yüzyılın ortalarına kadar Arap hakimiyeti altında kalmıştır. 11. yüzyılın sonuna kadar tekrar Bizans hakimiyetine geçmiştir. Harput ve çevresi 1085 yılında Türklerin kontrolüne geçmiştir. Bu dönem, Selçuklu İmparatorluğu dönemidir. Harput, Türkler

tarafından ele geçirilene kadar sadece müstahkem bir kale olarak varlığını sürdürmüş, ancak Türklerin gelmesiyle birlikte büyüyen bir şehir haline gelmiştir. 1516 yılında Harput Osmanlı İmparatorluğu'nun hakimiyeti altına girmiştir (Elazığ Belediyesi, 2020).

31 Aralık 2023 adrese dayalı nüfus kayıt sistemi (ADNKS)' ne göre Elazığ nüfusu 604.411'dir. Erkek nüfusu 288.845, kadın nüfusu ise 305.566'dır (TÜİK, 2024). Harput Mahallesi nüfusu 511 iken, erkek nüfusu 285, kadın nüfusu 226'dır (TÜİK, 2024).

Harput'un Elazığ ile doğrudan bağlantısı olması, teknolojik yeniliklerin günlük yaşama etkisini artırmış olsa da, geleneksel öğelerin yaşam biçimlerini hala belirlediği gözlemlenmektedir (Elazığ Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü, 2018). Önemli ticaret yolları Harput'un ticaret merkezi olma özelliğini güçlendirmiştir. Hekimhan ile Keban'dan geçen yol ve Harput'u Sivas'a bağlayan yol, bölgedeki ticaretin canlanmasına ve Harput'un ekonomik açıdan önem kazanmasına katkı sağlamıştır. Bu yollar, ticaretin yanı sıra kültürel ve sosyal etkileşimi de artırmış, Harput'u bölgenin önemli bir ticaret merkezi haline getirmiştir. Bu ticaret yolları, Harput'un tarih boyunca ekonomik ve ticari yaşamına büyük etkiler yapmıştır. 19. yüzyıl ve sonrasında dokumacılık, demircilik, dericilik ve bakırcılık gibi el sanatları ile atölye tipi sanayi faaliyetleri oldukça gelişmiştir. Bu şekilde Harput, sanayi ve el sanatları alanında zengin bir mirasa sahip olmuştur (Kuş, 2013) (Şekil 7).



Şekil 7. Harput ve Çevresindeki Ticaret Yolları (Kuş, 2013)

Harput Kalesi, Harput'un güneydoğusunda ovaya hakim yalçın kayalar üzerinde bulunmaktadır. Coğrafi konumu itibariyle tarih boyunca önemli bir kale olarak kabul edilmiştir. Kale, ön yüzü yaklaşık 75 - 80, güneyi 150 - 200, yan yüzleri ise 400 - 450 metre arasında değişen boyutlara sahiptir. Yüksekliği ise yer yer değişmektedir. Kalenin asıl yapısı yaklaşık olarak M.Ö. 900 yılına dayanmaktadır ve Urartular döneminde inşa edildiği bilinmektedir. Bu kale, farklı dönemlerde birçok onarım görmüş ve bugüne kadar önemli ölçüde ayakta kalmayı başarmıştır (Elazığ Belediyesi, 2020) (Şekil 8).



Şekil 8. Harput Kalesi ve Harput Yerleşkesi İlişkisi (URL 3, 2024)

Kale içerisindeki kayalara oyularak yapılmış odalar ve gizli geçitler Urartu döneminden kalmıştır. Kalenin Roma, Bizans ve Arapların eline geçtiği tarihi belgelerde mevcuttur. Kale çeşitli dönemlerde onarım görmüştür. Dikdörtgen planlı kale, iç kale ve dış kale olmak üzere iki bölümden yapılmıştır. Görkemli burçları halen ayaktadır. Kale ile ilgili rivayete göre yörede kale yapımı sırasında yaşanan su sıkıntısından dolayı kale yapımında harç yapımında su yerine süt kullanıldığı anlatılmaktadır. Bu nedenle Harput Kalesi'nin bir adının da Süt Kalesi olduğu söylenmektedir (Elazığ Belediyesi, 2020) (Şekil 9).

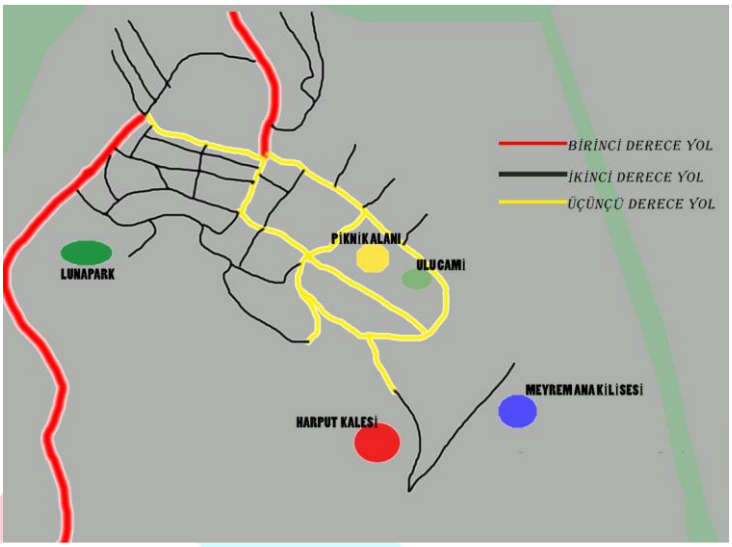


Şekil 9. Harput Kalesi ve Çalışma Alanı (URL 1, 2024)

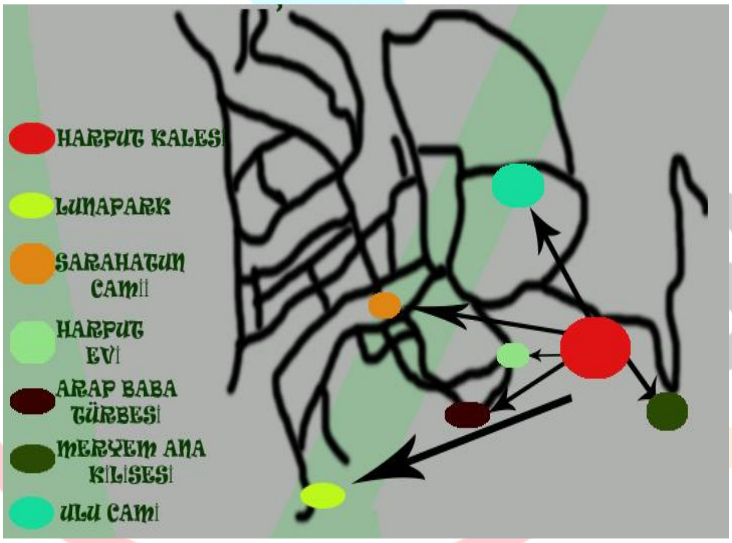
4. PEYZAJ TASARIM PROJESİ

Harput Kalesi peyzaj tasarım projesinin amacı, Elazığ kentinin önemli kimlik değerlerinden biri olan Harput Kalesi ile görsel bir bütünlüğe sahip olan Arap Baba Türbesi, Meryem Ana Kilisesi ve Ulucami çevresindeki tarihsel ve kültürel varlıkları birlikte ele alarak kültürel bir merkez haline getirmek, alanın yeniden düzenlenmesi ile kentsel mekan kalitesini artırmaktır.

Ana aks üzerinde bulunan durak noktalarını, Meryem Ana Kilisesi, kültür merkezi, meydan ve kaleyi birbirine bağlayan ve bu doğrultu boyunca uzanan doğrusal akslar mevcuttur. Çevre yolunu belirten 1. derece aks, çevre yolundan ayrılıp bulvarı meydana bağlayan yol 2. derece, meydandan kaleye doğru giden yollar 3. derece aks olarak adlandırılmıştır (Şekil 10, 11).



Şekil 10. Yol Sirkülasyon Analizi



Şekil 11. Farklı Kullanım Alanları İlişki Analizi

Projede, kentin çevresinde yer alan tepeler ve park alanlarını kentsel doku ve Harput Kalesi ile bütünleştiren ve sürekliliğini sağlayan yeşil sistem oluşturulması böylece flora ve fauna için habitat ortamının sürdürülebilirliğini sağlamak düşünülmüştür (Şekil 12).



Şekil 12. Yeşil Sistem Analizi

Çalışma alanı bakımsız olup bitkisel alan olarak planlama yapılmamıştır. Bu hali ile kaleyi ziyarete gelenler için kötü bir görüntü oluşturmaktadır. Kaleye ziyarete gelenler için yeme-içme dinlenme gibi ihtiyaçlarını giderecek bir birim bulunmamaktadır (Şekil 13).



Şekil 13. Çalışma Alanı, Kale Duvarı ve Kale Kapısı

Harput Kalesi ve çevresi Harput Mahallesi'ne yaklaşık 600 metre uzaklıkta olup etrafında alışveriş yeme içme dinlenme gibi ihtiyaçların giderilebileceği bir rekreasyon alanı bulunmamaktadır (Şekil 14).

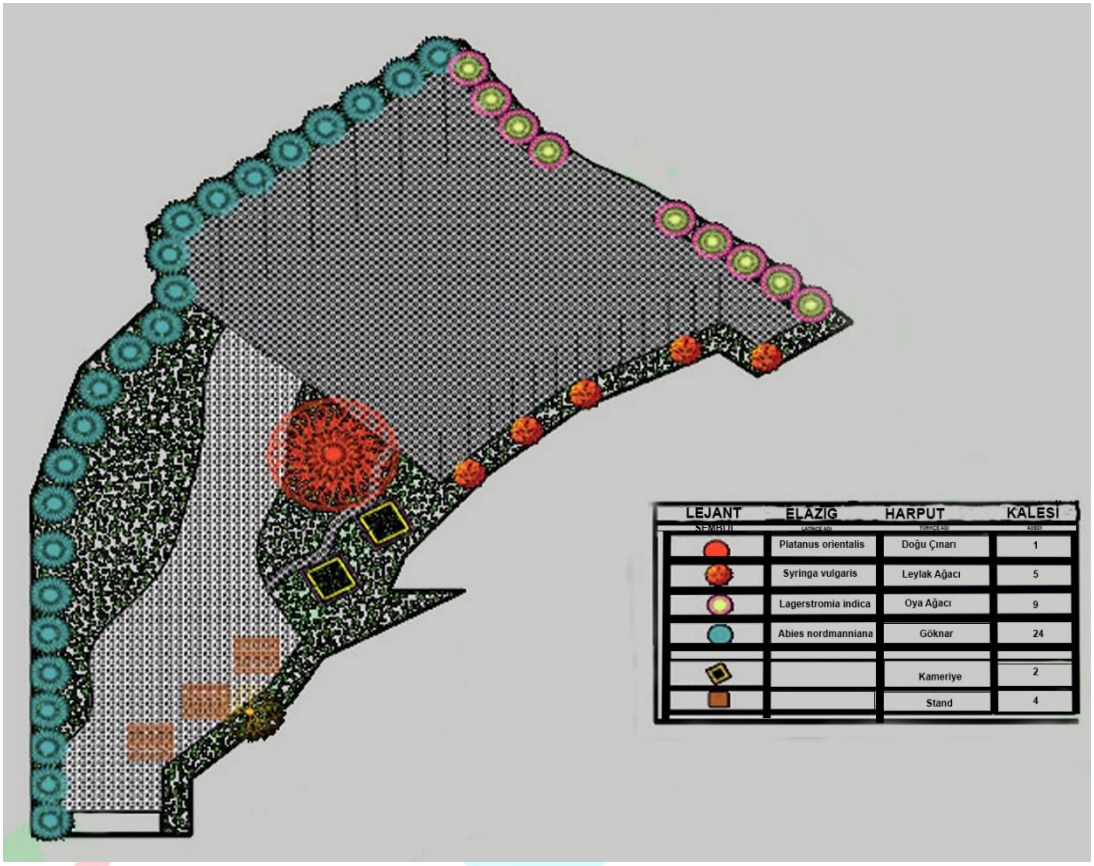


Şekil 14. Çalışma Alanı ve Kale İlişkisi (URL 4, 2024)

Çalışma alanı kalenin kuzey batı kısmında yer alan 2756 m²'lik alandır. Bu alan mevcut hali ile otopark ve kale kapısına devam eden yol olarak kullanılmaktadır.

Bu kapsamda projede (Şekil 15);

- Harput Kalesi'nin silueti ve mevcut yeşil dokusu göz önüne alınarak kentin ana yaya omurgası olarak bir öneri getirilmektedir. Bu aks kale ile kent merkezi arasında güçlü bir etkileşim sunabilecektir.
- Harput merkezinde yaşam kalitesini ve cazibeyi artıracak bir mekansal gelişim süreci oluşturarak alt ölçekli uygulamalara da yön verebilecektir.
- Harput Kalesi ve yakın çevresinde kentin yaşam alışkanlıkları ve kent belleğini dikkate alan / insan merkezli bir çekim alanı yaratılmış olacaktır.
- Kuzey kesimde park ve dinlenme alanları, meydan bütünündeki sert mekanlar ile denge oluşturacak, alanın alışılagelmiş kullanımı sürdürülecektir. Bu bölge bitkisel öğeler, su öğeleri ve gölge elemanları ile birlikte topoğrafyaya uygun teraslar eşliğinde çeşitlilik arz eden mekansal perspektifler ortaya konulacaktır.
- Harput Kalesi'ni gezmek için gelen turistler için büfeler ve genel ihtiyaçlara yönelik kullanımlar yer alacaktır. Harput Kalesi'nin geleneksel yapısına uygun olarak tasarlanmış satış ve sergi birimlerinde kentin geleneksel el sanatlarından olan eşyalar satılabilecektir. Bu şekilde hem kültürün tanıtılması hem de yerel halka gelir sağlanacaktır.



Şekil 15. Harput Kalesi ve Çevresi Peyzaj Planlama Projesi

Alanın giriş kısmı otopark (15 otomobil ve 5 otobüs kapasiteli) ve devamı kale kapısına kadar bitkisel alan olarak planlanmıştır. Alanın girişinden itibaren sağ tarafı boyunca 24 adet göknar (*Abies nordmanniana*) önerilmiştir. Böylece burada yer alan kavurmacı ve kayalık alanın kötü görüntüsü engellenmiş olacaktır. Rekreasyon alanı girişinin sol tarafında sıra halinde 5 adet, sağ tarafında yine sıra halinde 4 adet olmak üzere toplamda 9 adet oya ağacı (*Lagerstroemia indica*) düşünülmüştür. Girişten itibaren kale duvarı boyunca sol tarafta 5 adet leylak (*Syringa vulgaris*) düşünülmüştür. Rekreasyon alanının merkezinde 1 adet çınar (*Platanus orientalis)* ile bitkisel tasarımın ana hatları ortaya konulmuştur. Otoparktan kale kapısına devam ederken sol tarafta 2 adet kameriye ve devamında 4 adet stant yerleştirilmiştir. Bu alanlarda oturma dinlenme, sergi ve satış yapılabilecektir.

Harput Kalesi'nin batı yönündeki kapısının önündeki geniş alana 5 otobüs ve 15 otomobil için otopark planlanmıştır. Engelli otoparkı da bu sayının içinde yer almaktadır. Bu alana araçlarını park edecek olan ziyaretçiler kısa bir yürüyüş ile kale kapısına ulaşabileceklerdir. Yürüyüş yolunun etrafında çim alan planlanmıştır. Bu bölgenin kayalık olan görüntüsünü perdelemek amacı ile ibreli ağaçlar çim alanın etrafına yerleştirilmiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Otopark Alanı ve Bitkisel Alan

Yürüyüş yolunun sol tarafında bulunan 4 adet satış standı, alanın işlevselliğini artırırken ticari olarak da yörenin gelişimine katkı sağlayacaktır. Bu satış stantları, ziyaretçilere çeşitli ürünler sunma fırsatı sağlamakta ve alanın canlılığını artırmaktadır. Satış stantları, mekanda ticari etkinliklerin gerçekleşmesine izin verirken, ibreli ağaçlar ve yürüyüş yolu boyunca eklenen donatılar, ziyaretçilere dinlenme ve sosyal etkileşim için fırsat sunacaktır (Şekil 17).



Şekil 17. Alandaki Stantlar

Karşılama alanının merkezi bir noktasına geniş yapraklı ağaç (*Platanus orientalis*) eklenerek egemen unsur olarak kullanılmıştır. Kameriyeler ve aydınlatmalar, alanın gece kullanımını destekleyerek mekanın işlevselliğini artırmakta ve çeşitli saatlerde ziyaretçilerin keyif alabileceği bir ortam sunmaktadır (Şekil 18).



Şekil 18. Geniş Yapraklı Ağaç ve Kameriyeler

Aydınlatma için yürüyüş yolu boyunca alçak ve yüksek boylu aydınlatmalar kullanılmış, kale duvarı ve çim alanın birleştiği bölgeye de yerden aydınlatma sistemleri döşenmesi planlanmıştır. Yürüyüş yolu boyunca kullanılan aydınlatmalar, ziyaretçilerin geceleri alanı güvenli bir şekilde kullanmalarını sağlayacaktır. Bu aydınlatma sistemlerinin yürüyüş yolu boyunca düzenli aralıklarla yerleştirilmesi planlanmıştır. Böylece görünürlüğün en üst seviyede olması sağlanacaktır (Şekil 19).



Şekil 19. Alanın Aydınlatmaları

Geniş yapraklı ağaçların karanlıkta aydınlatılması, mekana hoş bir görüntü kazandırmaktadır. Böylece ağacın formu ve dokusu vurgulanmaktadır. Aydınlatma ağacın gölgelerini ortaya çıkararak mekanın estetik değerini artırmakta ve ziyaretçilere dinamik bir deneyim sunmaktadır. Kullanılan aydınlatma, mekanın geceleri de algılanabilmesini sağlamakta, alanın aktif ve çekici olmasını sağlayarak kullanım çeşitliliğini artırmaktadır. Aynı

zamanda, doğal ögelerin geceleri aydınlatılması, mekanın güvenliğini ve görsel çekiciliğini artırmaktadır (Şekil 20).

Kale duvarlarının restorasyonu, kalenin tarihi dokusunu ve mimari karakterini yeniden ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır (Şekil 21).

Restorasyon çalışmaları ile duvarların zamanla yıpranmış olan kısımlarının orijinaline uygun şekilde yenilenmesi ve kalenin ihtişamlı yapısının tekrar ön plana çıkarılması planlanmaktadır. Mekanın tarihi ve kültürel kimliğinin güçlendirilerek başarılı bir şekilde restorasyonunun yapılması ile tarihi yapının günümüzde de farklı bir amaçla kullanımı sağlamış olacaktır.



Şekil 20. Alanın Gece Genel Görünümü



Şekil 21. Duvarların Restorasyonu

4. SONUÇ

Proje sonucunda üretilen çalışmayla Harput kalesinde kullanıcıların alandan daha iyi yararlanması sağlanmış olacaktır. Koruma ile kullanımın birlikte sağlandığı yaklaşımlar tarihi

alanların tanıtımı ve yerel halkın bu alanlardan ekonomik yarar sağlamasını da beraberinde getirecektir. Projenin uygulanması durumunda alanın korunması ve kullanılarak yaşatılması sağlanmış olacaktır. Böylece alan, sadece kent halkı için değil, çevre iller için de dinlenme ve rekreasyon alanı alternatif bir alan olacaktır. Aynı zamanda kalenin kent merkezi ile görsel bir bütünlüğü artırılacak, yeşil alan dokusu bakımından da kale diğer yeşil alanları birbirine bağlayan bir merkez olacaktır.

Önerilen peyzaj tasarım projesi alanın aktif kullanım ve korunmasını sağlayarak canlı bir mekan kazanımı sağlayacaktır. Proje her yaştan kullanıcıya hitap edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Özelikle genç neslin alana ilgisinin çekilmesi tarih bilincinin gelişmesi bakımından önemlidir. Düşünülen tasarımda yeşil alan ihtiyacının karşılanması için bitkisel düzenlemeler yapılmıştır. Açık alanın farklı işlevler için kullanılacağı öngörülerek yapısal tasarımda gölgeli mekanlar, sert zemin düzenlemeleri, oturma yerleri düşünülmüştür. Çalışma sonucunda alanda yapılacak yapısal ve bitkisel tasarım ile kentsel donatılar, anıtsal ögeler ve diğer peyzaj öğelerinin kullanımı alanın görsel ve fiziksel kalitesine yarar sağlayacaktır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKLAR

1. Başgün, Ö.F. (2019) Harput Tarihi Yerleşkesine Sakin Kent Kimliği Kazandırılmasına Yönelik Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
2. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü (2020) İlimiz Hakkında. Elazığ Valiliği CBS İnternet Sitesi. Erişim Tarihi: 28.03.2024. Erişim Adresi: https://elazig.csb.gov.tr/ilimiz-hakkinda-i-681
3. Danık, E. (1995) Ortaçağ'da Harput (XI-XV. Yüzyıllarda). Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 163 s.
4. Elazığ Belediyesi (2006) Koruma Amaçlı İmar Planı Analiz Raporu, 138s, Elazığ.
5. Elazığ Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (2018) Analiz Raporu. Elazığ, s. 32-45.
6. Elazığ Belediyesi (2020) Coğrafi Yapı. Elazığ Belediyesi İnternet Sitesi. Erişim Adresi: 28.03.2024. Erişim Adresi: https://www.elazig.bel.tr/kent-rehberi
7. Kuş, C. (2013) Osmanlı Döneminde Anadolu Ticaret Yolu Ağında Harput'un Yeri ve Önemi, Geçmişten Geleceğe Harput Sempozyumu, 23-25 Mayıs Elazığ, s. 623-642.
8. Şengün, T. (2007) Harput Platosunda Doğal Ortam-İnsan İlişkileri ve Doğal Çevre Planlaması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 425s.
9. Tonbul S., Karadoğan, S. (1999) Harput'un kuruluş yeri ve şehrin fonksiyonunu yitirmesi üzerinde etkili olan doğal çevre faktörleri, Dünü ve Bugünüyle Harput Sempozyumu, 303-324.
10. TÜİK (2024). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. TÜİK İnternet Sitesi. Erişim Tarihi: 29.03.2024. Erişim Adresi: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2023-49684
11. URL 1. (2024) https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/elazig/gezilecekyer/harput-kalesi
12. URL 2. (2024) https://web.firat.edu.tr/harput/cografya.html
13. URL 3. (2024) https://e-plan.gov.tr/e-plan/html/imarDurumu.html
14. URL 4. (2024) https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/#ara/cografi/38.70352503663127/39.25731003284454
15. URL 5. (2019) https://docplayer.biz.tr/6097979-Osmanli-donemi-kale-mimarisi.html
16. Yiğit, A. (1994) Sivrice-Maden Yöresinin Mevzii Coğrafyası. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Elazığ.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Investigation of Damages to Transportation Systems During 6 February´s Earthquake

Nuriye KABAKUŞ[1]
Nathan Wankunda Mwasembe[2]

Abstract

For disaster-resistant societies, it is critical to ensure uninterrupted post-disaster transportation in emergency response and rescue areas. Transportation of emergency personnel and materials to affected areas and ensuring the mobility of people for different purposes are achieved through efficient and reliable transportation systems. Adequate planning and coordination of transportation resources is crucial to ensure timely assistance, delivery of relief supplies, and evacuation if necessary. Thus, secondary disasters that may occur after the earthquake can be prevented by carrying out the necessary infrastructure works. In this study, the performance of transportation systems in the earthquakes that occurred on February 6, 2023 in Pazarcık (Mw7.7) and Elbistan (Mw7.6) districts of Kahramanmaraş and affected 11 provinces were investigated. Within the scope of the study, the extent of damage to transportation systems after the earthquake was explained. As a result, it was found that rail transportation systems suffered the greatest damage with a planned expenditure of 17,4 billion TL. This was followed by road transportation systems with TL 12,2 billion and air transportation systems with TL 3,3 billion. Damage to maritime transportation systems was the lowest with a planned expenditure of TL 38 million. In addition, this study offers solution suggestions such as improving road and bridge designs to withstand seismic forces in order to avoid any disruptions and delays in transportation, implementing traffic management strategies to reduce traffic congestion, and creating alternative transportation routes that will provide connection in emergency situations during trip after the earthquake.

Keywords: Earthquake, transportation systems, damage, seismic forces, post-disaster

[1] Assistant Professor, Atatürk University, Faculty of Applied Sciences, Department of Emergency Aid and Disaster Management, Orcid: 0000-0002- 8479-6733

[2] M.Sc. in Civil Engineering, Atatürk University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Orcid: 0009-0008-5855-6614

ISBN: 978-625-372-170-1

INTRODUCTION

An earthquake is defined as a natural event that occurs when the tensions accumulated in the earth's crust over a long period of time are suddenly released (Karaesmen, 2002). The fact that earthquakes are more frequent worldwide compared to other natural disasters makes it an extremely frightening disaster. Türkiye, 93% of which is located in an active earthquake zone, has faced many major earthquakes throughout history. This natural disaster has caused great damage by causing loss of life and property. Therefore, knowing the earthquake risk of the region we live in will enable us to understand the current situation and determine the steps to be taken in the future. Thanks to today's technological developments, the main causes of damage caused by earthquakes can be easily identified. When constructing earthquake-resistant buildings, it is preferable to identify more suitable settlement areas and design principles based on research and to develop settlement policies and zoning plans instead of cost-increasing measures. This approach will help minimize the effects of a potential earthquake. This will ensure the efficient use of resources for the national economy and contribute to the reduction of earthquake-related damages. Most importantly, it will reduce the loss of life caused by earthquakes. Transportation systems, especially road transportation, provide vital services over a wide area. The transportation system can be compared to the arteries in the human body in terms of importance and function. Damage to these systems not only leads to economic losses, but can also negatively affect the environment and human life after an earthquake. In the days following the earthquake, the transportation system becomes very important in delivering aid to the earthquake zone, transporting the injured and people to hospitals and safer areas. Therefore, any disruption in the transportation system paralyzes all kinds of relief and rescue efforts. In recent years, the study of the performance of natural gas pipelines, water supply lines and transportation systems under the earthquake effect using statistical methods has been a subject of interest. The reason for this interest is to prevent secondary disasters that may occur during major earthquakes in residential centers and to ensure that post-earthquake rescue activities are carried out effectively. There are many studies in the literature on earthquake and transportation systems. Some of these are given below. Gordon et al. (1998) estimate that transportation system damage accounted for about $1,5 billion of the $6,5 billion in business interruption losses caused by the Northridge earthquake. Werner et al. (1997) modeled bridge damages, network traffic flows and costs associated with travel time delays. Shinozuka et al. (1998) further elaborated the link between traffic flows, transportation costs and regional output losses. Chang and Nojima (2001) developed post-disaster system performance measures. They applied these measures to urban rail and road transportation systems in Kobe, Japan, which was severely damaged by the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake. Performance was evaluated in terms of network coverage and transportation accessibility. Kim (1993) used GIS technology to determine earthquake risk in regional highway systems. First, he created an inventory of bridges in New York City and developed seismic risk models. Herman (1987) evaluated the damage status of bridges in Erie County using ground motion attenuation methods. Werner and Taylor (1995), with the support of the Federal Highway Administration and the National Earthquake Engineering Research Center, developed a project to conduct a seismic risk analysis of highway transportation systems. This project developed methods to reduce seismic risk. Kiremidjian et al. (2005) assessed the seismic risk of transportation systems considering the effects of landslides, liquefaction and ground motion. Antonio et al. (2005) also emphasized the importance of transportation infrastructure in the earthquakes in

California and Japan, and stated the need for expanded seismic risk planning for emergency management. Panoussis (1974) developed a model to assess the reliability of urban transportation networks under earthquake hazard. In this model, different scenarios were used according to the damage conditions of the system elements. The seismic reliability of the main highways in and around the city of Boston was evaluated through this model.

Selçuk and Yücemen (1998) evaluated the earthquake reliability of critical infrastructure systems, which are referred to as lifeline networks, using a stochastic model. In this study, reliability assessment was performed for highways, bridges, pipelines, water and natural gas distribution networks.

In this study, the extent of damage to transportation systems caused by earthquakes occurring nine hours apart on February 6, 2023, with epicenters in Pazarcık (7.8 Mw) and Elbistan (7.5 Mw) districts of Kahramanmaraş, respectively, is investigated.

MATERIAL-METHOD

Study Area

The February 6 earthquakes, which were felt very strongly in Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa and Elazığ, caused significant loss of life and heavy damage. The earthquakes affected an area of 108,812 km² covering 11 provinces in Eastern and Southeastern Anatolia Region (Figure 1).



***Figure 1**. Geography affected by the 06.02.2023 earthquakes (AFAD, 2023)*

Pre-earthquake situation in the region

The total length of the railway network in the disaster area is 1,275 km. In this region, there are conventional lines providing freight and passenger transportation between Adana, Hatay, Osmaniye, Gaziantep, Kahramanmaraş and Malatya. The Sivas-Çetinkaya-Malatya-Narlı-İskenderun corridor, which is vital for freight transportation in Turkey, is located in this region. Various products exported from Southeastern and Eastern Anatolia regions, especially mining products, are transported to İskenderun Port via this railway line (SBB, 2023). There are airports open to civil air traffic in Adana, Elazığ, Hatay, Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır, Malatya, Gaziantep and Kahramanmaraş. The total annual passenger capacity of these airports is approximately 27 million passengers. In 2022, the number of passengers using the airports in this region is recorded as 11,3 million, which is approximately %6 of the total number of passengers in Turkey (SBB, 2023). Maritime Transportation There are 13 ports operated by the private sector in Iskenderun Bay. These ports handle dry bulk, general cargo, container, liquid bulk, liquid cargo and passenger transportation (SBB,2023). By 2023, %15of Turkey's existing

highway network, %12 of the state road network and %14 of the provincial road network are located in earthquake-affected provinces (SBB,2023).

Method

In this study, the extent of damage to transportation systems in the earthquakes that occurred in Pazarcık and Elbistan districts of Kahramanmaraş on February 6, 2023 and affected 11 provinces is investigated. The damage to transportation systems is considered separately for railway, airline, maritime and highway systems.

RESULTS

The importance of transportation systems in disasters and emergencies comes to the fore in many critical areas ranging from vital response to social and economic stability. First and foremost, reaching disaster areas quickly and efficiently ensures that rescue teams and emergency relief supplies are delivered on time. This rapid response increases survival rates and prevents secondary disasters. In addition, transport systems play a key role in evacuating injured and disaster victims to safe areas and providing emergency health services. Efficient distribution of basic necessities and temporary shelter materials supports the sustainability of relief efforts.

Table 1 shows the damage to railway systems and planned expenditures during the February 6 earthquakes. The fact that the damages are generally summarized as deformations in tunnels and bridges, defects in superstructure and damages in electromechanical systems shows the various types of damages that can occur in a wide range of components of the railway infrastructure. Following the damage assessments, the planned expenditures reflect the magnitude of the resources allocated for damage repair and reconstruction of the railway infrastructure. In particular, high amounts such as the planned expenditure of 9.5 billion TL on the Narlı-Gaziantep-Nizip Line show the seriousness and urgency of the damages caused by the earthquake.

Tablo 1. *Damage Assessment for Railway Lines (SBB,2023)*

Damaged Railway Sections	Overall Damage Assessment	Planned Expenditure
Fevzipaşa-Nurdağ-Narlı Railway Line	Tunnels and bridges occurring deformations, lines falling rocks and stones, in the superstructure disorders, various electromechanical damage to systems	3 billion TL
Narlı-Gaziantep-Nizip Railway Line		9.5 billion TL
Narlı-Başpınar Railway Railway Line		663 million TL
Köprüağzı-Kahramanmaraş Railway Line		187 million TL
İskenderun-Bahçe Railway Line		1.8 billion TL
Bahçe-Nurdağ Railway Line		238 million TL
Malatya Çetinkaya Railway Line		1.6 billion TL
Başpınar Nizip Railway Line		435 million TL
Approximate Total Cost		**17.4 billion TL**

Source: TCDD

It is vital to improve the resilience of the railway network against seismic risks and make it more resilient to future earthquakes. Figure 2 shows the damage to the Fevzipaşa line during the February 6 earthquake. Furthermore, rapid repair of damage to railway infrastructure is critical to ensure the normal functioning of transportation services that affect the daily lives

of communities. Making such investments is an important step to ensure the sustainability of railway infrastructure and the safety of communities.



Figure 2. *Deformations in Fevzipaşa railway (KG, 2024)*

Table 2 shows the damage assessments and planned expenditures at airports during the February 6 earthquake.

Table 2. *Damage Assessment of Airports (SBB, 2023)*

Airport	**Damage Assessment**	**Planned Expenditure**
Hatay Airport	The runway was broken and the apron was severely damaged. Settlement was detected on the ground of the airport and it was reported that infrastructure drainage, electrical and mechanical systems were not functioning.	2,5 billion TL
Malatya Airport	One axis of the existing terminal building, to which two axes were added, was damaged.	295 million TL
Adıyaman Airport	Minor damage occurred to the superstructure.	181 million TL
Kahramanmaraş Airport	There was little damage to the superstructure.	354 million TL
Approximate Total Cost		**3.3 billion TL**

Source: DHMİ

6 February 2023 earthquake damage assessments of the affected airports and the planned expenditures for their repair reveal the serious damage the disaster caused to the transportation infrastructure. Hatay Airport suffered the worst damage, with the runway broken and the apron severely damaged (Figure 3). In addition, the ground of the airport was found to have settled and infrastructure systems (drainage, electrical and mechanical systems) were found to be inoperable. A maximum budget of 2.5 billion TL was planned to repair these damages. This shows how important and costly it is to make Hatay Airport functional again.



Figure 3. *Damage to Hatay Airport*

Damage to the terminal building at Malatya Airport was mainly to one axis of the terminal building where two axles were added and TL 295 million was allocated for the repair of this damage. Adıyaman and Kahramanmaraş Airports suffered relatively less damage, with little damage to the superstructure at both airports. TL 181 million and TL 354 million are planned for the repair of these damages, respectively.

In total, approximately 3.3 billion TL is planned for the repair of these airports. This shows how much repair and rehabilitation work is required for the post-earthquake transportation infrastructure. Airports are critical for emergency response and transportation of relief supplies after disasters. Therefore, rapid and effective repair and rehabilitation works will accelerate the recovery process in the region and contribute to a more resilient transportation infrastructure against future disasters.

Following the disaster, 3 traffic monitoring stations and 2 lighthouses in Hatay and Adana were damaged. The cost of the damage to these facilities, operated by the Directorate General of Coastal Safety, was estimated at approximately TL 38 million (USD 2 million). In addition, a fire broke out at the privately operated Iskenderun Port, causing damage to approximately 1,500 containers (Figure 4). However, no significant damage to the port infrastructure was reported (SBB, 2023).

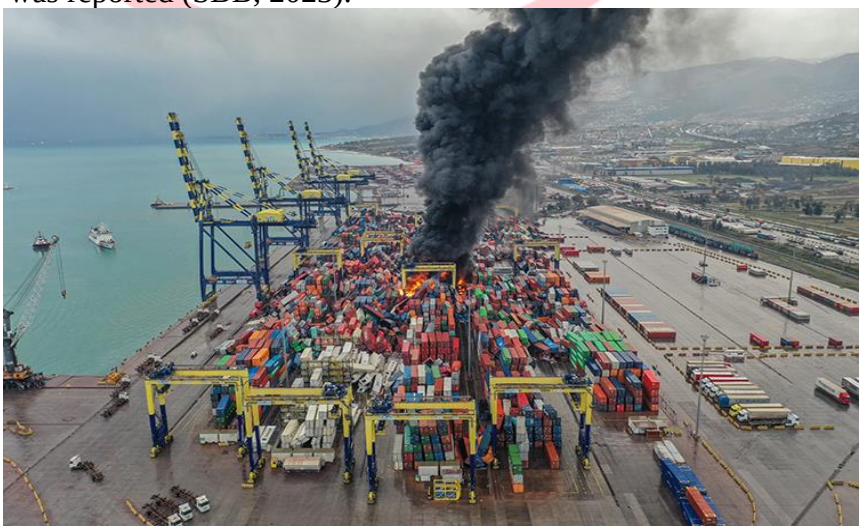


Figure 4. *Fire at Iskenderun Port after the February 6 earthquake*

6 February 2023 earthquake damage to the highway infrastructure reveals the extent to which the transportation system was affected and the magnitude of the repair costs. In total, 61 km of highways were damaged, with repair costs estimated at 12,2 billion TL (Table 3). This indicates that the heavily used highway network is of critical importance and significant financial resources need to be allocated to repair this damage.

On roadways, 71 km of damage was identified. Tunnels were damaged by 11,7 km, viaducts by 3,1 km and bridges by 0,7 km. These infrastructure elements are critical components of the transportation system and therefore their repair is of utmost importance. A total of 18,354 km of damage to signalization, traffic divider and horizontal and vertical markings was identified (Table 3). This shows that this is an important area for restoring traffic safety and order.

Table 3. *Highway Damage Assessment (SBB, 2023)*

Type of Structure	Unit	Total Damage	Cost TL
Highway	Km	61	12.2 billion TL
Roadway	Km	71	
Tunnel	Km	11.7	
Viaduct	Km	3.1	
Bridge	Km	0.7	
Signalization, traffic divider, horizontal and vertical markings	Km	18.354	
Tunnel electromechanical works	Km	3.6	
Toll collection station	Number	5	
Ticket Office Building	Number	2	

Source: KGM

Damage to 3.6 km of tunnel electromechanical works and 5 toll collection stations were identified (Table 3). In addition, two toll booth buildings were also damaged. The repair of these structures is necessary to make the in-tunnel security and payment systems functional again.



Figure 4. *Damage to Antakya Demirköprü Highway (DHA, 2023)*

Figure 4 shows the extent of damage to Antakya Demirköprü Highway. The results show how severely the highway infrastructure was affected after the earthquake and the huge costs involved in repairing these damages. In the aftermath of such a disaster, the rapid repair and re-functioning of transportation systems is critical for the effective conduct of relief and recovery processes in disaster areas. Therefore, damage assessments should be carried out quickly and repair works should be started immediately.

In the February 6 earthquake, planned expenditures for the repair of damage to transportation systems vary according to the degree of damage and repair needs of different transportation systems.

The planned expenditure for rail is the highest at 17.4 billion TL. This indicates that the rail infrastructure was the most severely damaged in the earthquake and the most costly to repair. 12.2 billion TL for roads is the second highest expenditure item, indicating that the road network was also severely damaged and requires extensive repair work. 3.3 billion TL is planned for damage to air transportation systems. Although this amount is lower compared to rail and road expenditures, it indicates that airports and airline infrastructures have suffered significant damage and require repair. The budget allocated for maritime transportation is 38 million TL, which is much lower than the other transportation systems. This shows that maritime infrastructure was less affected by the earthquake or has lower repair costs.

CONCLUSION AND SUGGESTIONS

In order to minimize the loss of life and property caused by earthquakes, it is important to understand the seismicity of the transportation network in our region. Today, the main factors that cause damage in earthquakes are known and this knowledge allows us to produce safe and economical solutions. Instead of cost-increasing measures in the production of earthquake-resistant buildings, more suitable areas and design principles should be determined based on research, and developments should be guided by settlement policies and zoning plans. Building earthquake-resistant buildings is not only a technical problem but also depends on social and economic factors. Therefore, in order to build earthquake-resistant buildings, it is important to develop strategies that are not only based on technical solutions but also on the needs and economic situation of the society.

Measures to reduce damage to transportation systems in earthquakes are listed below:

- Considering Turkey's earthquake risk, seismic risk analyses of transportation systems should be conducted, especially in first degree earthquake zones. These analyses are important for determining the earthquake resilience of existing infrastructure and planning the necessary retrofitting or renovation works. Thus, appropriate measures can be taken to minimize the damages caused by earthquakes and ensure the safety of the society.
- A number of measures can be taken to reduce damage to transportation systems in earthquakes. First of all, it is critical to use earthquake-resistant materials in infrastructure projects and to carry out retrofitting works. This ensures that transportation infrastructure such as roads, bridges, viaducts and railways are made more resilient to earthquakes.
- Emergency response plans need to be developed and implemented. These plans ensure rapid response after an earthquake, allowing rescue teams to work effectively. Be prepared for emergency scenarios such as road closure, debris removal and evacuation of the injured.
- It is also important to implement traffic management strategies. Effective management strategies should be developed to ensure traffic flow and avoid congestion after an earthquake.
- Public awareness needs to be raised and the public needs to be educated about earthquake preparedness. Informing people on how to act before and after an earthquake can help society become more resilient.
- Using technological advances is also important. Technological tools such as advanced sensors, monitoring systems and artificial intelligence can be used for pre-earthquake warnings and damage assessment. This is important for rapid response and minimizing damage.

A combination of all these measures can help reduce damage to transportation systems in earthquakes and help society become more resilient. However, it is important that these measures are effectively implemented and continuously reviewed, as earthquakes can always be unexpected and it is critical that measures are up to date.

ISBN: 978-625-372-170-1

REFERENCES

Chang, S. E., & Nojima, N. (2001). Measuring post-disaster transportation system performance: the 1995 Kobe earthquake in comparative perspective. Transportation research part A: policy and practice, 35(6), 475-494.

Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (SBB),2023 Erişim Tarihi:20.04.2024 https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaras-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf

Demirören Haber Ajansı (DHA),2023 Erişim Tarihi:15.05.2024 https://www.dha.com.tr/foto-galeri/deprem-antakya-demirozu-karayolunu-yardi-2205150/1

D'Andrea, A., Cafiso, S., & Condorelli, A. (2005). Methodological considerations for the evaluation of seismic risk on road network. Pure and applied geophysics, 162, 767-782.

Gordon, P., Richardson, H., & Davis, B. (1998). Transport-related impacts of the Northridge earthquake.

Kahramanmaras Gazetesi (KG),2024 Erişim Tarihi:15.05.2024 https://kahramanmarasgazetesi.com.tr/3-sayfa/depremin-zarar-verdigi-demiryolu-hatlari-yenileniyor-38917h

Kim, S. H. (1993). A GIS-based regional risk analysis approach for bridges against natural hazards. State University of New York at Buffalo.

Kiremidjian, A. S., Mortgat, C., & Shah, H. (1992). Stanford Seismic Hazard Analysis-STASHA.

Panoussis, G. (1974). Seismic reliability of lifeline networks. MIT Department of Civil Engineering.

Selcuk, A. S., & Yucemen, M. S. (2000). Candamarı Sebekelerinin Deprem Güvenirligi. Turk J Engin Environ Sci, 24, 143-160.

Shinozuka, M., Moore, J., Gordon, P., Richardson, H. W., Chang, S., & Cho, S. B. (1998). An integrated model of highway networks and the spatial metropolitan economy: Towards a general model of how earthquake losses affect the economy. In NCEER Bulletin (pp. 8-15).

Werner, S. D., & Taylor, C. E. (1995). Demonstration Seismic Risk Analysis of Highway-Roadway System in Memphis, Tennessee. Dames & Moore.

Werner, S. D., Taylor, C. E., & Moore, J. E. (1997). Loss estimation due to seismic risks to highway systems. Earthquake Spectra, 13(4), 585-604.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Atık Seçimi İçin Gerekli Kriterlerin AHP Yöntemi Ile Değerlendirilmesi

Oğuzhan TURAN
Hasan Bilgehan KAPLAN
Mehmet Kaan TEMİZ
Mehmet PINARBAŞI

Özet

Üretim veya hizmet üretimi sonucunda sürecin artık ihtiyacı olmayan, kullanılamayan ve süreçten uzaklaştırılması gereken maddeler atık olarak adlandırılmaktadır. Atıkların herhangi bir şekilde bertaraf edilmemesi durumunda büyük çevre sorunları ile karşılaşılabilmektedir. Atıklar üretim, kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre genellikle katı, sıvı ve gaz şeklinde sınıflandırılsa da mühendislik anlamında birçok atık çeşidi bulunmaktadır. Atıklar çeşitlerine göre bertaraf veya yeniden kullanım süreçlerine dahil edilmektedir. Bu süreçlerde atıkları kullanabilmek için uygun atığın seçilmiş olması gerekmektedir. Üretim tesisleri üretim süreçlerinde ortaya çıkan atıkları sistemlerinden gerek teknik gerekse yasal açıdan uzaklaştırmak zorundadır. Bu konuda tesisler birtakım atık yüklenici firmalar ile iş birliği yapmaktadırlar. Bu çalışmada atık yüklenici bir firmanın bir atığı yüklenip yüklenmemesine nasıl karar vermesi gerektiği problemi üzerinde durulmuştur. Amaç yüklenici firmanın daha verimli ve etkili bir atık seçim süreci oluşturmasıdır. Bir yüklenici firmaya ulaşan birçok atık çeşidi içerisinden uygun atığın seçilmesi için gereken kriterlerin belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır. Yüklenici firmalar öncelikle en çok karı elde edecekleri atıkları seçme eğilimde olsalar da ilgili atığın arz sürekliliği, zehir oranı, su oranı, kalorifik değeri gibi birçok kriter de atığın yüklenici tarafından kabulünde etkili olmaktadır. Bu sebeple yüklenicinin atık seçimi üzerinde birçok kriter etkili olacaktır. Bu çalışmada atık seçimi üzerinde etkili olan kriterler birçok kriterli karar verme tekniği olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Atık seçimine etki eden 12 adet kriter uzmanlar ile grup karar verme tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan analitik değerlendirmelerde Atığın Birim Satış Fiyatı kriterinin atık seçimine en çok etki eden kriter olduğu görülürken Test Maliyeti kriterinin en az etkili olan kriter olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atık Seçimi, Seçim Kriterleri, Çok Kriterli Karar Verme, AHP

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü, sağlığı fiziksel, sosyal ve zihinsel olarak tam bir refah hali olarak tanımlamaktadır (WHO, 1948). Tanım, sağlıklı olmanın temel koşullarından birinin sağlıklı bir çevrenin varlığına bağlı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Akin, 2007). Özellikle sanayileşmenin hızla geliştiği günümüzde, çevre sorunları daha da önemli hale gelmektedir. Göç ve hızlı kentleşme, bu sorunların ciddiyetini artırırken, kentleşmenin getirdiği nüfus artışı, toplumun çeşitli hizmetlere olan talebini artırmış, bu hizmetleri sunacak kurumların sayısında da bir artışa neden olmuştur. En önemli çevre sorunlarının başında ise atıklar gelmektedir. Atıklar, çeşitli faaliyetlerin istenmeyen çıktıları olup, çevre ve insanlar için çeşitli sorunlar yaratmaktadır (Kızıldemir ve Sandıkçı, 2014). Atıkların üretilmesinden bertaraf edilmesine kadar insanlar atıklarla etkileşim halindedir. Bahsedilen etkileşim, atıkların insan sağlığını tehdit etmesine yol açmaktadır (Aydoğdu ve Çobanoğlu 2006).

Atıkların günümüzde önemli bir sorun olduğu dünya genelindeki çevreci örgütler ve devletler tarafından kabul edilmekle beraber kontrol edilmediği takdirde önüne geçilemez sorunlar yaratacağı da bu örgütlerin ve devletlerin yapmakta olduğu çalışmaların sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Atıklar; tüketimi, üretimi, kimyasal ve fiziksel özellikleri gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak sınıflandırılır. Bunlar genel olarak; katı atıklar, sıvı ve gaz atıklar, ambalaj atıkları ve sanayi atıkları olarak ayrıştırılabilir. Katı atıklara örnek olarak; evsel katı atıklar, tehlikeli atıklar, endüstriyel atıklar, tıbbi atıklar, tarımsal ve bahçe atıkları, inşaat artıkları, moloz artıkları ve özel atıklar sayılabilir (Gündüzalp ve Güven, 2016). Sıvı ve gaz atıklara örnek olarak; hastane kaynaklı olan kan, dişçilik yıkama suları, diyaliz makineleri suları, evsel kaynaklı olan temizlik suları ve kanalizasyon suları sayılabilir (Karasu, 2013). Ambalaj atıklarına örnek olarak ticari açıdan her türlü ambalaj atıkları örnek verilebilir. Ayrıca atıklar üretim fazlası olan, insan ve çevre sağlığı adına bertaraf edilmesi gereken maddelerdir.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı atık yönetimi yapmakta olup yönetmelikler bağlamında işletmelere birtakım yükümlülükler yüklemektedir. Bu yükümlülükler arasında atık yönetim planı hazırlama, atıkları türlerine göre ayrıştırma ve depolama, geri dönüşüm ve yeniden kullanım teşviki, tehlikeli atıkların güvenli yönetimi, düzenli beyan ve raporlama, çalışanların eğitimi, yasal uygunluk ve denetimlere uyma, diğer işletmeler ve yerel yönetimlerle iş birliği yapma, atık yönetimi maliyetlerini karşılama ve ulusal ve uluslararası çevre standartlarına uygunluk gibi maddeler bulunur. Bu yükümlülükler, işletmelerin çevreye zarar vermeden faaliyetlerini sürdürmesini ve yasal gerekliliklere uymasını sağlamayı amaçlar.

Atık bertarafını ticari bir iş olarak yürüten işletmeler için bu yükümlülüklerin yerine getirilmesi, hem çevreye duyarlı bir faaliyet yürütmeyi hem de rekabet avantajı elde etmeyi mümkün kılar. Rekabet avantajı için atık bertaraf şirketleri uygun atıkları alıp işletmek durumu ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu şirketler uygun atıkların seçilmesi için birtakım kriterlere de uymak durumdadır. Bir atığın kokusu, zehir miktarı, su miktarı, kalorifik değeri gibi birçok kriter bu kriterler arasında sayılabilir.

Bu çalışmada, atık bertarafını ticari bir iş olarak yapan bir işletmenin, atık seçimi için dikkate aldığı kriterlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu kriterler Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak stratejik bir planlama için kriterler ağırlıklandırılmıştır. Bu sayede, işletmenin atık yönetim planını daha verimli hale getirerek çevresel, ekonomik, teknik ve yasal faktörleri göz önünde bulundurmasını ve bu kriterleri sistematik bir şekilde değerlendirmesi sağlanmıştır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür taraması, atıkların seçimi ve bertarafı için çeşitli araştırmalar içermektedir. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir:

Ghose vd. (2006), çalışmalarında Batı Bengal Eyaleti (Hindistan) Asansol Belediye Şirketi (AMC) için uygun bir depolama, toplama ve bertaraf planı tasarlama ve geliştirme girişimini açıklamaktadırlar. Koushki, vd. (2004) Kuveyt'te belediye katı atık toplama ve taşıma sisteminin verimliliğini ve etkinliğini inceleyerek değerlendirmişlerdir. Wu vd. (2020) Çin'de kentsel atık toplama ve taşıma optimizasyon problemini çözmek adına bir model oluşturmuş ve bu modeli çözmek için özel algoritmalar tasarlamışlardır. Korkmazer vd. (2015) tehlikeli atık üreten işletmelerin atıklarını ekonomik ve zararsız olacak şekilde uzaklaştırılmasını ve bu uzaklaştırmayı yapabilecek en güvenilir yüklenici seçimini incelemişlerdir. Hasanov vd. (2013) enerji, ulaşım ve bertaraf maliyetleri olan kapalı döngü bir tedarik zinciri sistemi için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Dijkgraaf vd. (2004) iyi bilinen iki nihai atık bertaraf yöntemi olan yakma ve çöp satma yöntemini çevresel maliyetler açısından değerlendirmişlerdir. Gopalakrishnan vd. (2021) belediyelerin atık yönetimi çabalarının verimliliğini artırmalarına yardımcı olabilecek Blockchain tabanlı bir Katı Atık Yönetimi (SWM) modeli önermişlerdir. Pour vd. (2018) belediye katı atıklarını karbon yakalama ve depolama (BECCS) ile biyoenerji için bir kaynak olarak kullanmanın küresel potansiyelinin bir tahminini yapmışlardır. Gündüzalp ve Güven (2016) atıkları ayrıntılı bir şekilde inceleyerek atıklarla geri dönüşüm arasındaki ilişkiyi ön plana çıkarmaya çalışmışlardır. Kaçtıoğlu ve Şengül (2011) ambalaj atıklarının geri dönüşümü ile ilgili tersine dağıtım sisteminin planlanması ve işleyiş etkinliğinde karar almayı desteklemek için bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Eriksson vd. (2016) çalışmalarında, gıda atıklarının azaltılması, daha uzun raf ömrü, azaltılmış depolama sıcaklığı ve artan enerji maliyetleri arasındaki ilişkileri simüle ederek ve depolama sıcaklığını azaltarak süpermarketlerde gıda atıklarını azaltmanın net etkisini hesaplamışlardır. Ulucak ve Erdem (2012) çalışmalarında, 1960-2006 yıllarında Türkiye'nin CO2 emisyonlarını Lee-Strazicich yapısal kırılmalı birim kök testi yöntemiyle incelemişlerdir. Işıldar (2018) katık atık bertaraf etme yöntemine karar verme konusunu Ankara ili bazında değerlendirmiştir. Kılıç ve Tüylü (2019), Bursa'daki atık döküm kumlarının beton üretiminde ham madde olarak kullanılmasını araştırmışlarıdır. Aka vd., (2021) Endüstriyel atıkların geri dönüşümünde etkili olan kriterleri BWM yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Demirarslan ve Başak (2018) Doğu Karadeniz bölgesindeki illerin katı atık yönetimindeki performanslarını değerlendirmişlerdir. Ertaş vd. (2019) tıbbi atık yönetiminin nasıl düzenlenmesi gerektiğini ve nasıl atıkların daha etkili bertaraf edilebileceğini araştırmışlardır. Saltabaş vd. (2009) gelişmiş ülkelerde evsel katı atık bertaraf yöntemi olarak yaygın bir şekilde kullanılan atık yakma teknolojisinin dünyadaki genel durumu ve İstanbul'a uygulanabilirliğini değerlendirmişlerdir. Yapılan literatür araştırmasına göre bir atık bertaraf şirketi için işlenmesi gerekli atığın seçimine etki eden kriterlerin değerlendirilmesini ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

AHP Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), hiyerarşik bir yapıyı ele alan ve ikili karşılaştırma mantığına dayanan çok kriterli karar verme tekniğidir (Felek vd., 2007). Yöntem bir karar alma mekanizması olup, tahminleme yaparak karara etki eden kriterlerin ağırlıklarını hesaplamaktadır (Saaty, 1994). Yöntemin uygulama adımları şu şekildedir.

Adım 1. Karar problemi tanımlanır ve model kurulur.

Adım 2. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Matris karşılaştırma kriterlerden hangisinin daha önemli olduğunu göstermektedir. Saaty tarafından oluşturulan 1-9 ölçeğine göre karşılaştırmalar yapılır (Özcan vd., 2017). Ölçek Çizelge 1'de verilmiştir.

***Çizelge 1**: İkili Karşılaştırma Ölçeği*

Önem Ölçeği	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	İki seçenek eşit derece öneme sahiptir.
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğer kritere karşı biraz üstün kılmaktadır.
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğer kritere karşı oldukça üstün kılmaktadır.
7	Kuvvetli derecede önemli	Bir kriter diğer kritere göre üstün sayılmıştır.
9	Kesin önemli	Bir kriterin diğer kriterden daha üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahip.
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere ardışık iki yargı arasındaki değerlerdir.

Adım 3. Öncelik vektörlerinin hesaplanması

Karşılaştırma matrisleri ile ağırlıkların vektörü (w) bulunur. İlk olarak ikili karşılaştırma matrisi, A.w = $\lambda_{max}.w$ formülü normalize hale getirilir. Sonra ağırlıklar bulunur. Normalizasyon, $a_{ij}'nin$ bütün elemanlarının sütun toplamına bölünmesiyle bulunur (Özcan vd., 2017).

Ağırlık hesaplanması: wi= $\frac{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}}{n}$ (1)

Adım 4. Tutarlılık oranının bulunması (CR)

CR katsayısı, tutarlılık indeksinden (CI) sonra hesaplanır. İkili karar matrisi karşılaştırmalarında CR 0,01'den az olursa karar matrisi tutarlı kabul edilir.

CI hesaplanması; CI = $(\lambda_{max} - n)/(n-1)$ (2)

CR, CI'nın rastgele tutarlılık indeksine (RCI) bölünmesiyle bulunur.

CR değerinin hesaplanması; CR = CI / RI (3)

Tutarlılık oranı, CR'de hesaplandığında tamamlanır. Tutarlılık uygun çıkmaz ise ikili karşılaştırma matrisindeki değerler tekrardan kontrol edilmelidir (Özcan vd., 2017). Tutarlılık analizinde Çizelge 2'deki RI indisine bakılır (Önder vd., 2014).

***Çizelge 2**: RI İndisi*

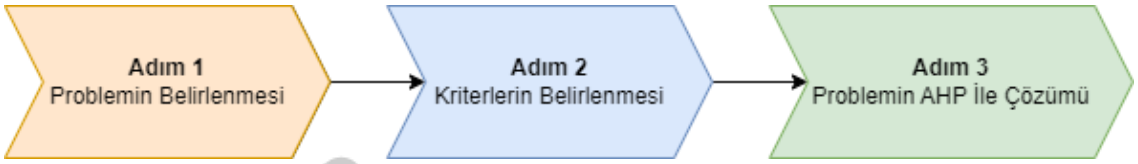
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.89	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

Adım 5. AHP değerlerinin analizi

Eldeki değerler tutarlı ise değeri kriterlerin ağırlıkları belirlenir (Özcan vd., 2017).

UYGULAMA

Çalışmada gerçekleştirilen uygulama Şekil 1'de verilen akış şemasına göre yürütülmüştür. Akış şeması problemin belirlenmesi, atık seçimine etki eden kriterlerin uzmanlarca grup karar verme yöntemi ile belirlenmesi ve AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırılması öğelerini içermektedir.



Şekil 1: *Çalışmanın Uygulama Adımları*

Problemin Belirlenmesi

Atık bertarafını ticari bir iş olarak yapan bir işletme için atık seçimi, çevresel, ekonomik, teknik ve yasal gereklilikler göz önünde bulundurularak en önemli problemlerden biridir. Bu süreçte, AHP yöntemi kullanılarak atık seçimi kriterlerinin değerlendirilmesi yapılacaktır. Bir bertaraf işletmesine fabrikalar tarafından birçok atık bertaraf başvurusu yapılmaktadır. Yapılan başvurulardaki atıkların çeşitleri birbirinden çoğunlukla farklıdır. Atık bertaraf şirketinin bu farklı atıklardan kendisine en uygun olanı seçmesi gerekmektedir. Atık şirketi bu seçimi yaparken doğal olarak kendisine en az maliyetli ve en çok fayda sağlayacağı atığı seçmek isteyecektir. Atığın seçimi için ise birden fazla birbiri ile çelişen kriterler söz konusudur. Bu kriterlere maliyet, betaraf yöntemi ve pazar payı gibi birçok kriter örnek verilebilir. Bu çalışmanın ele aldığı temel problem atık bertaraf şirketi adına bertaraf için başvurulan atıklardan uygun atığın seçilmesi problemidir.

Kriterlerin Belirlenmesi

Atık bertarafını Ticari bir iş olarak yapan bir işletmenin atık seçimi kapsamında değerlendirilecek olan 12 kriter literatür taraması ve uzman görüşleri ile oluşturulmuştur.

K-1 Satın Alma Maliyeti: Atıkların bertarafı için satın alma maliyeti, atıkların uygun şekilde toplanması, taşınması, işlenmesi ve gereken hizmetlerin veya ekipmanların edinilmesi sürecinde oluşan maliyetleri kapsamaktadır.

K-2 Taşıma Maliyeti: Taşıma maliyeti, atıkların kaynak noktasından bertaraf tesisine taşınması için gereken lojistik işlemlerinin ve nakliye hizmetlerinin maliyetlerini içermektedir (Das vd., 2015).

K-3 Bertaraf Maliyeti: Atıkların bertaraf edildiği yerde gerçekleştirilen tüm süreçlerin maliyetini kapsamaktadır (Adar vd., 2017).

K-4 Depolama Maliyeti: Depolama maliyeti, atıkların özel olarak tasarlanmış depolama alanlarına taşınması ve burada saklanması sürecinde oluşan maliyetleri içermektedir (Gopalahrishnan, vd., 2021).

K-5 Test Maliyeti: Test maliyeti, atıkların çeşidine ve özelliklerine bağlı olarak yapılan laboratuvar testleri için oluşan maliyetleri kapsamaktadır.

K-6 Atık Miktarı: Atık yönetimi sürecinde önemli bir parametredir ve atıkların toplam hacmini veya kütlesini ifade etmektedir. Sürdürülebilir talep için oldukça önemlidir.

K-7 Pazar Sirkülasyonu: Pazar sirkülasyonu, atıkların ekonomiye geri dönüşüm veya yeniden kullanım yoluyla dahil edilmesini ifade etmektedir.

K-8 Pazar Payı: Belirli bir endüstride veya atık yönetimi sektöründe belirli bir atık türünün veya hizmetin pazar içindeki değerinin yüzdesel olarak ifadesidir.

K-9 Taşıma Yöntemi: Taşıma yöntemi, atıkların kaynak noktasından bertaraf veya işleme yerine taşınması sürecini ifade etmektedir. Bu yöntemler, atıkların çeşidine, miktarına, taşınacak mesafeye ve yerel düzenlemelere bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

K-10 Bertaraf Yöntemi: Atıkların kaynak noktasından alınarak son kullanım yerine taşınması ve uygun yöntem ile işlenip bertaraf edilmesini ifade eder. İyi bilinen iki nihai bertaraf yöntemi vardır. Bunlar yakma ve çöp satma yöntemleridir (Dijkgraaf vd., 2004).

K-11 Atığın Birim Karı: Atıkların satışından veya işlenmesinden elde edilen gelirden, üretim veya işleme maliyetlerine hesaplanan kar miktarını ifade etmektedir.

K-12 Atığın Satılabilirliği (kalite): Atıkların belirli bir pazarda veya endüstride değer kazanma potansiyelini ifade etmektedir.

Problemin AHP ile Çözümü

Problemin çözümü için öncelikle kriterler belirlenerek hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 3'te verilmiştir.

***Çizelge 3**: İkili Karşılaştırma Matrisi*

Kriterler	**K-1**	**K-2**	**K-3**	**K-4**	**K-5**	**K-6**	**K-7**	**K-8**	**K-9**	**K-10**	**K-11**	**K-12**
K-1	1,00	3,00	5,00	4,00	3,00	2,00	4,00	4,00	3,00	4,00	2,00	2,00
K-2	0,33	1,00	3,00	2,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00	1,00
K-3	0,20	0,33	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00
K-4	0,25	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00
K-5	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
K-6	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	1,00
K-7	0,25	0,33	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	3,00	2,00	1,00
K-8	0,25	0,33	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00
K-9	0,33	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00
K-10	0,25	0,33	0,50	0,33	0,50	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
K-11	0,50	0,50	0,33	1,00	1,00	0,33	0,50	0,33	0,50	1,00	1,00	4,00
K-12	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	1,00
Toplam	**4,70**	**8,67**	**16,33**	**13,33**	**16,50**	**12,67**	**16,33**	**17,67**	**17,50**	**28,00**	**21,25**	**16,00**

Toplamların sütundaki her bir hücreye bölünmesiyle Çizelge 4'teki normalize karar matrisi elde edilmiştir.

***Çizelge 4**: Normalize Karar Matrisi*

Kriterler	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10	K-11	K-12
K-1	0,21	0,35	0,31	0,30	0,18	0,16	0,24	0,23	0,17	0,14	0,09	0,13
K-2	0,07	0,12	0,18	0,15	0,18	0,16	0,18	0,17	0,11	0,11	0,09	0,06
K-3	0,04	0,04	0,06	0,08	0,12	0,08	0,06	0,06	0,06	0,07	0,14	0,06
K-4	0,05	0,06	0,06	0,08	0,06	0,16	0,12	0,11	0,11	0,11	0,05	0,06
K-5	0,07	0,04	0,03	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06
K-6	0,11	0,06	0,06	0,04	0,06	0,08	0,06	0,11	0,11	0,11	0,14	0,06
K-7	0,05	0,04	0,06	0,04	0,06	0,08	0,06	0,06	0,11	0,11	0,09	0,06
K-8	0,05	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,11	0,14	0,06
K-9	0,07	0,06	0,06	0,04	0,06	0,04	0,03	0,06	0,06	0,07	0,09	0,06
K-10	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,06	0,04	0,05	0,06
K-11	0,11	0,06	0,02	0,08	0,06	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,25
K-12	0,11	0,12	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,04	0,01	0,06

Normalize karar matrisi elde edildikten sonra AHP işlem adımları uygulanarak kriter ağırlıklarına ulaşılmıştır. Elde edilen kriter ağırlıkları Çizelge 5'te verilmiştir.

***Çizelge 5**: Sonuç Tablosu*

Kriterler	Kriter Ağırlıkları
K-1	0,2091
K-2	0,1326
K-3	0,0723
K-4	0,0860
K-5	0,0592
K-6	0,0835
K-7	0,0688
K-8	0,0647
K-9	0,0583
K-10	0,0371
K-11	0,0631
K-12	0,0652

Hesaplanan kriter ağırlıklarının toplamları 1 ve tutarlılık oranı 0,07 olarak bulunmuştur. Bu durum çalışmanın tutarlı olduğunu göstermektedir. AHP çözümü sonucunda en önemli kriter satın alma maliyeti olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşıma maliyeti ikinci sırada bertaraf maliyeti ise son sırada yer almaktadır. Elde edilen sonuçların gerçek yaşam ile tutarlı olduğu söylenebilir.

SONUÇ

Bu çalışmada, işletmelerin atık bertarafı konusunda karşılaştıkları zorluklara ve çözüm yollarına odaklanılmıştır. Atık yönetimi, sadece çevre için değil, aynı zamanda işletmelerin sürdürülebilirliği ve rekabet avantajı için de kritik bir öneme sahip olmaktadır. AHP yöntemiyle atık seçimi kriterlerinin değerlendirilmesi, işletmelerin atık yönetim stratejilerini optimize etmelerine yardımcı olabilir. Bu analiz, işletmelerin atık bertarafı için en uygun stratejileri belirlerken çevresel, ekonomik, teknik ve yasal faktörleri dengeli bir şekilde değerlendirmelerine olanak tanımaktadır. Yapılan analizlerde satın alma maliyeti ve taşıma maliyeti en önemli iki kriter olarak tespit edilmiştir. Ağırlığı en düşük olarak son sırada değerlendirilen kriter ise bertaraf maliyeti olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, işletmelerin çevresel ve yasal yükümlülüklerini yerine getirirken aynı zamanda operasyonel verimliliklerini artırmalarına yardımcı olacaktır.

Bu çalışma gelecekte birçok yeni çalışmaların yapılmasına olanak sağlar. Kriter ağırlıklarının AHP yöntemi dışında ANP gibi yöntemler ile değerlendirilmesi bir gelecek çalışma önerisidir. Bunun yanı sıra TOPSIS, PROMETHEE gibi seçim algoritmaları kullanılarak belirlenen kriter ağırlıkları ile alternatif atıkların değerlendirilmesi umut verici bir gelecek çalışma olacaktır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Aka, D. Ç. (2021). Endüstriyel atık geri dönüşümünde etkili olan karar kriterlerinin bwm ile değerlendirilmesi: plastik, cam ve çelik endüstrisinde uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 390-398.

Akin, C. S. (2007). *Sağlık ve sağlık harcamalarının ekonomik büyüme üzerine etkisi: Türkiyede sağlık sektörü ve harcamaları*(Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).

Aydoğdu, İ., & Çobanoğlu, N. (2006). Tıbbi atıkların yönetimi, toplanması, taşınması ve bertarafında yerel yönetimler tarafından uyulacak esaslar.

Das, S., & Bhattacharyya, B. K. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*, *43*, 9-18.

Demirarslan, K. O., & Başak, S. (2018). Doğu Karadeniz Bölgesi illeri katı atık yönetimi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, *1*(3), 117-132.

Dijkgraaf, E., & Vollebergh, H. R. (2004). Burn or bury? A social cost comparison of final waste disposal methods. *Ecological Economics*, *50*(3-4), 233-247.

Eriksson, M., Strid, I., & Hansson, P. A. (2016). Food waste reduction in supermarkets–Net costs and benefits of reduced storage temperature. Resources, Conservation and Recycling, 107, 73-81.

Ertaş, H., & Güden, M. A. (2019). Hastanelerde Tibbi Atik Yönetimi. *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, (1), 53-67.

Felek, S., Yurdakul, Y., & Aladağ, Z. (2007). Mobil Iletişim Sektöründe Pazar Paylaşiminin Tahmininde Ahp Ve Anp Yöntemlerinin Kiyaslamasi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, *18*(1), 6-22.

Ghose, M. K., Dikshit, A. K., & Sharma, S. K. (2006). A GIS based transportation model for solid waste disposal–A case study on Asansol municipality. *Waste management*, *26*(11), 1287-1293.

Gopalakrishnan, P. K., Hall, J., & Behdad, S. (2021). Cost analysis and optimization of Blockchain-based solid waste management traceability system. *Waste Management*, *120*, 594-607.

Gündüzalp, A. A., & Güven, S. (2016). Atık, çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici: Çankaya belediyesi ve semt tüketicileri örneği. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, *9*(1), 1-19.

Hasanov, P., Jaber, M. Y., Zanoni, S., & Zavanella, L. E. (2013). Closed-loop supply chain system with energy, transportation and waste disposal costs. *International Journal of Sustainable Engineering*, *6*(4), 352-358.

Işıldar, A. (2018). *Çok kriterli karar verme yöntemleriyle katı atık bertaraf yöntemi seçimi* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Kaçtıoğlu, S., & Şengül, Ü. (2011). Erzurum kenti ambalaj atiklarinin geri dönüşümü için tersine lojistik ağı tasarimi ve bir karma tamsayili programlama modeli. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, *24*(1), 89-112.

Karasu, A. (2013). *Çevresel atıklar, nedenleri, çevresel atıkların geri dönüştürülmesi ve yenilenebilir enerji olanaklarının araştırılması* (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Koushki, P. A., Al-Duaij, U., & Al-Ghimlas, W. (2004). Collection and transportation cost of household solid waste in Kuwait. *Waste management*, *24*(9), 957-964.

Kılıç, M. Y., & Tüylü, M. (2019). Bursa'daki Atık Döküm Kumlarının Endüstriyel Simbiyo İle Hazır Beton Üretiminde Ham Madde Olarak Kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, *24*(1), 99-110.

Kızıldemir, Ö., & Sandıkcı, M. (2017). Otel İşletmelerinde Kati Atik Yönetimi: Ön Büro Departmanindaki Uygulamalara Yönelik Bir Araştirma. *Turar Turizm ve Araştırma Dergisi*, *3*(2), 42-69.

Korkmazer, C., Aktar Demirtaş, E., & Erol, D. (2016). Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile atık bertaraf firması seçimi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, *22*(4).

Önder, E., Önder, G., Kuvat, Ö., & Taş, N. (2014). Identifying the importance level of factors influencing the selection of nursing as a career choice using AHP: Survey to compare the precedence of private vocational high school nursing students and their parents. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *122*, 398-404.

Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., & Eren, T. (2017). A combined goal programming–AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *78*, 1410-1423.

Pour, N., Webley, P. A., & Cook, P. J. (2018). Potential for using municipal solid waste as a resource for bioenergy with carbon capture and storage (BECCS). *International Journal of Greenhouse Gas Control*, *68*, 1-15.

Saaty, T. (1980, November). The analytic hierarchy process (AHP) for decision making. In *Kobe, Japan* (Vol. 1, p. 69).

Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, *24*(6), 19-43.

Saltabaş, F., Soysal, Y., Yıldız, Ş., & Balahorli, V. (2009). Evsel katı atık termal bertaraf yöntemleri ve İstanbul'a uygulanabilirliği. *Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu'nda sunulan bildiri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*, 15-17.

Ulucak, R., & Erdem, E. (2014). Çevre-İktisat İlişkisi Ve Türkiye'de Çevre Politikalarının Etkinliği. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, *4*(6), 78-98.

Wu, H., Tao, F., & Yang, B. (2020). Optimization of vehicle routing for waste collection and transportation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(14), 4963.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Material Tests Carried Out During Interior Product Development At Tofas Interior Design Administration

Hami Güler[1]

Abstract

Material testing is one of the indispensable requirements for every component developed in the automotive industry. Because before a product is put into use, it must have the durability to cope with possible situations that the vehicle may encounter throughout its life. These situations are simulated in the cabins where the tests will be carried out. Difficult situations that the product may be exposed to for years are compressed into days in these cabins. In this way, the status of the product to be developed is analyzed as a result of the conditions. Of course, first you need to look at which part of the vehicle the product was developed for. Because each vehicle region has different norms, test conditions and requirements compared to others.In this study, the testing processes of the part developed for use in the series under the umbrella of Tofaş and for use in the interior instrument panel area are discussed. It was investigated what tests were subjected to mass production, what was the condition of the product during these test processes, and what changes were made to ensure that the product could pass the tests it could not pass. The main parameters in the tests can be summarized as temperature, humidity, light, time, chemical resistance and cycles. Temperature is perhaps the most important parameter here. Since the developed product is located on the vehicle control panel, it will be exposed to direct sunlight throughout its lifetime. It would be much wiser to learn the answer to the question of what happens if the product is left under the sun for a long time. Such situations need to be clarified before customer use. Tests are actually the final rehearsal of the product before customer use. For this reason, it is indispensable in the sector. Because possible errors need to be noticed before the customer.

Keywords: thermal cycle, chemical resistance, humudity, xenon fading, norm, condition

[1]Researcher, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş R&D Center, Bursa, Türkiye

ISBN: 978-625-372-170-1

In the dynamic world of automotive engineering, the quest for innovation and excellence extends far beyond the vehicle's exterior and engine performance. A crucial aspect often overlooked yet paramount in providing a seamless driving experience is the interior components. From dashboards to door panels, the materials used in automotive interiors must withstand a myriad of environmental stresses to ensure longevity and aesthetic appeal. Material testing plays a pivotal role in ensuring these components meet rigorous standards for durability, especially under conditions such as thermal cycles, humidity, xenon exposure, and heat aging.

Understanding Material Testing

Material testing involves subjecting automotive interior components to a series of simulated environmental conditions to evaluate their performance and durability over time. These tests are conducted to assess various factors such as mechanical strength, thermal stability, chemical resistance, and resistance to environmental factors like humidity and UV radiation.

Thermal Cycle Testing

One of the most critical tests for automotive interior materials is thermal cycle testing. This involves subjecting the materials to alternating cycles of extreme temperatures to simulate real-world conditions. For example, during summer months, temperatures inside a vehicle can soar, while in winter, they can plummet. Thermal cycle testing ensures that materials do not warp, crack, or lose their structural integrity when exposed to such temperature fluctuations.

Humidity Testing

Humidity can be a significant challenge for automotive interior materials, particularly in regions with high levels of moisture in the air. Humidity testing involves exposing materials to controlled levels of moisture to assess their resistance to mold, mildew, and degradation. This is crucial for components such as seat fabrics, carpets, and headliners, which are susceptible to moisture-related damage.

Xenon Exposure Testing

Exposure to UV radiation, particularly in the form of xenon light, can cause fading, discoloration, and deterioration of automotive interior materials over time. Xenon exposure testing simulates prolonged exposure to sunlight by subjecting materials to high-intensity xenon light in controlled conditions. This helps manufacturers evaluate the long-term colorfastness and stability of materials, ensuring that they retain their appearance and integrity throughout the vehicle's lifespan.

Heat Aging Testing

Heat aging testing assesses how materials withstand prolonged exposure to elevated temperatures, such as those experienced inside a parked vehicle on a hot day. Prolonged exposure to heat can accelerate material degradation, leading to cracking, warping, or loss of mechanical properties. Heat aging testing helps manufacturers identify materials that can withstand such conditions without compromising performance or safety.

Advancements in Material Testing Techniques

Recent advancements in material testing techniques have enabled automotive manufacturers to conduct more comprehensive and accurate evaluations of interior materials. Advanced imaging technologies, such as 3D scanning and microscopy, allow for detailed analysis of material microstructure and surface characteristics, providing insights into their performance under various stress conditions.

Furthermore, computer-aided simulation and modeling techniques enable engineers to predict material behavior and performance with greater accuracy, reducing the need for physical prototypes and accelerating the product development process.

Conclusion

In the competitive automotive industry, where innovation and quality are paramount, material testing plays a crucial role in ensuring that interior components meet stringent standards for durability, performance, and aesthetics. By subjecting materials to rigorous testing regimes that simulate real-world conditions such as thermal cycles, humidity, xenon exposure, and heat aging, manufacturers can identify and develop materials that withstand the rigors of everyday use while providing a superior driving experience for consumers. As technology continues to advance, material testing techniques will evolve, enabling even greater precision and efficiency in the development of automotive interior components.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

R. Rudrapati, P.K. Pal, O. Joydeep, On the relationship between laser welding process variables in through-transmission laser welding (TTLW) of polycarbonate plastics, Lasers Eng. 44 (2019) 51–65.

R.B. Azhiri, J.F. Sola, R.M. Tekiyeh, F. Javidpour, A.S. Bideskan, Analyzing of joint strength, impact energy, and angular distortion of the ABS friction stir welded joints reinforced by nanosilica addition, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 100 (2019) 2269–2282, **https://doi.org/10.1007/s00170-018-2761-8**.

S. Arai, Y. Kawahito, S. Katayama, Effect of surface modification on laser direct joining of cyclic olefin polymer and stainless steel, Mater. Des. 59 (2014) 448–453, **https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.018**.

K. H. Zia, H. N. Bhatti, I. A. Bhatti, React. Funct. Polym. 2007, 67, 675 –692

Benyathiar, P., Kumar, P., Carpenter, G., Brace, J., & Mishra, D. K. (2022). Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review. Polymers, 14(12), 2366. **https://doi.org/10.3390/polym14122366**

S. M. Al-Salem, P. Lettieri, J. Baeyens, Prog. Energy Combust. Sci. 2010, 36, 103 – 129.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Teleferik Personeli İstekleriyle Vardiya Dengelemesi İçin Personel Çizelgelemesi

Muhammed Abdullah GENÇER[1]
Hacı Mehmet ALAKAŞ[2]
Mehmet PINARBAŞI[3]
Tamer EREN[4]

Özet

Günümüzde kentlerde nüfusun artmasıyla birçok alternatif toplu taşıma aracı kullanılmaktadır. Otobüs, demiryolu ulaşım ağının dışında ulaşım sistemlerine entegre ya da ayrı olarak alternatif ulaşım sistemleri planlanmaktadır. Bu ulaşım sistemlerinden birisi teleferiktir. Genellikle turistik amaçlı kullanılsa da bazen diğer ulaşım sistemlerine entegre olarak yolcu aktarma, taşıma amaçlı kullanılmaktadır. Yolcu taşımacılığında teleferik direkler vasıtasıyla belirli yükseklikten hareket ettiğinden güvenlik problemi ortaya çıkabilmektedir. Dolayısıyla bakımı ve işletmesi devamlılık gerektirmektedir. Teleferiğin bakımını ve işletmesini personel yaptığından personel çizelgeleme problemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, teleferik hattı personeli için vardiya çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Personelin istekleri dikkate alınarak vardiya ücretlerinin dengeli dağıtılması istenmiştir. Personelin vardiyalara eşit ve dengeli dağıtılması amacıyla hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Modelin çözüm sonuçları değerlendirildiğinde vardiyalarda önemli bir denge sağlandığı görülmüştür. Böylece personelin beklentisi olan vardiya ücretlerinin de eşit dağıtılması sağlanmıştır. Literatürde teleferikle ilgili optimizasyon çalışmaları oldukça az olduğundan bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Hedef Programlama, Personel çizelgeleme, Teleferik, Toplu ulaşım

[1] Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, abdullahgencer_71@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9955-5468
[2] Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, hmalagas@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9874-7588
[3] Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, mehmetpinarbasi71@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3424-2967
[4] Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, tamereren@gmail.com,ORCID ID: 0000-0001-5282-3138

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Teleferik sistemleri çoğunlukla birçok şehirde turistik amaçlı kullanılmaktadır. Ancak bazı şehirlerde yolcu taşımacılığı amacıyla da kullanılmaktadır. Coğrafi olarak ulaşılması zor ve engebeli bölgelerde yolcu taşımacılığında tercih edilmektedir (referans). Yolcu seyahatleri halatlar vasıtasıyla kabinler tarafından sağlanmaktadır. Yolcu sayılarını kabinlerin yolcu kapasitesi etkilemektedir. Halatlar çoğu zaman belirli aralıklarla koyulan direkler tarafından desteklenir. Halat, makaralar yardımıyla kabinleri hareket ettirmektedir. Böylelikle kabin seferleri yolcuları istedikleri yer ulaştırabilir.

Birçok toplu ulaşım sektöründe olduğu gibi teleferik sistemi de personel vasıtasıyla yürütülmektedir. Personelin görevleri yapılan işe göre değişebilmektedir. Teleferik kabinleri belirli yükseklikten seferlerini gerçekleştirdiğinden sistemin düzenli olarak kontrolü gerekmektedir. Personel görevleri, kontroller ve işletmenin gerçekleştirilmesi personel planlama problemini ortaya çıkarmaktadır. Literatürde teleferikle ilgili çoğunlukla inceleme ve araştırma problemleri yer almaktadır. Planlama ve çizelgelemeyle ilgili problemi ele alan çalışmaya rastlanmamıştır. Konuyla ilgili öncelikle personel çizelgeleme ve teleferikle ilgili çalışmalar özetlenmiştir. Personel çizelgeleme konusunda birçok alanda çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların hepsine burada yer veremeyeceğimizden bazıları bu çalışmada özetlenmiştir. Ünal ve Eren (2016) bir devlet kurumunda nöbet tutan personel için ağırlıklı hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Varlı ve Eren (2017) Kırıkkale ilinde bir hastanenin bazı bölümlerinde hemşirelerin adil ve dengeli çizelgelenmesi için hedef programlama yöntemi gösterilmiştir. Demirel vd. (2018) Ankara'da bir raylı sistem hattında görev yapan güvenlik personelinin çizelgelenmesi için hedef programlama yöntemi kullanmışlardır. Koçtepe vd. (2018) bir firmanın bayi toplantısında personel niteliklerini değerlendirerek tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Uslu vd. (2018) bir hastanede hemşirelerin özel isteklerini yerine getirecek ve görev dengesizliklerini ortadan kaldıracak 0-1 hedef programlama yöntemi önermişlerdir. Yelek vd. (2018) Kırıkkale üniversitesinin part-time çalışan öğrencilerin planlanması için hedef programlama yöntemi geliştirmişlerdir. Eren vd. (2019) üniversitede görev yapan güvenlik görevlilerinin vardiya çizelgelemesi için kısıt programlama yaklaşımı önermişlerdir. Yelek vd. (2019) raylı sistem istasyon şeflerinin çizelgelemesi için hedef programlama yöntemi kullanmışlardır. Cürebal vd. (2020) Kapadokya'da tanıtım organizasyonu görevleri için öncelikle AHP ile personel önceliklendirmişler ve hedef programlama yöntemiyle çözmüşlerdir. Cürebal ve Eren (2020) Ankarada bir hastanede Covid-19 döneminde personel nitelikleri AHP-TOPSİS yöntemiyle değerlendirilerek güvenlik personeli çizelgelemesi için hedef programlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Eren vd. (2021) tanıtım personeli çizelgelemesi için hedef programlama yöntemi önermişlerdir. Akdaş ve Eren (2022) bir kamu kurumunda eşit ve adaletli çizelgeleme için hedef programlama yöntemi önermişlerdir. Akgönül vd. (2022) bir firmada personelin nitelikleri ve fiziksel risk faktörleri REBA ile değerlendirmiş ve hedef programlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Şeker vd. (2022) lojistik firmasında görev yapan şoförlerin çizelgelenmesi amacıyla hedef programlama modeli kullanmışlardır. Aksüt vd. (2023) üretim yapan bir şirkette personelin fiziksel riskleri REBA ile değerlendirilmiş ve ergonomik riskleri azaltmak için hedef programlama yöntemi geliştirmişlerdir. Gençer vd. (2023a) arıza tahminine dayalı bakım personeli nitelikleriyle vardiya çizelgelemesi için hedef programlama modelini kullanmışlardır. Gençer vd. (2023b) ambarda görev yapan personelin nitelikleriyle malzeme geliş zamanları dikkate alınarak personel çizelgelemesi için hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Sarımehmet vd.

(2023) çiftçilerle birlikte hasat zamanı günlerinin planlanması için hedef programlama yöntemi kullanmışlardır. Yazıcı vd. (2023) dava dosyalarının avukatlar arasında dengeli dağıtılması amacıyla hedef programlama yöntemi önermişlerdir.

Cooper vd. (2017) Birleşik Krallığın kentsel teleferiğinde projenin içeriğiyle ilgili bilgi sunmuştur. Diez vd. (2017) Metro de Medellin teleferik hattının da yer aldığı çok modlu toplu taşıma sisteminde uygun elektrik altyapısının belirlenebilmesi için sistemin güç talebini karşılamak, tüketimleri değerlendirmek amacıyla simülasyon kullanmışlardır. Lu ve Wei (2017) Huangshan'da sekiz teleferik hattı k-ortalama kümelemesiyle analiz etmişlerdir. Yolcu akışı için mekansal-zamansal dağılım modeli ve turistik rotası önermişlerdir. Thaler vd. (2017) teleferiğin halat türü ve teleferik kütlesi için en uygun destek konumlarını hesaplamak maliyet fonksiyonu tanımlamışlardır. Fedorko vd. (2018) teleferikte girdi faktörlerinin analizi ve uygulamasında kullanılan yaklaşımları değerlendirmişlerdir. Değerlendirme sonucunda ayrık simülasyon modelini sunmuşlardır. Sutopo vd. (2019) teleferiğin potansiyel amaçları belirlenerek rotalar elde etmişlerdir. Teleferik hattı için başlangıç noktası ve kriterlere dayalı konum analiziyle istasyon konumları önermişlerdir. Wenin vd. (2020) teleferik kabinlerini taşıyan destek kafalarının optimal şeklinin belirlenebilmesi ve salınımının azaltılması için kısıtlamalarla birlikte maliyet fonksiyonu tanımlamışlardır. Kortoçi ve Kortoçi (2021) Arnavutluk'taki bir ormandan teleferikle odun çıkarma işinde çalışma sürelerini ve verimliliği değerlendirmişlerdir.

Teleferikle ilgili çalışmalar değerlendirildiğinde çoğunlukla analiz ve yer belirleme amacıyla çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Çalışmalarda herhangi bir modellemeye rastlanmamıştır. Bu çalışmada, teleferik hattında görev yapan personelin vardiyaların adaletli ve eşit dağıtılması problem ele alınmıştır. İstasyonlarda personel ihtiyaçları, sorumlu personel ve diğer kısıtlarla problem çözülmüştür. Çözüm sonucunda teleferik personelinin vardiyalarında ve toplam çalışma günlerinde önemli denge sağlanmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde teleferiğin tanımı ve içeriği, personelin önemi ve konuyla ilgili literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir. İkinci bölümde teleferik personeli çizelgeleme probleminin tanımı ve özelliklerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan yönteme değinilmiştir. Dördüncü bölümde problemin tanımı, hedef programlama modeli, modelin çözümü ve sonuçların değerlendirilmesi gösterilmiştir. Beşinci bölümde çalışmanın sonucuna değinilmiştir.

TELEFERİK PERSONELİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Teleferik yolcu taşıma hizmeti dünyada birçok şehirde kullanılmaktadır. Teleferiğin turist amaçlı gezilerden, yolcu taşımacılığına farklı amaçlar için yapıldığı görülmektedir. Bazen taşımacılık için de kullanılmaktadır. Teleferik hizmetinin amacını gerçekleştirmek için personele ihtiyaç duyulmaktadır. Personel teleferik işletmesini ve bakımını gerçekleştirmektedir. Özellikle yolcu taşımacılığı aralıksız sürdürülmesi gereken bir hizmet olduğundan personel vardiyalı çalışmaktadır. Vardiya görevleri kabin kontrolü, yolcu iniş-biniş kontrolü, sistemin işleyişinin kontrolü ve bakım olarak gerçekleşmektedir.

Teleferik yolcu taşımacılığı, makaraların çevirdiği halatlar vasıtasıyla yolcu kabinlerinin bir hat boyunca gidip gelmesidir. Kabinler bir döngüde sürekli çalışmaktadır. Kabin içeriği ve büyüklüğü kullanılma amacına, topografik yapıya, yolcu sayısına göre değişebilmektedir. Tek bir teleferik kabinin alabildiği yolcu sayısı 2-80 kişiye kadar değişebilmektedir. Teleferik hava şartlarından etkilenebildiğinden bazı durumlarda işletme duraklatılabilir. Kabinler belirli yükseklikten hareket ettiğinden bakımlarının ve kontrollerinin sağlanması önemlidir.

Teleferik personeli işletmeyi ve bakımı yapan personel olarak ayrılabilir. İşletme personeli teleferik taşınmasını kumanda ederken bakım personeli kabin, direkler ve sistemi kontrol edebilmektedir. Teleferik durakları ve istasyonları belirli aralıklarla olduğundan personel ihtiyaçları da bu istasyonlarda gereklidir. Sürekli kontrolün olması ve istasyonların bulunması personelin vardiyalı çalışmasını gerektirmektedir. Personel ihtiyacı, işletme

koşulları, yasal zorunluklar işletme kısıtlarıyla bir araya geldiğince teleferik personel çizelgeleme problemi meydana gelmektedir.

HEDEF PROGRAMLAMA

Kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirildiği birçok çok kriterli yöntem bulunmaktadır. Hedef programlama çok kriterli karar verme yöntemlerinden olduğundan birden çok amacı gerçekleştirmemize olanak sağlar. Modelde kısıtlar ve gerçekleştirmek istenen hedefler oluşturulur. Belirlenen kısıtları sağlayarak istenen hedeflerle optimum çözüme ulaşmaya çalışır. Çözümü gerçekleştirirken sapma değişkenlerini kullanır. Sapma değişkenleri hedeften en az sapmayla çözümü değerlendirir. Sapma değişkenleri öncelik ve ağırlık değerleri verilebilir. Sapma değişkenlerinden pozitif sapma değişkeni d_i^+ ve negatif sapma değişkeni d_i^- simgesiyle gösterilmektedir. Mümkün olduğunca hedeflenen değere ulaşmak için sapma değişkeninin 0 olması istenir. Hedef programlama modelinin genel gösterimi şu şekildedir.

x_j : j. Karar değişkeni $j=1,\ldots,n$

d_i^+: i. hedefin pozitif sapma değişkeni $i=1,\ldots,k$

d_i^-: i. hedefin negatif sapma değişkeni $i=1,\ldots,k$

a_{ij} : i. hedefin j. karar değişkeni katsayısı $i=1,\ldots,k\ j=1,\ldots,n$

b_i:i. Hedef için ulaşılmak istenen değer $i=1,\ldots,k$

Amaç fonksiyonunun gösterimi şu şekildedir:

Minimize $Z = \sum_{i=1}^{k}(d_i^+ + d_i^-)$

$$\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j - d_i^+ + d_i^-)=b_i \qquad i=1,\ldots,k \qquad (1)$$

$$x_j,\ d_i^+,\ d_i^- \geq 0 \qquad i=1,\ldots,k\ j=1,\ldots,n \qquad (2)$$

UYGULAMA

Teleferik istasyonlarında toplam 27 personel görev yapmaktadır. Bu personelden bazıları sorumlu personel olarak her vardiyada bulunmalıdır. Personelin en önemli beklentisi vardiya ücretlerinin eşit dağılması olduğundan vardiya görevlerinin ve aylık toplam çalışma sürelerinin eşit dağılması amaçlanmıştır. İstasyonlarda personel ve sorumlu personel ihtiyaçları işletme kısıtlarıyla değerlendirilerek aylık vardiya çizelgelemesi oluşturmak için hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Uygulamanın akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. *Uygulamanın Akış Şeması*

Problemin tanımı

Teleferiğin işletilmesi ve bakımında görev yapan 27 personel V1 (Sabah), V2 (Akşam) ve V3 (Gece) vardiyalarında çalışmaktadır. Personelin en önemli beklentisi vardiya ücretlerinin eşit ve dengeli dağıtılmasıdır. Bu dengesizliği, personelin huzursuzluğunu gidermek için personelin atamalarında vardiyaların ve toplam çalışma günlerinin eşit dağılması istenmiştir. Personel arasında sekiz personel sorumlu olarak görev yapmaktadır. Sorumlu personel her vardiyada en az bir tane bulunmalıdır. İstasyonlarda bulunması gereken personel sayıları ve belirtilen kısıtlarla birlikte aylık çizelgelemesi için hedef programlama modeli oluşturulmuştur.

Hedef programlama modeli

Teleferik istasyonlarında görev yapan personelin vardiya ücretlerinin dengeli dağılması için oluşturulan hedef programlama modelinde 7 kısıt ve 3 hedef belirlenmiştir.

Parametreler

i: personel indeksi (27 personel)

j: gün indeksi (30 gün)

k: vardiya indeksi (3 vardiya)

l: istasyon indeksi (4 istasyon)

İstasyon sorumluları s=2,7,9,11,14,17,22,24

Karar değişkenleri

$$\boldsymbol{x_{ijkl}} = \begin{cases} 1, & i.personel\ j.günde\ k.vardiyaya\ l.istasyona\ atanırsa \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases}$$

$$\boldsymbol{h_{ij}} = \begin{cases} 1, & i.personel\ j.günde\ izinliyse \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases}$$

Sapma Değişkenleri

d_{i1}^{+} = Aylık çalışma günü hedefinden pozitif sapma ∀ i

d_{i1}^{-} = Aylık çalışma günü hedefinden negatif sapma ∀ i

d_{ij2}^{+} = İzin günlerinin bölünmemesinden pozitif sapması ∀ i,j

d_{ij2}^{-} = İzin günlerinin bölünmemesinden negatif sapması ∀ i,j

d_{i3}^{+} = Vardiya dengelemesi hedefinden pozitif sapma ∀ i

d_{i3}^{-} = Vardiya dengelemesi hedefinden negatif sapma ∀ i

Kısıtlar

Kısıt 1: Her vardiyada bulunması gereken personel sayısı kısıtı Denklem 1'de verilmiştir.

$$\sum_{k=1}^{3} x_{ijkl} \geq 5 \qquad \forall\ l \qquad (1)$$

Kısıt 2: Günlük vardiyalarda her istasyonda bulunması gereken personel sayıları kısıtı Denklem 2'te verilmiştir.

$$\sum_{i=1}^{27} x_{ijkl} \geq 1 \qquad \forall\ j,k,l \qquad (2)$$

Kısıt 3: Günlük vardiyalarda en az bir sorumlu bulunması kısıtı Denklem 3'te verilmiştir.

$$\sum_{s\epsilon i} \sum_{l=1}^{4} x_{ijkl} \geq 1 \qquad \forall\ j,k \qquad (3)$$

Kısıt 4: Herhangi bir günde personelin ya çalışması ya izin yapması kısıtı Denklem 4'te verilmiştir.

$$\sum_{l=1}^{4} \sum_{k=1}^{3} x_{ijkl} \leq 1 - h_{ij} \qquad \forall\ i,j \qquad (4)$$

Kısıt 5: Herhangi bir gün gece vardiyasına atanıyorsa sonraki gün sabah ve akşam vardiyasına atanmaması kısıtı Denklem 5'te verilmiştir.

$\sum_{l=1}^{4}(x_{ij3l} + x_{i(j+1)1l} + x_{i(j+1)2l}) \leq 1$ ∀ i,j=1..29 (5)

Kısıt 6: Her personel haftada iki gün izin yapması kısıtı Denklem 6'da verilmiştir.

$h_{ij} + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)} = 2$ ∀ i,j=1..24 (6)

Kısıt 7: Her personel herhangi bir vardiyada günlük istasyonlardan en fazla birisine atanması kısıtı Denklem 7'de verilmiştir. Her personel herhangi bir istasyonda günlük vardiyalardan en fazla birisine atanması kısıtı Denklem 8'de verilmiştir.

$\sum_{l=1}^{4} x_{ijkl} \leq 1$ ∀ i,j,k (7)

$\sum_{k=1}^{3} x_{ijkl} \leq 1$ ∀ i,j,k (8)

Hedefler

Hedef 1: Her personel aylık mümkün olduğunca 22 gün çalışması hedefi Denklem 9'da gösterilmiştir.

$\sum_{l=1}^{4}\sum_{j=1}^{30}\sum_{k=1}^{3} x_{ijkl} - d_{i1}^{+} + d_{i1}^{-} = 21$ ∀ i (9)

Hedef 2: Personelin izin günleri mümkün olduğunca bölünmemesi hedef, Denklem 10'da gösterilmiştir.

$\sum_{l=1}^{4}(h_{ij} + x_{i(j+1)1l} + x_{i(j+1)2l} + x_{i(j+1)3l} + h_{i(j+2)}) - d_{ij2}^{+} + d_{ij2}^{-} = 2$ ∀ i,j=1..28 (10)

Hedef 3: Personelin aylık toplam vardiyalarının dengelenmesi hedefi Denklem 11'de gösterilmiştir.

$\sum_{l=1}^{4}\sum_{j=1}^{30}(x_{(i+1)jkl} - x_{ijkl}) - d_{i3}^{+} + d_{i3}^{-} = 0$ ∀ k, i1..26 (11)

Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonunun Denklem 12'de gösterilmiştir.

Min z= $\sum_{i=1}^{27}(d_{i1}^{+} + d_{i1}^{-} + d_{i3}^{+} + d_{i3}^{-}) + \sum_{i=1}^{27}\sum_{j=1}^{30}(d_{ij2}^{-} + d_{ij2}^{+})$ (12)

Modelin çözümü

Matematiksel model, Intel(R) "Core (TM) i7-10750H CPU @ 2.60GHz" işlemci, 8 GB bellek ve bilgisayarda Windows 10 işletim sistemi, ILOG CPLEX Studio IDE 12.6.2.0. optimizasyon programı ile çözülmüştür. Çözümde 27 personel teleferik istasyonlarına atanmıştır. Modelde dört parametre kullanılmıştır. Modelin atama sonucunda amaç fonksiyonu değeri 566 çıkmıştır. Personelin vardiyalara bir aylık atama sonuçları ve toplam aylık çalışma günleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de "1" sabah vardiyasını, "2" akşam vardiyasını, "3" gece vardiyasını ve "boş" alanlar izin günlerini göstermektedir.

Tablo 1. *Aylık atama sonuçları*

	Gün																														Vardiyalar			
Personel	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**V1**	**V2**	**V3**	**Toplam**
1	2	1	2	1			1	1	3	3	3			2	2	1	1	2			1	2	1	1	3			2	2	2	**9**	**9**	**4**	**22**
2	1	1			1	1	1	2	2			2	3	3	3	3			1	1	2	2	2			2	3	3	3		**7**	**7**	**7**	**21**
3	3	3		1	3		3	3	3		2	2		1	1	2		1	3		2	2	1		2	1		2	1		**7**	**7**	**7**	**21**
4	1	3	3	3			2	2	2	2	1			1	1	3	3	3			1	2	2	1	1			2	3		**7**	**7**	**7**	**21**
5	2	2		2	3		2	1	1		3	3		2	1	3		1	1		2	2	3		1	1		3	3		**7**	**7**	**7**	**21**
6	2	2		2	2		3	3	3		2	1		2	1	1		1	3		1	1	2		1	3		3	3		**7**	**7**	**7**	**21**
7		1	2		2	2		1	1	2		3	3		1	2	2		1	3		1	3	3		2	3		1	3	**7**	**7**	**7**	**21**
8	1		1	3	3		1	1		3	3	3		1	2		2	2	2		2	3		2	1	3		2	1		**7**	**7**	**7**	**21**
9		3		1	3	3		3	3		2	1	1		2	2		2	2	2		3	3		1	1	1		2	1	**7**	**7**	**7**	**21**
10	3	3			2	2	1	2	3			1	3	3	3	3			1	2	1	2	2			1	1	1	2		**7**	**7**	**7**	**21**
11	3	3		1	1	2		2	3		1	3	3		2	3		1	1	2		2	1		2	1	2		3		**7**	**7**	**7**	**21**
12		2		2	3		1	3	3		1	3		1	2	1		2	2		1	1	3		2	1		2	3	3	**7**	**7**	**7**	**21**
13		2	1		1	2		1	1	1		1	3		1	3	3		2	3		2	2	2		2	3		3	3	**7**	**7**	**7**	**21**
14		1	3			1	2	1	1	2			2	3	3	3	3			1	1	2	3	3			2	1	2	2	**7**	**7**	**7**	**21**
15	1	2	2			1	1	2	2	1			2	3	3	3	3			1	2	1	1	2			3	3	3		**7**	**7**	**7**	**21**
16	3	3	3		2	2		2	1	2		1	1		2	1	2		1	3		3	3	3		1	2		1		**7**	**7**	**7**	**21**
17		2	2	2			3	3	3	3	3			1	1	1	1	3			2	2	1	1	3			2	1	2	**7**	**7**	**7**	**21**
18	1	2			1	3	3	3	3			1	1	3	3	3			2	2	1	2	1			2	2	2	1		**7**	**7**	**7**	**21**
19		1	1			2	2	2	1	3			2	1	2	1	2			3	3	3	3	3			1	2	1	3	**7**	**7**	**7**	**21**
20		2		2	3		1	1	2		2	2		1	2	1		1	3		3	3	3		3	3		1	2	1	**7**	**7**	**7**	**21**
21		2		2	2		3	3	3		1	3		1	2	2		2	1		3	3	3		2	1		1	1	1	**7**	**7**	**7**	**21**
22	2	2	1	1			1	2	1	1	1			2	2	1	3	3			3	3	3	3	3			2	2		**7**	**7**	**7**	**21**
23	1	2		3	3		2	1	2		1	1		2	2	2		3	3		1	3	3		1	3		2	1		**7**	**7**	**7**	**21**
24	1	3	3	3	3			1	2	1	2	1			1	2	1	2	3			1	2	2	3	3			2		**7**	**7**	**7**	**21**
25		2			1	3	3	3	3			1	1	3	3	3			1	2	2	1	2			2	1	1	2	2	**7**	**7**	**7**	**21**
26		3			1	1	3	3	3			2	2	2	2	3			2	1	2	3	3			1	1	2	1	1	**7**	**7**	**7**	**21**
27		2	1			3	3	3	3	3			2	1	2	2	1			2	1	1	1	1			2	2	3	3	**7**	**7**	**7**	**21**

Günlük vardiyalarda en az beş kişi ve bir sorumlu bulunduğu, haftada 2 gün izin yaptığı, gece vardiyasına atanıp sonraki gün sabah ve akşam vardiyasına atanmadığı kısıtlarının sağlandığı Tablo 1'de görülmektedir.

Hedef 1'de her personelin aylık toplam 21 gün çalışma hedefinin neredeyse sapmasız gerçekleşmiştir. Sadece bir personel 22 gün çalıştığından d_{i1}^{+} bir sapmayla gerçekleşmiştir. Hedef 2 toplam sapmanın neredeyse hepsini 540 sapmayla oluşturmuştur. Ancak uygulamada herhangi bir problem oluşturmamaktadır. Hedef 3'te vardiya ücretleri dengelenmesi için vardiya dengesinin sağlanması sadece birinci personel için sapma oluşturmuştur. Diğer personel arasında dengeli dağılmıştır.

SONUÇ

Teleferik istasyonlarında görev yapan personelin aylık vardiya dengelemesi için hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Personel çizelgelemesi için oluşturulan modelde personel istasyonlara vardiyaların ve aylık toplam çalışma sürelerinin dengeli dağıtılması amacıyla hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Teleferiğin dört istasyonunda toplam 27 işletme ve bakım personeli görev yapmaktadır. Personelin en önemli beklentisi olan vardiya ücretlerinin eşit dağıtılması için aylık toplam vardiyaların eşit dağıtılması amacıyla hedefler belirlenmiştir. İşletme kısıtları, istasyonlarda bulunması gerekene personel ve sorumlu sayıları kısıt olarak belirlenmiştir. Bu kısıtlarla birlikte toplam çalışma zamanları ve vardiyaların eşit dağıtılması hedef olarak modele eklenmiştir.

Modelin çözüm sonucunda teleferik istasyonları için personelin beklentisi için vardiya ücretlerinde önemli bir dengeleme sağlanmıştır. Aylık toplam çalışma günlerinde de hedeflenen değere bir personel dışında ulaşılmıştır. Sapmanın büyük çoğunluğunu izin günlerinin bölünmemesi hedefi oluştursa da gerçek hayata uygun olarak gerçekleşmiştir. Sapmanın gerçekleşmesinin istasyonlarda minimum personel bulundurma kısıtlarından kaynaklandığı söylenebilir. Bu çalışma, teleferik personeli konusunda literatürde oldukça az olan çalışmalar konusunda araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ankara metrosu teleferik personeli çizelgelemesi gerçek hayat problemi olarak sunulmuştur. Gelecek çalışmalarda teleferik yolcu sayılarının da dikkate alındığı kabin planlaması, bakım planlaması problemlerine entegre çalışmalar düşünülmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Akdaş, E., & Eren, T. (2023). Devlet Tiyatroları Genel Müdürlüğü'nde Güvenlik Personeli Vardiya Çizelgelemesi. Uluslararası *İşletme Bilimi ve Uygulamaları Dergisi*, *3*(1), 1-18.

Akgönül, R., Eren, T., & Alakaş, H. M. (2022). Ergonomik Personel Çizelgeleme Problemi: Savunma Sanayinde Bir Uygulama. *International Journal of Engineering Research and Development*, *14*(3), 43-68.

Aksüt, G., Alakaş, H. M., Eren, T., & Karaçam, H. (2022). Fiziksel ergonomik riskli personel çizelgeleme problemi için model önerisi: Kadın çalışanlar için tekstil sektöründe bir uygulama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *38*(1), 245-256.

Cooper, D. A. (2013, September). UK's First Urban Cable Car A Project Review of The Emirates Airline. In 3rd Symposium on Lift and Escalator Technologies (Vol. 3, No. 1, pp. 42-48).

Cürebal, A., Koçtepe, S., & Eren, T. (2020). Tanıtım festivalinde personel çizelgeleme problemi: bir uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *6*(3), 217-229.

Cürebal, A., & Eren, T. (2021). COVID-19 pandemi riski durumunda yetkinlik bazlı güvenlik personeli vardiya çizelgeleme probleminin çözümü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *36*(3), 1483-1498.

Demirel, B., Yelek, A., Alağaş, H. M., & Eren, T. (2018). Ankaray güvenlik personelinin vardiya çizelgeleme probleminin hedef programlama yöntemi ile çözümü. *Demiryolu Mühendisliği*, (8), 1-17.

Diez, A. E., Rodriguez, M., Arroyave, D. A., Múnera, D. A., Restrepo, J. V., & Castrillon, L. E. (2017). A Planning Method for Electric Infrastructure to Supply Multimodal Transportation Systems. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 224, 213-224.

Eren, T., Koçtepe, S., & Cürebal, A. (2021). Hedef programlama yöntemi ile akaryakıt istasyonları tanıtımı için personel çizelgeleme problemi. *Politeknik Dergisi*, 1-1.

Eren, T., Özder, E. H., Alakaş, H. M., & Özcan, E. (2019). Kısıt programlama yaklaşımıyla güvenlik personeli çizelgeleme probleminin çözümü. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, *4*(2), 16-25.

Fedorko, G., Neradilová, H., & Jackanin, J. (2018). Discrete model simulation of a passenger cable car operation. Advances in Science and Technology. Research Journal, 12(2), 170-179.

Gençer, M. A., Eren, T., & Alakaş, H. M. (2023a). Train maintenance personnel shift scheduling: case study. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 1-34.

Gençer, M. A., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2023b). Model Proposal for the Shift Scheduling of Warehouse Personnel for the Sustainability of Railway. *Available at SSRN 4484031*.

Koçtepe, S., Bedir, N., Eren, T., & Gür, Ş. (2018). Organizasyon görevlileri için personel çizelgeleme probleminin 0-1 tam sayılı programlama ile çözümü. *Ekonomi İşletme ve Yönetim Dergisi*, *2*(1), 25-46.

Kortoçi, Y., & Kortoçi, M. (2021). Time Consumption and Productivity in Wood Extraction Using Traditional Cable Car. Prizren Social Science Journal, 5(2), 39-45.

Lu, W., & Wei, X. (2017, June). Spatio-temporal distribution pattern of cable car passenger flow in panholidays: A case study of Huangshan Scenic Area. In 2017 IEEE second international conference on data science in cyberspace (DSC) (pp. 35-42). IEEE.

Sarımehmet, B., Alakaş, H. M., Pınarbaşı, M., & Eren,T. (2023). Çay Hasadı Çizelgeleme İçin Matematiksel Model Önerisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, *11*(3), 925-938.

Şeker, Ö., Alakaş, H. M., Cürebal, A., & Eren, T. (2022). Dengeli iş yükü ataması için şoför çizelgeleme problemi: Bir lojistik firmasında uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, *6*(1), 897-916.

Thaler, H., Wenin, M., Brunner, J., Reiterer, D., Bertotti, M. L., Modanese, G., & Oberhuber, E. (2017). Numerical optimization in ropeway planning. Properties and Characterization of Modern Materials, 113-124.

Uslu, B., Bedir, N., Gür, Ş., & Eren, T. (2018). 0-1 Hedef Programlama Yöntemi Kullanılarak Hemşire Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Sağlık Akademisi Kastamonu*, *3*(3), 148-170.

Ünal, F. M., & Eren, T. (2016). Hedef programlama ile nöbet çizelgeleme probleminin çözümü. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, *4*(1).

Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hemşire çizelgeleme problemi ve hastanede bir uygulama. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, *5*(1), 34-40.

Wenin, M., Windisch, A., Ladurner, S., Bertotti, M. L., & Modanese, G. (2020). Optimization of the head geometry for a cable car passing over a support. Engineering Design Applications II: Structures, Materials and Processes, 231-241.

Yazıcı, E., Eren, T., & Alakas, H. M. (2023). Personnel scheduling problem in law systems: The example of expropriation cases. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 38(1), 299-308.

Yelek, A., Eren, T., Demirel, B., & Alağaş, H. M. (2018). Kismi zamanli çalişan personellerin çizelgelenmesi: kirikkale üniversitesi merkez kütüphanesi örneği. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *8*(2), 313-330.

Yelek, A., Eren, T., Gür, Ş., & Alakaş, H. M. (2019). Metro İstasyon İşletme Şeflerinin Vardiyalarının Hedef Programlama ile Çizelgelenmesi. *Demiryolu Mühendisliği*, (10), 17-30.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

A REVIEW of the GRAPH CONVOLUTIONAL NETWORKS (GCNs)

İlkay Sibel KERVANCI[1]

Abstract

Graph Neural Networks (GNNs) are a type of deep learning that can work with graph-structured data in non-Euclidean space. Graph structured data includes nodes and edges. A node represents an entity, while edges represent the directed relationship between entities. Graph Convolutional Networks (GCNs) are a specific type of GNN that use graph convolutional operations to learn from the graph structure, similar to Convolutional Neural Networks (CNNs). These approaches have shown immense potential in various applications such as recommendation systems, drug discovery, transportation networks, social network analysis, and complex graph data that CNNs cannot solve. In machine learning (ML) algorithms, there is generally an assumption that there is no relationship between inputs except for time series. However, as can be seen from examples such as social networks, interatomic relationships, friendships, or quotations in articles, there are interactions and relationships. However, there are still challenges to overcome, particularly regarding scalability and interpretability. Despite these hurdles, GNNs are undoubtedly a promising direction for developing more sophisticated ML models capable of handling complex data structures. Pytorch Geometric, Deep Graph Library (DGL), Spectral, and Graph Nets libraries have been developed for GNNs. In this paper, we aim to analyze the latest developments in GCNs, which methods are used in the data preprocessing step for graph-type data, and to provide a perspective on future studies in this field.

Keywords: Graph neural network, Graph convolutional networks, Machine learning

[1] Dr.Öğr.Üyesi, Gaziantep University, Computer Engineering Department, Orcıd: 0000-0001-5547-1860

ISBN: 978-625-372-170-1

INTRODUCTION

The ability to represent the results obtained with conventional ML algorithms for graph-structured data is limited. For this reason, they proposed the graph neural network (GNN) for applications containing graphs and nodes extended from the supervised neural network and random walk model. In their proposed approach, nodes represent objects or concepts, while edges express the relationship between them (Scarselli & et al., 2008). However, difficulties arise from showing the relationships between nodes and edges moving the data into non-Euclidean space. There are some approaches to preserve inter-node relationships, but in data preprocessing, relationships between nodes may be lost while performing this process (Paolo, Gori, & Sperduti, 1998). With the developments in CNNs, the idea of deep neural learning, called geometric deep learning, began to gain popularity. So, the difficulties in applying the pooling and filtering operations in CNNs to non-Euclidean data allowed different deep-learning methods to graph data. These methods are convolutional, recurrent, spatiotemporal, and auto-encoder graph neural networks (Zhou & et al., 2020). These graph networks allow us to obtain better predictions thanks to the structural relationships for real-life datasets obtained with graph data structure, compared to conventional ML algorithms datasets predictions by capturing specific patterns when it analyzes data sets alone. However, datasets are generally not organized as graphs.

For nodes in the graph structure, self-loops are added for feedback if they are not present in the representation. Normalization is performed to avoid exploding or vanishing gradient problems caused by excessive size or smallness of numerical values, as in traditional ML algorithms.

Especially in real-world applications of computer vision, CNNs categorize and label data. While doing this, it analyzes the image as pixels, gives values to the pixels, and first makes a prediction about the image's outline through mathematical operations. Since images generally contain more than one object, understanding the image is possible through graph-structured data sets organized to include the relationships between objects in the image as spatial data and images (Zhang & et al., 2019). Apart from image data, it is possible to see applications in many fields, such as chemistry (Harada & et al., 2020), biology (Yang & et al., 2022), physics (Gao & et al., 2023), anomaly detection (Li & et al., 2023), social networks (Li, Sun, Ling, & Peng, 2023), multilingual translations (Bansal, Gowda, & Kumar, 2024), natural language processing (NLP) (Kumar & et al., 2022), and speech recognition (Tzirakis, Kumar, & Donley, 2021). Each data has a random length and complex structures, unlike data in a grid. There is no fixed reference point and ordering for the nodes. A node is encoded to contain elements and edges, and the edge represents the relationship between elements. Graph data can be represented as trees, acyclic, or cyclic graphs, as well as single nodes and sequences (Scarselli & et al., 2008). For GNNs, Geometric from PyTorch library, Deep Graph Library (DGL), DeepMind's library Graph Nets, and Spectral from TensorFlow library are the libraries that can be used with Python.

This review paper's main contribution to covering the most current studies is briefly mentioning different graph convolutional neural network models and their working space. Then, we systematically analyzed GCN and its application areas and grouped the studies according to their application areas.

LITERATURE REVIEW

Graph convolutional networks have rapidly developed in recent years. Many different GCN structures have been proposed for various application areas. While GCNs express relationships topologically, their classification problems and connection predictions within the network structure may need to improve due to their representation abilities. GCN models proposed to address these weaknesses are summarized in Table 1.

	Type of GCN	**Applications**	**Datasets**
(Kipf & Welling, 2016)	Multi-Layer GCN	semi-supervised node classification	Citeseer, Cora, Pubmed, and NELL
(Li & et al., 2018)	Adaptive GCN (AGCN)	supervised and unsupervised learning	Sydney Urban Objects Dataset, Delaney, Tox21, ClinTox, Sider, and Toxcast
(Chen, Ma, & Xiao, 2018)	FastGCN	Supervised learning and classification	Pubmed, Reddit, and Cora
(Gao, Wang, & Ji, 2018)	Learnable graph convolutional layer (LGCL)	Node classification	Cora, Citeseer, Pubmed citation, and protein-protein interaction network datasets
(Wu & et al., 2019)	Simple graph convolution (SGC).	Node classification, linear classifier.	Pubmed, Reddit, Cora, and Citeseer
(Ma & et al., 2019)	Multi-dimensional GCN (mGCN)	Node classification, prediction	DBLP, Epinions
(Chen & et al., 2020)	GCN Initial residual and Identity mapping (GCNII)	Semi and full supervised node classification	Cora, Citeseer, and Pubmed
(Wang & et al., 2020)	Adaptive Multi-channel GCN (AM-GCN)	semi-supervised node classification	Citeseer, UAI2010, ACM, BlogCatalog, Flickr, and CoraFull
(Zhu & Koniusz, 2020)	Simple Spectral Graph Convolution (S2GC)	Clustering, unsupervised, and semi-supervised node classification	Citeseer, Cora, MR, Ohsumed, Pubmed, Reddit, Reuters-21578, and Wiki
(Zhao & et al., 2020)	GCN and the gated recurrent unit (GRU) named Temporal-GCN(T-GCN)	prediction	SZ-taxi and Los-loop

As far as we know, Kipf and Welling first introduced a graph convolutional network. They proposed the convolutional layer, which addressed the problem of classifying nodes with small subsets in a semi-supervised learning model that uses an efficient layer-wise propagation rule based on the first-order approach in spectral graph convolutions. However, they concluded that it was limited by memory requirements, directed edges, and edge features but outperformed previous methods (Kipf & Welling, 2016).

They proposed a structure using remote metric learning with AGCN, which works on adaptive random-length graph data with a spectral graph condenser (SGC-LL) (Li & et al., 2018).

The proposed GCN in (Kipf & Welling, 2016) caused time and memory loss for training and test data. They proposed FastGCN to solve the memory bottleneck problem using recursive neighborhood expansion and inference with Monte Carlo (Chen, Ma, & Xiao, 2018).

They proposed the LGCL layer in the paper in which they worked on the necessity of sequential and the same number of neighborhoods. Graphs cannot use the filters used in CNNs

because each node has a different number of neighborhoods and can't be ordered. To overcome this, they created 1D-dimensional feature vectors with the properties of the neighborhoods of each node, starting from the node with the most neighbors, to convert graph data into grid data that CNNs can use (Gao, Wang, & Ji, 2018).

GCN (Kipf & Welling, 2016) and FastGCN (Gao, Wang, & Ji, 2018) also reduced complexity by cyclically removing nonlinearities between layers and achieving a single linear transformation, reaching twice the speed of FastGCN (Wu & et al., 2019).

Each node with mGCN that they propose for multidimensional graphs is based on learning existing knowledge and global representations of nodes of each dimension. In addition, since they also used interdimensional interaction, they achieved a rich interaction between dimensions. (Ma & et al., 2019).

They used semi-supervised node classification, full-supervised node classification, and inductive learning with different datasets. They concluded that greater predictive power was achieved by increasing network depth (Chen & et al., 2020).

To improve the ability of GCNs to combine node features and topologies, they proposed the semi-supervised classification GCN (AM-GCN) network, which simultaneously contains combinations of topological structures of nodes with importance-weighted related information (Wang & et al., 2020).

The biggest challenges of GCNs are the large neighborhood size and depth of neural networks. They proposed Simple Spectral Graph Convolution (S2GC) using a Markov Diffusion Kernel to overcome these difficulties. They achieved competitive results in their experiments on problems such as community prediction, text and node classification, and node clustering (Zhu & Koniusz, 2020).

Since there are temporal and spatial dependencies for traffic volume estimation, they proposed Temporal-GCN by combining gated recurrent unit (GRU), which produces good results for time series and GCN to express the spatial dependencies of roads. They concluded that the traffic prediction error for their proposed model was better than all baseline methods (Zhao & et al., 2020).

CONCLUSION

GCN is a type of GNN in which the convolution layer is included in the graph structure. After GCN was proposed, many types of GCN have been proposed to eliminate the difficulties and constraints arising from its structure. Table 1 includes studies that make recommendations for GCN variants. Apart from these studies, many other GCN variants provide good results with certain data sets. However, we selected more comprehensive articles in this paper and experimented with more data sets. Thanks to the GCNs recommended for clustering, classification, and prediction, there are different GCN variants for various problems. Especially for real-world problems, GCNs produce very satisfactory results.

ISBN: 978-625-372-170-1

REFERENCES

Bansal, S., Gowda, K., & Kumar, N. (2024). Multilingual personalized hashtag recommendation for low resource Indic languages using graph-based deep neural network. *Expert Systems with Applications, 236*, 121188. doi:10.1016/j.eswa.2023.121188

Chen, J., Ma, T., & Xiao, C. (2018). Fastgcn: fast learning with graph convolutional networks via importance sampling. *arXiv preprint arXiv:1801.10247*.

Chen, M., & et al. (2020). Simple and deep graph convolutional networks. *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning* (pp. 1725-1735). PMLR.

Gao, H., Wang, Z., & Ji, S. (2018). Large-scale learnable graph convolutional networks. *In Proceedings of the 24th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery & data mining*, (pp. 1416-1424).

Gao, M., & et al. (2023). A physics-guided graph convolution neural network for optimal power flow. *IEEE Transactions on Power Systems, 39*(1), 380 - 390.

Hamilton, W., Ying, R., & Leskovec, J. (2017). Inductive representation learning on large graphs. *Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017).* LongBeach,CA, USA.

Harada, S., & et al. (2020). Dual graph convolutional neural network for predicting chemical networks. *BMC Bioinformatics, 21*, 1-13.

Kipf, T. N., & Welling, M. (2016). Semi-Supervised classification with graph convolutional networks. *arXiv preprint arXiv:1609.02907*.

Kumar, S. V., & et al. (2022). Natural language processing using graph neural network for text classification. *2022 international conference on knowledge engineering and communication systems (ICKES)* (pp. 1-5). IEEE. doi:10.1109/ICKECS56523.2022

Li, R., & et al. (2018). Adaptive graph convolutional neural networks. *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence, 32*. New Orleans, Lousiana, USA. doi:10.1609/aaai.v32i1.11691

Li, X., & et al. (2023). A high accuracy and adaptive anomaly detection model with dual-domain graph convolutional network for insider threat detection. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 18*, 1638-1652.

Li, X., Sun, L., Ling, M., & Peng, Y. (2023). A survey of graph neural network based recommendation in social networks. *Neurocomputing, 549*, 126441. doi:10.1016/j.neucom.2023.126441

Ma, Y., & et al. (2019). Multi-dimensional Graph Convolutional Networks. *Proceedings of the 2019 SIAM International Conference on Data Mining*, (s. 657 - 665).

Paolo, F., Gori, M., & Sperduti, A. (1998). A general framework for adaptive processing of data structures. *IEEE Transactions on Neural Networks, 9*(5), 768 - 786. doi:10.1109/72.712151

Scarselli, F., & et al. (2008). The graph neural network model. *IEEE Transactions on Neural Networks, 20*(1), 61-80.

Tzirakis, P., Kumar, A., & Donley, J. (2021). Multi-channel speech enhancement using graph neural networks. *In ICASSP 2021-2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 3415-3419). Toronto, ON, Canada: IEEE. doi:10.1109/ICASSP39728.2021.9413955

Wang, X., & et al. (2020). AM-GCN: Adaptive multi-channel graph convolutional networks. *KDD '20: Proceedings of the 26th ACM SIGKDD International Conference on*

Knowledge Discovery & Data Mining (pp. 1243-1253). New YorkNYUnited States: ACM Dijital Libraray.

Wu, F., & et al. (2019). Simplifying graph convolutional networks. *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning* (pp. 6861-6871). PMLR.

Yang, X., & et al. (2022). BioNet: a large-scale and heterogeneous biological network model for interaction prediction with graph convolution. *Briefings in bioinformatics, 23*(1), bbab491.

Zhang, S., & et al. (2019). Graph convolutional networks: a comprehensive review. *Computational Social Networks, 6*(1), 1-23.

Zhao, L., & et al. (2020). T-GCN: A Temporal Graph Convolutional Network for Traffic Prediction. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 21*(9), 3848-3858.

Zhou, J., & et al. (2020). Graph neural networks: A review of methods and applications. *AI Open, 1*, 57-81.

Zhu, H., & Koniusz, P. (2020). Simple spectral graph convolution. *In International conference on learning representations (ICLR).* Vienna, Austria.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Ankara İli Çubuk İlçesi Tarım İşletmelerinde Risk Yönetimi

Handan VURUŞ AKÇAÖZ[1]
Remziye SUNA[2]
Muhammet Murat ŞAN[3]

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Ankara ili Çubuk ilçesi tarım işletmelerinde çiftçilerin tarımsal üretimde risk konusundaki algılarını ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında incelenen işletmelerde demografik özellikler, işletmelerin genel özellikleri, kredi kullanımı, gelirin değerlendirilmesi, bilgi kaynakları, risk kaynakları ve risk yönetimi stratejileri araştırılmıştır. Çalışmanın materyalini birincil ve ikincil kaynaklardan elde edilen veriler oluşturmuştur. Çalışmanın birincil kaynağını araştırma alanındaki tarım işletmelerinde çiftçilere uygulanan anketlerden elde edilen veriler oluşturmuştur. Araştırmada Eylül-Aralık 2022 döneminde 30 adet tarım işletmesinde çiftçilere anket uygulanmıştır. Araştırmadan elde edilen bulgulara göre, işletmelerde ortalama aile genişliği 2,83 kişi, çiftçilerin ortalama yaşı 49,3 yıl ve tarımsal üretimde deneyim süresi 31,9 yıldır. İncelenen işletmelerin %63,3'ünde kayıt tutulduğu, %83,3'ünün Tarım Kredi Kooperatifine ortak olduğu ve %50'sinde tarımsal amaçlı kredi kullanıldığı belirlenmiştir. Çalışmada çiftçilerin tarımda karşılaşılan riskler arasında çok önemli olarak ifade ettikleri risk kaynakları sırasıyla; ürün verimlerindeki değişiklikler, öz sermayesiz finansman, yangın nedeniyle ürünün zarar görmesi, sel nedeniyle ürünün zarar görmesi, iklim koşullarında meydana gelen değişiklikler ve aile işgücünün yetersizliğidir. Çiftçiler risk kaynaklarına karşı uygulanabilecek risk yönetimi stratejilerinden mümkün olduğunca en düşük maliyetle üretim yapmak, geçmiş dönem ürün fiyatları hakkında bilgi sahibi olmak, hastalıklara karşı ilaçla mücadele yapmak ve işletme arazisini büyütmek stratejilerini çok önemli olarak belirtmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Tarım, Risk yönetimi, Strateji, Kredi, Ankara

[1] Prof.Dr., Akdeniz Üniversitesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Orcıd:0000-0001-6730-1631.
[2] Yüksek Lisans Mezunu, Akdeniz Üniversitesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Orcıd:0000-0002-9352-6882.
[3] Akdeniz Üniversitesi, Tarım Ekonomisi Bölümü.

ISBN: 978-625-372-170-1

1. GİRİŞ

Tarımsal üretim faaliyeti riskli bir iştir. Tarımsal üretimde çiftçiler riskli durumlarla karşılaşmakta ve her gün tarımsal üretim faaliyetlerini etkileyen kararlar almaktadırlar. Bu riskler arasında hastalık ve zararlılar gibi biyolojik riskler; kuraklık ve sel gibi iklimsel riskler; girdi ve çıktı fiyatlarındaki belirsizlikler gibi fiyat riskleri ve zamanında kredi bulunamaması ve faiz oranındaki dalgalanmalar vb. gibi finansal riskler bulunmaktadır (Saqib ve ark., 2016; Thieken ve ark., 2016; Zulfiqar ve ark., 2016; Akhtar ve ark., 2019). Ellis (1998) tarımsal üretimde karşılaşılan riskleri dört başlıkta tanımlamıştır. Bunlar, doğal riskler (hava durumu, zararlılar ve hastalıklar), piyasa dalgalanmaları (ürün fiyatları), sosyal belirsizlik (kaynakların kontrolü üzerindeki farklılıklar nedeniyle), devlet politikaları ve savaşlardır. Hardaker ve ark. (2004)'na göre tarımda verim, fiyat ve faaliyet riskleri olmak üzere üç ana risk türü tanımlanabilir. Hazell ve Norton (2003), çiftçilerin karşılaştığı risk türlerinin tarım sisteminin türüne, iklim değişikliğine, uygulanan politikalara ve kurumsal çevreye bağlı olduğunu bildirmiştir. Belirli bir yıl içinde verimi önemli ölçüde azaltan, iklim değişikliğinin neden olduğu olumsuz hava ve iklim koşulları riski gibi bazı riskler tarıma özgüdür. Fiyat veya kurumsal riskler gibi diğer riskler tüm işletmelerde ortak olmakla birlikte, ek bir ekonomik maliyete neden olmaktadır (Harwood ve ark., 1999) (Olawuyi ve ark., 2015).

Tarımda çiftçilerin aldığı kararları etkileyen faktörlerin çoğu %100 doğrulukla tahmin edilemez. Çünkü, hava koşulları değişebilir, hasat zamanındaki fiyatlar düşebilir, işe alınan işgücü yoğun zamanlarda mevcut olmayabilir, makine ve ekipmanlar en çok ihtiyaç duyulduğunda bozulabilir, sahip olunan hayvanlar ölebilir ve hükümet politikası bir gecede değişebilir. Tarımsal üretim için tüm bu değişiklikler çiftçilerin çiftliklerini bir işletme olarak yönetirken karşılaştıkları risklerin örnekleridir. Tarımsal üretim faaliyetinde var olan bu riskler çiftlik karlılığını etkilemektedir. Hava koşullarındaki değişiklikler, hastalık ve zararlıların görülme sıklığı vb. riskler üretimi etkiler. Tarım alet ve makinalarının arızalanması da, piyasa fiyat dalgalanmaları gibi bir risk faktörüdür. Faiz oranlarındaki ani değişimler nedeniyle, borç almak da riskli olabilir. Risk aynı zamanda hükümet politikalarındaki değişikliklerin bir sonucu olarak da ortaya çıkar. Bu tür risklerin genellikle çiftlik geliri üzerinde büyük etkisi vardır. Bununla birlikte çiftçinin ve ailesinin sağlık ve refahı ile çiftliğin işgücü arzına ilişkin riskler bulunmaktadır (Khan, 2008).

Karar verme yönetimin temel faaliyetidir ve alınan kararların sonuçları vardır. Ancak çoğu durumda bir kararın sonucu değiştirilemez. Risk ne kadar karmaşık olursa çiftçilerin bilinçli bir karar vermesi de o kadar zorlaşır. Etkili kararların alınabilmesi için çiftçilerin tarımsal üretim faaliyetinin birçok yönü hakkında bilgiye ihtiyacı vardır. Çiftçiler riskle başa çıkmanın ve kendilerini geleceğin belirsizliklerinden korumanın yollarını bulmak zorundadır (Khan, 2008).

Çiftçiler üretim sürecinin yalnızca bir kısmını yönetseler de işletme düzeyinde risk yönetimi son derece önemlidir. Çünkü tarımsal üretimde var olan risklerle başa çıkamamak, gelişmekte olan ülkelerde milyonlarca kişinin gelir ve geçim kaynağı kaybıyla sonuçlanacaktır (Zulfiqar ve ark., 2016). Ayrıca tarımsal tedarik zincirindeki diğer tüm karar vericiler, karar verme süreçlerinde risklerle yüzleşmek zorundadır (Jones ve ark., 2012; Garrett ve ark., 2013). Ancak, gelişmekte olan ülkelerdeki çiftçilerin işletme düzeyinde tarımsal riski yönetme kapasitesi yetersizdir (Akhtar ve ark., 2019).

Çiftçilerin riske yönelik algı ve tutumlarının değerlendirilmesi, belirsiz bir durumla karşı karşıya kaldıklarında çiftçilerin kararlarını şekillendiren önemli faktörlerdir (Akçaöz ve

Özkan, 2005). Çiftçilerin aldıkları kararlar, riskli ve belirsiz durumlarda, risk algıları ve riske yönelik tutumları dikkate alınarak analiz edilebilir (Lucas ve Pabuayon, 2011). Sosyal, ekonomik ve demografik faktörlerin çiftçilerin risk algıları ve risk tutumları üzerindeki etkilerine ilişkin önceki çalışmalar farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Tarım işletmelerinin ve hane halkının özellikleri, çiftçilerin risk algılarını ve risk tutumlarını etkilemektedir. Çiftçilerin eğitim düzeyi ve tarımsal deneyimi tarımsal üretimde karşılaşılan risk kaynaklarını, görülme sıklığını ve şiddetini anlamalarını sağlar. Eğitim düzeyi ve deneyim çiftçilerin risk algılarını etkiler ve çiftlik riskini daha verimli bir şekilde yönetme yeteneklerini geliştirir. Benzer konuda yapılan önceki çalışmalarda, risk tercihlerinin (Flaten ve ark., 2005) yaşa (Kammar ve Bhagat, 2009; Kisaka-Lwayo ve Obi, 2012; Ashraf ve Routray, 2013; Iqbal ve ark., 2016), eğitime (Khan ve ark., 2010; Dadzie ve Acquah 2012), gelire (Einav ve ark., 2010), tarımsal deneyime (Lucas ve Pabuayon, 2011), tarım dışı gelire (Ullah ve ark., 2015), sözleşmeli üretime (Lu ve ark., 2017) ve işletme büyüklüğüne (Lucas ve Pabuayon, 2011; Iqbal ve ark., 2016) bağlı olarak önemli ölçüde farklılaştığı ifade edilmiştir. Tarımda iklim değişkenliğinden kaynaklanan üretim riskinin yönetilmesinde iklim bilgisi büyük önem taşımaktadır (Chaudhary ve Aryal, 2009). Çiftçilerin yayım çalışanlarına erişimi, etkili risk yönetimi stratejilerinin benimsenmesi yoluyla tarımsal risklerin anlaşılmasını ve yönetilmesini sağlar (Arce, 2010) (Akhtar ve ark., 2018).

Tarımsal üretimde karşılaşılan riskler, Knight (2002) tarafından risk analizi çerçevesinin çizildiği 1933 yılından bu yana dünya çapında bir endişe konusu olmuştur. Tarımsal üretimde risk konusundaki literatürün analizi (Halter ve Dean, 1971; Dillon, 1971, Hardaker ve ark., 2004; Ladanyi, 2003) tarımda risklerin değerlendirilmesi ve yönetilmesinin zor olduğunu göstermektedir. Tarım işletmeleri çok sayıda belirsizlikle baş etmek zorundadır. Tarım ekonomisi literatüründe, çiftçilerin risk tercihlerini tahmin etmeye yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Gomez-Limon ve ark., 2003; Isik ve Khanna, 2003; Toledo ve Engler, 2008). Bazı çalışmalarda ise çiftçinin bir dizi rastgele seçim arasından nasıl karar verdiğini anlamak için modeller geliştirilmiştir (Hardaker ve ark., 2004; Bradshaw, 2004) (Girdziute, 2012). Tarım işletmelerinde risk kaynakları ve risk yönetim stratejilerine yönelik çiftçilerin tutum ve davranışlarını inceleyen geniş bir literatür bulunmaktadır (Çizelge 1).

Bu çalışmada, Ankara ili Çubuk ilçesinde tarım işletmelerinde karşılaşılan risk kaynakları ve risk yönetimi stratejilerine yönelik olarak çiftçilerin görüşleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında demografik özellikler, işletmelerin konuyla ilgili genel özellikleri, işletmelerde kredi kullanımı, elde edilen gelirin değerlendirilmesi, bilgi kaynakları, risk kaynakları ve risk yönetimi stratejileri incelenmiştir.

ISBN: 978-625-372-170-1

Çizelge 1.Tarımsal Üretimde Çiftçilerin Risk Algısı Ve Risk Yönetimi Stratejilerine Yönelik Önceki Çalışmalar

Genel tarımsal üretim			Bitkisel üretim	Yazar	Ülke	Yıl	Hayvansal üretim	Yazar	Ülke	Yıl
Yazar	**Ülke**	**Yıl**								
Boggess ve ark.	Florida, Alabama	1985	Pirinç	Pellegrino	Arjantin	1999	Süt sığırcılığı	Wilson ve ark.	Arizona/USA	1988
Patrick ve ark.	USA	1985	Şeker kamışı	Nicol ve ark.	Güney Afrika	2007	Genel	Meuwissen ve ark.	Hollanda	2001
Martin	Yeni Zelanda	1996	Meyve ve sebze	Ali ve Kapoor	Hindistan	2008	Besi sığırcılığı	Hall ve ark.	Teksas, Nebraska/USA	2003
Martin ve McLeay	Yeni Zelanda	1998	Muz	Akçaöz ve ark. (b)	Türkiye	2009	Süt sığırcılığı	Flaten ve ark.	Norveç	2005
Huirne ve ark.	Hollanda	2000	Pamuk	Adanacıoğlu ve Olgun	Türkiye	2010	Süt sığırcılığı	Akçaöz ve ark.(a)	Türkiye	2009
Legesse ve Drake	Etiyopya	2005	Buğday	Sookhtanlo ve Sarani	İran	2011	Su ürünleri yetiştiriciliği	Ahsan ve Roth	Danimarka	2010
Akçaoz ve ark.	Türkiye	2006	Soğan	Çetin ve Esengün	Türkiye	2012	Besi sığırcılığı	Bishu	Etiyopya	2014
Morales ve ark.	Avrupa Birliği	2008	Buğday, Pamuk, Fıstık	Almadani	Suriye	2014	Süt sığırcılığı	Gebreegziabher ve Tadesse	Etiyopya	2014
Greiner ve ark.	Avustralya	2009	Çilek	Ağır ve ark.	Türkiye	2015	Besi sığırcılığı	Chilala	Zambiya	2015
Aditto	Tayland	2011	Patates	Bagheri ve Fami	İran	2016	Süt sığırcılığı	Hayran ve Gül	Türkiye	2015
Ahsan	Bangladeş	2011	Pamuk	Iqbal ve ark.	Pakistan	2016	Süt sığırcılığı	Waweru	Kenya	2017
Aditto ve ark.	Tayland	2012	Domates	Alp	Türkiye	2017	Besi sığırcılığı	Bishu ve ark.	Etiyopya	2018
Girdziute	Litvanya	2012	Pirinç	Rizwan ve ark.	Pakistan	2017	Süt sığırcılığı	Özsayin	Türkiye	2019
Lwayo ve Obi	Güney Afrika	2012	Pirinç	Usman ve ark.	Nijerya	2017	Genel	Gökgöz ve Kayahan	Türkiye	2021
Bayramoğlu ve ark.	Türkiye	2013	Mısır	Akhtar ve ark.	Pakistan	2018				
Sulewski ve Gajewska	Polonya	2014	Genel	Bal	Türkiye	2018				
Wauters ve ark.	Belçika	2014	Pamuk	Iqbal ve ark.	Pakistan	2018				
Winsen	Belçika	2014	Mısır	Akhtar ve ark.	Pakistan	2019				
Hayran ve ark.	Türkiye	2015	Buğday	Hayran	Türkiye	2019				
Kitonyoh	Kenya	2015	Kayısı	Uçar ve Engindeniz	Türkiye	2019				
Jankelowa ve ark.	Slovakya	2017	Sebze	Ahmed ve ark.	Etiyopya	2020				
Foguesatto ve Machado	Brazil	2017	Kahve	Hakorimana ve Akçaöz	Rwanda	2020				
Riwthong ve ark.	Tayland	2017	Limon	Özer ve Tümer	Turkey	2020				
Nazir ve ark.	Pakistan	2018	Genel	Tümer ve Birinci	Turkey	2020				
Asravor	Kuzey Gana	2019	Buğday	Ağır ve Erdem	Turkey	2022				
Nayak ve Manjunatha	Hindistan	2019								
Zhang ve ark.	Çin	2019								
Iqbal ve ark.	Pakistan	2020								
Khan ve ark.	Pakistan	2020								
Sulewski ve ark.	Polonya	2020								
Hayran ve ark.	Türkiye	2021								

ISBN: 978-625-372-170-1

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen anketlerden elde edilen veriler araştırmanın birincil kaynağını oluştururken, literatürden derlenen bulgular ise çalışmanın ikincil kaynağını oluşturmuştur. Çalışmanın birincil kaynağı Eylül-Aralık 2022 tarihinde Ankara ilinin Çubuk ilçesindeki tarım işletmelerinde çiftçilere uygulanan anketlerden elde edilen verilerdir. Bu amaçla araştırma alanında 30 adet tarım işletmesinde çiftçilere anket uygulanmıştır. Anket uygulaması sonucunda elde edilen veriler SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) paket programında değerlendirilerek çizelgelerde özetlenmiştir. Çalışmanın ikincil kaynakları ise araştırma konusu ile ilgili olarak daha önce yapılmış makale, tez, rapor vb. kaynaklardır.

Araştırmada kullanılan anket formunda çiftçilerin tutum ölçümleri için Likert tipi tutum ölçeği kullanılmıştır. Likert ölçeği çok maddeli ölçeklerden biridir. Deneklerin ön plana alındığı ölçekleme yaklaşımının tipik bir örneği olan Likert ölçeğinde, tutumları ölçülecek bireylerin tepkide bulunacakları çeşitli ifadeler yeralmaktadır. Likert ölçeğinde birey, benimsediği ifadeleri işaretlemek yerine, verilen her ifadeye ne ölçüde katılıp katılmadığını dereceler içinde belirlemektedir. Likert tipi ölçekler, bireyin kendisi hakkında bilgi vermesi esasına dayanmaktadır. Bir toplamalı sıralama tekniği olan Likert ölçeği, tutum ölçekleri içinde en yaygın olarak kullanılanıdır. Bunun nedeni, Likert tipi ölçeklerin geliştirilmesinin diğer ölçeklere göre daha kolay ve kullanışlılığının da yüksek olmasıdır (Tavşancıl, 2014). Likert ölçeğinde iki durum vardır. Birincisi; istenen durumdur. Tutum konusuna karşı olumlu bir tutumun varolması durumudur. İkincisi; istenmeyen durumdur. Konuya karşı olumsuz durumu yansıtır (Balcı, 1995). Bu araştırmada çiftçilerin tutumlarını belirlemek amacıyla Likert tipi ölçekler arasından 5'li önem derecesi ölçeği (Çok önemli, önemli, nötr (farketmez), önemli değil, hiç önemli değil) kullanılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Sosyo-Ekonomik Özellikler

Araştırma kapsamında yeralan işletmelerde demografik özellikler başlığı altında, cinsiyet, yaş, eğitim durumu, yaşam dönemi konuları incelenmiş, elde edilen bulgular Çizelge 2'de verilmiştir. İncelenen işletmelerde aile nüfusunun %51,2'si erkek, %48,8'i kadındır. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, Türkiye nüfusunun %49,9'u kadın, %50,1'i erkek bireylerden oluşmaktadır (TÜİK, 2024). Ankara ili için bu oranlar kadın nüfusta %48,8, erkek nüfusta %51,2'dir. Çubuk ilçesinde ise toplam nüfusun %48,9'u erkek, %51,1'i kadındır.

Anket uygulanan işletmelerde nüfusun %60,5'ini 15-49 yaş grubundaki bireyler oluştururken, 50 yaş ve üzerindeki bireylerin oranı %36,0'dır. İncelenen işletmelerde ilkokul, ortaokul ve lise mezunu aile bireyleri toplam nüfusun %86,1'idir. İncelenen işletmelerde ortalama aile genişliği 2,83 kişi olup, işletmelerde ailelerin %30'u çocukları evlenmiş yaşam dönemindedir. Araştırma kapsamında anket uygulanan çiftçilerin ortalama yaşı 49,3, tarımsal üretimde ortalama deneyim süresi 31,9 yıldır.

Çizelge 2. İncelenen İşletmelerde Demografik Özellikler

	Kişi	%
Cinsiyet		
Erkek	44	51,2
Kadın	42	48,8
Toplam	***86***	***100,0***
Yaş Grupları		
0 – 6	2	2,3
7 – 14	1	1,2
15 – 49	52	60,5
50 +	31	36,0
Toplam	***86***	***100,0***
Eğitim Durumu		
Okur Yazar Değil* (0-6 yaş)	2	2,3
Okur Yazar	1	1,2
İlkokul Mezunu	28	32,6
Ortaokul Mezunu	18	20,9
Lise Mezunu	28	32,6
Üniversite Mezunu	9	10,4
Toplam	***86***	***100,0***
Ailenin Yaşam Dönemi		
Bekar	1	3,3
Yeni evli	3	10,0
Bir çocuklu	7	23,3
Birden fazla çocuklu	6	20,0
Çocuklardan ayrı yaşayan çiftler	3	10,0
Çocukları evlenmiş çiftler	9	30,0
Emekliler	1	3,0
Toplam	***30***	***100,0***
Ortalama Aile Genişliği (kişi)	***2,83***	
Çiftçilerin Ortalama Yaşı (yıl)	***49,3***	
Çiftçilerin Tarımda Ortalama Deneyim Süresi (yıl)	***31,9***	

Araştırma kapsamında yeralan işletmelerde kayıt tutma, çiftçi örgütlerine ortak/üye olma, sözleşmeli üretim gibi konular incelenmiş ve elde edilen bulgular Çizelge 3'te verilmiştir. İncelenen işletmelerin %63,3'ünde kayıt tutulmakta iken, kayıt tutmayanların oranı %36,7'dir. İşletmelerde çiftçilerin kayıt tutmama nedenleri sırasıyla gereksiz olduğunu düşünmesi (%54,5), alışkanlık olmaması (%36,4) ve zorunlu olmaması (%9,1)'dır. İşletmelerin tamamı çiftçi kayıt sistemine kayıtlıdır. Araştırma kapsamındaki işletmelerin tamamı Ziraat Odası ve Ticaret Odasına, %20'si Sulama Birliği'ne üyedir. Tarım Kredi Kooperatifine ortak olanların oranı ise %83,3'tür.

Çizelge 3. İncelenen İşletmelerin Genel Özellikleri

	Kişi	%
İşletmelerde Kayıt Tutma Durumu		
Kayıt tutuyor	19	63,3
Kayıt tutmuyor	11	36,7
Toplam	***30***	***100,0***
Kayıt Tutmama Nedeni		
Alışkanlığı yok	4	36,4
Gereksiz görüyor	6	54,5
Zorunlu değil	1	9,1
Toplam	***11***	***100,0***
Çiftçi Kayıt Sistemine Kayıtlılık		
Kayıtlı	30	100,0
Kayıtlı Değil	-	-
Toplam	***30***	***100,0***
Üye/ortak Olunan Çiftçi Örgütleri* (N=30)		
Tarım Kredi Kooperatifi	25	83,3
Sulama Birliği	6	20,0
Ziraat Odası	30	100,0
Ticaret Odası	30	100,0
Sözleşmeli Üretim Yapma Durumu		
Sözleşmeli üretim yapıyor	1	3,3
Sözleşmeli üretim yapmıyor	29	96,7
Toplam	***30***	***100,0***
Sabit Bir Ücrete Karşılık Çiftçiliği Bırakma Durumu		
Bırakırım	3	10,0
Bırakmam	27	90,0
Toplam	***30***	***100,0***

*Birden fazla cevap alınmıştır.

Araştırmada incelenen işletmelerde kredi kullanımı ve gelirin nasıl değerlendirildiği konusu da incelenmiştir (Çizelge 4). Anket uygulanan işletmelerin %50'sinin tarımsal amaçlı kredi kullandığı belirlenmiştir. Tarımsal amaçlı kredi kullanan işletmelerin kredi kaynağı sırasıyla Ziraat Bankası (%100), Tarım Kredi Kooperatifi (%53,3), şahıslar/akrabalar (%20) ve diğer bankalar (%13,3)'dır. İncelenen işletmelerde çiftçilerin %80'i makine temini, %73,3'ü girdi temini, %60'ı işletme sermayesi, %53,3'ü arazi alımı, %6,7'si sulama yatırımı için tarımsal amaçlı kredi kullanmıştır. İşletmelerde çiftçileri %33,3'ü ise aldığı tarımsal amaçlı kredi aile ihtiyaçları için harcamıştır.

Araştırmada çiftçiler tarımsal faaliyetlerden elde etikleri geliri arazi alımında (%76,7), makine ekipman alımında (%60) kullanarak tekrar tarımsal üretime yatırım yapmaktadır. İncelenen işletmelerde çiftçilerin %70'i elde edilen geliri aile ihtiyaçları için kullanırken, %56,7'si bankaya yatırmakta, %36,7'si altın almakta, %30'u döviz almakta ve %16,7'si ise hisse senedi, tahvil vb. alarak değerlendirmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. İncelenen İşletmelerde Kredi Kullanımı ve Gelirin Değerlendirilmesi

	Kişi	%
Son Beş Yılda Tarımsal Amaçlı Kredi Kullanımı		
Kredi kullandı	15	50,0
Kredi kullanmadı	15	50,0
Toplam	***30***	***100,0***
Kredinin Temin Yeri* (N=15)		
Ziraat Bankası	15	100,0
Tarım Kredi Kooperatifi	8	53,3
Diğer Bankalar	2	13,3
Akrabalar	3	20,0
Kredi Kullanma Nedeni* (N=15)		
İşletme sermayesi eksiğini tamamlamak	9	60,0
Tarımsal girdi temini	11	73,3
Arazi alımı	8	53,3
Makine yatırımı	12	80,0
Sulama yatırımı	1	6,7
Aile ihtiyaçları	5	33,3
Tarımsal Geliri Değerlendirme Şekli* (N=30)		
Bankaya yatırıyor	17	56,7
Altın alıyor	11	36,7
Hisse senedi, tahvil vb. alıyor	5	16,7
Döviz alıyor	9	30,0
Arazi alıyor	23	76,7
Makine ekipman alıyor	18	60,0
Aile ihtiyaçlarını karşılıyor	21	70,0

*Birden fazla cevap alınmıştır.

İyi risk yönetimi kararları, güvenilir veriler gerektiren doğru bilgilere dayanır. İyi bilgi, bir çiftçinin rasyonel risk yönetimi kararları almasına yardımcı olmak için sahip olabileceği en faydalı unsurlardan biridir. Mevcut birçok bilgi kaynağı bunmakla birlikte, bilgi aramak için en uygun yer, çiftçinin yönetmesi gereken risk türüne bağlıdır. Tarımda karar almada kullanılabilecek bilgi kaynaklarını 3 grupta toplamak mümkündür. Bunlar; işletme kayıtları, işletme dışı bilgi kaynakları ve diğer bilgi kaynakları (vergi mevzuatı, ithalat / ihracat düzenlemeleri, çevre mevzuatı vb.)'dır.

Araştırmada anket uygulanan işletmelerde çiftçilerin tarımsal konularda bilgi kaynakları incelenmiş, elde edilen bulgular Çizelge 5'te verilmiştir. İncelenen işletmelerde çiftçilerin tarımsal konularda karşılaştıkları sorunlarda bilgi aldıkları kişiler arasında ilk sırayı ziraatçi/veteriner (%63,3) alırken bunu tarım il/ilçe müdürlüğü elemanları (%26,7), zirai bayiler (%20), tarım danışmanı (%13,3), akraba (%10) ve muhtar (%10) izlemektedir. İşletmelerde çiftçilerin %10'u ise kendisi sorunları çözdüğünü ifade etmiştir.

İncelenen işletmelerde çiftçilerin %30'u ayda bir kez, %16,7'si onbeş günde bir, %16,7'si yılda bir, %13,3'ü haftada bir, %13,3'ü üç ayda bir, ziraat teknisyeni, veteriner vb. kişilerle görüşmektedir. Araştırma alanında incelenen işletmelerde çiftçilerin %36,6'sına göre köye tarımsal yenilikleri ilaç/gübre ve tohum bayii getirmektedir. İşletmelerde tarımsal konularda çiftçilerin faydalandığı iletişim araçları sırasıyla internet, televizyon, radyo ve gazetedir (Çizelge 5).

Çizelge 5. İncelenen İşletmelerde Tarımsal Konularda Çiftçilerin Bilgi Kaynakları

	Kişi	%
Tarımsal Konularda Karşılaşılan Sorunlarda Bilgi Alınan Kişiler* (N=30)		
Kendisi	3	10,0
Muhtar	3	10,0
Akraba	3	10,0
Tarım il/ilçe müdürlüğü elemanları	8	26,7
Tarım danışmanı	4	13,3
Ziraatçı/Veteriner	19	63,3
Bayi	6	20,0
Çiftçilerin Ziraat Teknisyeni, Veteriner vb. Kişilerle Görüşme Sıklığı		
Görüşmüyorum	3	10,0
Haftada bir kez	4	13,3
On beş günde bir kez	5	16,7
Ayda bir kez	9	30,0
Üç ayda bir kez	4	13,3
Yılda iki kez	5	16,7
Toplam	***30***	***100,0***
Köye Yenilikleri İlk Getiren Kişi		
Kendim	3	10,0
Muhtar	7	23,3
Ziraatçı/Yayım elemanı	7	23,3
Kooperatif	2	6,7
İlaç, gübre, tohum bayi	11	36,6
Toplam	***30***	***100,0***
Tarımsal Konularda Faydalanılan İletişim Araçları*		
Televizyon	9	30,0
Radyo	3	10,0
Gazete	1	3,3
İnternet	27	90,0

*Birden fazla cevap alınmıştır.

3.2. İşletmelerde Risk Kaynakları ve Risk Yönetimi

Tarımda, işletmelerin faaliyetlerini başarılı bir şekilde sürdürebilmeleri risklerin mümkün olduğunca önlenmesine, tekrarının ve etkisinin azaltılmasına bağlı bulunmaktadır. Tarımsal üretimde bulunanlar tarım konusunda ne kadar deneyim sahibi olsalar da çoğu zaman birçok risk faktörü ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Daha önce de belirtildiği gibi tarımı etkileyen risk kaynakları oldukça fazla sayıdadır. Çoğunlukla ortaya çıkan belli başlı risk kaynakları hastalıklar, doğal koşullar, ürünlerin fiyatlarındaki dalgalanmalar vb. olarak belirtilebilir. Tarımda karşılaşılan risk kaynaklarının bilinmesi ve buna göre çeşitli önlemlerin alınması önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Araştırmada yeralan işletmelerde çiftçilerin tarımda karşılaşılan risk kaynakları ve bu risklere karşı uygulanabilecek risk yönetimi stratejilerine yönelik görüşleri 5'li Likert ölçeği kullanılarak değerlendirilmiştir (Çizelge6 ve Çizelge 7).

İncelenen işletmelerde çiftçilerin tarımsal üretimde karşılaşılan risk kaynaklarından çok önemli olarak ifade ettikleri sırasıyla; ürün verimlerindeki değişiklikler (1,23), öz sermayesiz finansman (1,27), yangın nedeniyle ürünün zarar görmesi (1,27), iklim koşullarında meydana gelen değişiklikler (1,30), aile işgücünün yetersizliği (1,30), sel nedeniyle ürünün zarar görmesi (1,30), ürün fiyatlarındaki değişiklikler (1,33), yağışın yetersiz olması (1,33), kredi kaynaklarının kapasitesi/ulaşılabilirliği (1,40), işletmede meydana gelen iş kazaları (1,40), yağışın gereğinden fazla olması (1,40), girdi maliyetlerindeki değişiklikler (1,43), borç yapısı (1,43), finansman yetersizliği (1,47), toprak kayması (1,47) ve üretim planlamasının olmamasıdır (1,47). Genel olarak çiftçilerin çok önemli olarak ifade ettiği risk kaynakları

üretim ve teknoloji riski, finansman riski, pazarlama ve fiyat riski ile kişisel riskler ana başlıkları altında yeralan risk kaynaklarıdır (Çizelge 6).

Çizelge 6. İncelenen İşletmelerde Risk Kaynakları

Risk Kaynakları	Ortalama	Std. Sapma	%					Toplam
			1	2	3	4	5	
Hükümetin uyguladığı politikalardaki değişiklikler (Genel ve Tarım)	1,50	0,73	60,0	33,3	3,3	3,3	-	100,0
Ülkenin ekonomik durumundaki değişimler	1,60	0,68	46,7	50,0	-	3,3	-	100,0
Ürünlerin fiyatlarındaki değişiklikler	1,33	0,55	70,0	26,7	3,3	-	-	100,0
Ürün verimlerindeki değişiklikler	1,23	0,50	80,0	16,7	3,3	-	-	100,0
Girdi maliyetlerindeki değişiklikler	1,43	0,57	60,0	36,7	3,3	-	-	100,0
Hükümet desteğinin olmaması/ yetersiz olması	1,53	0,86	60,0	33,3	3,3	-	3,3	100,0
Satış yerine uzaklık	1,90	1,27	50,1	33,3	3,3	3,3	10,0	100,0
İklim koşullarında meydana gelen değişiklikler	1,30	0,47	70,0	30,0	-	-	-	100,0
Bitki hastalıklarından dolayı verim düşüklüğü	1,50	0,51	50,0	50,0	-	-	-	100,0
Bitki zararlılarından dolayı verim düşüklüğü	1,60	0,56	43,3	53,3	3,3	-	-	100,0
Hasat sırasında meydana gelen ürün kayıpları	1,53	0,63	53,3	40,0	6,7	-	-	100,0
Paketlemede karşılaşılan sorunlar	2,27	1,53	43,3	26,7	10,0	-	20,0	100,0
Taşımada karşılaşılan sorunlar	2,07	1,46	50,0	26,6	6,7	-	16,7	100,0
Muhafazada (depolamada) karşılaşılan sorunlar	2,23	1,52	43,3	30,0	6,7	-	20,0	100,0
Sözleşmeli üretimin olmaması	2,07	1,48	50,0	30,0	3,3	-	16,7	100,0
Enflasyon	1,57	0,89	60,0	30,0	6,7	-	3,3	100,0
Öz sermayesiz finansman	1,27	0,45	73,3	26,7	-	-	-	100,0
Çiftlik sermayesindeki yetersizlik	1,53	0,51	46,7	53,3	-	-	-	100,0
Finansman yetersizliği	1,47	0,63	60,0	33,3	6,7	-	-	100,0
Kredi kaynaklarının kapasitesi/ bulunabilirliği	1,40	0,62	66,6	26,7	6,7	-	-	100,0
Arazi fiyatlarındaki değişiklikler	1,73	1,11	53,3	36,7	-	3,3	6,7	100,0
Faiz oranlarındaki değişiklikler	1,63	1,13	63,3	26,7	-	3,3	6,7	100,0
Borçluluk durumu (Borç miktarı)	1,50	0,86	63,3	30,0	3,3	-	3,3	100,0
Borç yapısı (Vadesi, kaynağı)	1,43	0,57	60,0	36,7	3,3	-	-	100,0
İşletme kayıtlarının tutulmaması	2,00	1,37	50,0	26,7	10,0	-	13,3	100,0
Çiftçi örgütlenmesindeki yetersizlikler	1,77	0,94	46,7	36,7	13,3	-	3,3	100,0
İş bölümünün olmaması	1,70	0,84	53,4	23,3	23,3	-	-	100,0
Üretim yöntemi ile ilgili bilgi eksikliği	1,93	1,02	40,0	36,7	16,7	3,3	3,3	100,0
Pazarlama ve satış konusunda bilgi eksikliği	1,63	0,96	60,0	23,3	13,3	-	3,3	100,0
İşletme sahibinin veya işçinin sağlık/sakatlık/ölüm durumu	1,57	0,73	56,7	30,0	13,3	-	-	100,0
İşletmede meydana gelen iş kazaları	1,40	0,68	66,7	30,0	-	3,3	-	100,0
Aile ilişkilerindeki sorunlar/anlaşmazlıklar	1,53	0,82	56,7	40,0	-	-	3,3	100,0
Aile işgücünün yetersizliği	1,30	0,54	73,4	23,3	3,3	-	-	100,0
Yabancı işgücü bulmada karşılaşılan güçlükler	1,63	0,93	56,7	30,0	10,0	-	3,3	100,0
Hırsızlık	1,63	0,72	50,0	36,7	13,3	-	-	100,0
Don olayı	1,50	0,51	50,0	50,0	-	-	-	100,0
Yağışın gereğinden fazla olması	1,40	0,68	66,7	30,0	-	3,3	-	100,0
Yağışın yetersiz olması	1,33	0,48	66,7	33,3	-	-	-	100,0
Tarımsal alet ve makinelerin yetersizliği	1,57	0,86	56,7	36,7	3,3	-	3,3	100,0
Yangın nedeniyle ürünün zarar görmesi	1,27	0,45	73,3	26,7	-	-	-	100,0
Sel nedeniyle ürünün zarar görmesi	1,30	0,54	73,4	23,3	3,3	-	-	100,0
Toprak kayması	1,47	0,82	63,4	33,3	-	-	3,3	100,0
Toptancı halinde alt yapı eksikliğinin olması	1,97	1,40	53,4	26,7	3,3	3,3	13,3	100,0
Soğuk hava deposu yetersizliği	2,07	1,46	50,0	26,7	6,7	-	16,7	100,0
Analiz laboratuvarlarının yetersizliği (Hastalık, zararlı, kalıntı vb. için)	1,83	1,39	63,3	16,7	6,7	-	13,3	100,0
Pazara uygun çeşit ve kalitede ürün yetiştirememe	1,83	1,49	66,6	16,7	-	-	16,7	100,0
İşletme ölçeğinin küçük olması	1,53	0,86	60,0	33,4	3,3	-	3,3	100,0
Üretim planlamasının olması	1,47	0,68	63,3	26,7	10,0	-	-	100,0
İşletmecilerin teknik bilgi eksikliği	1,70	0,84	53,4	23,3	23,3	-	-	100,0
Ürünlerin pazar garantisinin olmaması	1,53	1,11	73,3	13,3	6,7	-	6,7	100,0

*Önem derecesi: 1. Çok önemli, 2. Önemli, 3: Nötr, 4: Önemli değil, 5: Hiç önemli değil

Risk yönetimi stratejileri; üretim, pazarlama, finansal, kişisel ve politik/kurumsal olarak sınıflandırılabilir. Çiftçiler, amaçlarına, riske karşı tutumlarına, kişisel ve finansal

durumlarına göre stratejileri seçer ve birleştirir. Çiftçilerin riske verdiği tepkiler, üretim faaliyetlerini etkileyen riskler kadar çeşitlidir. Hangi strateji seçilirse seçilsin bunun bir bedeli olacağı unutulmamalıdır. Fiyat, sigorta ödemeleri yapmak gibi doğrudan bir maliyet veya potansiyel bir kazançtan vazgeçmek gibi dolaylı bir maliyet veya çiftliği yönetmek için harcanan daha fazla zaman olabilir. Deneyimli ve yetenekli bir çiftçi, risk yönetimi ile kar elde etmek arasında bir denge kurmaya çalışacaktır.

Araştırma alanında incelenen işletmelerde anket uygulanan çiftçilerin tarımsal üretimde karşılaştıkları risklere karşı uygulanabilecek risk yönetimi stratejileri ile ilgili görüşleri Çizelge 7'de verilmiştir. İncelenen işletmelerde anket uygulanan işletmecilere göre çok önemli olan risk yönetimi stratejileri sırasıyla; mümkün olduğunca en düşük maliyetle üretim yapmak (1,10), geçmiş dönem ürün fiyatları hakkında bilgi sahibi olmak (1,27), hastalıklara karşı ilaçla mücadele yapmak (1,27), işletme arazisini büyütmek (1,27), sermaye kaynakları bulmak (1,30), ödeme gücünü artırmak (1,33), bölgesel üretim planlaması yapmak (1,33), işletme dışı yatırım yapmak (1,40), mevcut kaynakların aşırı kullanımını düzenlemek (1,40), çeşitlendirme yapmak (1,43), tasarruf yapmak (1,43) ve ürünün satılacağı pazar hakkında bilgi sahibi olmaktır (1,47). Araştırmada incelenen işletmelerde çiftçiler risk yönetimi stratejilerini Çizelge 7'de de görüldüğü gibi çoğunlukla çok önemli ve önemli olarak derecelendirmiştir.

Çizelge 7. İncelenen İşletmelerde Risk Yönetimi Stratejileri

Risk Yönetimi Stratejileri	Ortalama	Std. Sapma	%					Toplam
			1	2	3	4	5	
Mümkün olduğunca en düşük maliyetle üretim yapmak	1,10	0,55	96,7	-	-	3,3	-	100,0
Taşıma / ulaşım olanaklarını iyileştirmek	2,00	1,05	30,0	56,7	3,3	3,3	6,7	100,0
Muhafaza olanaklarını iyileştirmek	1,70	1,15	60,0	26,7	3,3	3,3	6,7	100,0
Geçmiş dönem ürün fiyatları hakkında bilgi sahibi olmak	1,27	0,45	73,3	26,7	-	-	-	100,0
Ürün sigortası yaptırmak	1,60	1,07	63,3	26,7	3,3	-	6,7	100,0
Sera sigortası yaptırmak	1,63	1,10	63,3	23,3	6,7	-	6,7	100,0
Çalışanların sigortalı olması	2,00	1,39	50,0	30,0	3,3	3,3	13,4	100,0
Ürünün satılacağı pazar hakkında bilgi sahibi olmak	1,47	0,90	70,0	20,0	6,7	-	3,3	100,0
Harcamaları planlamak	1,53	0,82	56,7	40,0	-	-	3,3	100,0
İşletme dışı yatırım yapmak	1,40	0,86	73,3	20,0	3,3	-	3,3	100,0
Aile bireylerinin işletme dışında çalışması	1,70	0,95	50,1	40,0	3,3	3,3	3,3	100,0
İşletme sahibinin işletme dışında çalışması	1,70	0,92	46,7	46,7	-	3,3	3,3	100,0
Borç yönetiminin uzman kişilerce (Muhasebeci, Ziraat Müh. vb.) yapılması	1,97	1,38	53,3	23,3	10,0	-	13,3	100,0
Mevcut kaynakların aşırı kullanımını düzenlemek	1,40	0,50	60,0	40,0	-	-	-	100,0
Borçlanmayı azaltmak	1,73	1,20	56,7	33,3	-	-	10,0	100,0
Hastalıklara karşı ilaçla mücadele yapmak	1,27	0,45	73,3	26,7	-	-	-	100,0
İşletme kayıtlarını düzenli olarak tutmak	1,83	0,87	36,7	50,0	10,0	-	3,3	100,0
Sözleşmeli üretim yapmak (Pazarlama, üretim)	1,97	1,38	53,4	23,3	10,0	-	13,3	100,0
İşletmede çeşitlendirme yapmak (Birden çok çeşide yer vermek)	1,43	0,94	73,4	20,0	-	3,3	3,3	100,0
İşletmede farklılaştırma yapmak (Birden çok ürüne yer vermek)	1,60	0,97	60,1	30,0	3,3	3,3	3,3	100,0
Ödeme gücünü arttırmak	1,33	0,55	70,0	26,7	3,3	-	-	100,0
Ailenin yaşam standardını düşürmek	1,53	0,90	63,3	26,7	6,7	-	3,3	100,0
Ürün satışlarını zamana yaymak	1,63	0,99	60,0	26,7	6,7	3,3	3,3	100,0
Kooperatife üye olmak	2,07	1,34	43,3	33,3	10,0	-	13,3	100,0
Tasarruf yapmak	1,43	0,63	63,3	30,0	6,7	-	-	100,0
Sermaye kaynakları bulmak	1,30	0,53	73,4	23,3	3,3	-	-	100,0
Finansal analizler yapmak	1,70	0,88	46,7	43,3	6,7	-	3,3	100,0
Sermaye varlıklarını satmak	1,57	0,73	53,4	40,0	3,3	3,3	-	100,0
Tarım danışmanıyla çalışmak	1,83	1,18	53,3	26,7	10,0	3,3	6,7	100,0
İşletme arazisini büyütmek	1,27	0,45	73,3	26,7	-	-	-	100,0
İşletme arazisini küçültmek	1,87	0,97	50,0	16,7	30,0	3,3	-	100,0
Ürünü işleyerek satmak	2,30	1,51	46,7	13,3	20,0	3,3	16,7	100,0
Tarımsal girdilere yönelik destekler artırılmalı	1,50	0,63	56,7	36,7	6,7	-	-	100,0
Arazi toplulaştırması yapmak	2,67	1,47	23,3	33,4	20,0	-	23,3	100,0
Bölgesel üretim planlaması yapmak	1,33	0,84	80,0	13,4	3,3	-	3,3	100,0

*Önem derecesi: 1. Çok önemli, 2. Önemli, 3: Nötr, 4: Önemli değil, 5: Hiç önemli değil

4. SONUÇ

Tarımsal işletmelerde üretim, pazarlama, finansal, politik/kurumsal ve insan riskleri mevcuttur ve bu riskler birbirleriyle ilişkilidir. Borçları geri ödeme kabiliyeti, üretim seviyelerine ve satılan ürünler için alınan fiyatlara bağlıdır. Üretimin finansmanı, sermayeyi ödünç alma kabiliyetine ve borç verenin zamanında sermaye sağlama kabiliyetine bağlıdır. Bu nedenle farklı risk türlerinin çoğu zaman birlikte ele alınması gerekmektedir. Tarımsal üretimde karşılaşılan farklı risk kaynaklarının göreceli önemi, çiftçinin ve han ehalkının doğasına ve koşullarına bağlıdır. Bu, tarımsal işletmenin kaynak yapısını, fiziksel konumunu, uygulanan özel üretim süreçlerini ve çiftçinin riske karşı tutumunu içerir.

Tarımsal üretimde, yağmurun yeterli olduğu koşullarda üretim yapan çiftçiler kuraklığı en büyük risk olarak görebilir. Yüksek değerli ürünler üreten çiftçiler fiyat dalgalanmalarını en büyük risk olarak bulabilirler. Risk ne olursa olsun, neyin, ne zaman ekileceği, nasıl ekileceği, ne kadar ekileceği ve tahsis edilecek kaynaklar hakkında karar verirken çiftçilerin dikkate alması gerekir. Bunlar çiftçilerin verdiği ana yönetim kararlarıdır ve üretim planlaması açısından önem arz etmektedir.

Bu araştırmada, Ankara ili çubuk ilçesindeki tarım işletmelerinde çiftçilerin karşılaştığı üretim riski kaynakları ve bu risklere karşı uygulanabilecek risk yönetimi stratejileri ile ilgili çiftçi görüşleri araştırılmıştır. Araştırma alanında çiftçilerin tarımda karşılaştıkları riskler arasında çok önemli olarak öne çıkanlar;

- ürün verimlerindeki değişiklikler,
- öz sermayesiz finansman,
- yangın nedeniyle ürünün zarar görmesi,
- iklim koşullarında meydana gelen değişiklikler,
- aile işgücünün yetersizliği,
- sel nedeniyle ürünün zarar görmesi,
- ürün fiyatlarındaki değişiklikler,
- yağışın yetersiz olması,
- kredi kaynaklarının kapasitesi/ulaşılabilirliği
- işletmede meydana gelen iş kazaları,
- yağışın gereğinden fazla olması,
- girdi maliyetlerindeki değişiklikler,
- borç yapısı,
- finansman yetersizliği,
- toprak kayması,
- üretim planlamasının olmamasıdır.

Araştırmada çiftçilerin tarımsal faaliyetlerde karşılaşılan risklerin etkisini azaltmak ya da transfer etmek için uygulanabilecek risk yönetimi stratejilerinden çok önemli olarak ifade ettikleri ise;

- mümkün olduğunca en düşük maliyetle üretim yapmak,
- geçmiş dönem ürün fiyatları hakkında bilgi sahibi olmak,
- hastalıklara karşı ilaçla mücadele yapmak,
- işletme arazisini büyütmek,
- sermaye kaynakları bulmak,
- ödeme gücünü artırmak,
- bölgesel üretim planlaması yapmak,
- işletme dışı yatırım yapmak,
- mevcut kaynakların aşırı kullanımını düzenlemek,

- çeşitlendirme yapmak,
- tasarruf yapmak,
- ürünün satılacağı pazar hakkında bilgi sahibi olmaktır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKLAR

Adanacioglu, H., Olgun, A. 2010. Effects on the economic performance of framers of the risks encountered in the production of organic cotton, and risk management strategies: A Turkish case study. African Journal of Agricultural Research, 5 (24): 3387-3393.

Aditto, S. 2011. Risk analysis of smallholder farmers in Central and Northern East Thailand. PhD Thesis. Philosophy in Agricultural Economics, Lincoln University.

Aditto, S., Gan, C., Nartea, G.V. 2012. Sources of risk and risk management strategies: The case of smallholder farmers in a developing economy. In book: Risk management: current issues and challenges, Chapter 20, Publisher: Intech. Editor: Nerija Banaitiene, pp:449-474.

Agir, H.B., Saner, G., Adanacioglu, H. 2015. Risk sources encountered by farmers in the open field production of strawberry and risk management strategies: A case of Menemen Emiralem District of Izmir. Journal of Agricultural Sciences, 21: 13-25.

Agir, H.B., Erdem, M. 2022. Perception of Wheat Farmers' Risk and Risk Strategies: The case of Kahramanmaras Province. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 9 (1): 203-210.

Ahmed, M.A., Haji, J., Legesse, B., Demisse, T. 2020. Risk perception and management in smallholder vegetable farming in Eastern Ethiopia. Journal of Natural Sciences Research, 10 (4): 1-12.

Ahsan, D.A. 2011. Farmers' motivations, risk perceptions and risk management strategies in a developing economy: Bangladesh experience, Journal of Risk Research, 14 (3): 325-349.

Ahsan, D.A., Roth, E. 2010. Farmers' perceived risks and risk management strategies in an emerging mussel aquaculture industry in Denmark. Marine Resource Economics, 25: 309-323.

Akcaoz, H., Ozkan, B. 2005. Determining risk sources and strategies among farmers of contrasting risk awareness: A case study for Cukurova region of Turkey. Journal of Arid Environments, 62: 661–675.

Akcaoz, H., Ozkan, B., Karadeniz, C.F., Fert, C. 2006. Risk sources and risk strategies in agricultural production: A case of Antalya Province, Turkey. Akdeniz University, Journal of Agriculture Faculty, 19 (1): 89-97.

Akcaoz, H., Kizilay, H., Ozcatalbas, O. 2009a. Risk management strategies in dairy farming: A case study in Turkey. Journal of Animal and Veterinary Advances, 8 (5): 949-958.

Akcaoz, H., Kizilay, H., Ozcatalbas, O. 2009b. Risk management and sustainability in banana production: A case study from Turkey. Journal of Food Agriculture and Environment, 7 (2): 283-294.

Akhtar, S., Gu-cheng, L., Ullah, R., Nazir, A., Iqbal, M.A., Raza, M.H., Iqbal, N., Faisal1, M. 2018. Factors influencing hybrid maize farmers' risk attitudes and their perceptions in Punjab Province, Pakistan. Journal of Integrative Agriculture, 17(6): 1454–1462.

Akhtar, S., Gu-cheng, L., Nazir, A., Razzaq, A., Ullah, R., Faisal, M., Naseer, M.A.R., Raza, M.H., 2019. Maize production under risk: The simultaneous adoption of off-farm income diversification and agricultural credit to manage risk. Journal of Integrative Agriculture, 18(2): 460–470.

Ali, J., Kapoor, S. 2008. Farmers' perception on risks in fruits and vegetables production: An empirical study of Uttar Pradesh. Agricultural Economics Research Review, 21: 317-326.

Almadani, M.I. 2014. Risk attitude, risk perceptions and risk management strategies: An empirical analysis of Syrian wheat-cotton and pistachio farmers. PhD Thesis. Faculty of Agricultural Sciences, Georg-August University, Gottingen, Germany.

Alp, C. 2017. Risk analysis in tomato farming agricultural businesses: Sample of Plain Kumkale in the City of Canakkale. Msc Thesis. Canakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Science and Technology, Department of Agricultural Economics, Canakkale.

Arce, C. 2010. Risk management in the agricultural sector: concepts and tools. In: Strengthening the Caribbean Agri-food Private Sector: Competing in a Globalized World to Foster Rural Development. 18–19 October 2010, Grenada.

Ashraf, M., Routray, J.K. 2013. Perception and understanding of drought and coping strategies of farming households in Northwest Balochistan. International Journal of Disaster Risk Reduction, 5: 49–60.

Asravor, R.K. 2019. Farmers' risk preference and the adoption of risk management strategies in Northern Ghana. Journal of Environmental Planning and Management, 62 (5): 881-900.

Bagheri, A., Fami, S. 2016. Potato growers' risk perception: A case study in Ardabil Province of Iran. Journal of Agricultural Science and Technology, 18: 55-65.

Bal, D.C. 2018. The evaluation of risk sources and risk management strategies on crop production in trace region. Tekirdag Namik Kemal University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Agricultural Economics, PhD Thesis, Tekirdag, Turkey.

Balcı, A. 1995. Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntem, Teknik ve İlkeler, Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi, Ankara.

Bayramoglu, Z., Kaya, S., Karakayaci, Z. 2013. Risk sources and risk strategies in agricultural production: A case of Cumra. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, 27 (1): 46-54.

Bishu, K.G. 2014. Risk management and the potential of cattle insurance in Tigray, Northern Ethiopia. PhD Thesis. Department of Food Business and Development National University of Ireland, Cork.

Bishu, K.G., O'Reilly, S., Lahiff, E., Steiner, B. 2018. Cattle farmers' perceptions of risk and risk management strategies evidence from Northern Ethiopia. Journal of Risk Research, 21 (5): 579-598.

Boggess, W.G., Anaman, K.A., Hanson, G.D. 1985. Importance, causes and management responses to farm risks: Evidence from Florida and Alabama. Southern Journal of Agricultural Economics, December: 105-116.

Bradshaw, B. 2004. Plus c'est la même chose? Questioning crop diversification as a response to agricultural deregulation in Saskatchewan, Canada. Journal of Rural Studies, 20: 35-48.

Cetin, I., Esengun, K. 2012.Measuring risk and designing risk management strategies for dry onion growing farms: A case study for Amasya Province of Turkey. Scientific Research and Essays, 7 (50): 4259-4268.

Chaudhary, P., Aryal, K.P. 2009. Global warming in Nepal: Challenges and policy imperatives. Journal of Forest and Livelihood, 8: 5-14.

Chilala, B. 2015. Risk management and market participation among traditional cattle farmers in Monze District of Southern Province, Zambia. Masters in Agri Commerce, Massey University, Manawatu, New Zealand.

Dadzie, S.K.N., Acquah, H.D. 2012. Attitudes toward risk and coping responses: The case of food crop farmers at Agona Duakwa in Agona East District of Ghana. International Journal of Agriculture and Forestry, 2, 29-37.

Dillon, J.L. 1971. An expository review of Bernoullian decision theory is utility? Review of Marketing and Agricultural Economics, 39: 3-80.

Einav, L., Finkelstein, A., Cullen, M.R. 2010. Estimating welfare in insurance markets using variation in prices. The Quarterly Journal of Economics, 125: 877–921.

Ellis, F. 1998. Household strategies and rural livelihood diversification. Journal of Development Studies, 35(1): 1-38.

Flaten, O., Lien, G. M., Koesling, M., Valle, P.S., Ebbesvik, M. 2005. Comparing risk perceptions and risk management in organic and conventional dairy farming: Empirical results from Norway. Livestock Production Science, 95: 11–25.

Foguesatto, C.R., Machado, A.D. 2017. Perceptions of risk and risk management strategies in family agroindustries. African Journal of Agricultural Research, 12 (22): 1881-1888.

Garrett, K. A., Dobson, A., Kroschel, J., Natarajan, B., Orlandini, S., Tonnang, H.E., Valdivia, C. 2013. The effects of climate variability and the color of weather time series on agricultural diseases and pests, and on decisions for their management. Agricultural and Forest Meteorology, 170: 216–227.

Gebreegziabher, K., Tadesse, T. 2014. Risk perception and management in smallholder dairy farming in Tigray, in Northern Ethiopia. Journal of Risk Research, 17 (3): 367-381.

Girdziute, L. 2012. Risks in agriculture and opportunities of their integrated evaluation. Procedia Social and Behavioral Sciences, 62: 783-790.

Gomez-Limon, J., Arriaza, M.L., Riesgo, L. 2003. An MCDM analysis of agricultural risk aversion. European Journal of Operational Research, 15: 569-585.

Gokgoz, H., Kayahan, C. 2021. Risk perception and behavior in livestock sector: Case in the city of Afyonkarahisar. Research of Financial Economic and Social Sciences, 6 (2): 279-295.

Greiner, R., Patterson, L., Miller, O. 2009. Motivations, risk perceptions and adoption of conservation practices by farmers. Agricultural Systems, 99: 86-104.

Hakorimana, F., Akcaoz, H. 2020. Risk sources and risk management strategies in coffee farming: A case study of Rwanda. Turkish Journal of Agricultural Economics, 26 (1): 1-17.

Hall, D.C., Knight, T.O., Coble, K.H., Baquet, A.E., Patrick, G.F. 2003. Analysis of beef producers' risk management perceptions and desire for further risk management education. Review of Agricultural Economics, 25 (2): 430-448.

Halter, A.N., Dean, G.W. 1971. Decisions under uncertainty with research applications. (1st ed). Cincinnati: South-Western Press, (Chapter 6).

Hardaker, J., Huirne, R., Anderson J., and Lien, G. 2004. Coping with risk in Agriculture. Cambridge: CABI.

Harwood, J., Richard, H., Keith, C., Janet, P., Agapi, S. 1999. Managing risk in farming: concepts, research, and analysis. Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. Agricultural Economic Report No: 774.

Hayran, S., Gul, A. 2015. Risk perception and management strategies in dairy farming: A case of Adana Province of Turkey. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 3 (12): 952-961.

Hayran, S., Gül, A., Elmalı, A.S., Arıkan, O., Yıldız, M.F. 2015. Risk perception and management strategies in agricultural production: A case of Adana Province of Turkey. 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment. September 30-October 3, Konya, Turkey. 237-244.

Hayran, S. 2019. Perceptions of wheat producers towards risk and risk management strategies: A case study from Turkey. Ciencia Rural, 49 (12): 1-11.

Hayran, S., Külekci, M., Gül, A. 2021. Perception and risk management strategies for ranchers and their determinants: A case study from Turkey. Ciencia Rural, 51 (6): 1-11.

Hazell, P., Norton, R. 2003. Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. New York: Macmillan.

Huirne, R.B.M., Meuwissen, M.P.M., Hardaker, J.B., Anderson, J.R. 2000. Risk and risk management in agriculture: an overview and empirical results. International Journal of Risk Assessment and Management, 1 (1/2): 125-135.

Iqbal, M.A., Ping, Q., Abid, M., Muhammad, M.K.S., Rizwan, M. 2016. Assessing risk perceptions and attitude among cotton farmers: A case of Punjab Province, Pakistan. International Journal of Disaster Risk Reduction, 16: 68-74.

Iqbal, M.A., Ping, Q., Zafar, M.U., Abbas, A., Bashir, M.K., Ali, A., Kousar, R. 2018. Farm risk sources and their mitigation: A case of cotton growers in Punjab, Pakistan Journal of Agricultural Science, 55 (3): 677-684.

Iqbal, M.A., Abbas, A., Naqvi, S.A.A., Rizwan, M., Samie, A., Ahmed, U.I. 2020. Drivers of farm households' perceived risk sourcesand factors affecting uptake of mitigation strategies in Punjab Pakistan: Implications for Sustainable Agriculture. Sustainability, 12: 1-17.

Isik, M., Khanna, M. 2003. Stochastic technology, risk preferences, and adoption of site-specific technologies. American Journal of Agricultural Economics, 85: 305-317.

Jankelova, N., Masar, D., Maaricova, S. 2017. Risk factors in the agriculture sector. Agricultural Economics-Czech, 63 (6): 247-258.

Jones, H.P., Hole, D.G., Zavaleta, E.S. 2012. Harnessing nature to help people adapt to climate change. Nature Climate Change, 2: 504–509.

Kammar, S.K., Bhagat, R. 2009. Constraints experienced by farmer's in adopting risk and uncertainty management strategies in rainfed agriculture. Pusa Agricultural Science 32: 70-74.

Khan, D. 2008. Managing risk in farming. Farm Management Extension Guide-3. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome.

Khan, A.N., Khan, S.N., Ali, A. 2010. Analysis of damages caused by flood-2010 in district Peshawar. Journal of Science and Technology University of Peshawar, 36: 11-16.

Khan, I., Lei, H., Shah, I.A., Ali, I., Khan, I., Muhammed, I., Huo, X., Javed, T. 2020. Farm households' risk perception, attitude and adaptation strategies in dealing with climate change: Promise and perils from Rural Pakistan. Land Use Policy, 91: 1-11.

Kisaka-Lwayo, M., Obi, A. 2012. Risk perceptions and management strategies by smallholder farmer's in KwaZulu-Natal Province, South Africa. International Journal of Agricultural Management, 1: 28-39.

Kitonyoh, K.C. 2015. A farm level analysis of risk attitude, sources and risk measurement strategies among farmers in Trans Nizoiz County, Kenya. Msc Thesis. Agricultural Economics and Resource Management of Mai University.

Knight, F.H. 2002. Risk, Uncertainty and Profit. 4th Edition, Houghton: Mifflin Publishers, Chapter 7.

Ladanyi, M. 2003. Risk methods and their applications in agriculture. Applied Ecology and Environmental Research, 6(1): 147-164.

Legesse, B., Drake, L. 2005. Determinants of smallholder farmers' perceptions of risk in the Eastern Highlands of Ethiopia. Journal of Risk Research, 8 (5): 383-416.

Lu, W., Latif, A., Ullah, R. 2017. Simultaneous adoption of contract farming and off-farm diversification for managing agricultural risks: the case of flue-cured Virginia tobacco in Pakistan. Natural Hazards, 86: 1347-1361.

Lucas, M.P., Pabuayon, I.M. 2011. Risk perceptions, attitudes, and influential factors of rainfed lowland rice farmer's in Ilocos Norte, Philippines. Asian Journal of Agriculture and Development, 8 (2): 61-77.

Lwayo, M.K., Obi, A. 2012. Risk perceptions and management strategies by smallholder farmers in KwaZulu-Natal Province, South Africa. International Journal of Agricultural Management, 1 (3): 28-39.

Martin, S. 1996. Risk management strategies in New Zealand agriculture and horticulture. Review of Marketing and Agricultural Economics, 64 (1): 31-44.

Martin, S., McLeay, F. 1998. The diversity of farmers' risk management strategies in a deregulated New Zealand Environment. Journal of Agricultural Economics, 49 (2): 218-233.

Meuwissen, M.P.M., Huirne, R.B.M., Hardaker, J.B. 2001. Risk and risk management: An empirical analysis of Dutch livestock farmers. Livestock production Science, 69: 43-53.

Morales, C., Garrido, A., Palinkas, P., Székely, C. 2008. Risks perceptions and risk management instruments in the European Union: Do farmers have a clear idea of what they need? 12th Congress of the European Association of Agricultural Economists, August, 26-29, Ghent, Belgium. 1-8.

Nayak, J.M., Manjunatha, A.V. 2019. Risk sources and management strategies of farmers: Evidence from Mahawadi River Basin of Odisha in India. The Institute for Social and Economic Change, Bangalore, Working Paper:436.

Nazir, A., Li, G., Sheikh, M.J., Zhou, X., Humayoon, A., Rizwan, M., Akhtar, S. 2018. Farmers' perceptions of risk sources and risk coping strategies in Pakistan, The Journal of Animal and Plant Sciences, 28 (3): 889-902.

Nicol, R.M., Ortmann, G.F., Ferrer, S.R.D. 2007. Perceptions of key business and financial risks by large-scale sugarcane farmers in KwaZulu-Natal in a dynamic socio-political environment. Agrekon, 46 (3): 351-370.

Olawuyi, S.O., Ojedokun, I.K., Olawuyi, T.D. 2015. Risk Management Strategies Adoption of Farming Households in Kwara State of Nigeria: A Pragmatic Approach. 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment (2nd ICSAE) September 30 – October 3, 2015, Konya, Turkey, 70-80.

Ozer, D., Tumer, E.I. 2020. Analysis of the factor affecting the attitude of lemon producers against risk: The case of Erdemli District of Mersin Province. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 7 (4): 988-996.

Ozsayin, D. 2019. Determining of risk sources and risk management strategies in dairy farms: A case of Canakkale Province. Journal of Agricultural Science, 25: 272-280.

Patrick, G.R., Wilson, P.N., Barry, P.J., Boggess, W.G., Young, D.L. 1985. Risk perceptions and management responses: Producer generated hypothesis for risk modeling. Southern Journal of Agricultural Economics, December: 231-238.

Pellegrino, J.M. 1999. Risk management in agriculture: Argentine evidence of perceived sources of risk, risk management strategies, and risk efficiency in rice farming. Master of Commerce (Agriculture) Thesis. Lincoln University.

Riwthong, S., Schreinemachers, P., Govermann, C., Berger, T. 2017. Agricultural commercialization: Risk perceptions, risk management and the role of pesticides in Thailand. Kasetsort Journal of Social Sciences, 38 (3): 264-272.

Rizwan, M., Deyi, Z., Nazir, A., Osti, R., Ahmed, U.I., Zhu, Y., Iqbal, M.A. 2017. Risk perceptions and management strategies of rice growing households: Evidence from a Developing Country. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 7 (3): 16-26.

Saqib, S.E., Ahmad, M.M., Panezai, S., Ali, U.. 2016. Factors influencing farmers' adoption of agricultural credit as a risk management strategy: The case of Pakistan. International Journal of Disaster Risk Reduction, 17: 67-76.

Sookhtanlo, M., Sarani, V. 2011. Analysis of factor affecting on risk management of wheat production among wheat farmers (Razavich Region, Khorasan-E-Razavi Province, Iran). Agris online Papers in Economics and Informatics, 3 (4): 3-11.

Sulewski, P., Gajewska, A.K. 2014. Farmers'risk perception, risk aversion and strategies to cope with production risk: An empirical study from Poland. Studies in Agricultural Economics, 116: 140-147.

Sulewski, P., Was, A., Kobus, P., Pogodzinska, K., Szymanska, M., Sosulski, T. 2020. Farmers' attitudes towards risk-an empirical study from Poland. Agronomy, 10: 1-21.

Tavşancıl, E. 2014. Tutumların Ölçülmesi ve SPSS ile Veri Analizi 5. Basım. Nobel Yayıncılık, Ankara.

Thieken, A.H., Cammerer, H., Dobler, C., Lammel, J., Schöberl, F., 2016. Estimating changes in flood risks and benefits of non-structural adaptation strategies - A case study from Tyrol, Austria. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 21: 343-376.

Toledo, R., Engler, A. 2008. Risk preferences estimation for small raspberry producers in the Bio-Bio Region, Chile. Chilean Journal of Agricultural Research, 68: 175-182.

TÜİK, 2024.Türkiye İstatistik Kurumu İstatistik Veri Portalı. http://www.data.tuik.gov.tr.

Tumer, E.İ., Birinci, A. 2020. Risk sources and strategies affecting plant production in TRAI Region. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 7 (4): 997-1009.

Ucar, K., Engindeniz, S. 2019. The risk sources of apricot production and applicable risk management strategies in Malatya Province. Igdir University Journal of the Institute of Science and Technology, 9 (4): 2313-2320.

Ullah, R., Shivakoti, G.P., Ali, G. 2015. Factors effecting farmer's risk attitude and risk perceptions: The case of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. International Journal of Disaster Risk Reduction, 13: 151-157.

Usman, J., Jirgi, A.J., Ojo, M.A., Tiamiyu, S.A. 2017. Sources of risk and management strategies among farmers in rice post-harvest management in Niger State, Nigeria. International Journal of Environmental and Agriculture Research, 3 (7): 60-66.

Wauters, E., Winsen, F., MEy, Y., Lauwers, L. 2014. Risk perception, attitudes towards risk and risk management: Evidence and implications. Agricultural Economics-Czech, 60 (9): 389-405.

Waweru, C.W. 2017. An analysis of risk attitudes and risk management strategies among dairy farmers in Muranga County, Kenya. Msc Thesis. Agricultural and Applied Economics of the University of Nairobi.

Wilson, P.N., Luginsland, T.R., Armstrong, D.V. 1988. Risk perceptions and management responses of Arizona dairy produces. Journal of Dairy Sciences, 71 (2):545-551.

Winsen, F. 2014. Rethinking farmers' intended risk behavior: The role of risk perception, risk attitude and decision context. PhD Thesis, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Belgium.

Zhang, Q., Xue, H., Zhao, X., Tang, H. 2019. Linking livelihood assets of smallholder households to risk management strategies: An empirical study in China. Environmental Hazards, 18 (3): 191-211.

Zulfiqar, F., Ullah, R., Abid, M., Hussain, A. 2016. Cotton production under risk: A simultaneous adoption of risk coping tools. Natural Hazards, 84: 959-974.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Start-ups Collaboration Process Management for Companies

Mehmet Oğuz GAZİ[1]

Abstract

To ensure the sustainability of companies, innovation, research, and development activities are of great importance. When we look at innovation strategies in the literature, we can categorize innovation for companies into four main headings: market penetration strategy, market development strategy, product development strategy, and diversification strategy. When considering these four main headings, market penetration strategy, which is routine innovation, stands out as an easily applicable innovation strategy for large-scale companies. However, by nature, start-ups have more advantages for implementing the other three innovation strategies compared to large-scale companies. Therefore, strategic collaborations with start-ups are crucial for large-scale companies to realize innovations that can lead to new products, new markets, and competitive advantages. Therefore, it is essential to manage collaborations with start-ups properly. The management of start-up collaboration processes should embrace a "we" approach, where start-ups and corporations are on the same side, rather than the traditional customer - supplier relationship. Research shows that feedback provided by large-scale companies to start-ups positively contributes to the development curve of start-ups due to start-ups' agile working and quick decision-making capabilities. The visualized results of this symbiotic relationship, beneficial for both parties, may not always be immediately evident in the short term. Therefore, in companies, it is crucial to establish the right performance and activity indicators when managing start-up collaboration and open innovation processes. Proper reporting of these performance and activity indicators positively influences decision-makers' decisions regarding start-up collaboration processes. This study aims to define, manage, and detail the roadmap for corporate start-up collaboration processes.

Keywords: Innovation, Start-ups, Strategy, Technology

[1] Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Ar-Ge, Orcıd: 0009-0007-2324-8550

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Giriş

Günümüzde, şirketlerin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla inovasyon, araştırma ve geliştirme faaliyetleri büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada kurumsal şirketler tarafından yürütülen inovasyon stratejilerini dört ana başlıkta kategorilendirilmektedir. İnovasyon stratejilerinin kategorilendirilmesi sonrasında, kurumsal şirketlerin bu dört ana başlıktaki geliştirilebilir taraflarının kurum startup iş birlikleri ile hangi başlıklarda etkili çözümler üretebileceğini detaylandırılmaktadır. Startup iş birliği prosesinin yönetimini, başarı faktörlerini, zorlukları ve çözüm önerileri paylaşılmaktadır. Ayrıca bu çalışmada startup iş birliklerinin, uzun vadeli olumlu etkileri ortaya konulurken, uzun vadeli iş birlikteliklerine giden süreçte kurumsal motivasyonu canlı tutmak adına takip edilebilecek doğru performans ve aktivite indikatörleri paylaşılmaktadır.

2.İnovasyon Stratejileri

İnovasyon stratejileri, şirketlerin pazarda rekabet avantajı elde etmeleri ve sürdürülebilir büyümeyi sağlamaları için kritik öneme sahiptir. Bu stratejiler dört ana başlık altında incelenebilir. (Ansoff, 1970).

2.1 Pazar Penetrasyonu Stratejisi

Pazar penetrasyonu stratejisi, mevcut ürün ve hizmetlerin mevcut pazarlarda daha fazla yer edinmesini amaçlayan bir stratejidir. Bu strateji, genellikle büyük ölçekli şirketler tarafından tercih edilir çünkü mevcut ürünlerin daha fazla satılması ve pazar payının artırılması üzerine odaklanır. Rutin inovasyon olarak da adlandırılan bu strateji, düşük riskli ve uygulanması nispeten kolaydır.

2.2 Pazar Geliştirme Stratejisi

Pazar geliştirme stratejisi, mevcut ürünlerin yeni pazarlara sunulmasını içerir. Bu strateji, coğrafi genişleme, yeni demografik kitlelere ulaşma veya mevcut ürünleri farklı segmentlere pazarlama gibi yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Start-up'lar, esnek yapıları ve yenilikçi yaklaşımları sayesinde bu stratejiyi büyük ölçekli şirketlere kıyasla daha hızlı ve etkili bir şekilde uygulayabilirler. Smith, P., & Clark, J. (2021)

2.3 Ürün Geliştirme Stratejisi

Ürün geliştirme stratejisi, mevcut pazarlara yeni ürünlerin sunulmasını içerir. Bu strateji, ürün yenilikleri, ürün iyileştirmeleri veya tamamen yeni ürün geliştirmeyi kapsar. Start-up'lar, yaratıcı ve yenilikçi yapıları ile bu stratejiyi benimsemekte daha avantajlıdırlar çünkü hızlı prototipleme ve pazarın ihtiyaçlarına hızlı cevap verebilme yeteneklerine sahiptirler.

2.4 Çeşitlendirme Stratejisi

Çeşitlendirme stratejisi, yeni ürünlerin yeni pazarlara sunulmasını içerir. Bu strateji, en yüksek riski taşıyan ancak potansiyel olarak en yüksek getiriyi sağlayan stratejidir. Hem ürün hem de pazar yeniliği içerdiği için büyük ölçüde belirsizlik ve risk barındırır. Ancak, start-

up'lar bu riskleri alabilecek esneklik ve hızda oldukları için çeşitlendirme stratejilerini daha etkili bir şekilde uygulayabilirler.

3.Start-Up İş Birliklerinin Yönetimi

Büyük ölçekli şirketlerin start-up'larla başarılı iş birlikleri kurabilmesi için belirli stratejik yönetim yaklaşımlarını benimsemeleri gerekmektedir. Bu iş birliklerinin yönetiminde dikkate alınması gereken önemli faktörler ve adımlar aşağıda detaylandırılmıştır.

3.1 "Biz" Yaklaşımı

Geleneksel müşteri-tedarikçi ilişkisinin ötesinde, start-up ve büyük ölçekli şirketlerin aynı tarafta olduğu bir "biz" yaklaşımını benimsemeleri önemlidir. Bu yaklaşım, iş birliğinin daha eşit ve ortak hedeflere yönelik bir şekilde yönetilmesini sağlar. Her iki tarafın da iş birliğinden ne beklediği konusunda net olması ve ortak amaçlar doğrultusunda çalışması kritik öneme sahiptir.

3.2 İletişim ve Güven

Başarılı iş birliklerinin temelinde açık iletişim ve güven yatmaktadır. İş birliği sürecinde taraflar arasında düzenli ve açık iletişim kanallarının oluşturulması, potansiyel sorunların erken aşamada tespit edilmesini ve çözülmesini sağlar. Ayrıca, karşılıklı güvenin inşa edilmesi, iş birliğinin uzun vadede sürdürülebilir olmasını destekler.

3.3 Esneklik ve Adaptasyon

Start-up'lar, büyük ölçekli şirketlere kıyasla daha esnek ve adaptasyon yetenekleri yüksek yapılara sahiptirler. Bu nedenle, iş birliklerinde esneklik ve hızlı adaptasyon önemlidir. Büyük ölçekli şirketlerin, start-up'ların bu özelliklerinden faydalanarak iş süreçlerini ve stratejilerini dinamik bir şekilde yönetmeleri gerekmektedir. Johnson, M. W. (2020).

3.4 Performans ve Faaliyet Göstergeleri

Start-up iş birliklerinin yönetiminde doğru performans ve faaliyet göstergelerinin belirlenmesi büyük önem taşır. Bu göstergeler, iş birliğinin başarısını ölçmek ve izlemek için kullanılır. Performans göstergeleri, iş birliğinin her iki taraf için de değer yaratıp yaratmadığını değerlendirmek için kritik veriler sağlar.

4. Başarı Faktörleri ve Zorluklar

Start-up ve büyük ölçekli şirketler arasındaki iş birliklerinin başarılı olabilmesi için dikkate alınması gereken faktörler ve karşılaşılan zorluklar aşağıda ele alınmıştır.

4.1 Başarı Faktörleri

Başarılı iş birliklerinin temel bileşenleri arasında açık iletişim, güven, esneklik ve ortak hedeflere yönelik güçlü bir bağlılık yer almaktadır. Her iki tarafın da iş birliğinden ne beklediği konusunda net olması ve birlikte çalışmanın yollarını sürekli olarak araması önemlidir.

Açık İletişim: İş birliğinin her aşamasında açık ve sürekli iletişim kanallarının oluşturulması.

Güven: Karşılıklı güvenin inşa edilmesi ve sürdürülmesi.

Esneklik: Değişen koşullara hızlı adaptasyon ve esneklik.

Ortak Hedefler: Her iki tarafın da ortak hedeflere odaklanması ve bu hedefler doğrultusunda çalışması.

4.2 Zorluklar ve Çözümler

İş birliklerinde karşılaşılan başlıca zorluklar arasında kültürel uyumsuzluklar, iletişim sorunları ve farklı iş yapma şekilleri yer almaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için belirli stratejilerin ve yaklaşımların benimsenmesi gerekmektedir.

Kültürel Uyumsuzluklar: Farklı şirket kültürlerinin uyumlu hale getirilmesi. Çözüm: Uyum programları ve karşılıklı anlayış geliştirme faaliyetleri.

İletişim Sorunları: Taraflar arasındaki iletişim eksikliklerinin giderilmesi. Çözüm: Düzenli toplantılar ve açık iletişim kanalları.

Farklı İş Yapma Şekilleri: Farklı iş yapma şekillerinin uyumlu hale getirilmesi. Çözüm: Ortak iş süreçlerinin ve standartların belirlenmesi.

5. Vaka Analizleri

Başarılı start-up ve büyük ölçekli şirket iş birliklerinin detaylı incelemeleri, bu tür iş birliklerinin nasıl yönetilmesi gerektiği konusunda önemli bilgiler sunmaktadır. Aşağıda, farklı sektörlerden seçilen başarılı iş birliği örnekleri ele alınmaktadır.

5.1 Teknoloji Sektörü: Google ve Nest

Google'ın Nest'i satın alması, büyük ölçekli şirketler ile start-up'lar arasındaki başarılı iş birliğine iyi bir örnektir. Nest, akıllı ev teknolojileri alanında inovatif ürünler geliştiren bir start-up olarak, Google'ın geniş kaynakları ve pazar erişimi ile birleştiğinde büyük bir büyüme potansiyeli yakalamıştır. Bu iş birliği, her iki tarafın da güçlü yönlerini kullanarak nasıl başarılı olunabileceğini göstermektedir. URL1

5.2 Otomotiv Sektörü: BMW ve ChargePoint

BMW, elektrikli araç şarj istasyonları geliştiren ChargePoint ile stratejik bir iş birliği yapmıştır. Bu iş birliği, BMW'nin elektrikli araç pazarında daha güçlü bir konum elde etmesini sağlarken, ChargePoint'in teknolojik çözümlerinin daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasını sağlamıştır. Ortak hedefler ve karşılıklı fayda anlayışı, bu iş birliğinin başarısında önemli rol oynamıştır. URL2

5.3 Sağlık Sektörü: Pfizer ve BioNTech

COVID-19 pandemisi sırasında Pfizer ve BioNTech'in geliştirdiği aşı, büyük ölçekli şirketler ile start-up'lar arasındaki iş birliğinin etkileyici bir örneğidir. BioNTech'in mRNA teknolojisi, Pfizer'in geniş üretim ve dağıtım ağları ile birleştiğinde hızlı ve etkili bir aşı geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu iş birliği, yenilikçi teknolojilerin büyük şirketlerin kaynakları ile nasıl hızla ölçeklenebileceğini göstermektedir. URL3

6. Start-Up İş Birliklerinin Uzun Vadeli Etkileri

Start-up ve büyük ölçekli şirketler arasındaki iş birliklerinin uzun vadeli etkileri, her iki taraf için de önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu iş birliklerinin sürdürülebilir büyümeye katkıları ve rekabet avantajları aşağıda ele alınmaktadır.

6.1 Sürdürülebilir Büyüme

Start-up'lar ile yapılan iş birlikleri, büyük ölçekli şirketlerin sürdürülebilir büyüme sağlamalarına yardımcı olabilir. İnovatif ürünler ve hizmetler geliştirmek, yeni pazarlar yaratmak ve rekabet avantajı elde etmek için start-up'ların yenilikçi yaklaşımlarından faydalanmak önemlidir.

6.2 Rekabet Avantajı

Start-up iş birlikleri, büyük ölçekli şirketlere rekabet avantajı sağlayabilir. Yenilikçi teknolojiler ve iş modelleri, büyük şirketlerin pazar dinamiklerine hızlı bir şekilde uyum sağlamasına ve rakiplerinden bir adım önde olmasına yardımcı olabilir.

6.3 Kurumsal Dönüşüm

Büyük ölçekli şirketler, start-up'larla yapılan iş birlikleri sayesinde kendi iç süreçlerinde ve kültürlerinde dönüşüm gerçekleştirebilirler. Start-up'ların çevik ve yenilikçi yapıları, büyük şirketlerin daha esnek ve yenilikçi bir yapıya kavuşmasına katkı sağlayabilir.

7. Sonuç ve Öneriler

Kurum ve start-up iş birlikleri, inovasyonun hızlandırılması ve sürdürülebilir büyümenin sağlanması açısından büyük fırsatlar sunmaktadır. Bu iş birliklerinin başarılı olabilmesi için belirli stratejilerin ve yaklaşımların benimsenmesi gerekmektedir. Gelecekteki çalışmalar, farklı sektörlerdeki iş birliklerinin daha derinlemesine incelenmesi ve bu iş birliklerinin uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesi üzerine odaklanmalıdır.

7.1 Yönetim Önerileri

Açık İletişim Kanalları: Düzenli toplantılar ve iletişim platformları oluşturulmalı.

Kültürel Uyum Programları: Şirket kültürlerinin uyumlu hale getirilmesi için programlar düzenlenmeli.

Performans Göstergeleri: Doğru performans ve faaliyet göstergeleri belirlenmeli ve izlenmeli.

Esneklik ve Adaptasyon: Değişen koşullara hızlı adaptasyon sağlanmalı.

7.2 Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler

Farklı sektörlerdeki iş birliklerinin detaylı incelenmesi.

Uzun vadeli etkilerin değerlendirilmesi.

Start-up ve büyük ölçekli şirketlerin iş birliği süreçlerindeki en iyi uygulamaların belirlenmesi.

ISBN: 978-625-372-170-1

8.Kaynaklar

Ansoff, HI (1970). Corporate Strategy: An Analytic Approach to Business Policy forGrowth and Expansion. New York: Penguin Books.

Johnson, M. W. (2020). Seizing the White Space: Business Model Innovation for Growth and Renewal. Harvard Business Press.

Smith, P., & Clark, J. (2021). The Startup Way: How Modern Companies Use Entrepreneurial Management to Transform Culture and Drive Long-Term Growth. Currency.

URL1: https://www.forbes.com/sites/llewellynking/2024/02/10/google-backed-company-to-invest-100-million-in-virtual-power-plant/?sh=3fabe85269c8

URL2: https://www.bmwiventures.com/news/chargepoint-raises-series-h

URL3: https://www.pfizer.com/news/press-release/press-release-detail/pfizer-and-biontech-announce-further-details-collaboration#:~:text=Under%20the%20terms%20of%20the,total%20consideration%20of%20%24748%20million.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Her İki Ucu Konsol Mesnetlenen Düzgün ve Trapez Yüklü Derin Kirişlerin "Yer Değiştirme Potansiyeli" Yaklaşımını Kullanarak Gerilme Analizi

Muhammet DOĞAN [1]
İrfan COŞKUN [2]

ÖZET

Bu çalışmada, her iki ucundan mesnetlenen, düzgün ve trapez yayılı yük ile ayrı ayrı yüklenen derin kirişlerin gerilme problemi, yer değiştirme potansiyeli fonksiyonu ψ (x, y) kullanılarak sonlu farklar yöntemi ile tartışılmıştır. Problemde kullanılan malzemenin izotropik Hooke cismi olduğu ve hacim kuvvetlerinin olmadığı varsayılmaktadır.

Problem bir düzlemsel gerilme problemi olarak kabul edilmiş ve yönetici diferansiyel denklemler ve geçerli biharmonik diferansiyel denklem, sınır koşulları göz önüne alındığında yalnızca yer değiştirme potansiyeline bağlı olan O (h^2, k^2) mertebesinde bir dizi eşdeğer doğrusal denklemlere indirgenmiştir.

Çalışmada yer değiştirme potansiyeli yaklaşımının doğruluğunu test etmek amacıyla aynı problemler ANSYS paket programı ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Çalışma sonucunda derin kirişlerin sonlu farklar yöntemi ile yer değiştirme potansiyeli yaklaşımı kullanılarak analizinde bulunan değerlerin sonlu elemanlar yönteminde bulunan değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca karışık sınır şartlarına sahip düzlem gerilme problemlerinin çözümünde yer değiştirme potansiyeli yaklaşımının kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Derin ışın, Düzlem gerilme, Yer değiştirme potansiyeli, Sonlu farklar yöntemi, Doğrusal denklem takımı, Karışık sınır koşulları

[1] MSc Student, Yıldız Technical University, Department of Civil Engineering, İstanbul, Turkey, Orcıd: 0009-0004-9220-6328
[2] Prof. Dr. Yıldız Technical University, Department of Civil Engineering,İstanbul, Turkey, Orcıd: 0000-0002-1583-0141

ISBN: 978-625-372-170-1

YÖNTEM

Bu çalışmada, derin kirişlerin sonlu farklar yöntemi (FDM) kullanılarak gerilme ve yer değiştirmeleri hesaplanmıştır. Hesaplamada, MATLAB R2023b yazılımında hazırlanan bir programla yer değiştirme potansiyeli, gerilme ve yer değiştirme fonksiyonları tanımlanarak tüm büyüklükler bu potansiyel fonksiyon cinsinden ifade edilmiştir. Bölge içinde sonlu sayıdaki noktada fonksiyonun değerleri cebirsel bir denklem takımının çözümünden elde edilmiş, geriye dönülerek gerilme ve yer değiştirmeler elde edilmiştir. Sonuçların yaklaşıklığı sonlu elemanlar yöntemine (FEM) dayalı ANSYS Student Workbench 2024 R1 paket programı kullanılarak kontrol edilmiştir.

PROBLEMİN FORMÜLASYONU

Derin kiriş için düzlem gerilme diferansiyel denge denklemleri (1)'de gösterilmiştir.

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}=0, \qquad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}=0, \qquad \Delta\left(\sigma_x+\sigma_y\right)=0 \tag{1}$$

Hooke yasaları yardımıyla gerilmeler, yer değiştirmeler cinsinden (2)' deki gibi yazılmaktadır.

$$\sigma_x=\frac{E}{1-\nu^2}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\nu\frac{\partial v}{\partial y}\right), \qquad \sigma_y=\frac{E}{1-\nu^2}\left(\frac{\partial v}{\partial y}+\nu\frac{\partial u}{\partial x}\right), \qquad \tau_{xy}=\frac{E}{2(1+\nu)}\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\nu\frac{\partial v}{\partial x}\right) \tag{2}$$

(2) denklemleri, (1) denklemlerinde yerine yazılarak, yalnızca yer değiştirmeler cinsinden ifade edilen (3) denklemi elde edilir.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\left(\frac{1-\nu}{2}\right)\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{(1+\nu)}{2}\frac{\partial^2 v}{\partial x\partial y}=0, \qquad \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\left(\frac{1-\nu}{2}\right)\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{(1+\nu)}{2}\frac{\partial^2 u}{\partial x\partial y}=0 \tag{3}$$

(3) denklemlerindeki *u* ve *v* 'ler $\psi(x,y)$ potansiyel fonksiyonu cinsinden ifade edilerek, problem bu yer değiştirme potansiyelinin hesaplanmasına indirgenmektedir.

Bu durumda yer değiştirme bileşenleri ve biharmonik denklem (4) ve (5)'te gösterildiği gibi olmaktadır.

$$u=\frac{\partial^2 \psi}{\partial x\partial y}, \qquad v=-\frac{1}{1+\nu}\left[(1-\nu)\frac{\partial^2 \psi}{\partial y}+2\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}\right] \tag{4}$$

$$\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^4}+2\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^2\partial y^2}+\frac{\partial^4 \psi}{\partial y^4}=0 \tag{5}$$

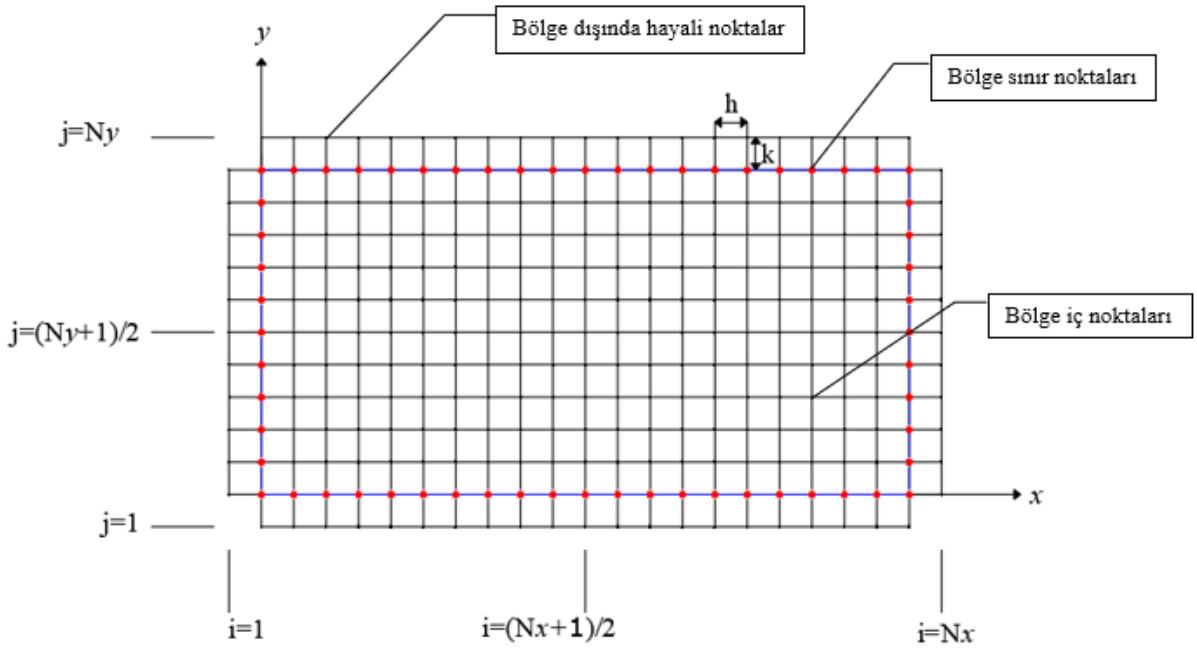
(4) denklemlerinde gösterilen *u* ve *v* bileşenleri, (2) ifadesinde yerine yazılarak her 3 gerilme bileşeni de potansiyel fonksiyon cinsinden (6) ve (7)'de belirtildiği gibi elde edilmektedir.

$$\sigma_x=\frac{E}{(1+\nu^2)}\left[\frac{\partial^3 \psi}{\partial x^2\partial y}+\nu\frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3}\right], \ \sigma_y=-\frac{E}{(1+\nu^2)}\left[\frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3}+(2+\nu)\frac{\partial^3 \psi}{\partial x^2\partial y}\right] \tag{6}$$

$$\tau_{xy}=\frac{E}{(1+\nu)^2}\left[\nu\frac{\partial^3 \psi}{\partial x\partial y^2}-\frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3}\right] \tag{7}$$

SONLU FARKLAR AĞININ OLUŞTURULMASI

Derin kiriş, Şekil 1'de görüldüğü gibi keyfi $\Delta x = h$ ve $\Delta y = k$ aralıklarına bölünerek x ekseninde Nx, y ekseninde Ny adet noktada sistem ayrıklaştırılır. Böylece sistem sonlu sayıdaki Nx×Ny-4=n adet noktaya indirgenir.

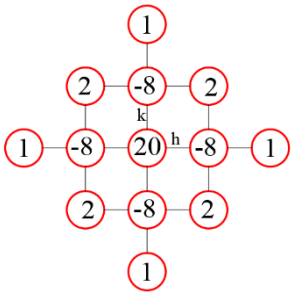


Şekil 1. *Derin kiriş sisteminin noktasal ayrıklaştırılması*

Bölge içinde sağlanması gereken biharmonik denklem ve kullanılan sonlu fark şeması Tablo (1)'de görülmektedir.

Tablo 1. *Biharmonik Denklemin Sonlu Fark Şeması (h=k)*

$$\frac{\partial^4 \Psi}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \psi}{\partial y^4} = 0$$



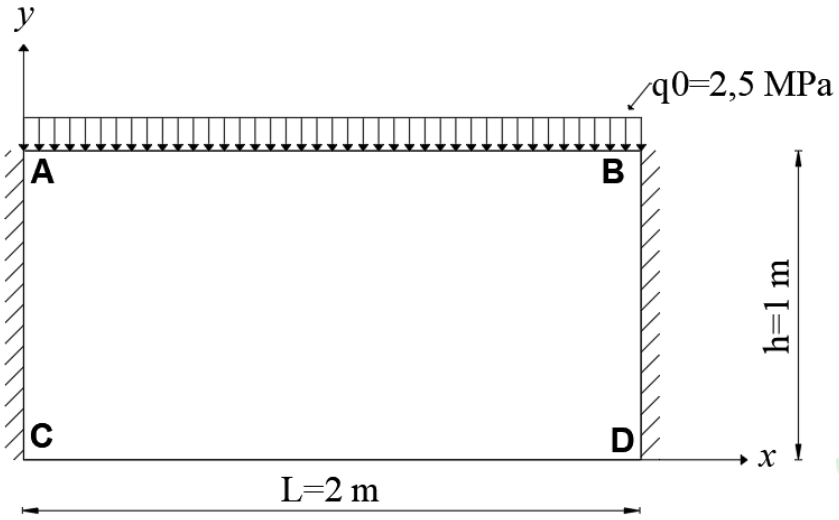
Benzer şekilde, sınırdaki ve hayali (sınır dışı) tüm noktalarda sonlu fark denklem takımlarına ait tüm katsayılar oluşturulur. Böylece, n×n boyutlu A katsayılar matrisi belirlenir. A katsayılar matrisi belirlenirken dikkat edilecek önemli bir husus, hayali sınırların dışına taşılmaması için her bir kiriş kenar bölgesinin durumunun ayrı ayrı değerlendirilmesi ve buna göre sonlu fark denkleminin oluşturulmasıdır. Oluşan lineer denklem takımı, b sistemin yük vektörünü göstermek üzere, aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{11} \\ \psi_{21} \\ \psi_{31} \\ . \\ . \\ \psi_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ b_{31} \\ . \\ . \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Bu lineer denklem takımı doğrudan çözüm ya da iterasyon yöntemi gibi çözüm teknikleri vasıtasıyla çözülerek $\psi(x,y)$ değerleri tüm noktalarda hesaplanır. Daha sonra $\psi(x,y)$ türünden tanımlanan $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ gerilme ile u_x ve u_y yer değiştirmeleri hesaplanan $\psi(x,y)$ değerlerinin yerine konulmasıyla ile bulunur.

SAYISAL UYGULAMA 1:

İlk uygulama için, geometrisi ve yükleme durumu Şekil (2)'de görülen derin kiriş göz önüne alınmıştır. Malzeme sabitleri: Elastisite modülü (E)=2x10^{11} N/m^2, Poisson oranı (ν)=0,30 olarak seçilmiştir.



Şekil 2. *Sayısal Uygulama-1 Problemi*

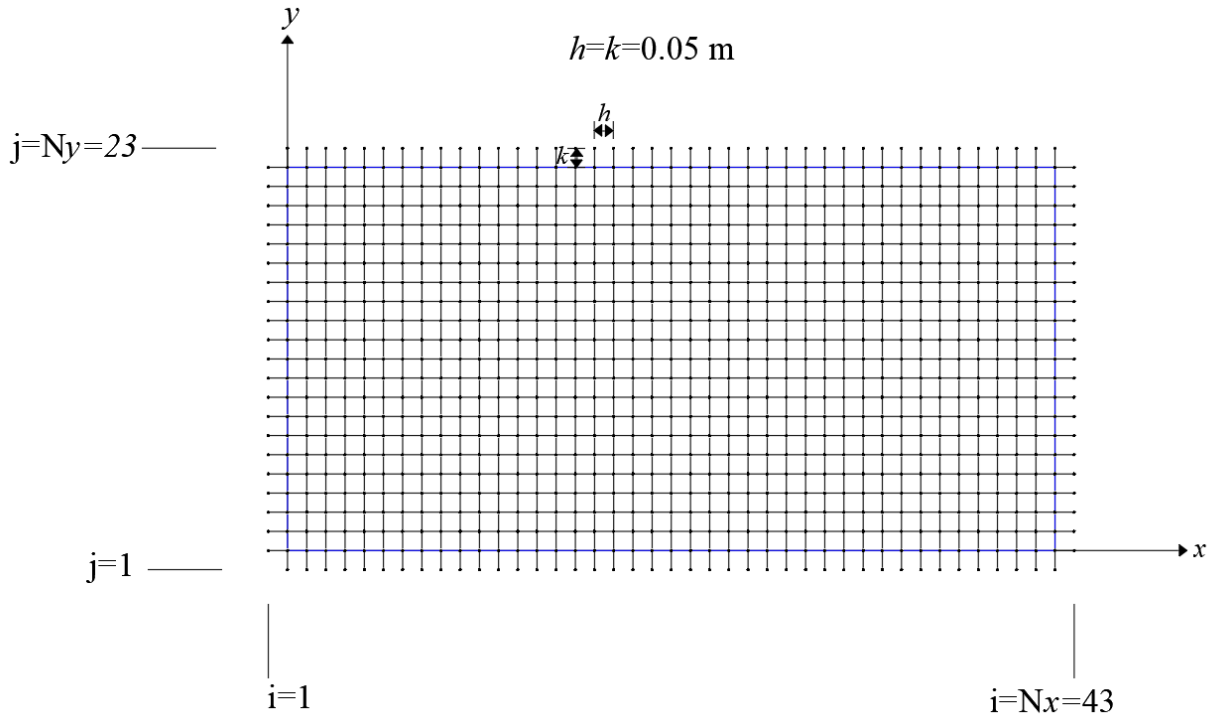
Problem hem yer değiştirme hem de gerilme cinsinden verilen sınır şartları içerdiği için bir "karışık sınır değer problemi" olup, bu şartlar aşağıdaki gibidir.

AC ve BD kenarındaki noktalar için sınır şartı: $u_x = 0,\ u_y = 0$

AB kenarındaki noktalar için sınır şartı: $\sigma_y = q_0 = -2{,}5\ Mpa, \tau_{xy} = 0$

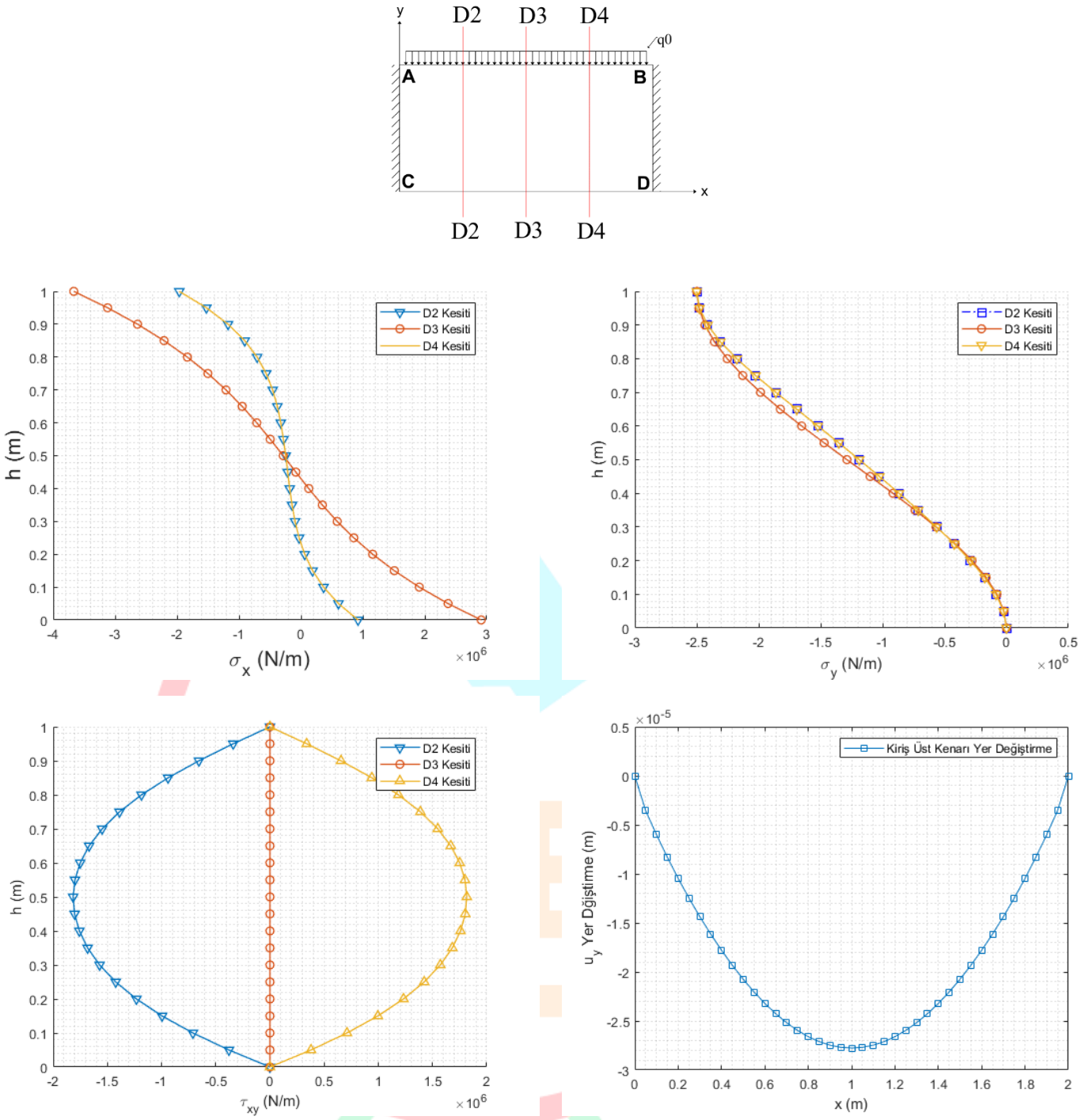
CD kenarındaki noktalar için sınır şartı: $\sigma_y = 0,\ \tau_{xy} = 0$

Derin kiriş keyfi olarak seçilen x ekseninde 40, y ekseninde 20 parçaya bölünerek sistem ayrıklaştırılmaktadır. Böylece n=Nx×Ny-4=985 olacak biçimde Şekil (3)'te gösterildiği gibi sonlu sayıdaki nokta elde edilmektedir.



Şekil 3. *Sayısal Uygulama-1 Problemi*

Bu durumda sistemde *985 × 985* boyutunda lineer bir denklem takımı elde edilir. MATLAB 2023b paket programı ile *A* katsayılar matrisi belirlenir. Bu matris boyutu 985×985 olan bir seyrek matristir. Yük matrisi ise 985×1 boyutunda olup sistemin sınır şartlarından elde edilmektedir. İlgili denklem takımı çözülerek σ_x, σ_y ve τ_{xy} gerilme bileşenleri ile u_y yer değiştirmesi hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil (4)'te gösterilmiştir.



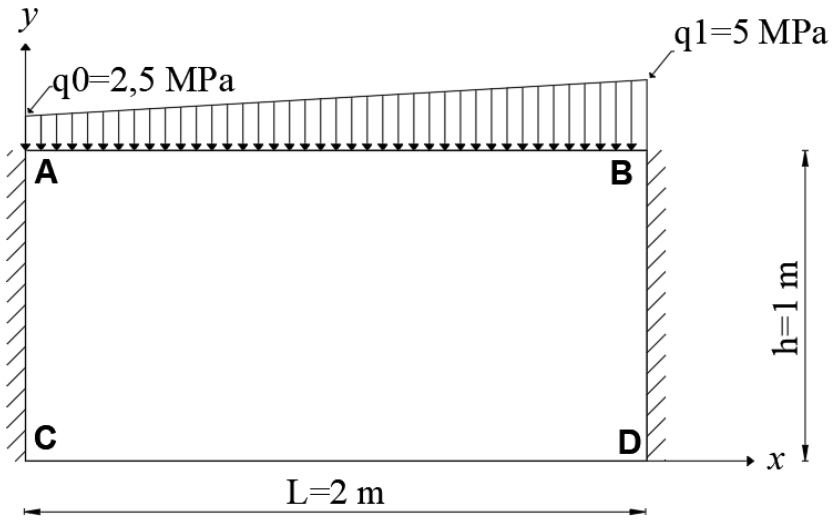
Şekil 4. *Farklı Kesitlerde Gerilmelerin Yükseklikle Değişimi ve Kiriş Üst Sınırındaki Düşey Yer değiştirme*

Şekil (4)'te σ_x gerilmelerinin her üç kesitte de elemanter çözümden farklılaşarak lineerlikten saptığı, tarafsız eksenin de kirişin orta noktasından bir miktar kaydığı görülmektedir. Beklendiği gibi kirişin orta kesitinde σ_x gerilmesinin yakınındaki kesitlerdeki gerilmelerden daha büyük olduğu, σ_y gerilmelerinin de sınır şartlarına uyumlu hareket ettiği görülmektedir. τ_{xy} kayma gerilmeleri üniform yükleme ve simetri nedeniyle orta kesitte sıfır olmakta, diğer kesitlerde de elemanter çözüme benzer bir biçimde parabolik bir dağılım göstermektedir.

Kirişin üst kenarında u_y yer değiştirmesi en büyük değerini kiriş orta noktasında almakta ve sınırlarda ilgili sınır koşulları nedeniyle sıfır olmaktadır.

SAYISAL UYGULAMA 2:

Sayısal Uygulama 1'den farklı olarak derin kirişe yükleme bu defa trapez olarak uygulanmış, malzeme ve geometri ise Sayısal Uygulama 1'deki ile aynı seçilmiştir.



Şekil 4. *Sayısal Uygulama-2 Problemi*

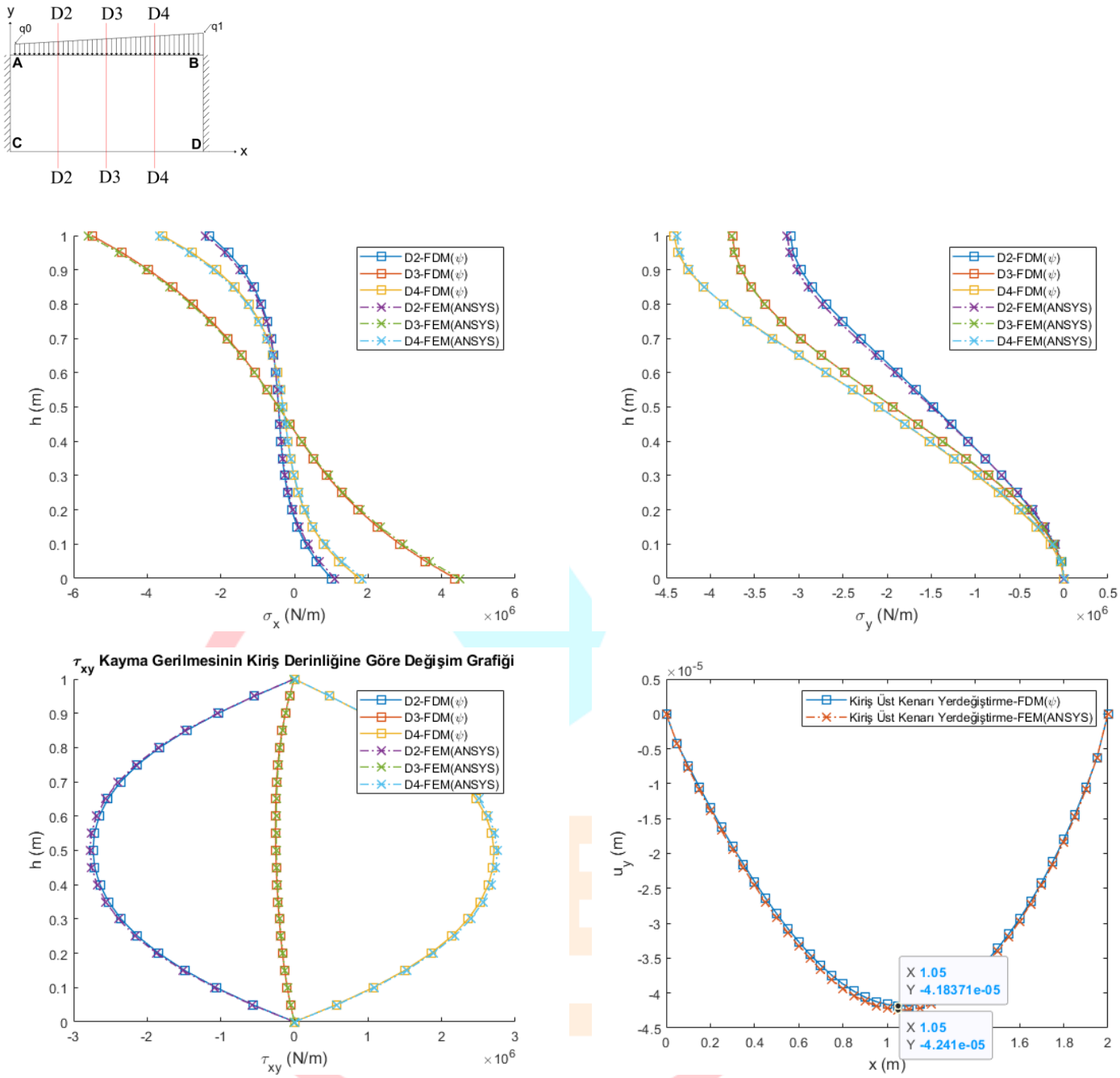
Sistem geometrisi ve malzeme sabitleri aynı olduğu için üniform yüklemede olduğu gibi *A* katsayılar matrisi teşkil edilmekte; sadece AB kenarında yük durumu farklı olduğu için bu kenardaki noktalara yük Şekil (4)'te görüldüğü gibi uygulanmaktadır.

AC ve BD kenarındaki noktalar için sınır şartı: $u_x = 0, \quad u_y = 0$

AB kenarındaki noktalar için sınır şartı: $\sigma_y = q_0 + \frac{q1-q0}{L} x\,, \quad \tau_{xy} = 0$

CD kenarındaki noktalar için sınır şartı: $\sigma_y = 0, \quad \tau_{xy} = 0$

Bu problem için de aynı ağ aralıkları (h=k=0,05) seçilmiş ve yer değiştirme potansiyeli kullanılarak hem MATLAB R2023b paket programında sonlu farklar yöntemi (FDM) ile hem de ANSYS Student Workbench 2024 R1 paket programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ gerilme bileşenleri ve u_y yer değiştirmesi hesaplanmış, sonuçlara ait grafikler Şekil (5)'te gösterilmiştir.



Şekil 5. *Farklı Kesitlerde Gerilmelerin Yükseklikle Değişimi ve Kiriş Üst Sınırındaki Düşey Yer değiştirme*

Şekil (5)'te σ_x, σ_y ve τ_{xy} kayma gerilmelerinin her üç kesitte de, sonlu elemanlar yöntemi ile uyumlu olduğu, trapez yükleme nedeniyle kirişin üst kenarında u_y yer değiştirmesinin en büyük değerinin beklendiği gibi kiriş orta noktasından biraz sağda olduğu ve sınırlarda ilgili sınır koşulu nedeniyle de sıfır olduğu görülmektedir. Derin kirişte en büyük u_y yer değiştirmesinin FDM ve FEM ile hesaplanan değerleri arasında yalnızca %1 civarında bir fark olduğu görülmektedir.

SONUÇ

Yapılan çalışmada, kirişteki L/h oranının küçük değerleri için gerilme dağılışlarının, elemanter çözümden oldukça farklılaştığı görülmüştür. Derin kiriş x ve y ekseninde ayrıklaştırılırken keyfi olarak seçilen eleman sayısının (n), sonuçların hassasiyetinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Buna göre az seçilen n nokta sayısında sonuçların hassasiyetinin

azaldığı, çok büyük seçilen n nokta sayısında ise bilgisayardaki yuvarlatma hataları nedeniyle A katsayılar matrisinin tekilliğe yaklaştığı ve problemde yakınsama sorunu oluşabildiği görülmüştür. Bu nedenle her problemin kendi içinde değerlendirilerek uygun nokta sayısının belirlenmesine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Hem yer değiştirme hem de gerilme cinsinden karışık olarak verilen sınır şartlarına sahip derin kirişte yer değiştirme potansiyeli $\psi(x,y)$ yardımıyla sınır şartlarının problemin çözümüne kolaylıkla dahil edilebildiği ve özelikle karışık olarak verilen sınır şartlarına sahip düzlem gerilme problemlerinde yer değiştirme potansiyelinin kullanılmasının Airy gerilme potansiyeli yaklaşımına göre daha avantajlı olduğu görülmüştür. Yer değiştirme potansiyelinin kullanıldığı sonlu farklar yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile sonlu elemanlar yöntemi sonuçları karşılaştırıldığında her iki yöntemin birbirine çok yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKLAR

Ahmed, S., Idris, A. A., & Uddin, M. W. (1998). Investigation of stresses at the fixed end of deep cantilever beams,. *Computers & Structures*, 69, 329–338.

Ahmed, S., Khan, M., Islam, K., & Uddin, M. (1996). Analysis of stresses in deep beam using displacement potential function. *Journal of Institute of Engineers*, 141-147.

Ahmed., S. R. (1993). *Numerical solutions of mixed boundary-value elastic m sc thesis.* Dhaka, Bangladesh: Bangludesh University of Engineering andTechnology.

Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2017). *Yazılım ve programlama uygulamalarıyla mühendisler için sayısal yöntemler (Çeviren: Heperkan, H.; Kesgin, U).* İstanbul: Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic.Ltd.Şti.

İnan, M. (1969). *Düzlemde elastisite teorisi.* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınevi.

Islam, Z., & Ahmed, S. (2023). Displacement-function analysis of local stresses in thick beams on simple supports. *International Journal of Mechanical Sciences*, 239.

ldris, A. B. (1993). *A new approach to solution of mixed boundary value M Sc Thesis.* Dhaka, Bangladesh: Bangladesh University of Engineering and Technology.

Moaveni, S. (2015). *Finite element analysis theory and application with ansys.* England: Pearson Education Limited.

Szilard, R. (2004). *Theories and aplications of plate analysis.* New Jersey, Canada: John Wiley & Sons Inc.

Uzunoğlu M. and Onar, Ç. Ö. (2003). *Her yönü ile matlab.* İstanbul: Türkmen Kitabevi.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Kentsel Demiryolu İstasyonlarında Temizlik Personeli Vardiya Çizelgeleme Problemi

Muhammed Abdullah GENÇER[1]
Hacı Mehmet ALAKAŞ[2]
Mehmet PINARBAŞI[3]
Tamer EREN[4]

Özet

Kentsel demiryollarında işletme ve bakım personeli dışında istasyonların temizliğini ve düzenlemesini yapan personel bulunmaktadır. Temizlik personeli temizlik görevleri dışında yolcuların kayıp düşme, yaralanma gibi durumlara karşı temizlik yapılan alanda gerekli önlemlerin alınması sağlamaktadır. Günde birçok kez yapılan temizlik görevleri yolcu akışının fazla olduğu alanlarda daha fazla risk barındırmaktadır. Yolcu yoğunluğunun yüksek olduğu alanlar ve çok sayıda istasyonun varlığı temizlik personeli planlamasını da zorlaştırmaktadır. Bunun dışında, temizlik personelinin görevleri sıklıkla yapılan fiziksel hareket gerektirmektedir. İşlerin verimli yapılabilmesi iş yüklerinin dengeli ve eşit dağıtılması açısından önemlidir. Bu çalışmada, istasyonlarda görev yapan temizlik personelinin vardiya çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemde öncelikle istasyonların yolcu yoğunlukları verileri incelenmiştir. İstasyonlarda yolcu sayısı oranı aylık personel görevlerine oranlanarak temizlik personeli istasyon görevlerinin her personel için dengeli dağıtılması amaçlanmıştır. İstasyonlarda personel ihtiyaçlarıyla görevlerin eşit ve dengeli dağıtılabilmesi için programlama modeli kullanılmıştır. Temizlik personeli çizelgelemesi literatürde farklı alanlarda çok az çalışılan konudur.

Anahtar Kelimeler: Hedef Programlama, Personel çizelgeleme, Demiryolu, Temizlik personeli, Yolcu sayıları

[1] Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, abdullahgencer_71@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9955-5468
[2] Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, hmalagas@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9874-7588
[3] Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, mehmetpinarbasi71@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3424-2967
[4] Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, tamereren@gmail.com,ORCID ID: 0000-0001-5282-3138

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

Raylı sistem ulaşım ağlarının genişlediği günümüzde yolcu akışı da artmaktadır. Yolcu sayılarındaki artış istasyonlarda işletme, bakım ve diğer personel görevlerini de arttırmaktadır. Ulaşım ağının genişlemesi istasyonlarda görev yapan personelin planlamasını zorlaştırmaktadır. İstasyonlarda güvenlik, bakım personelinin yanı sıra temizlik personeli bulunmaktadır. Temizlik personeli istasyon temizliği ve kontrolünü yapmaktadır. İstasyonlarda temizlik personeli planlamasını görev yapılan alanın büyüklüğü, hareketlilik, yolcu akışı, istasyon sayısı gibi birçok faktör etkilemektedir. Genellikle her personelin görevli olduğu ekipman ve bir alan bulunmaktadır. Temizlik görevleri sürekli ve fiziksel yapılan işler olduğundan personel sağlığını doğrudan etkilemektedir. Personel sayısı aynı kalacak şekilde temizlik yapılan alan büyürse personel daha çok zorlanmaya ve sakatlanmaya maruz kalacaktır. Dolayısıyla bu faktörler temizlik personeli planlanma problemini zorlaştırmaktadır.

Personel planlaması; çalışma koşulları, mevzuatlar ve maliyetler gibi birçok yönden etkilenmektedir. Diğer faktörlerin dışında personelin çalışma koşulları esnetilebilmektedir. İstasyonlarda temizlik personelinin çalışma koşulları ve ortamı yolcu sayısıyla doğrudan ilişkilidir. Yolcu sayısının fazla olduğu istasyonlarda daha fazla personele ihtiyaç duyulmaktadır. Temizlik personeli görevinin dışında kullandığı ekipmandan, temizlediği alanın korunmasından ve önlem alınmasından sorumludur. Yolcuların sürekli kullandığı alanlarda temizlik yapıldığından yolcuların kayması, düşmesi ve kazaya karşı temizlik personeli sorumlu olmaktadır. Dolayısıyla yapılabilecek diğer önlemlerle birlikte bu çalışmada iş yüklerinin dengeli dağıtılmasına odaklanılmıştır.

Literatürde temizlik personeliyle ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Raylı sistemler temizlik personeli konusunda sadece bir çalışmaya rastlanmıştır. Çalışma tren temizliği yapan personel üzerinedir. İstasyon temizlik personeli konusunda bir çalışmaya rastlanmıştır. Öncelikle raylı sistem personel çizelgeleme konusunda daha sonra temizlik personeli çizelgeleme konusunda çalışmalar özetlenmiştir. Bedir vd. (2017) Kırıkkale'de bir hazır giyim mağazasında çalışan personelin ergonomik personel çizelgelemesi için AHP ve hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Cürebal vd. (2020) Kapadokya'da tanıtım organizasyonları yapan personelin önceliklendirilmesinde AHP ve personelin çizelgelenmesi için hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Ünal ve Eren (2016) bir devlet kurumunda nöbet tutan personel için ağırlıklı hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Varlı ve Eren (2017) Kırıkkale ilinde bir hastanenin bazı bölümlerinde hemşirelerin adil ve dengeli çizelgelenmesi için hedef programlama yöntemi gösterilmiştir. Koçtepe vd. (2018) bölge bayi toplantısı personel çizelgelemesi için personel yetkinlikleri dikkate alınarak tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Eren vd. (2022) akaryakıt istasyonlarının tanıtımını yapan personel çizelgelemesi için hedef programlama yöntemi kullanmıştır. Demirel vd. (2018) Ankaray istasyonlarında görev yapan güvenlik personelinin vardiya çizelgelemesi için hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Varlı vd. (2017) bir hastanede görev yapan hemşirelerin izin günleri tercihleri dikkate alınarak çizelgelenmesi için hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Eren vd. (2019) bir üniversite kampüsünde güvenlik görevlilerinin bir aylık vardiya çizelgelemesi için kısıt programlama yaklaşımı geliştirilmiştir. Cürebal ve Eren (2020) Covid-19 döneminde Ankara'da bir hastanede AHP-TOPSİS yöntemiyle personel yetkinlikleri dikkate alınarak güvenlik personelinin vardiya çizelgelemesi problemini çözmek için hedef programlama yöntemi önerilmiştir. Yelek vd. (2018) Kırıkkale üniversitesi merkez kütüphanesinde kısmi süreli görev yapan öğrencilerin vardiya çizelgelemesi için hedef

programlama yöntemi geliştirilmiştir. Uslu vd. (2018) hastanede görev yapan hemşirelerin vardiya sistemindeki dengesizlikleri giderecek ve hemşirelerin özel durumlarını dikkate alan çizelgeleme için 0-1 hedef programlama yöntemi kullanılmıştır.

Akgönül vd. (2022) savunma sanayinde alt yüklenici bir firmada çalışan personelin yetkinlikleri, istekleri dikkate alınarak ve fiziksel riskleri REBA yöntemiyle dikkate alınarak ergonomik personel çizelgelemesi için hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Aksüt vd. (2023) t-shirt üretimi yapan bir tekstil firmasında görevlerin fiziksel riskleri REBA yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve ergonomik riski azaltmak için hedef programlama yöntemiyle personel çizelgelemesi önerilmiştir. Akdaş ve Eren (2022) Devlet Tiyatroları Genel Müdürlüğüne güvenlik personelinin vardiyalarının eşit ve dengeli dağıtılması amacıyla hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Yelek vd. (2019) Ankara'da bir raylı sistem hattında istasyon şeflerinin vardiya çizelgelemesi için hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Yazıcı vd. (2023) hukuki dava dosyalarının avukatlara dengeli iş yükü oluşturması amacıyla avukat çizelgeleme için hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Şeker vd. (2022) İstanbul'da bir lojistik firmasında şoförlerin vardiya çizelgelemesi için hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Sarımehmet vd. (2023) çay endüstrisinde çalışan çiftçiler için hasta zamanları günlerinin ve personelin çizelgelenmesi için hedef programlama yöntemi önerilmiştir. Bir vaka çalışma olarak test edilen sonuçlar etkili modelin etkinliğini göstermiştir. Gençer vd. (2023a) tren bakım personelinin niteliklerine göre çizelgelenmesi için tahmine dayalı olarak hedef programlama yöntemi geliştirilmiştir. Gençer vd. (2023b) depo personelinin niteliklerine göre malzeme gelişlerine uygun olarak atanabilmesi için hedef programlama yöntemi geliştirilmiştir.

Özder vd. (2017) üniversite hastanesi temizlik görevlilerinin en uygun yerlere atanması için hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Ünlüsoy ve Eren (2016) Kırıkkale üniversitesinde fakültede görev yapan temizlik personelinin boşta kalma süresini azaltmak için temizlik yapılacak alanları ve hangi sırayla yapılacağını belirlemek amacıyla tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Bartolini vd. (2016) tren temizlik personelinin boş zamanlarının giderilmesi amacıyla personel planlaması için sezgisel yöntemle entegre doğrusal programlama yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada, istasyonlarda görev yapan temizlik personelinin iş yüklerinin dengeli ve eşit dağıtılması amacıyla temizlik personeli çizelgeleme problemi ele alınmıştır. İşletme kısıtlarıyla birlikte her istasyon için yolcu oranları belirlenerek personelin iş yükleri dengeli dağıtılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla birden fazla hedefi gerçekleştirebilen hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Çözüm sonucu temizlik personelinin iş yüklerinde önemli bir denge sağlanmıştır. Literatürde temizlik personeliyle ilgili birkaç çalışma vardır. Demiryolu temizlik personeliyle ilgili sadece bir çalışma olmasına rağmen çalışma tren temizlik personeline odaklanmıştır. Yolcu yoğunluğunun dikkate alınarak personelin iş yüklerinin dengeli dağıtılması amacıyla oluşturulan bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın ilk bölümünde raylı ulaşımın önemi, personel çizelgeleme, temizlik personelinin önemi, literatürde benzer konularda yapılan çalışmalar ve çalışmanın içeriğine değinilmiştir. İkinci bölümde temizlik personeli çizelgeleme probleminin tanımı ve özelliklerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan yöntemin içeriği ve temel gösterimi belirtilmiştir. Dördüncü bölümde problemin tanımı, hedef programlama modeli, modelin çözümü ve sonuçların değerlendirilmesi gösterilmiştir.

TEMİZLİK PERSONELİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Kamu veya özel sektör birçok farklı sektörde temizlik personeli görev yapmaktadır. Temizlik personelinin görev yerleri değişse de temel anlamda temizlik personeli personelin sağlığının korunması ve hijyenin sağlanması amacını yerine getirmektedir. Aynı zamanda temizlik personeli temizlik yaptığı alanın da önlemini almak durumundadır. Bu açıdan bakıldığında personeli riskli durumlardan korumaktadırlar.

Demiryolunda temizlik personeli birçok farklı yerde görev yapabilmektedir. Trenlerin temizliği, idari binaların temizliği, istasyonların temizliği bunlardan bazılarıdır. Trenlerin temizliği trenin sefer sonunda depo alanına çekilmesiyle başlarken idari alanların ve personel odalarının temizliği genelde günde bir kez yapılmaktadır. İstasyon temizliği ise alan büyük olduğundan makinelerle ve biraz daha fazla zaman alabilmektedir. Ayrıca yolcuların yoğun kullandığı alan olduğundan daha önemlidir. Bununla birlikte çok sayıda istasyon bulunduran kentsel metro hatlarında temizlik personelinin planlanması daha önemli hale gelmektedir. Yolcu yoğunluğu fazla olan şehirlerde ve alanlarda daha fazla temizlik personeline ihtiyaç duyulabilmektedir.

HEDEF PROGRAMLAMA

Hedef programlama çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Model analiz sonucunda kullanıcı tarafından belirlenen kısıtlar ve hedeflerle optimum çözüme ulaşmaya çalışır. Diğer matematiksel modellerden farkı birden fazla hedefi gerçekleştirmeye çalışmasıdır. Bunun için istenen hedefe ulaşabilmesi amacıyla sapma değişkenleri kullanır. Sapma değişkenleri istenen hedefi mümkün olduğunca en az sapmayla gerçekleştirmek için kullanılır. Sapma değişkenlerine ağırlık ya da öncelik verilebilmektedir. Hedeflenen değerden pozitif ve negatif sapma, d_i^+ ve d_i^- simgesiyle gösterilmektedir. Mümkün olduğunca sapma değişkeni değerlerinin 0 olması istenir. Hedef programlama modelinin genel gösterimi şu şekildedir.

x_j : j. Karar değişkeni $j=1,\ldots,n$

d_i^+: i. hedefin pozitif sapma değişkeni $i=1,\ldots,k$

d_i^-: i. hedefin negatif sapma değişkeni $i=1,\ldots,k$

a_{ij} : i. hedefin j. karar değişkeni katsayısı $i=1,\ldots,k \; j=1,\ldots,n$

b_i:i. Hedef için ulaşılmak istenen değer $i=1,\ldots,k$

Amaç fonksiyonunun gösterimi şu şekildedir:

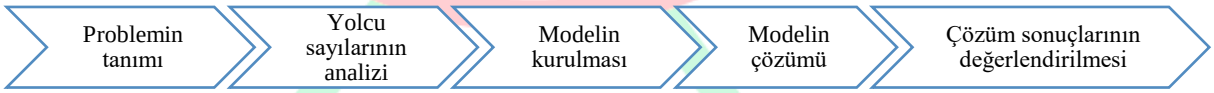
Minimize $Z = \sum_{i=1}^{k}(d_i^+ + d_i^-)$

$$\sum_{j=1}^{n}(a_{ij}x_j - d_i^+ + d_i^-)=b_i \qquad i=1,\ldots,k \qquad (1)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \qquad i=1,\ldots,k \; j=1,\ldots,n \qquad (2)$$

UYGULAMA

Ankara metrosunun istasyonlarında görev yapan 117 temizlik personelinin aylık vardiya çizelgelemesinin oluşturulması amacıyla istasyonlarda yolcu sayıları, personel ihtiyaçları ve işletme kısıtlarıyla hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Uygulamanın akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. *Uygulamanın Akış Şeması*

Problemin tanımı

Ankara metrosunun 11 istasyonunda görev yapan 117 temizlik personeli V1 (Sabah), V2 (Akşam) ve V3 (Gece) vardiyalarında çalışmaktadır. Mevcut durumda personelin çalışma şartları dikkate alındığında iş yükünün dengesiz dağıldığı görülmüştür. Bu durum personel arasında huzursuzluk, dikkat eksikliği ve iş verimsizliği oluşturmaktadır. İş yüklerini dengeli dağıtmak amacıyla istasyonlarda yolcu sayıları oranı dikkate alınarak personel ihtiyacı belirlenmiştir. Personel ihtiyaçlarına göre temizlik personeli istasyonlara aylık çizelgelemeye göre dağıtılmıştır. Mevcut durumda vardiya çizelgelemesini manuel olarak düzenlenmekte

herhangi program kullanmamaktadır. Temizlik personeli aylık vardiya çizelgelemesi için yolcu sayıları, işletme şartları ve çalışma kuralları dikkate alınmıştır.

Yolcu sayılarının analizi

İstasyonlarda yolcu sayıları aylık olarak değerlendirilmiştir. İstasyonlara göre yolcu sayıları ve oranı Şekil 2'de verilmiştir. Yolcu yoğunluğu en fazla olan istasyonun %18.48 ile beşinci istasyon olduğu Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. *İstasyonlara göre yolcu sayıları grafiği*

Temizlik personelinin aylık toplam görev sayıları yolcu yoğunluğuna göre belirlenmiştir. Yolcu sayıları burada personelin istasyonlardaki görev sayısını da vermektedir. Şekil 2'de grafikte gösterilen istasyonlara göre yolcu sayılarının yüzdesel oranı aynı zamanda istasyonlardaki personelin toplam görev sayıları oranı olarak belirlenmiştir. 117 personel için istasyonlardaki toplam görev sayısı 22 gün hedefi üzerinden 117x22=2574 olarak belirlenmiştir. Bu aynı zamanda personelin aylık toplam atama sayısıdır. Örneğin birinci istasyondaki görev sayısı 2574x0.1253=323 olarak hesaplanmaktadır. Birinci istasyona aylık toplam atanan personelin görev sayıları 323'tür. Ancak aylık 22 gün çalışma hedefi tam olarak gerçekleşmeyebileceğinden tolerans payı (%5) belirlenip kısıt olarak hedef programlama modelinde verilmiştir. Yani birinci istasyon için aylık toplam görev sayısı tolerans aralığı 323±323x0,05 (323±16) olarak belirlenmiştir. Birinci istasyonun alt sınır değeri 317, üst sınır değeri 339 olarak hesaplanmıştır. Her istasyon için bu şekilde hesaplanarak istasyon görevlerinin alt ve üst sınır değerleri belirlenmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de 1. istasyon "İ1" olarak gösterilmiştir. Diğer istasyonlarda sırasıyla aynı şekilde ifade edilmiştir.

Tablo 1. *İstasyonlardaki toplam görev sayılarının alt ve üst sınırları*

	İstasyonlar										
Sınır Değeri	İ1	İ2	İ3	İ4	İ5	İ6	İ7	İ8	İ9	İ10	İ11
Alt sınır	307	159	263	106	452	257	243	127	222	97	209
Üst sınır	339	177	291	117	500	285	269	141	246	109	233

Hedef programlama modeli

Ankara metrosu istasyonlarda görev yapan temizlik personelinin iş yüklerinin dengeli dağıtılması amacıyla aylık vardiya çizelgelemesi oluşturulması için hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Matematiksel modelde 7 kısıt ve 2 hedef belirlenmiştir.

Parametreler

i: personel indeksi (117 personel)

j: gün indeksi (30 gün)

k: vardiya indeksi (3 vardiya)

l: istasyon indeksi (11 istasyon)

İstasyon sorumluları s=2,7,9,14,17,22,24,31,33,38,43,45,48,51,56,57,62,69,71,73,75, 80,83,87,89,92,97,98,101,104,108,111,113,116

Karar değişkenleri

$$x_{ijkl} = \begin{cases} 1, & i.personel\ j.günde\ k.vardiyaya\ l.istasyona\ atanırsa \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases}$$

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & i.personel\ j.günde\ izinliyse \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases}$$

p_l^{min} = l. istasyonda aylık toplam minimum görev sayısı (alt sınır)

p_l^{max}= l. istasyonda aylık toplam maksimum görev sayısı (üst sınır)

Sapma Değişkenleri

d_{i1}^{+} = Aylık çalışma günü hedefinden pozitif sapma ∀ i

d_{i1}^{-} = Aylık çalışma günü hedefinden negatif sapma ∀ i

d_{ij2}^{+} = İzin günlerinin bölünmemesinden pozitif sapması ∀ i,j

d_{ij2}^{-} = İzin günlerinin bölünmemesinden negatif sapması ∀ i,j

Kısıtlar

Kısıt 1: İstasyonlarda toplam bulunması gereken alt ve üst görev sayısı kısıtı Denklem 1'de verilmiştir.

$$p_l^{min} \leq \sum_{i=1}^{117} \sum_{j=1}^{30} \sum_{k=1}^{3} x_{ijkl} \leq p_l^{max} \qquad \forall\ l \qquad (1)$$

Kısıt 2: Günlük vardiyalarda her istasyonda bulunması gereken personel sayıları kısıtı Denklem 2'te verilmiştir.

$$\sum_{i=1}^{117} x_{ijkl} \geq 1 \qquad \forall\ j,k,l \qquad (2)$$

Kısıt 3: Sabah ve akşam vardiyasında her istasyonda en az bir, gece vardiyasında istasyonların hepsi için en az bir sorumlu bulunması kısıtı Denklem 3'te verilmiştir.

$$\sum_{s \epsilon i} x_{ijkl} \geq 1 \qquad \forall\ j,k,l \qquad (3)$$

Kısıt 4: Herhangi bir günde personelin ya çalışması ya izin yapması kısıtı Denklem 4'te verilmiştir.

$$\sum_{l=1}^{11} \sum_{k=1}^{3} x_{ijkl} \leq 1 - h_{ij} \qquad \forall\ i,j \qquad (4)$$

Kısıt 5: Herhangi bir gün gece vardiyasına atanıyorsa sonraki gün sabah ve akşam vardiyasına atanmaması kısıtı Denklem 5'te verilmiştir. Herhangi bir gün akşam vardiyasına atanıyorsa

aynı gün gece vardiyasına sonraki gün sabah vardiyasına atanmaması kısıtı Denklem 6'da verilmiştir.

$\sum_{l=1}^{11}(x_{ij3l} + x_{i(j+1)1l} + x_{i(j+1)2l}) \leq 1$ ∀ i,j=1..29 (5)

$\sum_{l=1}^{11}(x_{ij2l} + x_{ij3l} + x_{i(j+1)1l}) \leq 1$ ∀ i,j=1..29 (6)

Kısıt 6: Her personel haftada iki gün izin yapması kısıtı Denklem 7'de verilmiştir.

$h_{ij} + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)} = 2$ ∀ i,j=1..24 (7)

Kısıt 7: Her personel herhangi bir vardiyada günlük istasyonlardan en fazla birisine atanması kısıtı Denklem 8'de verilmiştir. Her personel herhangi bir istasyonda günlük vardiyalardan en fazla birisine atanması kısıtı Denklem 9'da verilmiştir.

$\sum_{l=1}^{11} x_{ijkl} \leq 1$ ∀ i,j,k (8)

$\sum_{k=1}^{3} x_{ijkl} \leq 1$ ∀ i,j,k (9)

Hedefler

Hedef 1: Her personel aylık mümkün olduğunca 22 gün çalışması hedefi Denklem 10'da gösterilmiştir.

$\sum_{l=1}^{11}\sum_{j=1}^{30}\sum_{k=1}^{3} x_{ijkl} - d_{i1}^{+} + d_{i1}^{-} = 22$ ∀ i (10)

Hedef 2: Personelin izin günleri mümkün olduğunca bölünmemesi hedef, Denklem 11'de gösterilmiştir.

$\sum_{l=1}^{11}(h_{ij} + x_{i(j+1)1l} + x_{i(j+1)2l} + x_{i(j+1)3l} + h_{i(j+2)}) - d_{ij2}^{+} + d_{ij2}^{-} = 2$ ∀ i,j=1..28 (11)

Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonunun Denklem 12'de gösterilmiştir.

Min z= $\sum_{i=1}^{117}(d_{i1}^{+} + d_{i1}^{-}) + \sum_{i=1}^{117}\sum_{j=1}^{30}(d_{ij2}^{-} + d_{ij2}^{+})$ (12)

Modelin çözümü

Matematiksel model, Intel(R) "Core (TM) i7-10750H CPU @ 2.60GHz" işlemci, 8 GB bellek ve bilgisayarda Windows 10 işletim sistemi, ILOG CPLEX Studio IDE 12.6.2.0. optimizasyon programı ile çözülmüştür. Çözümde 117 personel Ankara metrosu hatlarındaki istasyonlara atanmıştır. Modelde dört parametre kullanılmıştır. Modelin atama sonucunda amaç fonksiyonu değeri 2353 çıkmıştır. Personelin vardiyalara bir aylık atama sonuçları ve toplam aylık çalışma günleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3'te "1" sabah vardiyasını, "2" akşam vardiyasını, "3" gece vardiyasını ve "boş" alanlar izin günlerini göstermektedir.

	Gün																												Vardiyalar			
Personel	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**V1**	**V2**	**V3**	**Toplam**
1	1	1	1		1	3		1	2	2		2	2		1	2	2		1	1		3	3	3		2	2		2	2	**8**	**10**	**4**	**22**
2	1	1	1	2			2	2	2	2	2			2	2	2	2	2			1	1	1	1	3			1	2	2	**8**	**13**	**1**	**22**
3	1	1	1			1	1	1	2	2			2	2	2	2	2			2	2	2	2	2			2	3	3	3	**6**	**13**	**3**	**22**
4	1	2	2		1	2		1	2	2		2	2		1	1	1		2	3		1	1	2		2	2		2	3	**8**	**12**	**2**	**22**
5	3	3	3			1	1	2	2	3			2	3	3	3	3			1	3	3	3	3			1	1	1	1	**7**	**3**	**12**	**22**
6	2	2	2	3	3			1	1	1	1	1			1	1	1	1	1			1	1	2	2	3			1	3	**13**	**5**	**4**	**22**
7	3		1	1		1	1	1		1	2		1	2	2		1	2		2	2	2		1	1		1	1	2		**12**	**8**	**1**	**21**
8	2	2		1	1	2		3	3		1	1	1		1	1		1	1	2		3	3		1	2	3		1	1	**12**	**5**	**5**	**22**
9	2	2	2		1	2		2	2	2		1	1		1	1	1		1	2		1	1	2		1	2		1	1	**12**	**10**		**22**
10	1	1		3	3		1	3	3		1	2		2	3	3		1	1		3	3	3		1	1		1	1	1	**11**	**2**	**9**	**22**
11	3	3	3	3			2	3	3	3	3			2	3	3	3	3			2	3	3	3	3			1	1	1	**3**	**3**	**16**	**22**
12	3	3			1	2	2	3	3			3	3	3	3	3			2	2	2	3	3			1	2	2	2	3	**2**	**8**	**12**	**22**
13	3	3		2	3	3		1	1		2	2	2		1	2		3	3	3		1	3		1	1	2		1	1	**8**	**6**	**8**	**22**
14	1	2	2	2			1	1	1	2	2			1	1	1	1	2			2	2	2	2	2			1	2	3	**9**	**12**	**1**	**22**
15	2	3			2	3	3	3	3			1	2	2	2	3			1	2	2	3	3			1	2	2	2	2	**3**	**11**	**8**	**22**
16	3	3		1	2		3	3	3		3	3		1	1	2		1	2		1	3	3		3	3		3	3	3	**5**	**3**	**14**	**22**
17		1	2	2		2	2		1	1	1		2	2		2	2	3		1	1		1	2	2		1	3		1	**9**	**10**	**2**	**21**
18	1	2			1	3	3	3	3			1	1	1	1	2			1	1	1	3	3			1	2	2	3	3	**10**	**4**	**8**	**22**
19	1	1		3	3		2	3	3		1	1		3	3	3		2	2		3	3	3		1	1		2	2	3	**6**	**5**	**11**	**22**
20	2	2		2	2		2	3	3		1	1		2	3	3		1	1		3	3	3		1	2		2	3	3	**5**	**8**	**9**	**22**
21	3	3	3	3			2	2	3	3	3			2	2	3	3	3			2	2	3	3	3			2	2	3		**8**	**14**	**22**
22	1	1		1	3		2	2	2		2	2		1	1	1		1	2		1	2	3		2	2		1	1	2	**10**	**10**	**2**	**22**
23	1	2		2	2		2	3	3		2	3		2	2	3		1	1		2	2	2		2	2		3	3	3	**3**	**12**	**7**	**22**
24	1	2	2		2	2		1	1	3		2	2		1	1	1		1	2		1	1	1		1	2		1	2	**12**	**9**	**1**	**22**
25	1	1	1			1	2	2	3	3			1	1	1	1	2			3	3	3	3	3			1	1	1	1	**12**	**3**	**7**	**22**
26	2	2	3		2	2		3	3	3		1	2		3	3	3		3	3		2	2	3		1	2		1	3	**3**	**8**	**11**	**22**
27	3	3		2	2		1	1	3		3	3		2	2	3		1	2		2	3	3		2	3		1	1	2	**5**	**8**	**9**	**22**
28	3	3	3	3	3			1	1	2	3	3			1	1	1	3	3			3	3	3	3	3			2	3	**5**	**2**	**15**	**22**
29	2	2	2			1	2	2	2	2			3	3	3	3	3			2	2	3	3	3			2	2	2	3	**1**	**12**	**9**	**22**
30	1	1	2		1	1		1	1	2		1	3		1	1	1		1	3		1	1	2		2	3		1	2	**14**	**5**	**3**	**22**
31	1	1		1	1		1	1	1		1	1		1	2	2		2	3		2	2	2		2	2		1	1	1	**13**	**8**	**1**	**22**
32	1	1		2	2		2	3	3		1	1		1	3	3		2	3		1	1	2		2	2		1	1	2	**9**	**8**	**5**	**22**
33	2	3	3			1	1	1	1	2			1	2	2	2	2			1	1	1	2	2		1	1	1	1	**12**	**8**	**2**	**22**
34	3	3	3		1	1		1	1	1		2	2		1	1	3		1	2		1	1	2		2	3		1	1	**12**	**5**	**5**	**22**
35	1	2	2	3			2	3	3	3	3			2	2	2	2	2			1	1	1	1	2			1	1	1	**8**	**9**	**5**	**22**
36	1	1		2	2	2		2	3		1	3	3		1	3		1	3	3		3	3		1	1	1		2	2	**8**	**6**	**8**	**22**
37	1	2		1	1		2	2	3		2	2		2	2	2		1	2		3	3	3		1	1		1	1	1	**9**	**9**	**4**	**22**
38	2	3		1	1	2		1	2		1	1	1		2	2		1	1	1		2	3		2	2	2		1	1	**11**	**9**	**2**	**22**
39	1	1	1	1			1	1	1	2	3			1	1	1	1	2			1	1	1	1	2			2	2	2	**15**	**6**	**1**	**22**
40	1	1	1	1			1	3	3	3	3			2	3	3	3	3			1	1	1	1	1			1	2	3	**11**	**2**	**9**	**22**
41	1	1	3			2	2	3	3	3			2	2	2	2	2			1	1	1	2	3			3	3	3	3	**5**	**8**	**9**	**22**
42	1	3			2	3	3	3	3			3	3	3	3	3			2	2	3	3	3			1	1	1	1	2	**5**	**4**	**13**	**22**
43	2	2		1	1	2		1	1		2	2	2		1	2		2	2	2		1	2		1	2	2		1	2	**8**	**14**		**22**
44	3	3		1	2	2		3	3		1	3	3		2	3		1	1	2		2	3		2	3	3		1	3	**5**	**6**	**11**	**22**
45	2		1	1		1	2	2		1	1		1	2	2		1	1		1	1	3		2	2		1	2	2		**11**	**9**	**1**	**21**
46	2	2		1	2		3	3	3		1	1		2	3	3		2	2		3	3	3		2	2		2	2	3	**3**	**10**	**9**	**22**
47	3	3		1	1		1	2	3		1	3		2	2	2		2	2		2	2	2		1	2		2	3	3	**5**	**11**	**6**	**22**
48	2		1	2		2	2	3		1	2		1	3	3		1	2		1	2	3		1	1		1	1	1		**10**	**7**	**4**	**21**
49	2	2		1	1		3	3	3		1	1		3	3	3		1	3		2	3	3		2	2		3	3	3	**5**	**5**	**12**	**22**
50	2	2	2		2	2		1	1	2		3	3		1	1	1		1	1		1	2	2		2	2		1	3	**9**	**10**	**3**	**22**
51		2	2		1	1	1		1	1		2	2	2		1	2		2	2	3		1	2		2	2	2		1	**8**	**12**	**1**	**21**
52	1	1		2	2		1	1	3		2	2		3	3	3		1	1		1	1	3		3	3		2	3	3	**8**	**5**	**9**	**22**
53	3	3			1	3	3	3	3			2	3	3	3	3			3	3	3	3	3			1	3	3	3	3	**2**	**1**	**19**	**22**
54	3	3			2	2	2	2	2			1	2	3	3	3			2	2	3	3	3			1	2	2	2	2	**2**	**12**	**8**	**22**
55	1	2	2		2	3		1	1	1		3	3		1	1	3		3	3		1	1	2		1	3		1	2	**10**	**5**	**7**	**22**
56	3		1	3		1	2	2		1	1		2	2	2		1	1		2	2	2		1	2		2	2	2		**7**	**12**	**2**	**21**
57		1	1		1	1	2		1	1		1	2	2		2	2		1	1	2		1	2		1	2	2		1	**12**	**9**		**21**
58	1	2	2	2			1	1	1	2	2			1	1	1	2	2			1	2	2	2	2			1	1	1	**11**	**11**		**22**
59	1	1	2	3	3			1	2	2	3	3			1	1	1	3	3			2	3	3	3	3			1	3	**7**	**4**	**11**	**22**

Şekil 3. *Atama sonuçları*

	Gün																													Vardiyalar			
Personel	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**V1**	**V2**	**V3**	**Toplam**
1	2	2		2	3		1	1	1		2	3		2	3	3		1	1		1	1	2		1	3		3	3	3	**8**	**6**	**8**	**22**
2	1	2		3	3		1	1	2		2	3		1	2	2		1	1		2	3	3		2	3		2	2	2	**6**	**10**	**6**	**22**
3	2	2		2	2	2		1	2		1	1	1		1	1		1	1	1		2	2		2	2	2		1	1	**11**	**11**		**22**
4	3	3		3	3	3		2	3		1	3	3		2	3		2	3	3		3	3		2	3	3		1	2	**2**	**5**	**15**	**22**
5	1	1		2	3		2	2	2		3	3		1	2	3		1	2		3	3	3		3	3		2	3	3	**4**	**7**	**11**	**22**
6	1	1	1	1	2			1	1	3	3	3			1	1	2	2	2			1	1	2	2	2			1	3	**11**	**7**	**4**	**22**
7	1	1		1	2		1	1	1		3	3		1	2	2		3	3		1	3	3		3	3		3	3	3	**8**	**3**	**11**	**22**
8	1	1	1		3	3		2	2	2		1	1		2	2	3		3	3		1	1	1		3	3		1	1	**10**	**5**	**7**	**22**
9	2	2	3		1	2		2	2	2		3	3		1	1	2		1	1		1	2	2		1	3		1	1	**9**	**9**	**4**	**22**
10		1	1	1		1	2		1	1	2		1	1		1	2	2		2	2		1	1	1		1	2		1	**14**	**7**		**21**
11	1	2	2			1	1	2	2	2			2	2	3	3	3			2	2	2	2	3			1	2	2	2	**4**	**14**	**4**	**22**
12	2	2	2			1	1	1	1	2			1	1	1	1	2			1	1	1	1	2			1	1	1	1	**16**	**6**		**22**
13	3	3		3	3	3		1	2		2	2	2		3	3		1	3	3		3	3		2	2	3		1	1	**4**	**6**	**12**	**22**
14	1	2		2	2		2	2	2		1	1		1	1	2		1	2		1	2	3		2	2		2	2	2	**7**	**14**	**1**	**22**
15	3	3	3		1	2		1	2	2		2	2		1	1	1		3	3		1	2	2		3	3		1	1	**8**	**7**	**7**	**22**
16		1	1		2	2	2		2	2		1	1	2		2	2		1	1	2		2	2		1	2	2		1	**8**	**13**		**21**
17	3	3			1	3	3	3	3			1	1	2	3	3			3	3	3	3	3			2	2	2	3	3	**3**	**4**	**15**	**22**
18	3	3	3		2	2		2	2	3		3	3		2	2	2		1	3		1	1	1		1	1		1	1	**8**	**7**	**7**	**22**
19	3	3		2	2		3	3	3		1	3		3	3	3		1	1		3	3	3		3	3		2	3	3	**3**	**3**	**16**	**22**
20	1	2		2	2	3		1	2		1	2	3		2	2		1	1	3		1	2		1	1	3		1	3	**9**	**8**	**5**	**22**
21	3		2	2		1	1	3		2	2		2	2	2		1	2		1	1	1		1	1		1	1	3		**10**	**8**	**3**	**21**
22	3	3		3	3		2	3	3		2	3		3	3	3		1	2		2	3	3		3	3		2	2	2	**1**	**7**	**14**	**22**
23	3	3		3	3	3		3	3		3	3	3		1	2		1	2	2		3	3		1	3	3		2	3	**3**	**4**	**15**	**22**
24	1	2	2		2	2		2	2	2		2	2		1	1	3		2	2		1	2	3		1	1		2	2	**6**	**14**	**2**	**22**
25	1	3		2	2		2	2	2		1	3		2	2	3		1	3		1	1	3		1	1		2	2	3	**7**	**9**	**6**	**22**
26	1	2		3	3		2	3	3		3	3		2	2	3		2	2		1	3	3		3	3		2	2	2	**2**	**9**	**11**	**22**
27	1	3	3			3	3	3	3	3			2	2	2	2	2			2	2	3	3	3			1	2	2	3	**2**	**9**	**11**	**22**
28	2	2		2	2		1	2	3		2	2		1	3	3		1	1		2	2	2		2	2		1	1	2	**6**	**13**	**3**	**22**
29	3	3	3		2	2		2	2	2		2	2		3	3	3		2	2		1	1	2		1	1		1	1	**6**	**10**	**6**	**22**
30	3	3		2	2		1	2	3		2	2		1	1	1		1	2		1	3	3		2	3		1	2	2	**7**	**9**	**6**	**22**
31	2	2	2	3			1	3	3	3	3			1	1	1	1	2			3	3	3	3	3			3	3	3	**5**	**4**	**13**	**22**
32	3	3		1	1		2	2	3		1	1		2	3	3		1	1		3	3	3		1	1		1	1	1	**11**	**3**	**8**	**22**
33	1	1		1	1		3	3	3		1	1		1	1	3		1	1		1	1	2		1	1		2	2	2	**14**	**4**	**4**	**22**
34	1	1	2	3	3			2	2	2	3	3			3	3	3	3	3			1	2	2	2	2			1	2	**4**	**9**	**9**	**22**
35	3	3		1	1		3	3	3		2	3		3	3	3		2	3		3	3	3		2	2		1	1	2	**4**	**5**	**13**	**22**
36	1	1	1		3	3		1	2	2		3	3		2	2	2		2	3		1	1	1		3	3		1	3	**8**	**6**	**8**	**22**
37	3	3		1	3		2	2	2		2	2		1	1	3		2	2		3	3	3		1	2		2	2	2	**4**	**11**	**7**	**22**
38	1	3		1	1		1	1	2		1	2		1	2	2		1	1		2	3	3		1	2		2	2	2	**10**	**9**	**3**	**22**
39	3		2	2	2		1	3		1	1	2		1	1		2	2	2		2	2		1	1	2		2	3		**7**	**11**	**3**	**21**
40	3	3		2	3	3		2	2		1	2	2		2	3		1	1	1		2	2		1	1	3		1	3	**7**	**8**	**7**	**22**
41	3	3	3	3			1	1	1	2	3			2	3	3	3	3			2	3	3	3	3			1	1	2	**5**	**4**	**13**	**22**
42		1	1	1	2	3			1	1	2	2	2			1	1	2	2	2			1	1	1	1	2			1	**12**	**8**	**1**	**21**
43	3	3		2	2		2	2	3		1	1		3	3	3		2	2		2	3	3		1	2		1	2	3	**4**	**9**	**9**	**22**
44	1	1	2			1	1	2	3	3			1	2	2	3	3			1	2	3	3	3			3	3	3	3	**6**	**5**	**11**	**22**
45	3		1	2	2		2	2		2	3	3		2	2		1	2	2		1	2		1	1	1		2	2		**6**	**12**	**3**	**21**
46	3	3		3	3		2	2	2		2	3		2	3	3		2	2		3	3	3		3	3		1	1	3	**2**	**7**	**13**	**22**
47	3	3			3	3	3	3	3			1	3	3	3	3			2	2	2	3	3			1	1	1	1	1	**6**	**3**	**13**	**22**
48	3	3		3	3		3	3	3		1	3		2	2	3		3	3		3	3	3		2	3		1	1	1	**4**	**3**	**15**	**22**
49	2	2	2		1	1		2	2	2		1	2		1	1	1		1	1		2	2	2		1	1		1	1	**12**	**10**		**22**
50	3	3	3	3	3			1	1	1	2	2			2	2	2	2	2			1	1	1	3	3			1	1	**8**	**7**	**7**	**22**
51	3	3	3		1	3		1	1	1		2	2		1	1	1		2	2		2	3	3		2	2		1	1	**9**	**7**	**6**	**22**
52	1	1	1		1	2		2	2	2		1	1		2	2	2		2	3		1	1	1		1	3		2	2	**10**	**10**	**2**	**22**
53	3	3		3	3		3	3	3		3	3		3	3	3		2	2		3	3	3		2	2		3	3	3		**4**	**18**	**22**
54	1	1		1	2	2		1	2		1	1	2		2	2		1	2	2		1	1		1	1	1		1	1	**14**	**8**		**22**
55	1	3		2	3		1	1	3		1	3		1	2	3		1	3		2	2	3		2	3		1	1	1	**9**	**5**	**8**	**22**
56	3	3	3	3			1	1	2	2	3			1	2	2	3	3			1	1	2	2	2			1	1	1	**8**	**7**	**7**	**22**
57	2	2	2		1	1		1	1	1		2	3		1	2	2		1	2		2	2	2		2	2		1	1	**9**	**12**	**1**	**22**
58	2	2			3	3	3	3	3			2	2	3	3	3			3	3	3	3	3			2	3	3	3	3		**5**	**17**	**22**

Şekil 3. (Devamı)

Modelin atama sonuçları değerlendirildiğinde istasyonda aylık toplam personel sayılarının alt ve üst aralıkta olduğu Tablo 2'de görülmektedir. Diğer kısıtların saplandığı atama sonuçlarında görülmüştür.

Tablo 2. *İstasyonlara atama sayıları*

İstasyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Personel	307	159	263	113	499	257	269	141	223	97	233

Hedef 2 her personelin aylık toplam 22 gün çalışma hedefinin büyük oranda gerçekleşmiştir. Sadece 13 personel 21 gün çalışmıştır. Hedef 2 izin günlerinin bölünmemesi hedefi sapmanın büyük çoğunluğunu oluştursa da gerçek hayat probleminde personel için olumlu karşılanmıştır. Sapma değişkeni değerleri d_{i1}^{-} 22 gün çalışma hedefi için 13, d_{ij2}^{-} izin günlerinin bölünmemesi hedefi için 2340 çıkmıştır.

SONUÇ

Ankara metrosu hatlarında görev yapan istasyon temizlik personelinin aylık vardiya çizelgelemesi için matematiksel programlama modeli oluşturulmuştur. Temizlik personeli çizelgelemesi için oluşturulan matematiksel modelde yolcu sayıları personelin istasyonlara iş yüklerinin ve aylık toplam çalışma sürelerinin dengeli dağıtılması amacıyla hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Ankara metrosunun 11 istasyonunda görev yapan 117 temizlik personelinin adaletli dağıtılması için yolcu sayıları oranlarına göre aylık toplam istasyon görevleri belirlenmiştir. İstasyonlarda ihtiyaç duyulan personel ve sorumlu sayıları diğer kısıtlarla birlikte oluşturulmuştur. Aylık toplam çalışma günlerinin ve izin günlerinin bölünmemesi hedef olarak belirlenerek hedef programlama modeline dahil edilmiştir. Belirlenen kısıtlarla ve hedeflerle işletme kısıtları personelin iş yüklerinin eşit ve dengeli dağıtılması için hedef programlama modeli çözülmüştür. Çözüm sonucunda istasyonlarda iş yükleri dengeli dağıtılmış, aylık toplam çalışma günleri hedefi çok az sapmayla gerçekleşmiştir. Personel izin günlerinin bölünmemesi hedefi en çok sapmayı göstermiştir. Diğer katı kısıtların olması, istasyonlarda personel ihtiyaçlarının bulunmasından dolayı sapma gerçekleşmiştir. Ancak sapmanın gerçekleşmesinin gerçek hayat problemine uygun olduğu söylenebilir. Bu çalışma, temizlik personeli konusunda literatürde oldukça az olan çalışmalar konusunda araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Literatürde raylı sistem temizlik personeli konusunda çalışmalar oldukça azdır. Bu alanda yolcu sayılarının dikkate alınıp iş yüklerinin dengeli dağıtılması amacıyla oluşturulan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ankara metrosu hatlarında temizlik personeli çizelgelemesi örnek vaka çalışması olarak sunulmuştur. Gelecek çalışmalarda Ankara metrosunun bütün hatlarında temizlik personelinin vardiya çizelgelemesi problemi büyük boyutlu problem olarak ele alınması planlanmaktadır.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

Aksüt, G., Alakaş, H. M., Eren, T., & Karaçam, H. (2022). Fiziksel ergonomik riskli personel çizelgeleme problemi için model önerisi: Kadın çalışanlar için tekstil sektöründe bir uygulama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 38*(1), 245-256.

Bartolini, E., Dell'Amico, M., & Iori, M. (2017). Scheduling cleaning activities on trains by minimizing idle times. *Journal of Scheduling, 20*, 493-506.

Bedir, N., Eren, T., & Dizdar, E. N. (2017). Ergonomik personel çizelgeleme ve perakende sektöründe bir uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, *5*(3), 657-674.

Cürebal, A., Koçtepe, S., & Eren, T. (2020). Tanıtım festivalinde personel çizelgeleme problemi: bir uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *6*(3), 217-229.

Cürebal, A., & Eren, T. (2021). COVID-19 pandemi riski durumunda yetkinlik bazlı güvenlik personeli vardiya çizelgeleme probleminin çözümü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *36*(3), 1483-1498.

Demirel, B., Yelek, A., Alağaş, H. M., & Eren, T. (2018). Ankaray güvenlik personelinin vardiya çizelgeleme probleminin hedef programlama yöntemi ile çözümü. *Demiryolu Mühendisliği*, (8), 1-17.

Eren, T., & Alakaş, H. M. (2023). Hukuk sistemlerinde personel çizelgeleme problemi: Kamulaştırma davaları örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *38*(1), 299-308.

Eren, T., & Akdaş, E. (2023). Devlet Tiyatroları Genel Müdürlüğü'nde Güvenlik Personeli Vardiya Çizelgelemesi. *Uluslararası İşletme Bilimi ve Uygulamaları Dergisi*, *3*(1), 1-18.

Eren, T., Akgönül, R., & Alakaş, H. M. (2022). Ergonomik Personel Çizelgeleme Problemi: Savunma Sanayinde Bir Uygulama. *International Journal of Engineering Research and Development*, *14*(3), 43-68.

Eren, T., Koçtepe, S., & Cürebal, A. (2021). Hedef programlama yöntemi ile akaryakıt istasyonları tanıtımı için personel çizelgeleme problemi. *Politeknik Dergisi*, 1-1.

Eren, T., Özder, E. H., Alakaş, H. M., & Özcan, E. (2019). Kısıt programlama yaklaşımıyla güvenlik personeli çizelgeleme probleminin çözümü. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, *4*(2), 16-25.

Eren, T., & Ünal, F. M. (2016). Hedef programlama ile nöbet çizelgeleme probleminin çözümü. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, *4*(1).

Eren, T., & Ünlüsoy, S. (2016). Kamusal binalarda temizlik çizelgeleme ve örnek uygulama. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, *4*(3), 149-155.

Eren, T., Yelek, A., Demirel, B., & Alağaş, H. M. (2018). Kismi zamanli çalişan personellerin çizelgelenmesi: kirikkale üniversitesi merkez kütüphanesi örneği. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *8*(2), 313-330.

Gençer, M. A., Eren, T., & Alakaş, H. M. (2023a). Train maintenance personnel shift scheduling: case study. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 1-34.

Gençer, M. A., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2023b). Model Proposal for the Shift Scheduling of Warehouse Personnel for the Sustainability of Railway. *Available at SSRN 4484031*.

Koçtepe, S., Bedir, N., Eren, T., & Gür, Ş. (2018). Organizasyon görevlileri için personel çizelgeleme probleminin 0-1 tam sayılı programlama ile çözümü. *Ekonomi İşletme ve Yönetim Dergisi*, *2*(1), 25-46.

Özder, E. H., Eren, T., & Varlı, E. (2017). Hedef programlama yaklaşımı ile temizlik personeli çizelgeleme problemi için bir model önerisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, *7*(2), 114-127.

Şeker, Ö., Alakaş, H. M., Cürebal, A., & Eren, T. (2022). Dengeli iş yükü ataması için şoför çizelgeleme problemi: Bir lojistik firmasında uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, *6*(1), 897-916.

Sarımehmet, B., Alakaş, H. M., Pınarbaşı, M., & Eren,T. (2023). Çay Hasadı Çizelgeleme İçin Matematiksel Model Önerisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, *11*(3), 925-938.

Uslu, B., Bedir, N., Gür, Ş., & Eren, T. (2018). 0-1 Hedef Programlama Yöntemi Kullanılarak Hemşire Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Sağlık Akademisi Kastamonu*, *3*(3), 148-170.

Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hemşire çizelgeleme problemi ve hastanede bir uygulama. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, *5*(1), 34-40.

Varlı, E., Ergişi, B., & Eren, T. (2017). Özel Kısıtlı Hemşire Çizelgeleme Problemi: Hedef Programlama Yaklaşımı. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (49), 189-206.

Yelek, A., Eren, T., Gür, Ş., & Alakaş, H. M. (2019). Metro İstasyon İşletme Şeflerinin Vardiyalarının Hedef Programlama ile Çizelgelenmesi. *Demiryolu Mühendisliği*, (10), 17-30.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Raylı Sistem Elektrik Tesislerinde Diferansiyel Röle Uygulamaları, Güvenlik ve Sistem Performansının Artırılması

Uğur Ali KARATAŞ[1]
Recep YUMURTACI[2]
Furkan KARAKUŞ[3]

Özet

Bu çalışma, kent içi raylı sistemlerde kullanılan orta gerilim elektrik sistemlerinin elemanları, bu sistemlerde karşılaşılan arızalar ve koruma mekanizmaları üzerine detaylı bir analiz sunmaktadır. Araştırma, özellikle elektrik sistemlerindeki orta gerilim elemanlarının işlevlerini ve bu elemanların arıza durumlarında nasıl tepki verdiğini inceler. Elektrik tesislerinde kullanılan koruma sistemleri, sistem güvenliği için hayati öneme sahiptir. Hat diferansiyel koruma sistemi ve röleleri üzerine yapılan bu inceleme, özellikle seçicilik, hızlı müdahale kapasitesi, güvenilirlik, ekonomik verimlilik ve arıza lokalizasyonu gibi özellikleri ele almaktadır.

Ayrıca, bildiride bir metro hattının ETAP programında yapılan simülasyonu ve bu simülasyonun sonuçları detaylı olarak incelenmiştir. Bu simülasyon, koruma sistemlerinin tasarımı ve uygulamasında karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmede ve optimizasyon stratejilerinin geliştirilmesinde önemli bir referans noktası olarak işlev görmektedir. Sonuç olarak, bu bildiri, raylı sistemlerde orta gerilim elektrik tesislerinin korunması ve işletilmesinde karşılaşılan zorluklara yönelik çözümler sunmayı amaçlamaktadır. Araştırma, bu alanda daha derinlemesine çalışmalar için güçlü bir temel oluşturmayı hedeflemekte ve koruma sistemlerinin daha geniş bir kabul ve uygulamaları için önerilerde bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Raylı Sistemler, Orta Gerilim, Koruma Sistemleri, Hat Koruması, Diferansiyel Röle

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Yüksek Lisans Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 0009-0005-4201-3576
[2] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 0000-0002-3993-405X
[3] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 0000-0002-0218-3985

ISBN: 978-625-372-170-1

1.Giriş

1.1 Literatür Özeti

Raylı sistem elektrik tesislerindeki sorunların önlenmesi ve güvenliğin artırılması amacıyla yapılan bu çalışma, orta gerilim elektrik sistemleri ve diferansiyel koruma sistemlerinin incelenmesini ve literatür taraması ile uzman görüşlerinin değerlendirilmesini içermektedir. Raylı sistem elektrik tesislerindeki diferansiyel röle uygulamaları, elektrik tesislerinin güvenliğini sağlamak adına büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, sorunların tespit edilmesi ve çözümlerin sunulması yoluyla raylı sistem elektrik tesislerinin verimliliğini ve güvenliğini artırmaktır. Bu doğrultuda, orta gerilim elektrik sistemleri incelenecek ve mevcut uygulamalar değerlendirilecektir. Ayrıca, farklı diferansiyel koruma sistemleri ve çalışma prensipleri hakkında bilgi sağlanacak ve bu sistemlerin raylı sistem elektrik tesislerinde nasıl uygulandığı açıklanacaktır. Bu çalışma ayrıca literatür taraması ve uzman görüşlerini içerecektir. Bu kaynaklardan elde edilen bilgiler, diferansiyel röle uygulamalarının avantajları ve dezavantajları hakkında derinlemesine bir anlayış sağlayacak ve karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik öneriler sunacaktır. Sonuç olarak, raylı sistem elektrik tesislerindeki diferansiyel röle uygulamaları, elektrik tesislerinin güvenliğini artırmada etkili bir yöntemdir ve bu çalışma, bu alanda daha fazla araştırma ve geliştirme yapma olanağı sunmaktadır.

1. "A Coordinated Multi-Element Current Differential Protection Scheme for Active Distribution Systems" isimli makalede, DG (Dağıtılmış Üretim) entegrasyonlu dağıtım sistemlerine uygun çok elemanlı hat diferansiyel koruma yaklaşımı üzerinde durulmuştur. Mevcut diferansiyel koruma şemalarından farklı olarak, bu yaklaşım, her dağıtım koruma bölgesine (DPZ) birden fazla diferansiyel eleman uygulayarak etkin bir zaman dereceli şema oluşturmayı hedeflemiştir. Bu yöntem, kritik hata direnci değerine sahip hatalara karşı hassas bir diferansiyel eleman ve en şiddetli hatalara karşı ani bir diferansiyel eleman kullanımını içermektedir. Ayrıca, DG beslemesinden kaynaklanan harici hatalar sırasında gereksiz açılmaları önlemek için bloklama temelli mantık uygulanmış ve yedek koruma için bir bozulan koruma (BF) şeması tasarlanmıştır. Gerçek bir dağıtım sistemi üzerinde yapılan zaman alanı hata simülasyonları, tasarlanan koruma şemasının performansını artırdığını ve geleneksel yaklaşıma göre üstünlüğünü ortaya koymuştur.
2. "A Wavelet-Based Transformer Differential Protection With Differential Current Transformer Saturation and Cross-Country Fault Detection" isimli makalede, sınır ayrık dalgacık dönüşümüne dayalı güç transformatörü diferansiyel koruma şeması araştırılmıştır. Önerilen yöntem, iç hataları %100 başarı oranı ve 214 µs ortalama röle çalışma süresi ile tespit ederken, geleneksel yöntem %92.60 başarı oranı ve 19 ms süre sağlamıştır. Ayrıca, önerilen yöntem, CT saturasyonuna karşı daha yüksek güvenilirlik sunmaktadır.
3. "Adaptive Differential Protection Scheme for Wind Farm Integrated Power Network" isimli makalede, rüzgar çiftliği entegreli güç ağına uygulanan diferansiyel koruma algoritması için yenilikçi bir eşik seçme süreci araştırılmıştır. Bu yöntem, sürü zekası tekniğini kullanmaktadır. Geleneksel diferansiyel şemalar, rüzgar çiftliklerinin entegrasyonu nedeniyle dinamik çalışma koşullarında eşik ayarlama sorunları yaşamaktadır. Bu sorunu hafifletmek için PSO (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu) yardımı sağlanarak, genel güvenilirlik artırılmıştır. Rüzgar çiftliğinin dinamik çalışma koşulları altında, yöntem doğru ve güvenilir sonuçlar vermektedir. PSO ile belirlenen en doğru minimum eşik, geleneksel

deneme-yanılma yöntemleriyle elde edilemeyecek kadar yüksek güvenilirlik sağlamaktadır. Önerilen yaklaşımın hesaplama yükü mevcut röle şemalarına göre ihmal edilebilir düzeydedir ve eşik ayarlama süreci çevrim dışı hesaplamalara dayandığından, rüzgar çiftliğinin dinamik koşullarında bile hız ve güvenilirlikten ödün verilmemektedir.

4. "An Energy Differential Relay for Long Transmission Lines" isimli makalede, uzun iletim hatları için enerji diferansiyel rölesi araştırılmıştır. Önerilen koruma yönteminde, korunan hatta kısa bir zaman diliminde beslenen net enerjiyi hesaplamak için iki farklı yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemler, iletim hattındaki enerji akışını ve dağıtılmış elemanların enerji tüketimini iç hata olmadığı varsayımıyla hesaplamaktadır. İç hata olmadığında, bu iki yöntemin enerjileri eşit çıkmaktadır. Önerilen teknik, yüksek güvenilirlik, hızlı tepki süresi ve yüksek dirençli toprak hatası koşullarında mükemmel performans göstermektedir. Yöntemin performansı, Elektromanyetik Geçici Rejim Programı (EMTP) simülasyon testleri, dinamik simülasyon testleri ve rekabetçi bir yöntemle yapılan karşılaştırmalarla doğrulanmıştır.
5. "Investigating the Dynamic Performance of New Protective Equipment" isimli makalede, yeni koruma ekipmanlarının dinamik performansının araştırılması üzerinde durulmuştur. Gerçek saha operasyonları altında önerilen röle fonksiyonunun gerçek davranışını temsil etmek için MATLAB paketi ile tam dinamik bir güç sistemi modeli geliştirilmiştir. Sonuçlar, hattın ortasında bile tüm iç hata türleri için üstün röle duyarlılığını doğrulamıştır. Tüm harici hata koşullarına ve hem kararlı hem de kararsız güç salınımlarına karşı mükemmel bir stabilite göstermiştir. Ayrıca, uygulama aşamasında güvenilir ve basit bir gelişim sağlamak için yeni bir ayar profili önerilmiştir. Bu nedenle, güç diferansiyel rölesinin iletim hatlarına uygun koruma sağladığı açıktır.
6. "A New Differential Relaying Scheme for Busbar Protection" isimli makalede, baraseti koruma için yeni bir diferansiyel röle şeması önerilmiştir. PSCAD/EMTDC yazılım paketi kullanılarak mevcut bir 230 kV Hindistan güç iletim sistemi ağını modelleyerek üretilen verilerle kapsamlı testler yapılmıştır. Önerilen şema, tüm bölge içi hataları tespit edebilmekte ve bölge dışı hatalar sırasında stabil kalabilmektedir. Çoğu iç hata için ortalama açma süresi 20 ms içindedir. Sıfır geçiş tekniği, farklı sistem parametreleriyle tüm dış hata türlerinde ciddi Akım Transformatörü saturasyonunu tespit edebilmektedir. Ayrıca, şema yüksek dirençli bölge içi hatalarda yüksek duyarlılığa sahiptir.
7. "Adaptive Differential Protection for Power Transformer Protection" isimli makalede, güç transformatörleri için adaptif diferansiyel koruma önerilmiştir. PSCAD yazılımı ile 400/230 kV, Y-Y transformatör modeli kullanılarak sistem modellenmiş ve transformatör içindeki çeşitli hatalar için doğrulanmıştır. Yüksek empedanslı bölge içi hatalar simüle edilip yüzde-eğilimli diferansiyel röle tekniği üzerinde test edilmiştir. Ayrıca, değişen sistem parametreleriyle transformatör dışındaki birkaç hata oluşturulmuş ve algoritma üzerinde uygulanmıştır. Önerilen teknik, enerji sistemi ağlarının EHV trafo merkezlerinde sıkça kullanılan çeşitli transformatör düzenleri için de test edilmiştir. Çoğu iç hatanın ortalama tepki süreleri kabul edilebilir sınırlar içindedir. Ayrıca, önerilen çift eğimli diferansiyel röle yöntemi, yüksek dirençli iç hatalar durumunda çalışmaya devam edecek ve Akım Transformatörü saturasyonu durumunda hassas olmayacaktır. Önerilen şemanın doğruluğunu kontrol etmek için, farklı seviyelerde Akım Transformatörü satürasyonu ile bölge dışı hatalar oluşturulmuş ve algoritmanın mantığına göre karakteristikler değiştirilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, raylı sistem elektrik tesislerinde diferansiyel röle uygulamalarının güvenlik ve sistem performansını artırma potansiyelini incelemektir. Araştırmanın odak noktası, diferansiyel koruma sistemleri aracılığıyla orta gerilimde karşılaşılan arızaların tespiti ve hat korumasının nasıl yapılabileceğinin belirlenmesidir. Bu

çerçevede, farklı sistemlerdeki uygulamalar karşılaştırılarak en etkili yöntemlerin ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Çalışma, hat diferansiyel koruma rölelerinin seçicilik, hızlı müdahale, güvenilirlik, ekonomik verimlilik ve arıza lokalizasyonu açısındaki faydalarını ortaya koymayı hedeflemektedir. Uluslararası güvenilirliğe sahip bir firmanın diferansiyel rölelerine ait saha test sonuçları paylaşılacak ve bu sonuçlar teorik bulgularla karşılaştırılacaktır.

Ayrıca, ETAP simülasyon programı kullanılarak yapılan elektrifikasyon çalışmaları ve röle ayarlamaları gösterilecektir. Bu simülasyonlar, diferansiyel rölelerin etkinliğini ve pratik uygulamalardaki performansını doğrulamak amacıyla kullanılacaktır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, kent içi raylı sistemlerde kullanılan orta gerilim elektrik tesislerindeki diferansiyel koruma rölelerinin etkinliği ve avantajları üzerine çeşitli hipotezler öne sürülmektedir. Öncelikle, diferansiyel koruma rölelerinin diğer koruma rölelerine göre daha hızlı arıza tespiti ve müdahale sağladığı hipotez edilmektedir. Bu hipoteze göre, diferansiyel röleler, arızaları daha kısa sürede tespit ederek sistem güvenliğini artırmaktadır.

İkinci olarak, diferansiyel rölelerin arıza lokalizasyonu doğruluğu açısından diğer rölelere kıyasla daha üstün olduğu öne sürülmektedir. Bu, diferansiyel rölelerin arızalı bölgeyi daha yüksek doğrulukla belirleyerek sistemin geri kalan kısmının güvenli bir şekilde çalışmasını sağladığı anlamına gelmektedir.

Üçüncü olarak, diferansiyel rölelerin ekonomik verimlilik ve güvenilirlik açısından diğer rölelerden daha avantajlı olduğu hipotez edilmektedir. Diferansiyel rölelerin bakım ve işletim maliyetlerinin daha düşük olduğu ve güvenilirliklerinin daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda, diferansiyel rölelerin seçicilik, hızlı müdahale kapasitesi, ekonomik verimlilik ve arıza lokalizasyonu gibi kriterlerde üstün performans sergilediği varsayılmaktadır.

Ayrıca, ETAP simülasyon programı kullanılarak yapılan elektrifikasyon çalışmaları ve röle ayarlamalarının, diferansiyel rölelerin etkinliğini pratik uygulamalarda doğruladığı hipotez edilmektedir. Simülasyon sonuçlarının saha testleri ile yüksek uyum gösterdiği ve bu simülasyonların güvenilir bir referans noktası olduğu düşünülmektedir.[1]

Bunun yanı sıra, uluslararası güvenilirliğe sahip bir firmanın diferansiyel rölelerinin saha test sonuçları ile, bu rölelerin seçicilik, hızlı müdahale kapasitesi, ekonomik verimlilik ve arıza lokalizasyonu açısından yüksek performans sergilediği hipotez edilmektedir. Bu sonuçların, teorik bulgularla uyumlu olduğu ve diferansiyel koruma sistemlerinin etkinliğini doğruladığı varsayılmaktadır.

Son olarak, akım trafosu doygunluğunun diferansiyel rölelerin performansı üzerindeki etkisi[2] ve IEC61850 iletişim protokolünün[3] diferansiyel koruma sistemlerinin güvenilirliğini artırdığı hipotez edilmektedir. Akım trafolarının doygunluk durumlarının diferansiyel rölelerin doğru çalışmasını etkileyebileceği ve IEC61850 protokolünün, sistem güvenliğini ve veri iletim hızını artırarak diferansiyel rölelerin performansını olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir.

Raylı Sistemler ve Ulaşıma Genel Bakış

Raylı sistemler, modern şehirlerde ulaşımı kolaylaştırmak için kullanılan önemli bir sistemdir. Bu sistemler, sadece şehir içi değil aynı zamanda şehirlerarası ulaşım için tercih edilmekte olup, yüksek kapasiteli çözümler sunmaktadır. Raylı sistemlerin çevre dostu, hızlı ve güvenilir olması, onu popüler bir ulaşım seçeneği yapmaktadır. Gelişmiş bir tarihe sahip olan raylı sistemler sürekli olarak yenilenmekte ve modernize edilmektedir. Günümüzde, çeşitli türdeki raylı sistemler arasında metro, hafif raylı sistem, tramvay, monoray, Yüksek Hızlı Trenler (YHT), banliyö trenleri, maglev trenler ve tam otomatik sürücüsüz sistemler gibi birçok seçenek bulunmaktadır. Bu sistemler, kalabalık nüfuslu bölgelerde en çok tercih edilen

ulaşım alternatifleridir ve şehirlerin ulaşım sorunlarına etkili çözümler sunmaktadır. Raylı sistemlerin kullanımı, şehirlerin ulaşım ihtiyaçlarına cevap verebilmek için her geçen gün artmaktadır. Bu sistemlerin avantajları ve sunduğu kolaylık nedeniyle, birçok şehir raylı sistemleri ulaşım ağlarına dahil etme hedefiyle hareket etmektedir. Bu şekilde, şehirler hem daha sürdürülebilir bir ulaşım seçeneği sunmakta hem de trafik sorunlarını azaltmaktadır. Genel olarak, raylı sistemler toplu taşıma alanında önemli bir yer tutmakta ve şehir yaşamını daha kaliteli hale getirmektedir.

2.1 Raylı Sistemlerin Tarihçesi

Raylı sistemlerin tarihi, 19. yüzyıla kadar uzanmaktadır. İlk kez atlarla çekilen tramvayların ortaya çıkmasıyla başlayan raylı sistemler, zamanla teknolojinin ilerlemesiyle büyük bir dönüşüm ve evrim geçirmiştir. Demiryolu ve tramvaylar, hem şehir içinde hem de şehirlerarası ulaşımda önemli bir rol oynamış ve insanların hareketlilik ihtiyacını karşılamada büyük bir etkiye sahip olmuştur.

Şekil 1 - At çekiş gücü ile gerçekleştirilen raylı ulaşım



Raylı sistemlerin tarihçesi, endüstri devrimi ile daha da hız kazanmış ve büyük bir gelişme sürecine girmiştir. Bu süreçte, demiryolları ve tramvay hatları hızla yayılarak, dünya genelinde birçok şehirde kullanılmaya başlanmıştır. Raylı sistemler sayesinde, başka türlü ulaşımın mümkün olmadığı bölgelere bile kolayca erişim sağlanmış ve toplumların birbirleriyle bağlantısı artmıştır.

Günümüzde raylı sistemler, modern ve gelişmiş yapılarıyla birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Yüksek hızlı trenler, metrolar, tramvaylar ve hafif raylı sistemlerle hem kişilerin hem de yüklerin hızlı ve güvenli bir şekilde taşınması sağlanmaktadır. Ayrıca, raylı sistemler çevre dostu ulaşım seçenekleri olarak da ön plana çıkmaktadır. Az miktarda enerji kullanımı ve düşük karbon salınımıyla, sürdürülebilir ulaşımın öncüsü olarak kabul edilmektedir.

Raylı sistemlerin tarihçesi, teknolojinin sürekli gelişimiyle birlikte daha da ileriye taşınmaktadır. Yeni teknolojiler ve yenilikçi çözümlerle, raylı sistemlerin güvenlik, hız, konfor ve verimlilik açısından daha da geliştirilmesi hedeflenmektedir. Gelecekte, daha hızlı tren hatları, akıllı tren sistemleri ve enerji verimliliği sağlayan çözümlerle raylı sistemlerin kullanımı daha da yaygınlaşacak ve toplumların ulaşım ihtiyaçlarına daha iyi yanıt verecektir.

Sonuç olarak, raylı sistemlerin tarihçesi önemli bir evrim geçirmiş ve günümüzde modern ve sürdürülebilir ulaşımın bir parçası haline gelmiştir. Bu sistemler, geçmişten günümüze kadar sürekli olarak gelişmekte ve toplumların hareketlilik ihtiyaçlarını karşılarken, aynı zamanda çevre dostu ve verimli bir ulaşım seçeneği sunmaktadır. Gelecekte de raylı sistemlerin daha da ilerlemesi ve yenilikçi çözümlerle donatılması beklenmekte ve toplumların hızlı, güvenli ve sürdürülebilir ulaşım ihtiyaçlarına yanıt vereceği düşünülmektedir.

2.2 Raylı Sistem Türleri

Raylı sistemlerin farklı yapı ve türleri bulunmaktadır. Metro sistemleri, şehir içinde hızlı ve yoğun ulaşımı sağlarken hafif raylı sistemler daha kısa mesafeli ve düşük kapasiteli taşımacılık için kullanılır. Tramvay sistemleri genellikle şehir içinde tercih edilirken, monoray sistemleri ise tek ray üzerinde ilerleyerek genellikle turistik bölgelerde kullanılır. Yüksek Hızlı Trenler (YHT) uzun mesafelerde hızlı ulaşım imkanı sunarken, banliyö trenleri genellikle şehirler arası taşımacılığı kapsar. Maglev trenler ise manyetik alanlarla hareket eder ve yüksek hızlı trenlerden farklı bir teknoloji sunar. Otomatik sürücüsüz sistemler ise geleceğin ulaşımının hedefine doğru ilerlemektedir.

2.2.1 Metro Sistemleri

Metro sistemleri, yoğun şehir trafiğini rahatlatmak ve hızlı ulaşım imkanı sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Yeraltında veya yüksek platformlarda hizmet veren metro sistemleri, genellikle büyük şehirlerde tercih edilmektedir. Yolcu kapasitesi ve hızı yüksek olan bu sistemler, elektrikli motorlar yardımıyla hareket ederler. Metro hatlarında güvenlik ve sistem performansı oldukça önemlidir, bu yüzden diferansiyel röle uygulamaları bu sistemlerde çokça kullanılmaktadır. Diferansiyel röleler, hat koruması sağlayarak karşılaşılabilecek arızaları minimum seviyeye indirir ve güvenli bir seyahat imkanı sunar.

Şekil 2 - M4 Metrosu



2.2.2 Hafif Raylı Sistemler

Hafif raylı sistemler, genellikle kent içi ulaşımı desteklemek amacıyla kullanılan toplu taşıma sistemleridir. Bu sistemler, metro sistemlerinden daha düşük kapasiteye sahip olup, genellikle şehir içi ulaşımında tercih edilmektedir. Hafif raylı sistemler, tramvay sistemlerinden daha hızlı ve modern bir taşıma hizmeti sunarlar. Genellikle yolcu yoğunluğunun daha az olduğu bölgelerde kullanılan hafif raylı sistemler, çevre dostu ve ekonomik bir ulaşım seçeneği olarak değerlendirilmektedir. Sürekli gelişen teknolojiyle birlikte hafif raylı sistemlerin altyapısı da sürekli iyileştirilmektedir, bu da güvenlik ve sistem performansının artırılmasına katkı sağlamaktadır.

2.2.3 Tramvay Sistemleri

Tramvay sistemleri, şehir içi ulaşımda önemli bir role sahip olup, raylı sistemlerin bir türü olarak kabul edilir. Yolculukların genellikle kısa ve şehir içi güzergahlarda yapıldığı tramvaylar, yaygın olarak kullanılmaktadır. Tramvay sistemlerinde yolcu taşımacılığı hedeflenirken, aynı zamanda trafiği rahatlatma ve çevreye duyarlı bir ulaşım seçeneği sunma amacı da güdülmektedir. Tramvay hatları genellikle elektrikli olduğundan, elektrik tesislerinde güvenlik ve performans ön planda tutulmalıdır. Bu bağlamda, diferansiyel röle uygulamaları,

tramvay sistemlerinde güvenliği artırmak ve sistem performansını optimize etmek için büyük önem taşımaktadır.

Şekil 3 - T1 Tramvayı



2.2.4 Monoray Sistemleri

Monoray sistemleri, tek bir ray üzerinde hareket eden trenleri kullanan bir raylı sistem türüdür. Diğer raylı sistemlerden farklı olarak, monoray trenleri tek bir ray üzerinden ilerler ve bu sayede daha az alan kaplar. Bu sistem genellikle şehir içi ulaşımda tercih edilir çünkü yüksek yolcu kapasitesine sahiptir. Monoray trenleri, diğer trenlere göre daha yüksek hızlara ulaşabilir ve yüksek manevra kabiliyetine sahiptir. Elektrik tesisleri açısından, monoray sistemlerinde differansiyel röle uygulamaları önemli bir konudur çünkü güvenlik ve sistem performansını artırmaya yardımcı olabilir.

Şekil 4 - São Paulo Monorayı



2.2.5 Yüksek Hızlı Trenler (YHT)

Yüksek Hızlı Trenler (YHT), raylı sistemler içinde önemli bir yere sahiptir. Hem yolcu hem de yük taşımacılığında tercih edilen YHT'ler, uzun mesafelerde hızlı ve konforlu bir ulaşım imkanı sunar. Elektrik tesislerinde YHT'ler için özel güvenlik ve performans standartları bulunmaktadır. Yüksek voltaj ve yüksek hızlı trenlerin enerji ihtiyaçları dikkate alınarak elektrik tesislerinin dizaynı yapılmalıdır. Diferansiyel röleler, YHT'lerin elektrik tesislerinde güvenlik ve performansın artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. YHT'lerin elektrik sistemlerindeki koruma ihtiyaçları özel olarak ele alınmalı ve diferansiyel rölelerin doğru uygulanması sağlanmalıdır.

Şekil 5 – TCDD Yüksek Hızlı Tren



2.2.6 Banliyö Trenleri

Banliyö trenleri, şehir merkezlerini çevreleyen ve genellikle yoğun nüfuslu yerleşim bölgelerini birbirine bağlayan demiryolu sistemlerini ifade eder. Kısa mesafeli seyahatler için ideal olan banliyö trenleri, genellikle yüksek yolcu kapasitesine sahip ve sık seferlerle hizmet verirler. Bu trenler, şehir içi ulaşımının önemli bir parçası olarak günlük yaşamda yaygın olarak kullanılmaktadır. Banliyö trenleri, genellikle elektrikli sistemlerle çalışır ve elektrik tesislerinde diferansiyel rölelerin uygulanması güvenlik ve sistemin performansının artırılmasında önemli bir rol oynar. Diferansiyel koruma sistemleri, banliyö trenlerinin elektrik tesislerinde kullanılarak, olası arızaların hızlı bir şekilde algılanması ve müdahale edilmesi sağlanır, böylece güvenli ve kesintisiz bir seyahat deneyimi sunulur.

Şekil 6 - İZBAN



2.2.7 Maglev Trenler

Maglev trenleri, manyetik levitasyon kullanarak hareket eden ve raylarda temas olmadan ilerleyen yüksek hızlı tren sistemleridir. Bu sistemlerde tren aracı raylar yerine manyetik alanlar aracılığıyla yükseltilir ve taşınır, bu da sürtünme direncini minimuma indirerek daha yüksek hızlara ulaşmayı sağlar. Maglev trenleri genellikle yüksek hızlı ulaşım sistemleri olarak tercih edilirler ve üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Ülkeler arasında rekabetin arttığı bugünlerde, maglev trenlerin kullanımı ve geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Bu yüksek teknoloji trenleri, gelecekte raylı sistemlerin taşımacılık sektöründeki yerini daha da güçlendirebilir.

Şekil 7 - Şanghay Maglev Treni



2.2.8 Tam Otomatik Sürücüsüz Sistemler

Tam otomatik sürücüsüz sistemler, raylı sistemlerde giderek daha fazla tercih edilen bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler, insan müdahalesine gerek kalmadan trenlerin otomatik olarak seyahat etmesine olanak tanır ve güvenlik ve verimlilik açısından önemli avantajlar sunar. Yapay zeka ve sensör teknolojileri sayesinde trenler arasındaki mesafe ve hızın en iyi şekilde yönetilmesi sağlanır. Bu da kazaların önlenmesine yardımcı olurken, sistem performansının artırılmasına katkı sağlar. Tam otomatik sürücüsüz sistemler, raylı sistemlerde geleceğin standartları arasında yer almaktadır.

Şekil 8 - M5 Metrosu



3. Raylı Sistemlerde Orta Gerilim Elektrik Sistemleri

Raylı sistemlerde orta gerilim elektrik sistemleri, enerjinin güvenli ve sürekli iletimini sağlayan önemli bir bileşendir. Bu sistemler, transformatörler, orta gerilim hücreleri, devre kesiciler, ayırıcılar, ölçü trafoları, diferansiyel röleler ve kablo sistemlerini içerir. Güçlü bir altyapıya sahip olan orta gerilim elektrik sistemleri, raylı sistemlerin performansını artırmak ve güvenliğini sağlamak için gerekli elemanları barındırır. [4]

3.1 Orta Gerilim Elektrik Sistemlerinin Genel Yapısı

Orta gerilim elektrik sistemleri genellikle transformatörler kullanılarak başlar ve enerjinin dağıtımını sağlamak üzere hücrelere, devre kesicilere ve ayırıcılara bağlanır. Bu sistemler, yüksek voltajdaki elektriği uygun düzeylere düşürmek ve raylı sistemlerin ihtiyacına göre dağıtımını yapmak amacıyla özenle tasarlanmıştır. Elemanların uyumlu çalışmasıyla sistemin dengeli ve güvenilir bir şekilde işlemesi sağlanır. Bu sayede, elektrik kesintileri ve arızalar minimum seviyeye indirilir, kullanıcıların güvenliği ve konforu sağlanır. Sistemin

genişleyen taleplerini karşılamak için sürekli olarak güncellenen bir yapıya sahiptir. Ayrıca, güvenlik standartlarına uygun olarak tasarlandığı için yangın riski de en aza indirilmektedir. Orta gerilim elektrik sistemleri, enerji dağıtımı alanında önemli bir rol oynar ve günlük hayatın vazgeçilmez bir parçasıdır. Elektrik ihtiyacını karşılamak ve uygun bir şekilde dağıtmak için gerekli olan bu sistemler, uzmanlar tarafından tasarlanır ve sürekli olarak geliştirilir.

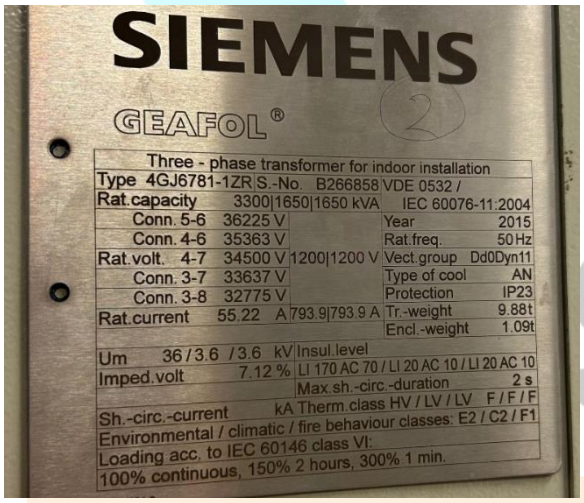
3.2 Raylı Sistemlerde Kullanılan Orta Gerilim Elektrik Sistemlerinin Elemanları

Raylı sistemlerde kullanılan orta gerilim elektrik sistemlerinin elemanları arasında transformatörler, orta gerilim hücreleri, devre kesiciler, ayırıcılar, ölçü trafoları, diferansiyel röleler ve kablo sistemleri yer almaktadır. Bu elemanlar, enerjinin güvenli ve etkili bir şekilde iletilmesini sağlar ve raylı sistemlerin elektrik altyapısını oluşturur. Her bir elemanın belirli bir görevi ve önemi bulunmaktadır.

3.2.1 Transformatörler

Transformatörler, orta gerilim elektrik sistemlerinde enerjinin voltajını değiştiren ve uygun seviyelere düşüren elemanlardır. Raylı sistemlerde kullanılan transformatörler, enerjinin iletimini sağlayarak sistemin verimli çalışmasını destekler. Bu elemanlar, elektrik akımının dönüşümünü gerçekleştirir ve güvenli bir şekilde enerjinin dağıtımını sağlar.

Şekil 9 - M5 Metrosuna ait çift sekonderli kuru tip trafo etiketi (CER Trafosu)



3.2.2 Orta Gerilim Hücreleri

Orta gerilim hücreleri, raylı sistemlerde orta gerilim elektrik sistemlerinin temel yapı taşlarından biridir. Hücreler, enerjinin güvenli bir şekilde dağıtımını ve kontrolünü sağlar. Bu elemanlar, devreleri koruyarak sistemin performansını artırır ve güvenlik düzeyini yükseltir. Orta gerilim hücreleri, elektrik sistemlerinde verimli bir enerji iletimi için kritik bir rol oynar.

Şekil 10 - M4 Metrosuna ait OG hücreleri



3.2.3 Devre Kesiciler

Raylı sistemlerde kullanılan devre kesiciler, enerjinin akışını kontrol eden ve ani kesintilere karşı koruma sağlayan önemli bileşenlerdir. Bu elemanlar, elektrik hattındaki aşırı akım durumlarında devreyi açarak sistemi korurlar. Devre kesiciler, enerji kayıplarını minimize eder ve sistemin sürekliliğini sağlar.

3.2.4 Ayırıcılar

Ayırıcılar, orta gerilim elektrik sistemlerinde devreler arasında yalıtım sağlayan ve bakım çalışmaları için devreleri ayıran önemli elemanlardır. Raylı sistemlerde kullanılan ayırıcılar, enerji iletimini güvenli bir şekilde kontrol eder ve bakım süreçlerini kolaylaştırır. Bu elemanlar, sistemdeki güvenlik ve performansı artırmada önemli bir rol oynar.

3.2.5 Ölçü Trafoları

Ölçü trafoları, raylı sistemlerde enerjinin ölçümünü yapmak ve verileri analiz etmek için kullanılan elemanlardır. Bu trafolar, enerjinin kullanımını izlemek ve kontrol etmek amacıyla sisteme entegre edilir. Ölçü trafoları, enerji tüketimini denetlemek ve verimliliği artırmak için önemli bir role sahiptir. Bu elemanlar, enerji sistemlerinin performansını ve güvenliğini destekler.

3.2.6 Diferansiyel Röleler

Diferansiyel röleler, orta gerilim elektrik sistemlerinde hatlardaki akım farklılıklarını algılayan ve koruma sağlayan önemli bileşenlerdir. Raylı sistemlerde kullanılan diferansiyel röleler, hat korumasını güçlendirmek ve sistemde olası arızaları önlemek için tasarlanmıştır. Bu röleler, elektrik iletimini güvenli bir şekilde yönetir ve sistemin performansını artırır.

Şekil 11 - M4 Metrosuna Ait Diferansiyel Röle



3.2.7 Kablo Sistemleri

Kablo sistemleri, raylı sistemlerde güç iletimini sağlayan ve enerjinin iletimini kolaylaştıran önemli altyapı elemanlarıdır. Bu sistemler, orta gerilim elektrik sistemlerinin güvenli ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlar. Kablo sistemleri, enerjinin iletiminde minimum enerji kaybıyla maksimum verimliliği hedefler ve raylı sistemlerin elektrik altyapısını destekler.

4. Raylı Sistem Elektrik Tesislerinde Orta Gerilimde Karşılaşılan Arızalar

4.1 Aşırı Akım Arızaları

Aşırı akım sorunları, raylı sistem elektrik tesislerinde sıkça karşılaşılan orta gerilim arızaları arasında yer alır. Bu tür sorunlar genellikle yüksek akım akışı nedeniyle ortaya çıkar ve hızlı müdahale gerektirir. Aşırı akım durumunda devre kesiciler veya diferansiyel koruma sistemleri devreye girerek sorunu çözmeye çalışır. Aşırı akım sorunlarının önlenmesi için düzenli bakım ve gerilim seviyelerinin kontrolü önemlidir.

4.2 Kısa Devre Arızaları

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde karşılaşılan kısa devre arızaları, genellikle hızlı müdahale gerektiren acil durumlar arasında yer alır. Kısa devre durumunda, devre kesiciler devreye girerek akımı kesmeye çalışır ve sistemin zarar görmesini engellemeye çalışır. Kısa devre arızalarının önlenmesi için düzenli bakım ve izolasyon kontrolü son derece önemlidir. Ayrıca, sistemde kullanılan ekipmanların kalitesi ve dayanıklılığı da kısa devre arızalarının minimize edilmesinde etkili olabilir.

4.3 Toprak Hatası

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde toprak hatası, izolasyon problemleri nedeniyle ortaya çıkabilen ciddi bir arızadır. Toprak hatası durumunda, yüksek akım akışı meydana gelir ve sistemde ciddi hasarlara yol açabilir. Toprak hatası arızalarının önlenmesi için düzenli izolasyon testleri yapılmalı ve ekipmanların kalitesine dikkat edilmelidir. Ayrıca,

personel eğitimleri ve güvenlik prosedürlerinin düzenli olarak gözden geçirilmesi de topak hatalarının minimize edilmesinde önemli bir rol oynar.

4.4 Gerilim Dalgalanmaları

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde karşılaşılan gerilim dalgalanmaları, sistemin doğru şekilde çalışmasını engelleyebilecek önemli arızalardan biridir. Gerilim dalgalanmaları genellikle enerji akışındaki değişimlerden kaynaklanır ve sistemde aksamalara neden olabilir. Bu tür arızaların önlenmesi için gerilim stabilizasyon ekipmanları kullanılabilir ve gerilim seviyelerinin sürekli izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, güç kaynaklarının düzenli bakımı ve kalibrasyonunun yapılması da gerilim dalgalanmalarının minimize edilmesinde önemli bir rol oynar.

4.5 Faz Kayması

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde faz kayması arızası, farklı fazların eşit olmayan akım taşımasına neden olan ciddi bir sorundur. Faz kayması durumunda, denge bozulur ve enerji aktarımı etkilenir, bu da sistemin doğru şekilde çalışmasını engeller. Faz kayması arızalarının önlenmesi için sistemdeki ekipmanların düzenli olarak kontrol edilmesi ve farklı fazların akım düzeylerinin sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, personelin eğitimi ve sistemdeki güvenlik prosedürlerine uyulması faz kayması arızalarının minimize edilmesinde önemli bir rol oynar.

4.6 Akım Trafosu Doygunluğu

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde karşılaşılan akım trafosu doygunluğu, akım trafolarının doğru şekilde çalışmasını engelleyen bir arızadır. Trafolar doygun hale geldiğinde, akım akışı yetersiz hale gelir ve sistem verimliliği olumsuz etkilenir. Akım trafosu doygunluğunun önlenmesi için trafoların düzenli bakımı ve kontrolü yapılmalıdır. Ayrıca, trafoların uygun şekilde boyutlandırılması ve yüksek kaliteli malzemelerden üretilmesi de doygunluk sorunlarının minimize edilmesinde etkili olabilir.

4.7 İzolatör Arızaları

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde izolatör arızaları, sistemde ciddi güvenlik riskleri oluşturan önemli arızalardan biridir. İzolatör arızaları genellikle izolasyonun yetersiz olmasından kaynaklanır ve yüksek gerilimle temas riski taşır. İzolatör arızalarının önlenmesi için izolasyon testlerinin düzenli olarak yapılması ve izolatörlerin kalitesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, personelin eğitilmesi ve güvenlik prosedürlerine sıkı bir şekilde uyulması izolatör arızalarının minimize edilmesinde önemli bir role sahiptir.

5. Orta Gerilimde Kullanılan Koruma Sistemleri

Orta gerilimli elektrik tesislerinde raylı sistemler için koruma sistemleri büyük önem taşır. Bu sistemlerin içinde, en sık rastlananı diferansiyel koruma sistemidir. Elektrik tesislerinde aşırı yüklenmeyi savuşturmak için aşırı akım koruması kullanılırken, yalıtım hatalarına karşı sistemi güvenceye alan toprak hatası koruması da mevcuttur. Gerilim röleleri, gerilim seviyelerini denetler ve kontrol altında tutar. Öte yandan, frekans röleleri sistemde potansiyel frekans değişikliklerini algılar. Hat uzunlukları mesafe koruması ile yönetilirken, akım trafosu ve gerilim trafosu korumaları, trafoların emniyetli çalışmasını garanti eder. IEC 61850 iletişim protokolü ise, farklı cihazlar arasındaki iletişimi mümkün kılar ve böylece sistem performansını yükseltir.

5.1 Diferansiyel Koruma Sistemi:

Orta gerilim koruma sistemlerine dahil olan diferansiyel koruma sistemi, elektrik tesisindeki cihazları aşırı akım ve kısa devre durumlarından korumaktadır. Bu sistem, çeşitli akım değerlerini karşılaştırır ve cihazın normal çalışma durumu ile arıza durumu arasındaki farkı belirler. Böylece, arızaların algılanması ve giderilmesi sağlanır. Hassas koruma sağlayan diferansiyel koruma sistemi, tesisin güvenliğini ve performansını geliştirir. Bu sistem sayesinde, elektrik tesislerinde olası büyük arızalar önlenebilir ve sistemdeki cihazların ömrü uzatılabilir.

5.2 Aşırı Akım Koruması

Orta gerilim koruma sistemlerinde rol alan aşırı akım koruması, tesislerin aşırı akım tehlikelerine karşı korumasını sağlar. Eğer bir cihazın nominal akım değerini geçen bir akım tespit edilirse, bu koruma sistemi devreye girer ve cihazları bu aşırı akım zararlarından muhafaza eder. Bunun sonucunda aşırı akım koruması, tesislerde sıkça karşılaşılan büyük hasarları ve arızaları engellerken sistemin güvenliğini de korur. Böylece tesislerdeki aletlerin uzun süreli kullanımını sağlar ve sistem performansını geliştirir.

5.3 Toprak Hatası Koruması

Orta gerilim koruma sistemleri arasında bulunan toprak hatası koruması, elektrik tesislerinin yaşadığı yalıtım hatalarına karşı korumayı sağlar. Bu koruma çözümü, bir cihazın yalıtımında bir hata tespit ettiğinde, sistemi devre dışı bırakır ve bu hataların önüne geçer. Bunun yanında, toprak hatası koruması, tesislerin güvenliğini geliştirirken, cihazların ve çalışanların emniyetini de garanti altına alır. Sonuç olarak, sistemdeki arızaları ve kazaları önleyerek, sistem performansını artırmış olur.

5.4 Gerilim Röleleri

Gerilim röleleri, orta gerilim koruma sistemlerinde önemli bir rol oynar ve tesislerde gerilim seviyelerini denetleyerek kontrol altında tutarlar. Bu röleler, gerilim değerlerindeki anormal değişiklikleri saptayıp cihazları korur. Gerilim röleleri, potansiyel gerilim dalgalanmaları ve problemleri engeller ve tesisin güvenliğini sağlar. Sonuç olarak, cihazların uzun süreli kullanımını mümkün kılar ve performansını artırır.

5.5 Frekans Röleleri

Frekans röleleri, orta gerilim koruma sistemleri arasında bir yer bulmuştur. Sistemdeki frekans değişikliklerini denetleyerek kontrol altında tutarlar. Bu röleler anormal frekans dalgalanmalarını algılar ve cihazları korur. Frekans röleleri, elektrik tesislerinde mölüm frekans arızalarını önlerken, sistemin güvenliğini artırırlar. Böylece, enerji verimliliğiyle birlikte, sistemdeki cihazların performansı yüksek seviyede tutulur.

5.6 Mesafe Koruması

Raylı sistemlerin orta gerilim koruma sistemlerinde mesafe koruması önemli bir konuma sahiptir. Bu koruma çözümü, iletme hatları üzerinde kontrol sağlar ve hat üzerindeki arızaların tespitine yardımcı olur. Mesafe koruması, hat uzunluklarında meydana gelebilecek arızaları hızlıca algılar ve sistem güvenliğini artırır. Netice olarak, raylı sistemlerin elektrik tesislerinde performansı yüksek seviyede tutulur ve böylece güvenlik sağlanır.

5.7 Akım Trafosu ve Gerilim Trafosu Koruması

Orta gerilimli koruma sistemleri arasında bulunan akım trafosu ve gerilim trafosu korumaları, trafoların güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu koruma sistemleri, trafoların aşırı yüklenme ve hasara karşı korunmasını sağlar ve böylelikle trafoların ömrünü uzatır. Çalışma esnasında trafoların ısı değişimlerinden zarar görmesini engeller. Bu sayede, trafoların performansı artırılır ve tesisin güvenliği sağlanmış olur.

5.8 IEC 61850 İletişim Protokolü

Orta gerilim koruma sistemleri arasında, iletişimi sağlayan önemli bir protokol olan IEC 61850, farklı cihazlar arasında veri alışverişini mümkün kılar ve böylece sistem performansını yükseltir. Bu iletişim protokolü, elektrik tesislerinde kullanılan koruma sistemlerinin verimli çalışmasını sağlar. IEC 61850 sayesinde, cihazlar arasındaki veri alışverişi hızlanır ve koruma sistemlerinin verimliliği artar, bu da tesislerin güvenliğini artırır.

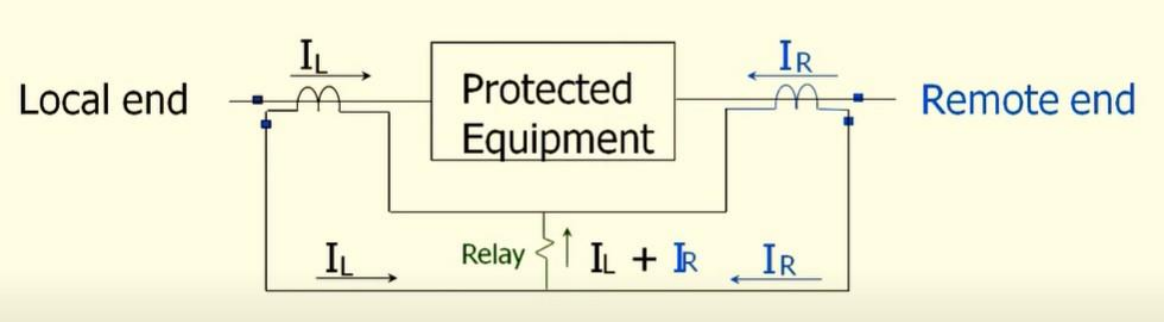
6. Raylı Sistem Elektrik Tesislerinde Diferansiyel Koruma Sistemleri

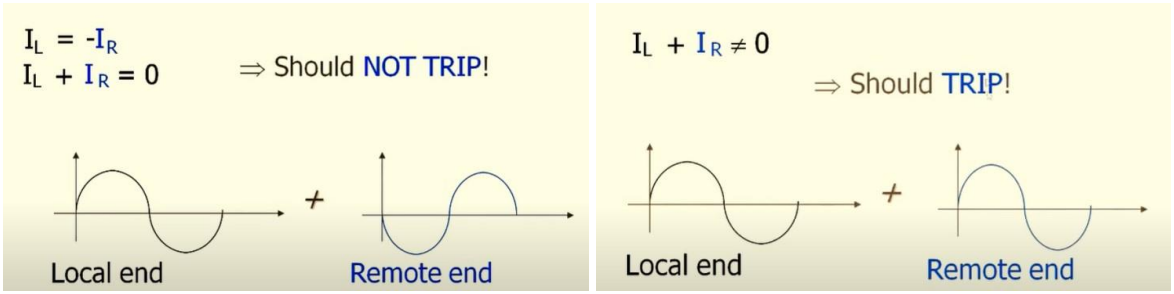
Raylı sistem elektrik tesislerinde diferansiyel koruma sistemleri, elektrik ağındaki hayati ekipmanları güvenli bir şekilde korumak amacıyla kullanılır. Bu sistemler, anormal akım ve gerilim dalgalanmalarını algılar ve hatların güvenliğini garanti eder. Akım trafoları (CT), diferansiyel röleler ve yardımcı donanımlardan oluşan diferansiyel koruma sistemleri, transformatör, jeneratör ve hat gibi çeşitli uygulama alanlarında koruma sunar, güvenli bir operasyon sağlar ve sistem performansını iyileştirir.

6.1 Çalışma Prensibi

Raylı sistem elektrik tesislerinde kullanılan diferansiyel koruma sistemlerinin çalışma prensibi oldukça basittir. Korunan ekipmanın giriş ve çıkış noktalarındaki akım farkını sürekli olarak karşılaştırmak ve herhangi bir kaçak veya arıza durumunda hemen koruma işlemi gerçekleştirmektir. Bu sayede, olası zararları önleyerek sistemdeki güvenliği sağlamaktadır. Diferansiyel koruma sistemi, akım trafoları ve diferansiyel röleler gibi önemli bileşenleri içermektedir. Akım trafoları, korunan ekipmana seri olarak yerleştirilir ve giriş ile çıkıştan geçen akımları sürekli olarak karşılaştırır. Eğer bu karşılaştırma sonucunda bir fark tespit edilirse, bunu diferansiyel röleye ileterek gerekli önlemlerin hemen alınmasını sağlar. Diferansiyel röle, belirlenen eşik değerin üzerinde bir akım farkı algıladığında koruma devreye girer ve kaçak durumuyla ilgili sinyal verir. Böylece, herhangi bir tehlikeli durum oluştuğunda sistem tarafından anında müdahale edilmesi sağlanır. Bu sayede, olası hasarların önüne geçilerek elektrik tesisinin güvenliği maksimum seviyede tutulur.

Şekil 12 – Çalışma Prensibi





6.2 Bileşenler

Diferansiyel koruma sistemlerini oluşturan bileşenler arasında akım trafoları (CT), diferansiyel röleler ve yardımcı donanımlar bulunmaktadır. Akım trafoları, sistem içindeki akımı ölçerken diferansiyel röleler, fark akımlarını algılayıp koruma imkanı sağlar. Sistem performansını ve güvenilirliğini yükseltmek amacıyla, yardımcı donanımlar kullanılır.

6.2.1 Akım Trafoları (CT):

Akım trafoları (CT), raylı sistem elektrik tesislerinde diferansiyel koruma sistemlerinin ana bileşenlerinden biridir. Bu trafolar, hat üzerinde taşınan akımı ölçer ve differansiyel rölelerin doğru işleyişini garanti eder. CT'lerin doğru pozisyonlanması ve kalibre edilmesi, sistemin koruma kapasitesini direk etkiler.

6.2.2 Diferansiyel Röle

Diferansiyel röleler, raylı sistem elektrik tesislerinde kullanılan koruma sistemlerinde, fark akımını algılayarak hatları korumak için kullanılan önemli bir bileşendir. Bu röleler, giriş ve çıkıştaki akım değerlerini sürekli olarak karşılaştırır ve hatların güvenliği etkin bir şekilde sağlar ve olası arızalar karşısında hızlı bir müdahale imkanı sunar.

6.2.3 Yardımcı Donanımlar

Raylı sistem elektrik tesislerinde diferansiyel koruma sistemlerinde kullanılan yardımcı donanımlar, sistem performansını geliştirmek ve güvenilirliği sağlamak için tasarlanmış ilave bileşenlerdir. Çoğunlukla rölelerin yanında bulunan bu donanımlar, sistemde oluşabilecek yüksek akım ve gerilim değerlerine karşı koruma sağlar ve arızaları minimum düzeye indirir.

6.3 Uygulama Alanları

Diferansiyel koruma sistemlerinin raylı sistem elektrik tesislerinde bir dizi farklı uygulama alanları vardır. Bu alanlar arasında transformatör, jeneratör, bara ve hat koruması bulunur. Transformatör koruması, enerji dönüşümünde kilit bir rol oynarken jeneratör ve hatların korunması, sistemin güvenli ve verimli çalışmasını sağlar.

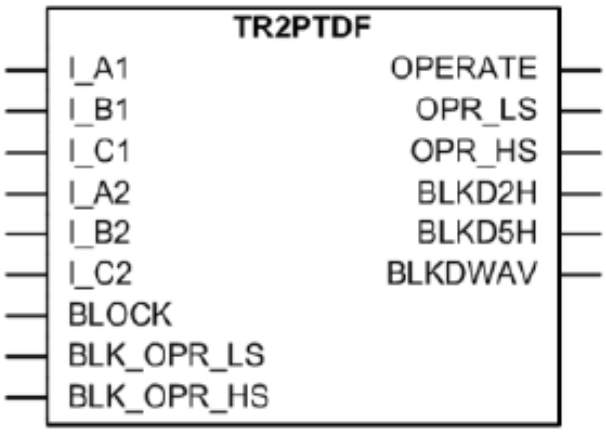
6.3.1 Transformatör Koruması (87T)

Transformatör koruması, ANSI 87T standardına uygun olarak geliştirilen diferansiyel koruma sistemlerinin önemli bir bileşenidir. Transformatörler, enerji dönüşümünde kritik bir rol oynar ve bu nedenle doğru bir şekilde korunmaları hayati önem taşır. Diferansiyel koruma sistemleri, transformatörlerin anormal akım ve gerilim durumlarına karşı etkili bir şekilde korunmasını sağlar. Transformatörlerin korunması, enerji şebekesindeki güvenilirliği ve sürekli hizmet sağlamayı sağlayan bir görevi yerine getirir. Transformatörler, elektrik gücünü bir voltaj seviyesinden bir diğerine aktarmanın temel bir yöntemidir. Bu nedenle, transformatörlerde meydana gelebilecek hasarlar genellikle büyük bir felakete yol açabilir. Diferansiyel koruma sistemleri ise transformatörlerin bu tür potansiyel risklere karşı korunmasını sağlar. Diferansiyel koruma sistemleri, yüksek hassasiyete sahip olarak

tasarlanmıştır. Bu sayede, transformatörlerde meydana gelebilecek en küçük bir akım veya gerilim değişikliği tespit edilerek hızlı bir şekilde tepki verilir. Bu da transformatörün anında korunmasını sağlar ve olası bir arızanın önüne geçer. Diferansiyel röleler transformatörlerin giriş ve çıkış akımlarını karşılaştırarak transformatör içinde bir iç arıza varsa tespit ederek anormal durumlarda alarm verir veya koruma işlemlerini başlatır. Bu röleler, transformatördeki akım dalgalanmalarının izlenmesini sağlar ve gerektiğinde acil müdahaleye olanak tanır. Sonuç olarak, transformatör koruması, enerji sistemlerinin güvenilirliği ve sürekli hizmet sağlamak için vazgeçilmez bir bileşendir. Diferansiyel koruma sistemleri ve röleler, transformatörlerin anormal durumları algılayarak hızlı bir şekilde korunmasını sağlar. Bu sayede, transformatörlerin performansı artar ve olası arıza riskleri önlenmiş olur.[5]

Fonksiyon tanımı	IEC 61850 tanımı	IEC 60617 tanımı	ANSI/IEEE C37.2 cihaz numarası
2 sargılı trafolar için tutuculu ve ani diferansiyel koruma	TR2PTDF	3dI>T	87T

Şekil 13 - Fonksiyon Bloğu



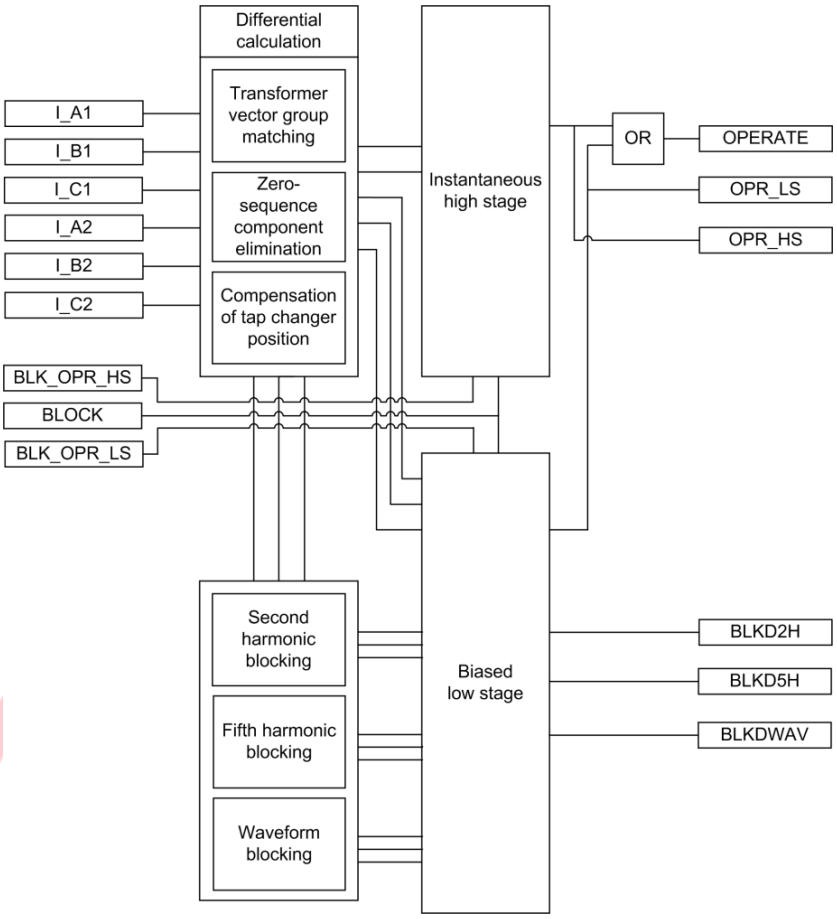
6.3.1.1 İşlevsellik

Trafo diferansiyel koruma, TR2PTDF, iki sargılı trafoları ve jeneratör-trafo birimlerini korumak için tasarlanmıştır. TR2PTDF, düşük, tutuculu ve yüksek, tutucusuz ani kademelere sahiptir. Tutuculu düşük ayar, korunan bölgeden geçip ölçüm hatalarını artıran yüksek akımlar sırasında kararlı kalır ve arızaların hızla temizlenmesini sağlar. İkinci harmonik tutuculuk, dalga biçimine dayalı algoritmalar ile, düşük ayar kademesinin trafo mıknatıslayıcı ani yığılma akımları yüzünden çalışmamasını sağlar. Beşinci harmonik tutuculuk, düşük ayar kademesinin, zararsız bir trafo aşırı uyarmanın yol açtığı görünür diferansiyel akım yüzünden çalışmamasını sağlar. Ani yüksek ayar kademesi, harmoniklere bakmaksızın yüksek diferansiyel akımlı ciddi arızaların hızla temizlenmesini sağlar. Ayar karakteristiği, kademe değiştirici konum denkleştirmesi yardımıyla daha hassas ayarlanabilir. Kademe değiştirici durum bilgisine dayalı olarak, kademe (konum) değişmelerinden dolayı dönüştürme oranı düzeltmesi otomatik olarak yapılır.

6.3.1.2 Çalışma Prensibi

Fonksiyon, Operation ayarı ile etkin veya etkisiz kılınabilir. İlgili parametre değerleri, “On” (Etkin) ve “Off” (Etkisiz)’dir. Trafo diferansiyel korumanın çalışması, aşağıda fonksiyon şeması kullanılarak gösterilmiştir.

Şekil 14 – Çalışma Prensibi



6.3.2 Jeneratör Koruması (87G)

Raylı sistem elektrik tesislerinde ANSI 87G koruması, enerji üretiminde ve dağıtımında büyük öneme sahip olan differansiyel koruma sistemlerinin, özellikle jeneratörlerin güvenliğini sağlamak için kullanıldığı alanlardan sadece biridir. Jeneratörler, demiryolu sistemlerindeki elektrifikasyon sürecinde hayati rol oynayan ve yüksek akım ve gerilim değerlerine maruz kalan kritik ekipmanlardır. Bu nedenle, jeneratörlerin güvenli ve sürekli bir şekilde çalışmasını sağlamak için etkili bir koruma sistemi gerekmektedir. Raylı sistemlerde kullanılan differansiyel koruma sistemleri, jeneratörlerin anormal durumlarında hızlı ve doğru bir şekilde müdahale ederek, ciddi hasarları önler. Bu sistemler, jeneratörün üzerinde oluşabilecek herhangi bir diferansiyel akımını algılayarak, hızlı bir şekilde reaksiyon gösterir ve jeneratörü otomatik olarak durdurur. Bu sayede, potansiyel tehlikeler en aza indirilir ve jeneratörlerin güvenli bir şekilde çalışması sağlanır. Raylı sistem elektrik tesislerinde kullanılan ANSI 87G korumaları, genellikle yüksek hassasiyete sahiptir ve farklı koruma ayarlarına sahip olabilir. Bu sayede, jeneratörlerin güvenlik ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir. Ayrıca, bu koruma sistemleri genellikle jeneratörlerin yanı sıra şalt ekipmanları, transformatörler ve diğer kritik bileşenlerin korunması için de kullanılır. Raylı sistem elektrik tesislerinde ANSI 87G korumasının kullanılması, müşterilerin güvenlik endişelerini azaltır ve elektrik tesislerinin daha güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu koruma sistemi, enerji üretiminde ve dağıtımında oluşabilecek olası arızaları minimize ederken, işletme maliyetlerini de düşürür. Bu nedenle, raylı sistem elektrik tesislerinde ANSI 87G korumasının kullanılması, sektördeki önemli bir uygulama alanını oluşturur ve güvenli ve sürdürülebilir işletmelerin temelini oluşturur.

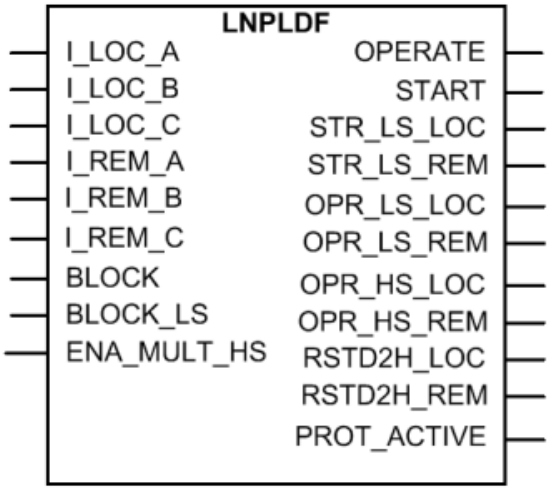
6.3.3 Hat Koruması (87L)

Hat koruma (87L), raylı sistemlerde elektrik hatlarının diferansiyel korumasının temelini oluşturan önemli bir sistemdir. Hat üzerinde sürekli akım değerlerini izleyerek herhangi bir farklılıkta hızla müdahale eden bu koruma sistemi, hat segmentini korur. 87L koruması ile röleler, hat arızalarını belirleyerek ilgili segmenti izole eder ve böylece sistemin güvenliğini sürdürür. Raylı sistemlerde enerji kesintileri ve kazaların önlenmesi ile sistem verimliliği artar. Raylı sistemlerde enerji kesintileri ve kazaların önlenmesi ayrıca işletim sürekliliğine ve yolcuların güvenliğine büyük önem taşır. Bu nedenle, hat koruma sistemi olan 87L, mevcut yapısı ve fonksiyonlarıyla raylı sistemlerin güvenliğini sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır. 87L röleleri, elektrik hatlarında meydana gelen arızaları hızlı bir şekilde tespit eder ve bunlara anında müdahale eder. Bu sayede hat segmentinde oluşabilecek hasarlar en aza indirilir ve sistemin güvenliği sağlanır. Hat koruma sistemi aynı zamanda enerji tasarrufu ve verimlilik sağlayarak raylı sistemlerin sürdürülebilirliğini artırır. Hat koruma sistemi, farklı raylı sistemlerde kullanılabilir ve her bir sistemin ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir. Sistem, gerçek zamanlı akım izleme ve hızlı müdahale özellikleriyle hatlardaki güvenlik düzeyini yükseltirken aynı zamanda operasyonel maliyetleri düşürür.

Sonuç olarak, hat koruma sistemi olan 87L, raylı sistemlerin güvenliğini ve verimliliğini artırırken enerji kesintilerini önler ve kazaların oluşma riskini azaltır. Bu sistem sayesinde raylı sistemlerin operasyonel performansı yükselirken aynı zamanda kullanıcıların güvenliği sağlanır. Hat koruma sistemi, raylı sistemlerin başarılı bir şekilde işletilmesi ve geliştirilmesi için vazgeçilmez bir bileşendir.

Fonksiyon tanımı	IEC 61850 tanımı	IEC 60617 tanımı	ANSI/IEEE C37.2 cihaz numarası
Hat diferansiyel koruma ve ilgili ölçümler, tutuculu ve ani kademeler	LNPLDF	3dI>L	87L

Şekil 15 - Fonksiyon Bloğu



6.3.3.1 İşlevsellik

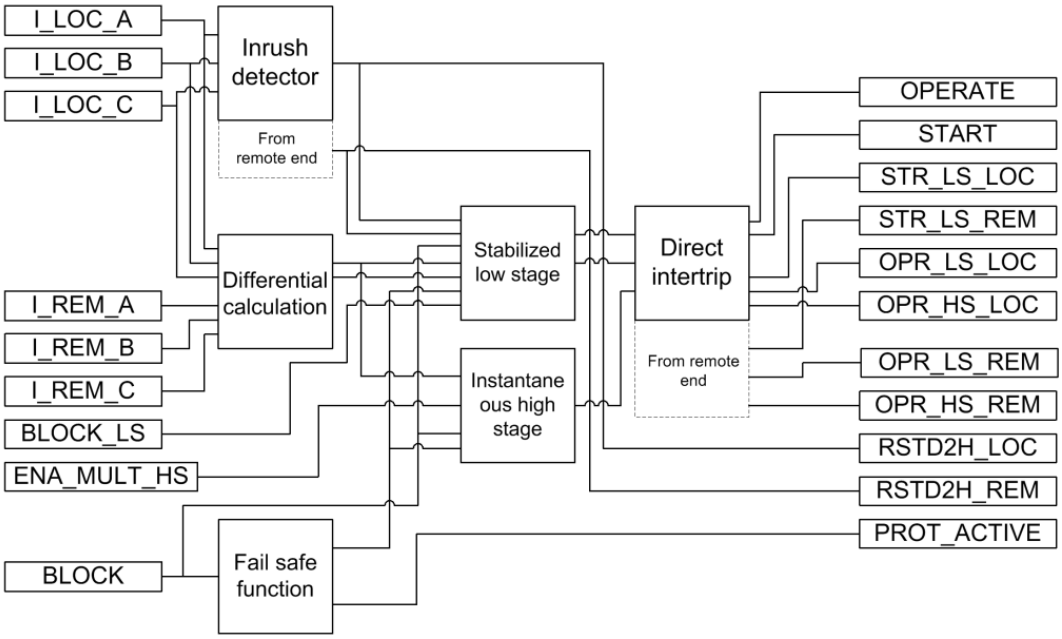
Faz ayrımlı hat diferansiyel koruma, LNPLDF, dağıtım şebekesi hatları ve kabloları için fider diferansiyel koruma olarak kullanılır. LNPLDF düşük, tutuculu ve yüksek, ani kademeleri içerir. Tutuculu düşük ayar, iç arızaların hızlı olarak temizlenmesini ve aynı zamanda korunan bölgeden geçen ve ölçüm hatalarını artıran yüksek dış arıza akımları sırasında kararlı çalışmayı sağlar. İkinci harmonik tutuculuk, düşük ayarın, güç trafosunun enerjilenmesi sırasında mıknatıslayıcı yığılma akımları yüzünden korumanın çalışmamasını sağlar. Tutucusuz yüksek ayar, harmoniklerine bakmaksızın yüksek diferansiyel akımlı ciddi

arızaların hızlı olarak temizlenmesini sağlar. Düşük kademe için çalışma zamanı karakteristiği, sabit zaman (DT) veya belli minimumlu ters zaman (IDMT) olarak seçilebilir. Doğrudan ara açma, yerel ölçüt olmasa bile her iki ucun açtırılmasını sağlar.

6.3.3.2 Çalışma Prensibi

İşlev, Çalışma ayarı ile etkinleştirilebilir ve devre-dışı bırakılabilir. Uygun parametre değerleri, "Devrede" ve "Devre dışı"dır. İşlev, Çalışma ayarını “testte/engellenmiş”"e ayarlayarak ayrıca test moduna ayarlanabilir. Hat diferansiyel korumanın çalışması ve ilgili ölçümler, tutuculu ve ani kademeler, bir modül şeması kullanılarak gösterilmiştir. Şemadaki tüm modüller, sonraki bölümlerde açıklanmıştır.[6]

Şekil 16 – Çalışma Prensibi

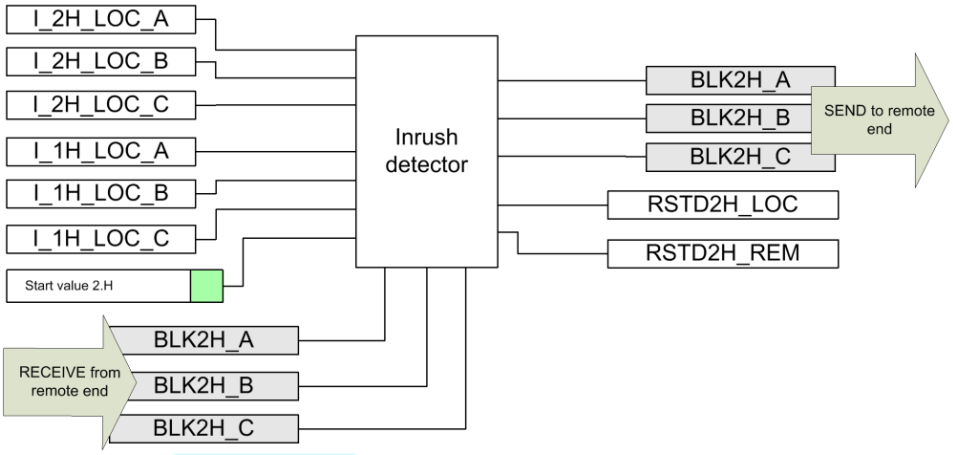


6.3.3.2.1 Demaraj dedektörü

Transformatör demaraj akımları, ölçülen faz akımlarında yüksek derecede ikinci harmoniğe yol açar Demaraj dedektörü transformatörlerdeki demaraj durumlarını tespit eder. Restraint mode (Tutma modu) parametresi ile ikinci harmoniğe dayalı lokal kilit seçilip kullanılabilir. İkinci harmonik kilit seçildiğinde ve ani yığılma akımı tespit edildiğinde, lokal uçta düşük ayar kademesi için kilit verilir. Ani yığılma akım algılayıcısı, I_2H_LOC_A ikinci harmonik akımın I_1H_LOC_A temel frekans akımına oranını hesaplar. Hesaplanan değer, Start value 2.H (2.H başlatma değeri) parametresinin ayar değeri ile karşılaştırılır. Hesaplanan değer ayar değerini aşarsa ve I_1H_LOC_A temel frekans akım anma akımın yüzde yedisinden fazla ise, BLK2H_A çıkış sinyali etkinleştirilir. Ani yığılma akım algılayıcısı diğer fazları da yanı şekilde yönetir.

Lokal olarak tespit edilen trafo ani yığılma akımı, ayrıca lokal Restraint mode (Tutma modu) ayar parametresi değerinden bağımsız olarak bir ikili bildirim sinyali olarak uzak uca gönderilir. Tutuculu düşük ayar iç kilit etkinleştirildiğinde, RSTD2H_LOC ve RSTD2H_REM çıkışları, ani yığılma akımının lokal veya uzak uçta veya her ikisinde de tespit edilmesine bağlı olarak aynı anda etkinleştirilir.

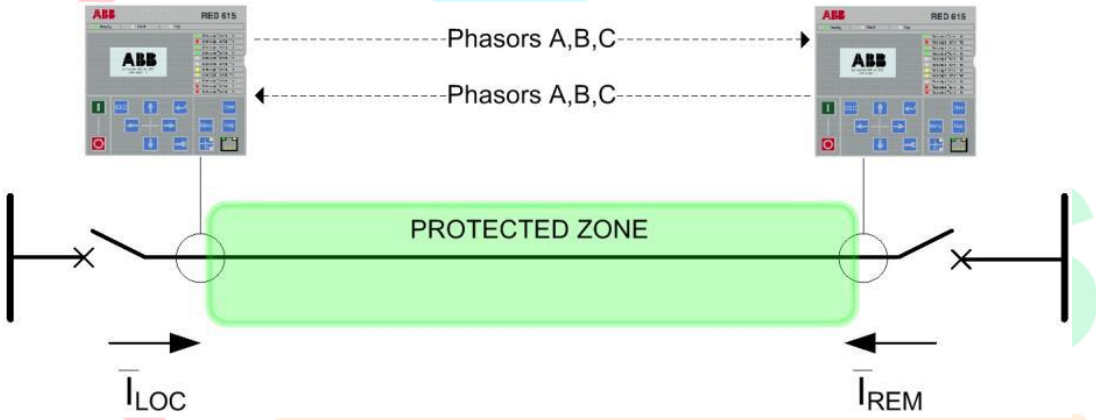
Şekil 17 - Demaraj akımı algılama mantığı



6.3.3.2.2 Diferansiyel hesaplama

Çalışma prensibi, veri alışverişi için kullanılan iletişim kanalları üzerinden koruma bölgesine giren ve koruma bölgesinden çıkan akımların her iki uçta yapılan diferansiyel akım hesaplamasına dayalıdır. Normal çalışma sırasında diferansiyel akımlar hemen hemen sıfırdır. Diferansiyel koruma faz ayrımlı olup, diferansiyel akımlar her iki uçta ayrı ayrı hesaplanır.

Şekil 18 - Temel koruma prensibi



Diferansiyel akım IΔ (Id), her iki uçta da şu formülle hesaplanır:

$$I_d = \left| \bar{I}_{LOC} + \bar{I}_{REM} \right|$$

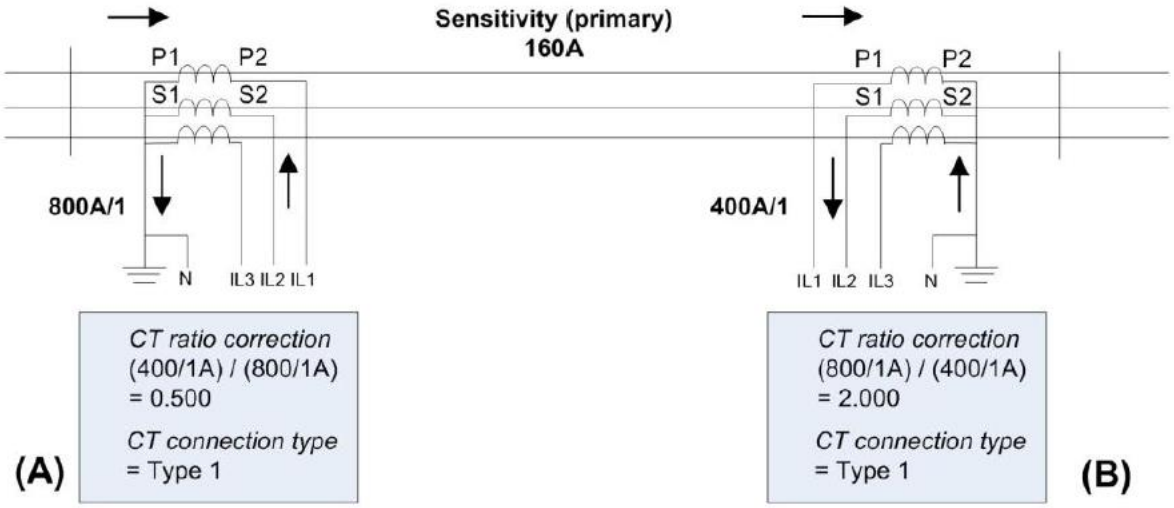
Tutucu akım Ibias (Ib), her iki uçta da şu formülle elde edilir:

$$I_b = \frac{\left| \bar{I}_{LOC} - \bar{I}_{REM} \right|}{2}$$

Akım trafolarının yıldız noktalarının konumuna bağlı olarak, lokal ve uzak akımların polaritesi farklı olabilir ve bu da hesaplama algoritmalarının yanlış çalışmasına yol açabilir. Her iki uçtaki AT (Akım Trafosu) dönüştürme oranları farklı olabilir; diferansiyel akım hesabının her iki uçta da doğru olmasını sağlamak için bunların denkleştirilmesi gerekir. Çalışma karakteristiği ile ilgili ayarlar, her iki hat ucu IED'sinde akım trafosu sekonder anma akım yüzde olarak girilir. Gerçek primer ayar için, her iki hat ucundaki ilgili AT oranları dikkate alınmalıdır. Nominal düzeylerdeki farkın denkleştirilmesi için CT ratio correction (AT oranı düzeltme) parametre değerlerinin her iki hat ucunda nasıl seçileceği, aşağıdaki örnekte

açıklanmıştır. Örneğin, 160 A primer akım, IED (A) ayar değeri olarak 160A/800Ax%100 = %20'ye ve IED (B) için 160A/400Ax%100 = %40'a eşit olacaktır. CT ratio correction ayar parametresi, iki IED'de farklı oranlara sahip akım trafolarının kullanılması durumunda sağlanır. Bunun gerçek koruma kademesi ayarları üzerinde bir etkisi yoktur.

Şekil 19 - Dış arıza sırasında diferansiyel akım örneği



CT connection type (Akım Trafosu bağlantı tipi), iki ihtimale göre seçilir:

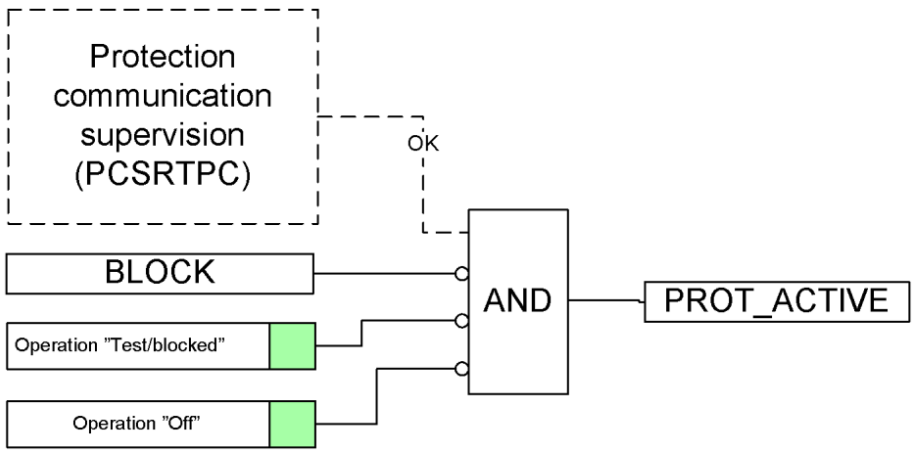
• Lokal ve uzak akım trafosu sekonder akım yönleri birbirine ters olduğunda her iki uçta "Type 1 (Tip 1)" seçilir (varsayılan). "Type 1", akım trafolarının yıldız noktalarının her iki hat ucunda da bara veya hat tarafında (aynı) olduğunda seçilmelidir.

• Lokal ve uzak akım trafosu sekonder akım yönleri aynı olduğunda her iki uçta "Type 2 (Tip 2)" seçilir. "Type 2", akım trafolarının yıldız noktalarının bir hat ucunda hat tarafında ve diğer hat ucunda ise bara tarafında olduğunda seçilmelidir.

6.3.3.2.3 Güvenli çalışma fonksiyonu

İletişim girişimi sırasında yanlış çalışmayı önlemek için, koruma iletişim denetimi iletişim kanalında şiddetli girişim tespit ettiğinde LNPLDF fonksiyonunun çalışmasını kilitler. Bir iletişim kesintisi sırasında diferansiyel düşük ayar kademesi başlatma aldığında, zamanlayıcı reset aşaması etkinleştirilir.

Şekil 20 - Güvenli çalışma fonksiyonunun çalışma mantığı



Fonksiyon, Operation ayarı ile "Test/blocked (Test/kilitli)" durumuna da ayarlanabilir. Bu seçenek, devreye alma çalışmaları sırasında kullanılabilir. BLOCK girişi, fonksiyonu mantık ile kilitlemek için sağlanmıştır. Fonksiyon kilitlendiğinde, izlenen veriler ve ölçülen değerler yine mevcuttur; ancak ikili çıkışlar kilitlenir. Fonksiyon kilitlendiğinde, doğrudan ara açma da kilitlenir. Koruma fonksiyonu bormal çalışabilecek durumda olduğunda, PROT_ACTIVE çıkışı her zaman aktif olur. PROT_ACTIVE artçı koruma fonksiyonları için bir kilit sinyali olarak kullanılabilir.

6.3.3.2.4 Dengeli düşük kademe

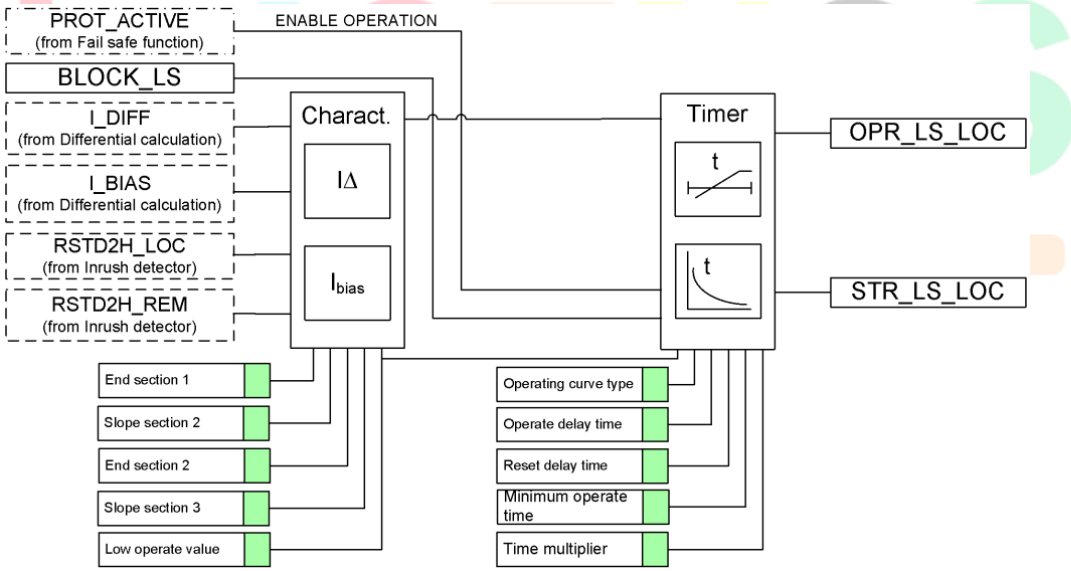
Dengeli düşük kademede, daha yüksek yük akımı, açma için gereken daha yüksek diferansiyel akımdır. Bu, normal çalışmada veya dış arızalar sırasında meydana gelir. Dahili bir arıza oluştuğunda, akımlar korunan nesnenin her iki tarafından arızaya doğru akar ve bu dengeleyici akımın önemli ölçüde daha düşük olmasına neden olur. Bu, dahili arızalar sırasında çalışmayı daha hassas yapar. Düşük kademe bir zamanlayıcı gecikme işlevselliği içerir.

Görünür diferansiyel akımı dikkate alan düşük kademenin karakteristiği çeşitli faktörlerden etkilenir:

- Koruma bölgesi içinde küçük dağılmış yükler
- Akım transformatörü hataları
- Akım transformatörü doyma
- Haberleşme kanalı gitme ve geri dönme yollarının küçük asimetrisi
- Küçük kararlı hal hattın şarj akımı
- Bölge-içi transformatör boştaki akımı
- Kademe değiştirici pozisyonlarının etkisi

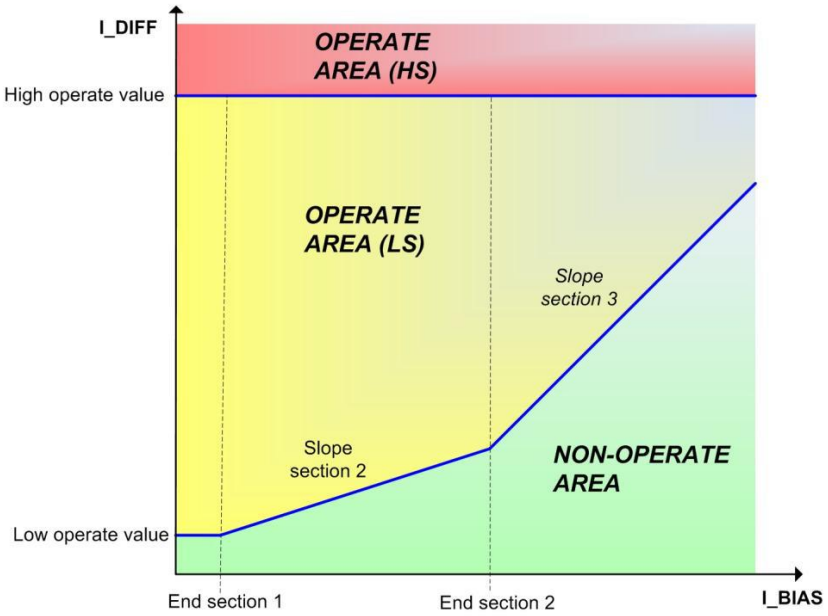
Zamanlayıcı, hesaplanan diferansiyel, dengeleyici akım ve ayarlanan diferansiyel karakteristiğe göre etkinleştirilir.

Şekil 21 - Dengeli düşük kademe çalışma mantığı



Sabitlik işlevin çalışmasını etkiler.

Şekil 22 - Diferansiyel koruma çalışma karakteristiği. (LS) düşük kademe ve (HS) yüksek kademe bölgesini gösterir.



Diferansiyel fonksiyonun çalışma karakteristiği eğrisinin eğimi, farklı bölüm aralıklarında değişir:

• Bölüm 1: 0.0 < Ib/In < End section 1(Bölüm 1 sonu) aralığı. Açma için gerekli diferansiyel akım sabittir. Diferansiyel akım değeri, fonksiyon için seçilen taban ayar (Low operate value / Düşük akım değeri) ile aynıdır. Taban ayarlar, hattın yüksüz çalışma görünümüne, dağılmış yük akımlarına ve akım trafosunun küçük hatalarına izin verir. Ayrıca çalışma karakteristiğinin genel düzeyini etkilemek için de kullanılabilir.

• Bölüm 2: End section 1 (Bölüm 1 sonu) < Ib/In < End Section 2 (Bölüm 2 sonu) aralığı. Bu bölüme başlatma oranının etki alanı denir. Bu bölümde, başlatma oranındaki değişimler karakteristiğin eğimini, yani yük akımındaki değişime kıyasla açma için gerekli diferansiyel akımdaki değişimin ne kadar büyük olacağını etkiler. Başlatma oranı, AT hatalarını dikkate almalıdır.

• Bölüm 3: End section 2 (Bölüm 2 sonu) < Ib/In aralığı. Bu bölümün eğim ayarı yapılırken, bir dış arıza sırasında diferansiyel akımın esas olarak doymuş akım trafoları tarafından üretildiği durumlarda korumanın gereksiz yere çalışmasını önlemek için gerekli dikkat gösterilmelidir.

Diferansiyel korumanın çalışması, temel frekans bileşenlerine dayalıdır. Çalışma doğru ve kararlıdır ve akımın DC bileşeni ve harmonikleri istenmeyen çalışmalara yol açmaz.

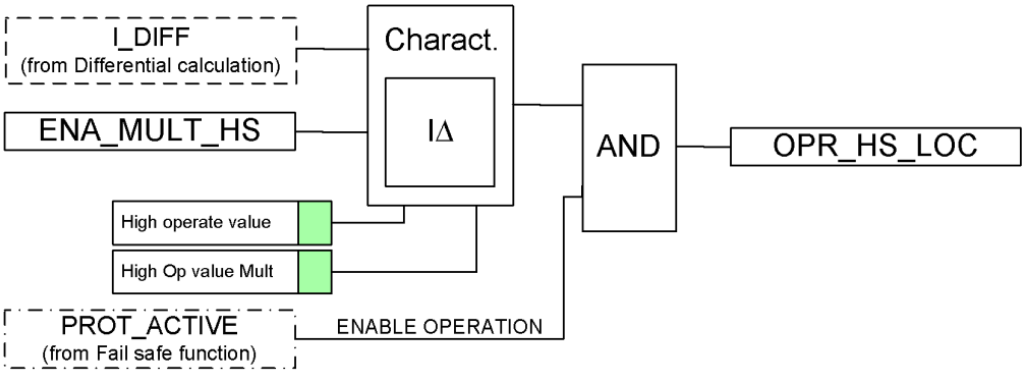
6.3.3.2.5 Zamanlayıcı

Zamanlayıcı, etkinleştiğinde STR_LS_LOC çıkışını etkinleştirir. Operating curve type (Çalışma eğrisi tipi) ayarına bağlı olarak, zaman karakteristiği DT veya IDMT'ye göre olur. Çalışma zamanlayıcısı, DT modunda Operate delay time değerine veya ters zaman eğrisi ile tanımlanan maksimum değere ulaşırsa, OPR_LS_LOC çıkışı etkinleştirilir. IDMT çalışma modunda, Standart ters zaman karakteristikleri bölümünde sunulan IDMT denklemlerindeki referans değer (Başlatma değeri) olarak Low operate value (Düşük çalışma değeri) kullanılır. Bir bırakma durumu olduğunda, zamanlayıcı reset durumu etkinleşir. Reset, DT karakteristiklerine göredir.

6.3.3.2.6 Ani yüksek ayar kademesi

Tutuculu düşük ayar kademesine ek olarak, LNPLDF, ani yüksek ayar kademesine sahiptir. Ani yüksek ayar kademesi tutucusu çalışır. Diferansiyel akım büyüklüğü High Operate Value (Yüksek çalışma değeri) ayar değerinden daha yüksekse, ani kademe hemen çalışır. Eğer ENA_MULT_HS girişi etkinse, High operate value ayarı için High Operating Value Multiplier (Yüksek çalışma değeri çarpanı) ayar değeri ile çarpılır.

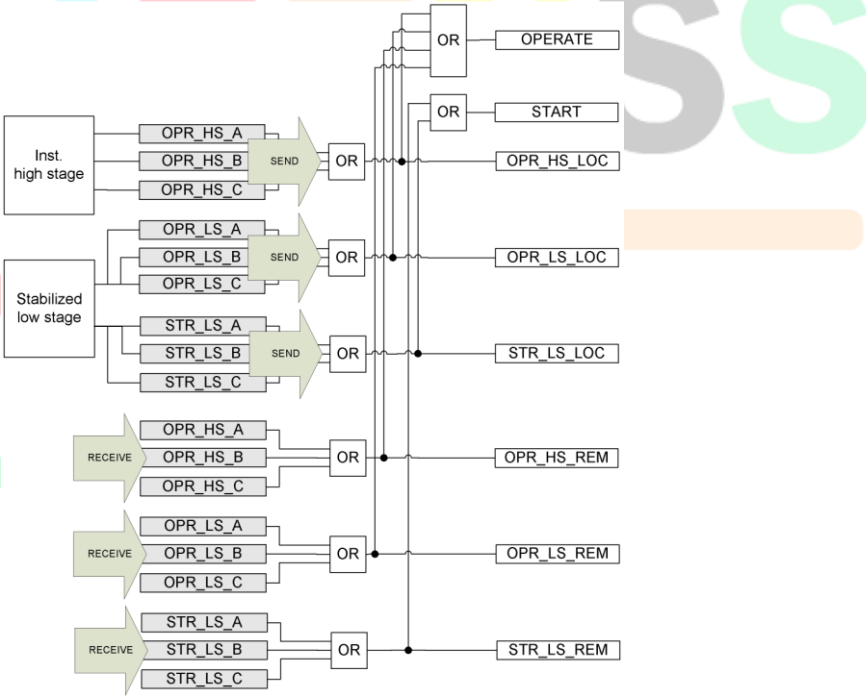
Şekil 23 - Ani yüksek ayar kademesinin çalışma mantığı



6.3.3.2.7 Doğrudan karşıyı açtırma

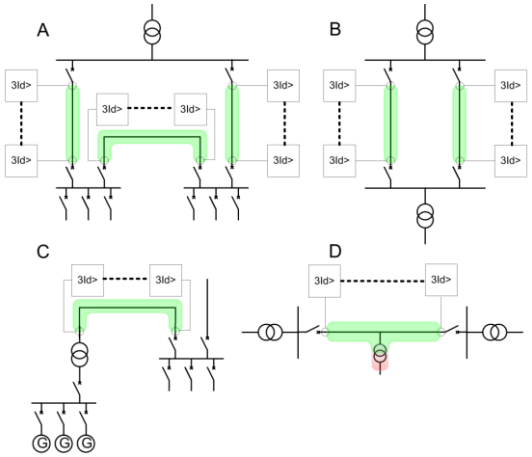
Doğrudan karşıyı-açtırma, bir arıza tespit edildiğinde korunan hattın her iki ucundaki kesicilerin aynı anda açmasını sağlamak için kullanılır. Her iki ucun başlatma ve çalışma sinyalleri iletişim yoluyla diğer uca gönderilir. Hat diferansiyel korumanın doğrudan ara açması LNPLDF'ye dâhil edilmiştir. Uzak ve yakın her iki kademeden çalışma sinyalleri lokal olarak doğrudan ara açma sinyali için kullanabilecek şekilde OPERATE çıkışında birleştirilir.

Şekil 24 - Doğrudan karşıyı-açtırma fonksiyonunun çalışma mantığı



Başlatma ve çalışma sinyalleri, düşük ve yüksek ayar kademeleri için ve lokal ve uzak uçta ayrı ayrı sağlanır.

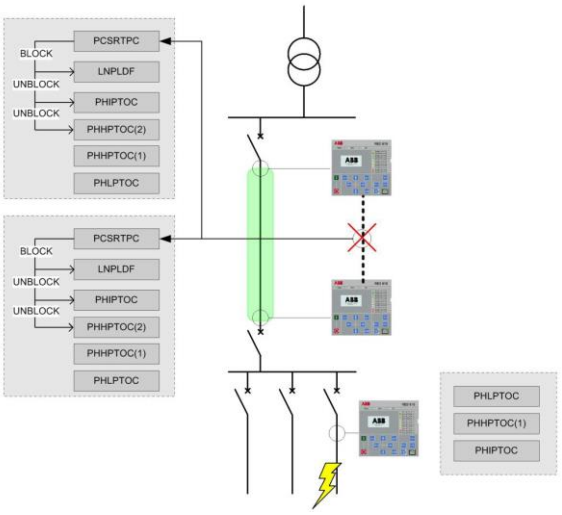
Şekil 25 - Hat diferansiyel uygulamaları



6.3.3.2.8 İletişim denetimi

Tipik bir hat diferansiyel koruma uygulamasında, ana koruma olarak LNPLDF kullanılır. Artçı aşırı akım fonksiyonlarına koruma iletişim arızası durumunda gerek duyulur. İletişim denetimi fonksiyonu, korunan birimler arasındaki iletişimde bir arıza tespit ettiğinde, hat diferansiyel koruma kilitlenip aşırı akım fonksiyonlarının müsaade edilerek hattın güvenli çalışması garanti edilmiş olur. Bir iletişim arızası tespit edildiğinde, LNPLDF koruma iletişim denetim fonksiyonu hat diferansiyel korumayı kilitler ve aşırı akım korumanın ani ve yüksek ayar kademelerinin (durum 2) kilidini çözer. Bunlar uzak uç fider koruma IED'si için artçı koruma sağlamak amacıyla kullanılır. Seçiciliğin genele nazaran zayıf kalacağı durumlar olabilmesine karşın, koruma yine de sistem için sağlanmalıdır.

Şekil 26 - Koruma iletişimi denetimi iletişim arızalarını tespit eder



7. Diferansiyel Rölelerin Kullanımı ve Sağladığı Faydalar

Elektrik tesisatı hattı koruma yöntemlerinin ayrılmaz bir ögesi olan diferansiyel röleler, hattın boyunca akım değişikliklerini ölçerek olası arızaların hızlıca belirlenmesine yardımcı olur. Diferansiyel röleler, fark akımı tespiti, çeşitli çalışma özellikleri, hassas seçim yapma yeteneği, hızlı müdahale, güvenli işlevsellik, maliyet etkinliği ve arıza lokalizasyonu konularında çok sayıda fayda sunar. Raylı sistem elektrik tesislerinde, bu röleler güvenliği yükseltirken sistem performansını da iyileştirmek için kritik bir görev üstlenir.

7.1. Temel Prensipler

Bir diferansiyel rölenin temel ilkesi, hattın üzerindeki giriş ve çıkış akımlarını düzenli olarak karşılaştırmaya dayanır. Eşit giriş ve çıkış akımları, hattın düzgün çalışmakta olduğu anlamına gelir. Ancak bu akımlar arasında bir fark olduğunda, röle bir arıza sinyali oluşturur ve koruma sistemini hemen etkinleştirir. Bu temel prensipler, enerji sistemlerinde oluşabilecek arızaların önlenmesini ve hat güvenliğinin artırılmasını sağlar.

7.2. Fark Akımı Algılama Metodları

Fark akımı algılama teknikleri, diferansiyel rölelerin işleyiş prensiplerini temel alır. Bu yöntemler genellikle total fark akımları, harmonik analizler ve fazla akım analizleri gibi teknikleri kullanarak hattın akımını sürekli takip ederler. Herhangi bir norm dışı durumda, alarm ve koruma sinyallerini tetikleyerek, arıza yerinin belirlenmesine yardımcı olurlar. Bu teknikler aynı zamanda güvenliği artırırken sistem performansının da daha verimli hale gelmesine yardımcı olurlar.

7.3. Çalışma Modları

Diferansiyel röleler, genellikle iki farklı çalışma modunda işlem yaparlar: sürekli ve yarı sürekli. Sürekli modda, akım farkı sürekli olarak izlenir ve belirlenen bir eşik değeri geçildiğinde koruma sistemi devreye girer. Yarı sürekli modda ise fark akımı belirli aralıklarla analiz edilir. Her iki işletme türü de hızlı ve güvenli koruma sağlar, ancak uygulanacakları durumlar gerekliliklerine bağlı olarak seçilir.

7.4 Seçicilik

Diferansiyel rölelerin seçicilik özelliği, oluşabilecek arızaların hat üzerindeki belirli bölgelere sınırlamasını sağlar. Bu sayede, arızaların başka bölgelere yayılması engellenir ve sistem kesinti zamanı en aza indirilir. Seçicilik, hat koruma sisteminin etkinliğini yükselterek ve sistem performansını optimize ederek verimliliği artırır.[7]

7.5 Hızlı Müdahale

Diferansiyel röleler, hat alanındaki arızaları hızla tespit ederek ve koruma sistemini hızla devreye alarak hat güvenliğini sağlar. Bu durum, potansiyel sistem hasarlarını en aza indirgerken aynı zamanda sistem performansını olumlu yönde etkiler. Hızlı müdahale özelliği, raylı sistem elektrik tesislerinde güvenliği yükseltir ve sistem verimliliğini artırır.

7.6 Güvenilirlik

Diferansiyel röleler, yüksek güvenilirlik düzeyi sağlanabilen elektrik tesisatı koruma sisteminin bir parçasıdır. Hattın üzerindeki akımı sürekli izleyerek olası anormalliklere hızla müdahale eder. Bu özellikleri sayesinde, hat güvenliğini ve sistem performansı en üst düzeyde tutmayı mümkün kılar.

7.7 Ekonomik Verimlilik

Diferansiyel röleler sağladıkları güvenlik ve performans artışı ile elektrik tesislerinde ekonomik etkililiği beraberinde getirir. Hızlı müdahale yeteneği ile olası hasarları en aza indirgeyerek tamir maliyetlerini düşürür. Bununla birlikte, sağladığı güvenilirlik ile kesinti sürelerini minimuma indirir ve genel sistem verimliliğini yükseltir.

7.8 Arıza Lokalizasyonu

Diferansiyel rölelerin arıza lokalizasyonu özelliği, hat üzerindeki arızaların konumlarını hızlı ve doğru bir şekilde belirlemeyi sağlar. Bu durum, operatörlerin arızaların kaynağını tespit edebilmelerini ve hızla müdahale etmelerini sağlar, böylece kesinti süresi en aza indirilmiş olur. Arıza lokalizasyonu, sistem güvenliğini artırırken sistem performansını da olumlu yönde etkiler. [8]

8.Yöntem

Bu çalışma, raylı sistemlerde kullanılan orta gerilim koruma sistemlerinin etkinliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla karma bir araştırma tasarımı benimsemiştir. Bu alanda özellikle diferansiyel röleler hakkında yapılan bu araştırma, hem saha testleri hem de simülasyon çalışmaları içermektedir. Bu sayede, diferansiyel rölelerin teorik performansı ile pratik uygulamalardaki performansı karşılaştırılabilmiştir.

8.1 Kullanılan Veri Toplama Yöntemleri

8.1.1 Saha Testleri

Saha Testlerinin Amacı: Uluslararası anlamda kabul görmüş bir markaya ait diferansiyel rölelerin performansını raylı sistem elektrik sistemlerinde test etmek.

Test Alanı ve Koşulları: M8 Bostancı – Parseller metro hattında kullanılan ABB REF615, RED615 rölelerine ait devreye alma anında yapılan test föyleri kullanılmıştır. Değerlendirmeler TS EN 62271-100 standardı ve TEİAŞ Orta Gerilim Kesicileri Tip Teknik Şartnamesi ve imalatçı firma etiket değerleri referans alınarak yapılmıştır.

Test Prosedürleri: Farklı arıza senaryoları oluşturularak diferansiyel rölelerin tepki süreleri ve arıza lokalizasyonu yetenekleri ölçülmüştür.

Şekil 27 – ABB RED615 Rölesine Ait Test Protokolü

KORUMA RÖLESİ TEST PROTOKOLÜ
TEST PROTOCOL of PROTECTION RELAY

Proje No / Project No	
Proje İsmi / Project Name	DUDULLU BOSTANCI METRO PROJESİ
Müşteri / Client	
Tesis / Plant	KOZYATAĞI METRO İSTASYONU
Tesis Bölümü / Plant Section	
Test cihazı (markası ve tipi) Test equipment (make&type)	OMICRON CMC 356

Koruma Rölesi Protection Relay	İmalatçı Manufacturer	Tip Type	Seri No Serial No	In (A)	Un (V)	fn (Hz)
RED615	ABB	DIFF		600/1-1	36	50

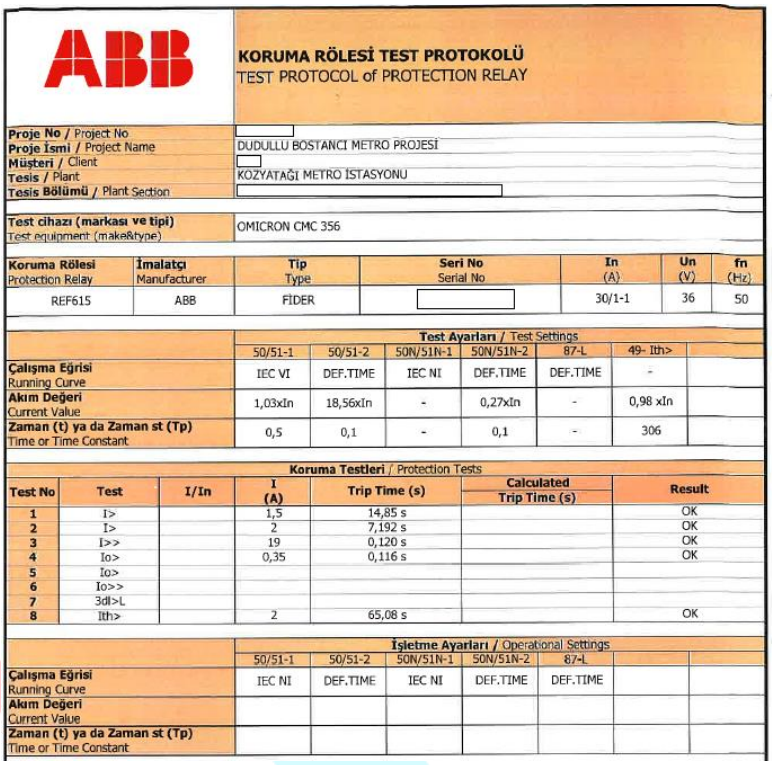
	Test Ayarları / Test Settings						
	50/51-1	50/51-2	50N/51N-1	50N/51N-2	87-L		
Çalışma Eğrisi Running Curve	IEC NI	DEF.TIME	IEC NI	DEF.TIME	DEF.TIME		
Akım Değeri Current Value	0,19	1,6xIn	-	0,2xIn	0,2xIn		
Zaman (t) ya da Zaman st (Tp) Time or Time Constant	0,44	0,3	-	0,3	0,05		

Koruma Testleri / Protection Tests

Test No	Test	I/In	I (A)	Trip Time (s)	Calculated Trip Time (s)	Result
1	I>		0,25	11,16 s		FORWARD
2	I>		0,5	3,169 s		FORWARD
3	I>>		1,7	0,335 s		FORWARD
4	Io>					
5	Io>					
6	Io>>		0,2	0,335 s		FORWARD
7	3dI>L		0,3	0,064 s		OK.
8	U>					

	İşletme Ayarları / Operational Settings						
	50/51-1	50/51-2	50N/51N-1	50N/51N-2	87-L		
Çalışma Eğrisi Running Curve	IEC NI	DEF.TIME	IEC NI	DEF.TIME	DEF.TIME		
Akım Değeri Current Value							
Zaman (t) ya da Zaman st (Tp) Time or Time Constant							

Şekil 28 – ABB REF615 Rölesine Ait Test Protokolü



KORUMA RÖLESİ TEST PROTOKOLÜ
TEST PROTOCOL of PROTECTION RELAY

Proje No / Project No	
Proje İsmi / Project Name	DUDULLU BOSTANCI METRO PROJESİ
Müşteri / Client	
Tesis / Plant	KOZYATAĞI METRO İSTASYONU
Tesis Bölümü / Plant Section	
Test cihazı (markası ve tipi) Test equipment (make&type)	OMICRON CMC 356

Koruma Rölesi Protection Relay	İmalatçı Manufacturer	Tip Type	Seri No Serial No	In (A)	Un (V)	fn (Hz)
REF615	ABB	FİDER		30/1-1	36	50

Test Ayarları / Test Settings

	50/51-1	50/51-2	50N/51N-1	50N/51N-2	87-L	49- Ith>	
Çalışma Eğrisi Running Curve	IEC VI	DEF.TIME	IEC NI	DEF.TIME	DEF.TIME	-	
Akım Değeri Current Value	1,03xIn	18,56xIn	-	0,27xIn	-	0,98 xIn	
Zaman (t) ya da Zaman st (Tp) Time or Time Constant	0,5	0,1	-	0,1	-	306	

Koruma Testleri / Protection Tests

Test No	Test	I/In	I (A)	Trip Time (s)	Calculated Trip Time (s)	Result
1	I>		1,5	14,85 s		OK
2	I>		2	7,192 s		OK
3	I>>		19	0,120 s		OK
4	Io>		0,35	0,116 s		OK
5	Io>					
6	Io>>					
7	3dI>L					
8	Ith>		2	65,08 s		OK

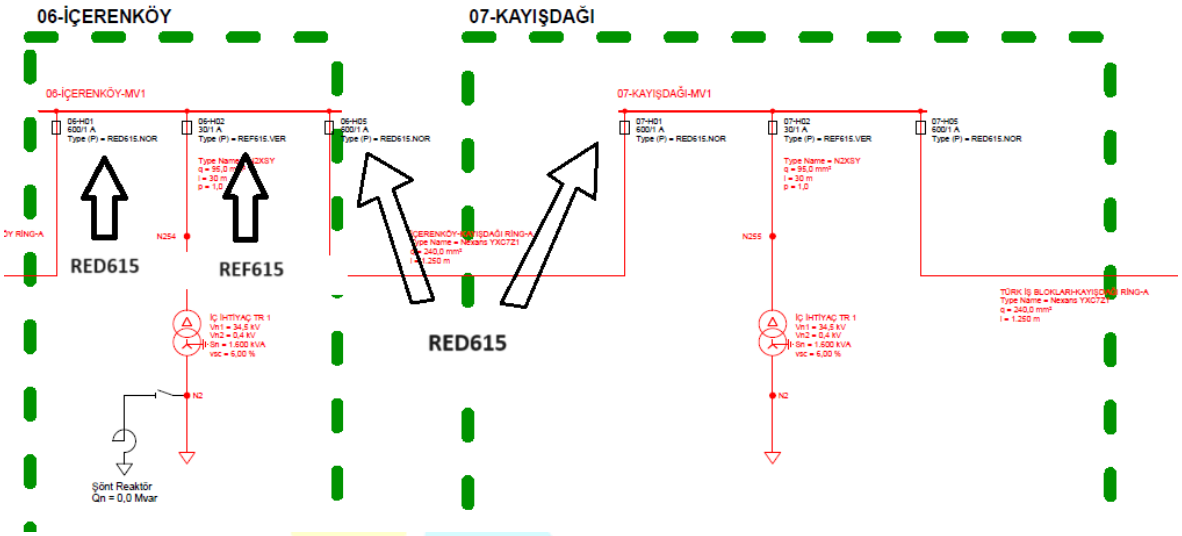
İşletme Ayarları / Operational Settings

	50/51-1	50/51-2	50N/51N-1	50N/51N-2	87-L		
Çalışma Eğrisi Running Curve	IEC NI	DEF.TIME	IEC NI	DEF.TIME	DEF.TIME		
Akım Değeri Current Value							
Zaman (t) ya da Zaman st (Tp) Time or Time Constant							

Fonksiyon	IEC 61850	IEC 60617	IEC-ANSI
Koruma			
Üç faz yönsüz aşırı akım koruma, düşük ayar kademesi	PHLPTOC1	3I>(1)	51P-1(1)
	PHLPTOC2	3I>(2)	51P-1(2)
Üç faz yönsüz aşırı akım koruma, yüksek ayar kademesi	PHHPTOC1	3I>	51P-2(1)
	PHHPTOC2	3I>>(2)	51P-2(2)
Yönsüz toprak arıza koruma, düşük ayar kademesi	EFLPTOC1	Io>(1)	51N-1(1)
	EFLPTOC2	Io>(2)	51N-1(2)
Yönsüz toprak arıza koruma, yüksek ayar kademesi	EFHPTOC1	Io>>(1)	51N-2(1)
	EFHPTOC2	Io>>>(2)	51N-2(2)
Hat diferansiyel koruma, koruma bölgesi içinde güç transformatörü ile	LNPLDF1	3Id/I>(1)	87L(1)

Sistemdeki tüm ring giriş ve çıkış fiderlerinde ANSI 67/67N yönlü korumaları aktif edilmiştir. Ring hatları üzerinde ANSI 87L diferansiyel koruma aktif edilmiştir. Transformatör fiderlerinde ANSI 50(N)/51 korumaları ve ANSI 49 korumaları aktif edilmiştir.

Şekil 29 - İçerenköy – Kayışdağı İstasyonlarındaki REF615 ve RED615 Röleleri (M8 Metro Hattı)



Yapılan saha çalışmalarında fider ve diferansiyel röleler üzerinde devreye alma testleri gerçekleştirilmiş ve röleler incelendiğinde hata oranları ve tepki sürelerinin beklenen aralıkta olduğu anlaşılmıştır. Selektiviteye uygun bir şekilde ayar parametrelerinin rölelerde doğru bir şekilde yapıldığı ve olası bir arıza durumunda hızlı bir şekilde arıza lokalizasyonu yapılarak arızalı bölümün izole edilmesi hedeflenmektedir.

8.1.2 Simülasyon Çalışmaları

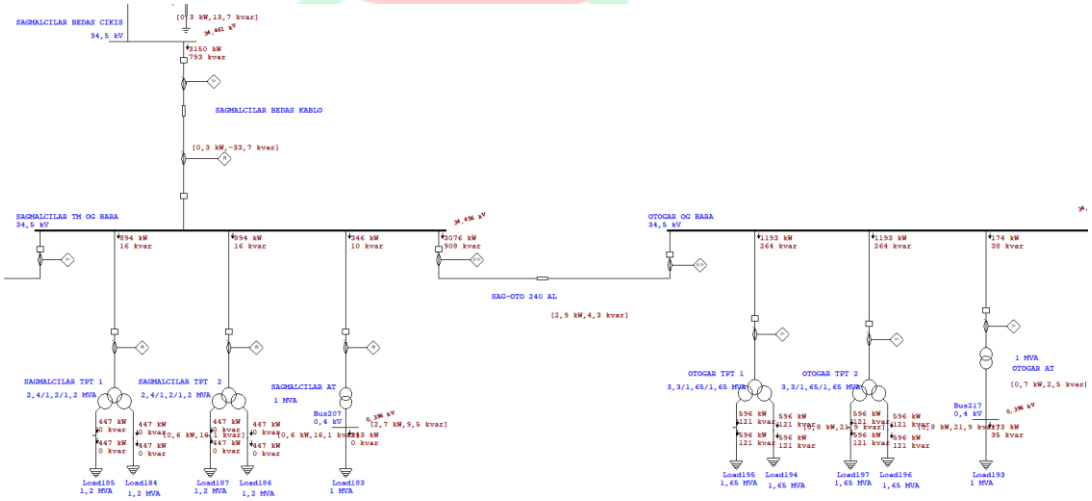
Simülasyonun Amacı: Rölelerin(fider ve diferansiyel) teorik performansını değerlendirmek ve saha testleri ile karşılaştırmak.

Kullanılan Yazılım: ETAP (Electrical Transient Analyzer Program)

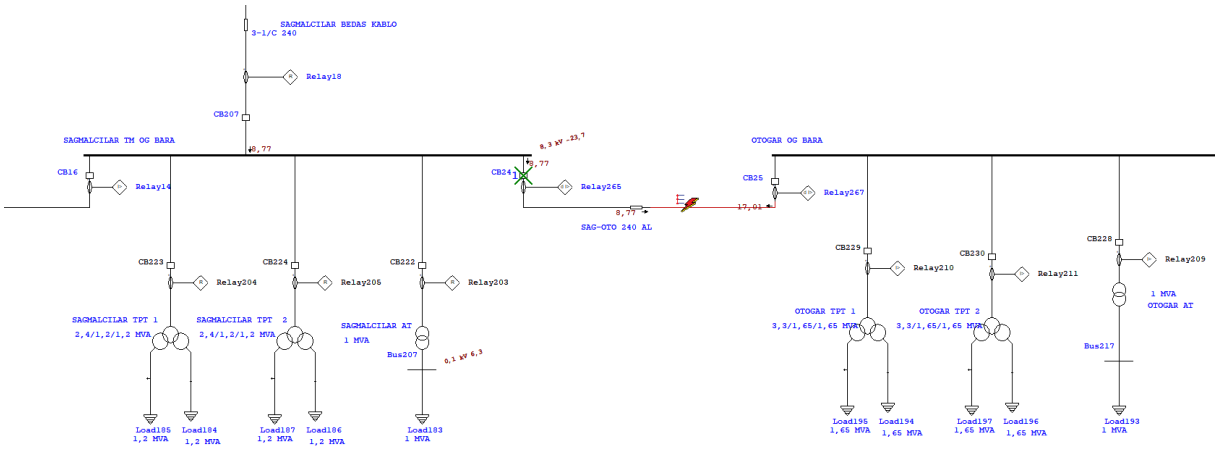
Simülasyon Senaryoları: M1 metro hattında yer alan CER ve iç ihtiyaç trafoları, kesicileri, akım trafoları, fider ve diferansiyel rölelerinin simülasyonları yapılmış ve rölelerin arızalara karşı tepkileri analiz edilmiştir.

Simülasyonda Koruma Cihazı Koordinasyon Analizi (Protective Device Coordination Analysis) kısmından arıza ekleme(Fault Insertion) yapılarak sistemdeki röle selektivitesi izlenmiştir. Bu oluşturulan arıza karşısında 50, 51, 87L fonksiyonlarının senaryoya uygun bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Şekil 30 - ETAP Programında Modellemesi Yapılan M1 Metro Hattından Alınan Belli Bir Kısımdaki Yük Akışı (Sağmalcılar-Otogar)[9]



Şekil 31 - Sağmalcılar-Otogar İstasyonları Arasında Meydana Gelen Arıza Senaryosu



Şekil 31 - Sağmalcılar-Otogar İstasyonları Arasında Meydana Gelen Arızadaki Olay Raporu

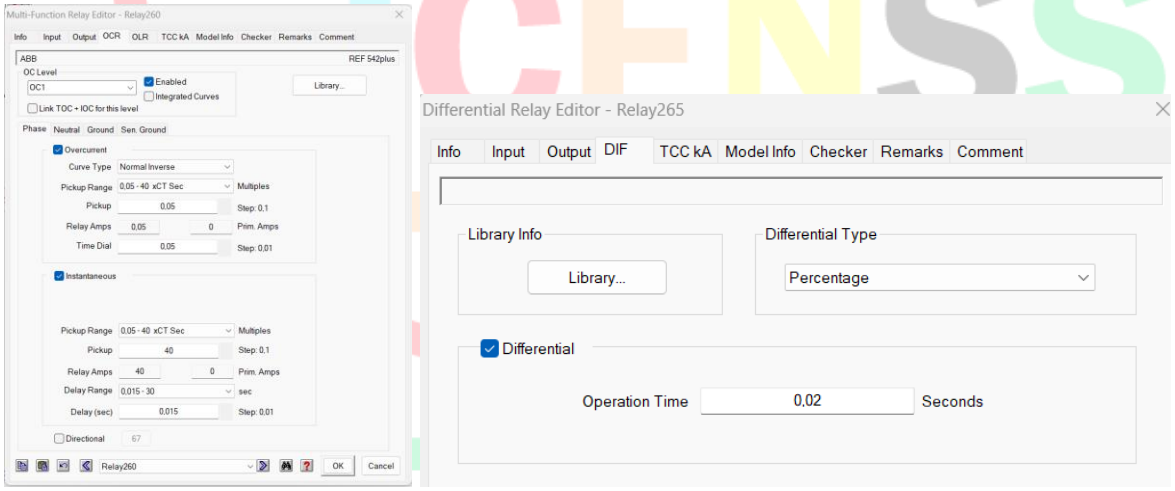
Sequence-of-Operation Events - Output Report: deneme

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between CT23 & SAG-OTO 240 AL. Adjacent bus: OTOGAR OG BARA

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 24-05-2024

Time (...	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Relay267		10,0		Phase - 87
20,0	Relay265		20,0		Phase - 87
30,0	CB24		10,0		Tripped by Relay265 Phase - 87
1031	Relay18	8,767	1031		Phase - OC1 - 51

Şekil 32 – Röle Ayar Parametreleri



Veri Toplama: Simülasyonlardan elde edilen veriler kaydedilmiş ve saha testleri ile karşılaştırılmıştır.

9. Sonuç

Diferansiyel rölelerin raylı sistemlerdeki orta gerilim elektrik tesislerinde hızlı arıza tespiti ve yüksek doğruluk oranları ile etkili bir koruma sağladığı tespit edilmiştir. ETAP simülasyon programı kullanılarak yapılan analizler, saha testleri ile yüksek bir uyum göstermiş ve simülasyonların güvenilir bir referans noktası olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, diferansiyel rölelerin raylı sistemlerdeki uygulamaları üzerine yapılan literatüre önemli katkılar

sağlamaktadır. Diferansiyel rölelerin güvenilirliği, ekonomik verimliliği ve pratik uygulamalardaki etkinliği bu çalışma ile doğrulanmıştır.

Gelecek çalışmalarda, farklı metro hatları ve koşullar altında diferansiyel rölelerin performansı incelenmelidir. Bu, sonuçların genelleştirilebilirliğini artıracaktır. Ayrıca, farklı simülasyon programları kullanılarak yapılacak analizler, diferansiyel rölelerin performansı hakkında daha geniş kapsamlı bilgiler sağlayabilir.

Sonuç olarak, bu araştırmayla raylı sistemlerdeki orta gerilim elektrik tesislerinde diferansiyel rölelerin güvenli ve etkili bir koruma sağladığı gösterilmiştir. Araştırma sonuçları, bu rölelerin pratik uygulamalarda nasıl kullanılabileceği ve sistem güvenliğini nasıl artırabileceği konusunda önemli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, diferansiyel rölelerin ekonomik verimliliği, işletme maliyetlerini düşürmekte ve sistemdeki hasarı en aza indirmektedir. Bu nedenle, diferansiyel rölelerin raylı sistemlerde daha geniş bir kabul görmesi ve uygulanması önerilmektedir.

ISBN: 978-625-372-170-1

10. Kaynakça

[1] Liu, G. (2019) "Application of ETAP in distributed power supply and micro-grid interconnection" , 6-9 Sept., China

[2] Hossain, M., Leevongwat, I, Rastgoufard, P. (2018) "A Current Transformer (CT) Saturation Detection Method for Bus Differential Protection" , 04-07 September 2018, Charleston, SC, USA

[3] Cheng, T., Chen, Q., Gao, Z., Shi, L., (2010) "The fault diagnosis system based on IEC61850 and TEC61970", 29 March 2010 - 01 April 2010, Manchester.

[4] TURAL, B., TURAN, M., DEMİRCİ, İE., (2021) "Tren Raylarından Enerjinin Geri Kazanımı İçin Genetik Algoritma İle Zaman-Planı Optimizasyonu" , Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi

[5] Gajić, Z., Aganović, S., Pajunen R., (2020) "Use Of Standard 87T Differential Protection On Phase Shifting Transformers" , 15th International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2020), Sweden.

[6] ABB Relion® Koruma ve Kontrol 615 Serisi Teknik Kılavuz

[7] Anudeep, B., Nayak, PK., (2022) "Differential power based selective phase tripping for fault-resilient microgrid" Journal of Modern Power Systems and Clean Energy.

[8] Mukherjee, A., Kundu, PK., A, Das, A., (2020) "Transmission line faults in power system and the different algorithms for identification, classification and localization: a brief review of methods" , India.

[9] Karakuş, Furkan. Raylı Sistemlerde Orta Gerilim Elektrifikasyon Sisteminin Modellenmesi ve Besleme Senaryolarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2017.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Conceptual Design of an Innovative Railway Track Inspection Trolley System

Sezer ÖZGÜN[1]
Hüseyin Rıza BÖRKLÜ[2]

Abstract

Railways have become a prominent mode of transportation in recent years due to their low cost, economic efficiency, and environmental friendliness. For this reason, railways are given importance and investments are made all over the world, especially in countries with developed economies. In our country, significant investments have been made in the expansion of high-speed and conventional railway networks, the renovation of existing lines, and the electrification and signaling of entire lines. In parallel with these investments, it has become important to carry out railway track measurements with high-tech maintenance vehicles for a safe, reliable and sustainable railway operation. Therefore, within the scope of this study, a conceptual design of a railway track inspection car was made to determine the geometric irregularities of the railway track and rails. This design process was carried out based on the systematic design approach of Pahl and Beitz. The conceptual design process consists of problem definition, formulation (function diagram), concept generation, and selection. In the conceptual design steps, tools from methodologies such as Quality Function Deployment (QFD), Theory of Inventive Problems Solving (TRIZ / TIPS), and Value Engineering (VE) were used to create an innovative, valuable, and customer-oriented design. Using QFD, customer requirements were translated into design parameters, and important design problems were identified. With the use of the TRIZ, innovative design features were determined, and more innovative solution options were proposed for the problems. Function analysis, one of the important steps of VE, was used to develop function relationships and identify important functions.

Keywords: Conceptual Design, Quality Function Deployment (QFD), Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ / TIPS), Value Engineering (VE), Railway Track Inspection Trolley System

[1] Master's Degree Student, Gazi University, Department of Industrial Design Engineering, Orcid: 0000-0001-7902-415X, ozgunsezer@gmail.com
[2] Prof. Dr., Gazi University, Department of Industrial Design Engineering, Orcid: 0000-0003-2107-6664, rborklu@gazi.edu.tr

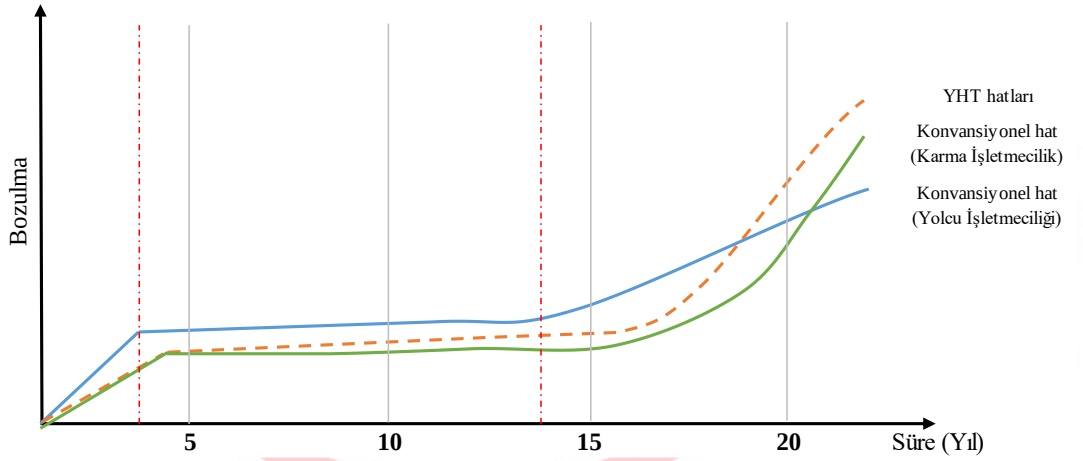
ISBN: 978-625-372-170-1

1.Giriş

Demiryolları düşük maliyetli, ekonomik ve çevreci olduğundan ulaşım modları arasında çok önemli bir yere sahiptir. Özellikle elektrikli ve sinyalli hatların yaygınlaşmasıyla birlikte daha yüksek kapasite de hizmet vererek daha çok yolcu veya yük taşıyabilmekte ve böylelikle fosil yakıtların sebep olduğu çevre ve kava kirliliği önemli oranda azaltılmaktadır. Bu nedenle, Ülkemizde de son yıllarda demiryollarına büyük önem verilmiş ve önemli yatırımlar hayata geçirilerek önemli yüksek hızlı ve hızlı tren hatları işletmeye alınmıştır.

Yeni yapılan bu demiryolu hatlarının işletmeye alınması ile birlikte emniyetli, güvenilir ve sürdürülebilir bir demiryolu taşımacılığı için bakım faaliyetleri önem kazanmaktadır. Çünkü demiryolu hatlarında ilk işletmeye alınmasından itibaren bozulmalar meydana gelmekte ve bu bozulmalar işletmecilik açısından risk oluşturmaktadır (Şekil 60) (Bağdatlı ve Mutlu, 2019). Bu geometrik değişimlerin izlenmesi, ölçülmesi ve gerekli değerlendirmelerin yapılarak uygun bakım ve onarım faaliyetlerinin uygulanması demiryollarının emniyetli, güvenilir ve sürdürülebilir bir şekilde işletilebilmesi için oldukça önemli hale gelmektedir. Bu amaca yönelik olarak demiryollarında periyodik olarak demiryolu hattı geometrisi, ray profili ve hat profili kontrolleri özel olarak tasarlanmış ölçüm araçları ile yapılmaktadır.

Bu nedenle bu çalışma kapsamında demiryolu hattının ve ray profilinin geometrik değişimlerini kontrol etmek ve ilave bir önleyici bakım faaliyeti sağlamak için "Demiryolu Hattı Muayene Aracı" kavramsal tasarımı yapılmıştır.



Şekil 60 - Demiryolu Hattının Zamana Göre Bozulma Eğilimi.

Literatürde demiryolu ölçüm sistemi tasarımı veya ölçüm metodu önerilmesine ilişkin çok sayıda araştırma yer almaktadır. Bu çalışmalardan bazıları lazer sensör, kamera ve görüntü işleme teknolojilerine dayalı ölçüm metotları oluşturma veya ölçüm sistem tasarımını içermektedir (Alippi vd., 2000; Karaduman, 2013; Karaköse vd., 2018; Liu vd., 2011; Molleda, 2016; Tsunashima vd. 2010; Yogesh vd., 2021; Zheng vd., 2012). Bazı çalışmalar ise global konumlandırma sistemi (GPS), ataletsel ölçüm sistemi (IMU), jeodezik ölçüm aletleri kullanılarak ölçümlerde elde edilen verilerin konumsal iyileştirilmesine yöneliktir (Akpınar ve Gülal, 2011; Chen vd., 2018; Glaus, 2006).

Bu çalışma kapsamında Pahl ve Beitz'in geliştirmiş olduğu Sistematik Tasarım Yaklaşımı'nın Kavramsal tasarım adımları uygulanmıştır. Bu tasarım metodolojisi, Dünya

genelinde Kabul gören ve sıklıkla kullanılan bir metodolojidir (Weiss ve Hari, 2015:1). Ancak, yaratıcılık seviyesinin düşük olması nedeniyle inovatif stratejilerle desteklenmektedir (Tomiyana vd., 2010: 2).

Literatürde kavramsal tasarım süreçlerinin diğer metodolojilerin önemli araçlarıyla desteklenmesine yönelik çok sayıda çalışma yer almaktadır. Bazı araştırmacılar:

- Kalite Fonksiyonu Yayılımı (KFY) kullanarak kavramsal tasarım aşamasını daha müşteri odaklı bir yaklaşımla ele almışlardır (Börklü vd., 2018; Caligiana, vd., 2017; Fazeli ve Peng, 2022; Ibusuki ve Kaminski, 2007; Mayda ve Börklü, 2014; Naveiro ve Oliveira, 2018; Rianmora ve Werawatganon, 2021; Weiss ve Hari, 2015; Yamashina vd., 2002; Yan vd., 2022; Zhang vd., 2014).
- Kalite evinin çatısında yer alan korelasyon matrisi tasarım ölçütleri arasındaki çelişkileri tanımlamak için kullanmıştır (Börklü vd., 2018; Mayda ve Börklü, 2014; Naveiro ve Oliveira, 2018; Yamashina vd., 2002; Yan vd., 2022; Zhang vd., 2014).
- Kavramsal tasarım aşamasında daha yaratıcı ve inovatif çözümler elde etmek için Yaratıcı Problem Çözme Teorisini (TRIZ) kullanmışlardır (Börklü vd., 2018; Caligiana, vd., 2017; Kamarudin vd., 2015; Mao vd., 2009; Mayda ve Börklü, 2014; Naveiro ve Oliveira, 2018; Sharaf vd., 2020; Yamashina vd., 2002; Zhang vd., 2014,).
- Mevcut ürün iyileştirilmesi veya yeni ürün tasarımında maliyetlerin düşürülmesi için değer mühendisliği/değer analizi adımlarını uygulamışlardır (Desai vd, 2016; Leber vd., 2014; Silaskar ve Shinde, 2018).

Bu çalışma kapsamında, müşteri taleplerine daha uygun bir tasarım yapılması için Kalite Fonksiyonu Yayılımı metodolojisinden Kalite evi, mevcut problemlerin çözülmesi, yaratıcılık seviyesinin artırılması, inovatif bir tasarımın elde edilebilmesi için TRIZ'in çelişkiler matrisi, yaratıcı prensipler, bilimsel etki araçları, daha değerli bir tasarım elde etmek için Değer Mühendisliğinin fonksiyonel analiz aracı kullanılmıştır.

2.Yöntem

Bu çalışma kapsamında Pahl ve Beiz'in yaklaşımının Kavrsamsal Tasarım adımları esas alınmıştır (Pahl vd., 2010: 156). Buna göre kavramsal tasarım sürecinde aşağıdaki adımlar uygulanmıştır.

1. Soyutlama yapılarak tasarım şartnamesinden temel problemler belirlenir.
2. Tüm fonksiyon / alt fonksiyonlar belirlenir ve bir fonksiyon şeması hazırlanır.
3. Alt fonksiyonları karşılayacak çözüm (çalışma) ilkeleri araştırılır.
4. Bu ilkelerinin uygun birleşimleri ile tasarım varyantları oluşturulur.
5. Seçim kartı ön ve kaba bir seçim yapılır.
6. Ön seçimi geçen tasarım konseptleri şematik olarak gösterilir.
7. İkinci (amaçlar ağacı) ve gerekirse üçüncü (değer profil diyağramı) bir değerlendirme ile en uygun / optimum tasarım konsepti seçilir.

Tasarım şartnamesinin oluşturulması için pazarda yer alan demiryolu muayene arabaları incelenerek önemli performans ölçütleri belirlenmiştir. Daha sonra teknolojik dönüşüm kanunları aracı kullanılarak temel tasarım ilkeleri belirlenmiştir. Mudge matrisi kullanılarak tasarım şartnamesinde yer alan fonksiyonların ve özelliklerin önem seviyesi tayin edilmiştir. Kalite evi kullanılarak önemli tasarım ölçütleri ve bu tasarım ölçütleri arasındaki ilişkiler değerlendirilerek önemli tasarım problemleri tespit edilmiştir. Çelişkiler matrisi ve yaratıcı prensipler kullanılarak uygun çözüm ilkeleri oluşturulmuştur. Önemli fonksiyonların belirlenmesi için Değer Mühendisliğinin fonksiyonel analiz adımları uygulanmıştır. Çözüm ilkelerinin inovatif bir şekilde belirlenmesi için bilimsel etkiler aracı kullanılmıştır.

3.İnovatif Demiryolu Muayenesi Araci Tasarımı

3.1.Tasarım Şartnamesi

Tasarım şartnamesinin oluşturulması için öncelikli olarak ticari ölçüm arabalarına ait performans parametreleri incelenmiştir. Piyasa araştırmasından elde edilen sonuçlar teknolojik dönüşüm kanunları ile birlikte değerlendirilerek ölçüm arabasının bundan sonraki süreçte nasıl bir gelişim eğilimi göstereceği tahmin edilmiştir.

3.1.1.Piyasa Araştırması

Bu çalışma kapsamında çok sayıda ticari firmanın ürün katalogları incelenmiştir. Öne çıkan 10 demiryolu ölçüm ve muayene arabası fonksiyonel özellikleri ve çeşitli performans ölçütlerine göre karşılaştırmaları yapılmıştır (Tablo 19).

3.1.2.Teknolojik Dönüşüm Kanunları

Bu çalışma kapsamında teknolojik dönüşümün her aşamasında uygulanabilir olan artan ideallik derecesi kanunu, üstü düzey sisteme geçiş kanunu, alt sistemlerin düzensiz dönüşümü kanunu ve artan dinamizm/esneklik kanunları dikkate alınarak ürün geliştirme esasları belirlenmiştir (Fey ve Rivin, 2005: 112-162). Bu kanunlara göre belirlenen önemli özellikler

Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 19- Mevcut Demiryolu Muayene Arabaları Özellikleri

ARABA ÖZELLİKLERİ	**ÖLÇÜM ARABALARI**									
	KRAB 84.09SA	*KRAB Turtle*	*Trackscan Inertial TSI*	*Amberg GRP 1000*	*Amberg IMS 1000*	*Trackscan CADD-E*	*PTST-P*	*Track T2*	*GeismarEmerald*	*Geismar Diamond S2*
Geometrik Ölçüm Sistemi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ray Profili Ölçüm Sistemi	X	✓	X	X	X	✓	✓	✓	X	X
Ray Kusuru Ölçüm Sistemi	X	X	X	X	X	✓	X	X	X	X
Boşluk Ölçüm Sistemi	X	✓	X	X	X	X	✓	X	X	X
Makas Ölçümü	✓	✓	X	BY	BY	X	✓	X	X	✓
Ağırlık (kg)	120	100	26	27	45	BY	BY	BY	63	25
Ölçüm Hızı(km/h)	30	25	5,4	3	2,5	16	BY	BY	20	BY
Ölçüm Süresi/Mesafesi	20	8 saat	430	8 saat	BY	60 km	BY	BY	8 saat	9 saat
Araç Bağlantısı	✓	✓	X	X	X	X	X	X	✓	X
Deray Önleme ve Koruma Sistemi	✓	X	X	X	X	X	✓	X	✓	✓
Veri Kontrol ve Görüntüleme Sistemi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓
BY: Bilgi Yok										

Piyasa araştırması ve bu kanunlara göre belirlenen ölçütler doğrultusunda ölçüm arabasına ait gereksinimler belirlenmiş ve bir tasarım şartnamesi oluşturulmuştur (Tablo 21). Gereksinimler mümkün olduğunca nicel olarak ifade edilmiştir. Bu gereksinimleri açık bir şekilde istek (İ) ve arzu (A) olarak düzenlenmiştir (Pahl vd, 2010: 142).

Tablo 20- Teknolojk Dönüşüm Kanunlarına Göre Tasarım İlkeleri

Teknolojik Dönüşüm Kanunu	**Belirlenen Önemli Tasarım İlkeleri**
Artan İdeallik Derecesi Kanunu	Basit tasarım, düşük maliyet, verimlilik, fonksiyonellik, az kaynak tüketimi
Artan Dinamizm/Esneklik Kanunu	Uyumluluk (Performans ve çevre şartlarına), fonksiyonellik, esneklik
Alt Sistemlerin Düzensiz Dönüşümü Kanunu	Daha az çelişki
Daha Yüksek Sisteme Geçiş Kanunu	Basit tasarım, fonksiyonellik

Tablo 21 - Tasarım Şartnamesi

No	İ/A	Müşteri Talepleri/İhtiyaç Listesi
1		***Foksiyonel Talepler***
	İ	Manuel veya bir demiryolu aracına bağlı olarak kullanılabilmeli
	İ	Normal demiryolu hattında ve makaslarda kullanılabilmeli
	İ	Yol geometrisi ölçümü yapabilmeli
	İ	Ray profili ölçümü yapabilmeli
	İ	Tünel, köprü, platform vb. yapılarda gabari ölçümü yapabilmeli
	İ	Yoldan çıkmaya karşı emniyet tertibatı olmalı
	İ	Farklı ekartman tiplerine uyumlu olmalı (1000-1600)
	İ	Farklı ray tiplerine uyumlu olmalı (Normal ray, oluklu ray)
2		**Montaj/Bakım/Onarım Talepleri**
	İ	Kolay taşınabilir olmalı (Ağırlık <110)
	İ	Montaj ve demontajı kolaylıkla yapılabilmeli
	A	Az bakım gerektirmeli, bakımı ve onarımı kolay olmalı
	A	Tasarımı vücut ergonomisine uygun olmalı
	İ	Dışarıdan kaynaklı titreşim ve darbelerden etkilenmemeli
3		***Diğer Talepler***
	İ	Maliyeti Düşük olmalı
	A	Bilgisayar ekranı ara yüzü basit, kullanımı kolay ve sayısal/grafik verileri karşılayabilmeli
	İ	Manuel veya Demiryolu aracına bağlı kullanımda 30 km/h hız ile ölçüm sağlamalı
	İ	Ölçüm ve depolama sırasındaki gerekli çevre, iklim ve diğer işletme koşullarını sağlamalıdır.

3.2.Önemli Problemlerin Belirlenmesi

Tasarım şartnamesinde yer alan istek ve arzuların önem seviyesi "Mudge matrisi" aracı kullanılarak tayin edilmiştir (Tablo 22). Matrisde yer alan her bir parametre ikili olarak karşılaştırılmış ve önem seviyesi küçük (1), orta (2), büyük (3) ve eşit (0) olarak belirlenmiş ve toplam ağırlıklarına göre de sıralanmıştır. Buna göre, demiryolu muayene arabasının emniyetli ve doğru sonuç vermesi, yüksek hız ve düşük maliyet gibi özellikler ile yol geometrisi ölçümü, makas ölçümü, ray profil ölçümü ve gabari ölçümü gibi fonksiyonel özellikler ön plana çıkmıştır.

Tablo 23). Buna göre demiryolu muayene arabası için 15 adet tasarım parametresi belirlenmiş ve bunların müşteri talepleri ile ilişkisi az (1), orta (3) ve çok (9) olmak üzere 3 seviyede düzenlenmiştir. Mutlak ağırlıklar ve bağıl önem seviyesi hesaplanarak dinamizm,

güvenilirlik, fonksiyonellik ve ölçüm hızı ölçütleri önemli tasarım ölçütleri olarak belirlenmiştir.

Tablo 22 - Mudge Matrisi

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	**Müşteri Talepleri**		**Toplam Ağırlık**	**Önem Seviyesi**
A	A1	A2	A2	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	L2	0	A1	A1	A3	*Yol Geometrisi*	**A**	**31**	**0,8**
	B	B1	B1	B3	B3	B1	B2	B3	B3	B3	L3	M3	B1	B1	B2	*Makas Ölçümü*	**B**	**24**	**0,6**
		C	D1	C3	C3	C1	C3	C3	C3	C3	L3	M3	N1	O1	C3	*Ray Profili*	**C**	**22**	**0,6**
			D	D2	D2	0	D3	D3	D3	D3	L3	M3	0	O1	D2	*Manuel-Araca*	**D**	**18**	**0,5**
				E	E2	G3	E2	E2	E2	E2	L3	M3	N3	O3	P3	*Farklı*	**E**	**10**	**0,3**
					F	G3	F2	F1	F1	F1	L3	M3	N3	O3	P3	*Farklı Ray*	**F**	**5**	**0,1**
						G	G2	G2	G2	G2	L3	M3	N3	O2	P3	*Taşınabilirlik*	**G**	**14**	**0,4**
							H	H2	0	H3	L3	M3	N3	O3	P3	*Montaj Kolaylığı*	**H**	**5**	**0,1**
								I	J1	K1	L3	M3	N3	O3	P3	*Bakım Kolaylığı*	**I**	**0**	**0,0**
									J	J1	L3	M3	N3	O3	P3	*Kullanım Kolaylığı*	**J**	**2**	**0,1**
										K	L3	M3	N3	O3	P2	*Ergonomi*	**K**	**1**	**0,0**
											L	0	L2	O1	L3	*Emniyet*	**L**	**37**	**0,9**
												M	M3	M3	M3	*Doğru sonuç*	**M**	**39**	**1,0**
													N	O1	N3	*Yüksek Hız*	**N**	**25**	**0,6**
														O	P3	*Düşük Maliyet*	**O**	**24**	**0,6**
															P	*Gabari ölçümü*	**P**	**23**	**0,6**

Önem Seviyesi
1-Küçük fark
2- Orta Fark
3-Büyük Fark
0-Eşit

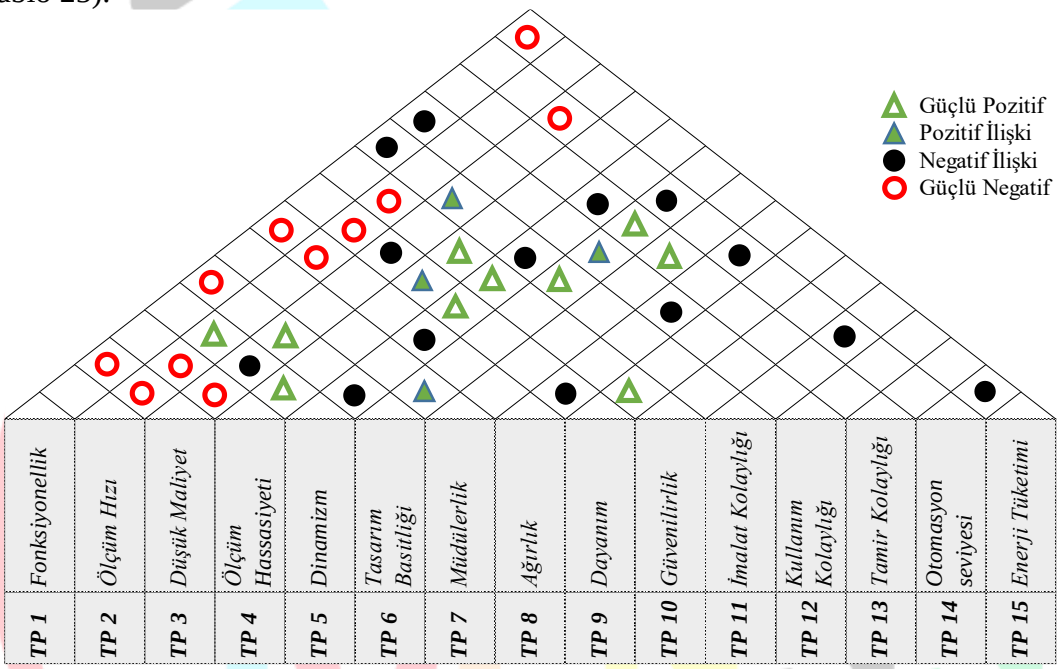
Tablo 23 - Kalite Evi

				Tasarım Ölçütleri														
		Fij Çok =9, Orta=3, Az=1	*Önem Seviyesi(0-1)*	*Fonksiyonellik*	*Ölçüm Hızı*	*Düşük Maliyet*	*Ölçüm Hassasiyeti*	*Dinamizm*	*Tasarım Basitliği*	*Müdülerlik*	*Ağırlık*	*Dayanım*	*Güvenilirlik*	*İmalat Kolaylığı*	*Kullanım Kolaylığı*	*Tamir Kolaylığı*	*Otomasyon seviyesi*	*Enerji tüketimi*
			WG	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 6	TP 7	TP 8	TP 9	TP 10	TP 11	TP 12	TP 13	TP 14	TP 15
Müşteri Talepleri	**A**	*Yol Geometrisi*	0,8	9	9	9	9	9	9	9	9		9	3	3	3	3	9
	B	*Makas Ölçümü*	0,6	9	9	9	9	9	9	9	9		9	3	3	3	3	9
	C	*Ray Profili Ölçümü*	0,6	9	9	9	9	9	9	9	9		9	3	3	3	3	9
	D	*Manuel-Araca Bağlı*	0,5	9	9	9		9	9	9	9	9	9	3	3	3		
	E	*Farklı Ekartmanlara*	0,3	9		9		9	3	9	9			1		1	3	
	F	*Farklı Ray Tiplerine*	0,1	9		9		9	3	9	9			1		1	3	
	G	*Taşınabilirlik*	0,4	9	9			9		9	9				9			3
	H	*Montaj Kolaylığı*	0,1	9	1			9	9	9						3		
	I	*Bakım Kolaylığı*	0,0	9	1			9	9	9						9		
	J	*Kullanım Kolaylığı*	0,1	9	1				9		9				9		9	
	K	*Ergonomi*	0,0	1	1			1	9	9	9				9	3	9	
	L	*Emniyet*	0,9		9			9				9	9				9	
	M	*Doğru sonuç*	1,0	9	9		9	9					9					
	N	*Yüksek Hız*	0,6	9	3	9	9	9	9		9	9	9	3	1	1	9	9
	O	*Düşük Maliyet*	0,6	9	9	9	9	9					9				9	
	P	*Gabari ölçümü*	0,6	9	9	9	9	9	9	9	9		9	3	3	3	3	9
		Mutlak Ağırlık		**55,87**	**55,67**	**36,69**	**43,38**	**63,95**	**30,69**	**30,00**	**35,08**	**18,46**	**56,08**	**9,62**	**11,87**	**8,79**	**29,38**	**24,62**
		Bağıl Önem Seviyesi (%)		**10,95**	**10,91**	**7,19**	**8,50**	**12,54**	**6,02**	**5,88**	**6,88**	**3,62**	**10,99**	**1,88**	**2,33**	**1,72**	**5,76**	**4,83**

Kalite evinin çatı matrisi ile tasarım ölçütleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmiş ve önemli tasarım problemleri tespit edilmiştir (Şekil 61). Buna göre 15 tasarım ölçütü arasında ilişki türleri pozitif, güçlü pozitif, negative ve güçlü negative olmak üzere 4 seviyede

belirlenmiştir. Tasarım ölçütleri arasında 19 problem veya çelişki tespit edilmiş, bu çelişkiler daha sonra TRIZ çelişkileri ile eşleştirilerek uygun çözüm ilkeleri belirlenmiş ve tanımları açıkça yazılmıştır (Tablo 24 ve

Tablo 25).



Şekil 61 - Korelasyon Matrisi

Tablo 24 - Önemli Tasarım Problemleri

No	Çelişkiler	No	Çelişkiler	No	Çelişkiler
P1	Fonksiyonellik-Tasarım Basitliği	**P8**	Ölçüm Hızı-Dayanım	**P15**	Ağırlık-Kullanım Kolaylığı
P2	Fonksiyonellik-Ağırlık	**P9**	Ölçüm Hızı-Güvenilirlik	**P16**	Otomasyon seviyesi-Tasarım Basitliği
P3	Fonksiyonellik-İmalat kolaylığı	**P10**	Dinamizm-Tasarım Basitliği	**P17**	Otomasyon seviyesi-Ağırlık
P4	Fonksiyonellik-Kullanım kolaylığı	**P11**	Dinamizm-Ağırlık	**P18**	Otomasyon seviyesi-İmalat kolaylığı
P5	Fonksiyonellik-Enerji Tüketimi	**P12**	Dinamizm-İmalat Kolaylığı	**P19**	Otomasyon seviyesi-Enerji Tüketimi
P6	Ölçüm Hızı-Ölçüm Hassasiyeti	**P13**	Dinamizm-Tamir Kolaylığı		
P7	Ölçüm Hızı-Ağırlık	**P14**	Ağırlık-Dayanım		

3.3.Fonksiyon Analizi

Fonksiyon analizi; fonksiyonları tanımlama, tasnif, ilişkilerini geliştirme, maliyetlerini belirleme, iyileştirme potansiyellerini belirleme ve değer analizi kapsamının belirlenmesi adımlarından oluşur (Mandelbaum ve Reed, 2006: 54-62).

Tablo 25 - Çözüm İlkeleri Tanımları

Problem No	Çözüm İlkesi
P1-P3-P4-P6-P7-P10-P17-P19	Yüksek hızda ölçüm hassasiyeti sağlamak, cihazın karmaşıklığını azaltmak, imalat ve kullanım kolaylığı sağlamak için mekanik sistemler yerine alternatif sistemler kullanılabilir.
P2	Ölçüm araba ağırlığını azaltabilmek için kopyalama ilkesine göre ölçümü doğrudan yapmak yerine görsel örneği ile yapılabilir
P5	Bu çözüm ilkesi gereğince faydalı eylemin sürekli olarak gerçekleştirilmesi sağlanabilir.
P8-P15	Dayanımı artırmak ve artan ağırlığı azaltmak için lokal olarak daha dayanımlı malzeme
P9	Hıza bağlı artan olası dış etkilere karşı fonksiyonların daha doğru karşılanmasını sağlamak için sistemin esneklik derecesi artırılabilir ve sistem daha dinamik hale getirilebilir.
P11	Genellik ilkesi gereğince bir sistem elemanının birden fazla fonksiyonu bir arada yapmasını sağlayarak diğer sistem elemanına olan ihtiyaç ortadan kaldırılabilir.
P12-P13-P18	Sistemleri modüler yaparak imalat ve tamiratın daha kolay olması sağlanabilir.
P14	Ağırlığı artırmadan dayanımı sağlayabilmek için kompozit malzeme kullanılabilir.
P16	Ölçüm arabasına ait bazı verilerin ölçüm öncesinde girilmesi sağlanabilir.

3.3.1.Fonksiyonların Tanımlanması ve Tasnifi

Bu adımda, öncelikle sistemin önemli bileşenleri belirlenmiş ve bu bileşenlerin fonksiyonları mümkün olduğunca ölçülebilir bir isim ve fiil ile tanımlanmıştır. İkinci adımda fonksiyonlar birincil ve ikincil fonksiyon olmak üzere 2 kategoride sınıflandırılmıştır. Buna göre, demiryolu muayene arabasının uzunluk ölçer, açı ölçer, konum belirler, sinyal dönüştürür, veri sağlar, kontrol sağlar ve bileşenleri destekler fonksiyonları birincil fonksiyon olarak belirlenmiştir.

Tablo 26 - Demiryolu Muayene Arabası Alt Sistemleri ve Fonksiyonları

Sıra No	Sistem	Bileşen	Fonksiyon		Fonksiyon tipi	
			İsim	***Fiil***	***Birincil fonksiyon***	***İkincil fonksiyon***
1	Yol geometrisi ölçüm sistemi	Mesafe sensörü	Uzunluk	Ölçer	X	
		Eğim sensörü	Açı	Ölçer	X	
		İletim kablosu	Sinyal	İletir		X
2	Ray profili ölçüm sistemi	Profil sensörleri	Uzunluk	Ölçer	X	
		İletim kablosu	Sinyal	İletir		X
3	Gabari ölçüm sistemi	Mesafe sensörü	Uzunluk	Ölçer	X	
		İletim Kabloları	Sinyal	İletir		X
4	Konum belirleme sistemi	GPS	Konum	Belirler	X	
		İMU	Konum	Belirler	X	
		Odometre	Konum	Belirler	X	
		İletim kabloları	Sinyal	İletir		X
5	Veri İşleme, Kontrol, İzleme Sistemi	Veri işleme birimi	Sinyal	Dönüştürür	X	
		Bilgisayar	Veri	Sağlar	X	
			Kontrol	Sağlar	X	
6	Besleme sistemi	Pil	Enerji	Sağlar		X
7	Otomatik kontrol sistemi	Yaklaşım sensörü	Uzunluk	Ölçer		X
		Aktüatör	Hareket	Sağlar		X

8	Taşıyıcı sistem	Gövde	Bileşenleri	Destekler	X	
		Bağlantı elemanları	Bileşenleri	Sabitler		X
		Tekerlek	Hareket	Sağlar		X
		Yay/Sönümleme elemanı	Esneklik	Sağlar		X
9	Araç bağlantısı sistemi	Gövde	Bileşenleri	Destekler	X	
		Bağlantı elemanları	Bileşenleri	Sabitler		X

3.3.2.Fonksiyon İlişkilerinin Geliştirilmesi

Fonksiyon ilişkilerini geliştirilmek için Fonksiyon Analiz Sistem Tekniği (FAST) diyagramı hazırlanır. FAST diagramı, soldan sağa doğru "Bu fonksiyon nasıl yapılır?" sorusuna cevap verecek şekilde; sağdan sola doğru "Bu fonksiyon neden yapılır?" sorusuna cevap verecek şekilde oluşturulur. Yukarıdan aşağıya doğru ise aynı anda gerçekleşen diğer fonksiyonlar gösterilir. Ayrıca, diyagramın üst kısımında tasarım amaçları, sürekli fonksiyonlar ve geçici fonksiyonlar da gösterilebilir. Ancak bu çalışma kapsamında geliştirilen demiryolu muayene arabası karmaşık bir system olduğu için sistemsel düzeyde değerlenlendirilmiş ve sadece bu sistemlerin ana fonksiyonlarına odaklanılmıştır (Mandelbaum ve Reed, 2006: 54-62).

3.3.3.Fonksiyon Maliyetlerinin Belirlenmesi

Fonksiyon maliyetlerinin belirlenmesi için Fonksiyon-Maliyet tablosu oluşturulmuştur. Buna göre 9 alt sistemin maliyeti ile bu maliyetin fonksiyonlara dağılımı yüzdelik oranlarla tahmin edilmiştir. Buna göre 12 fonksiyon arasından uzunluk ölçer, konum belirler, veri sağlar ve kontrol sağlar fonksiyonları toplam maliyetin önemli bir kısmını içermektedir (Tablo 27).

Tablo 27 - Fonksiyon Maliyetleri

	Toplam Maliyet ($)	**Uzunluk Ölçer**	**Açı Ölçer**	**Sinyal İletir**	**Konum Belirler**	**Sinyal Dönüştürür**	**Veri Sağlar**	**Konrol Sağlar**	**Enerji Sağlar**	**Hareket Sağlar**	**Bileşenleri Destekler**	**Bileşenleri Sabitler**	**Esneklik Sağlar**
		Fonksiyon Maliyeti ($)											
Toplam Fonksiyon Maliyeti ($)	**22.800**	**6.775**	**675**	**575**	**9.800**	**900**	**1.500**	**1.000**	**800**	**315**	**360**	**90**	**210**

3.3.4.Fonksiyon İyileştirme Potansiyellerinin Belirlenmesi ve Çalışma Kapsamının Daraltılması

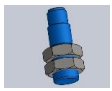
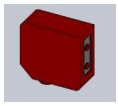
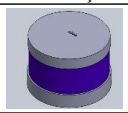
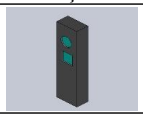
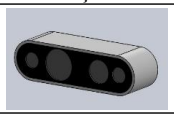
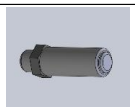
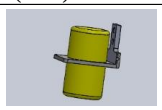
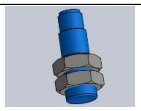
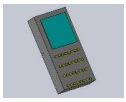
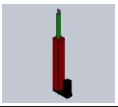
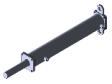
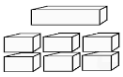
Değer analizi için en uygun alan maliyetlerin yüksek olduğu fonksiyonlardır. Bunun için Pareto analizi kullanılmış ve tüm maliyetlerin yaklaşık % 84'ünü oluşturan uzunluk ölçer, konum belirler, veri sağlar ve kontrol sağlar fonksiyonları değer analizi çalışma kapsamını içermektedir.

3.4.Alt ve Genel Tasarımlar

Bu adımda ölçüm arabasının alt fonksiyonları için çözüm ilkeleri belirlenmiştir (Şekil 62). Çözüm ilkeleri belirlenirken TRIZ'in bilimsel etkiler bilgi kaynağı daha yaratıcı çözümler bulmak için kullanılmıştır. Bu çözüm ilkeleri daha sonra tüm fonksiyonu karşılayacak çözüm seçeneklerini oluşturmak için birleştirme yöntemi ile birleştirilmiştir. Sistematik birleştirme yöntemiyle (Pahl vd., 2010: 102) teorik olarak 7 alt fonksiyona karşılık gelen 12 sistem bileşeni için çok sayıda çözüm seçeneği oluşturmak mümkündür. Bu çalışma kapsamında daha

uygulanabilir olduğu değerlendirilen 6 çözüm seçeneği değerlendirme kapsamına alınmıştır (Tablo 28).

Morfolojik Kart

Sıra no	Alt Fonksiyonlar	Bileşenler	1	2	3	4
1	Uzunluk ölçer	Mesafe Ölçme Sensörü	 Ultrasonik Sensör	 Radar Sensör	 Lazer Sensör	
2	Uzunluk ölçer	Profil Ölçme Sensörü	 Lazer Üçgenleme Profil Ölçme	 Lazer-CMOS Profil Ölçme	 Lazer-TOF Profil Ölçme	
3	Uzunluk ölçer	Gabari Ölçme Sensörü	 LİDAR Tarayıcı	 Time-of-Flight (TOF) Kamera	 Stereo Görüş Kamera	
4	Uzunluk ölçer	Yakınlık sensörü	 Endüktif sensör	 Kapasitif sensör	 Optik sensör	 Ultrasonik Sensör
5	Konum belirler	Konum belirleme sistemi	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou
6	Konum belirler	Ataletsel Ölçüm Sistemi (IMU)	MEMS Tabanlı IMU	Fiber Optik IMU	Piezoelektrik IMU	Jiroskopik IMU
7	Konum belirler	Odometre	GPS Tabanlı Odometre	Optik Odometre	Manyetik Odometre	Mekanik Odometre
8	Veri sağlar / Kontrol Sağlar	Bilgisayar	 Dizüstü Bilgisayar	 El Bilgisayarı		
9	Enerji sağlar	Batarya	Li-ion	Ni-MH	Li-PO	LiFePO4
10	Hareket Sağlar	Kaldırma Mekanizması	 Lineer vida	 Lineer Motor	 Pnömatik Silindir	 Hidrolik Silindir
11	Uzunluk azalt	Ekartman Ayarlama Birimi	 Bölümleme	 Katlama	 İç içe geçme	 Lineer vida
12	Ağırlığı azalt	Taşıyıcı Gövde	Porozite	Nano gözenekli malzemeler	Kompozit Malzeme	Metal Köpük

Şekil 62 - Morfolojik Kart

Tablo 28 - Demiryolu Muayene Arabası İçin Çözüm Seçenekleri

Seçenek 1	1.3	2.1	3.1	4.2	5.1	6.1	7.2	8.1	9.1	10.1	11.1	12.3
Seçenek 2	1.3	2.2	3.3	4.3	5.1	6.2	7.4	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2
Seçenek 3	1.2	2.1	3.1	4.4	5.1	6.4	7.2	8.2	9.3	10.3	11.3	12.3
Seçenek 4	1.3	2.3	3.3	4.3	5.1	6.4	7.3	8.1	9.2	10.4	11.4	12.1
Seçenek 5	1.1	2.2	3.2	4.1	5.1	6.3	7.2	8.1	9.4	10.2	11.3	12.1

Seçenek 6	1.2	2.1	3.3	4.2	5.1	6.1	7.3	8.2	9.3	10.1	11.2	12.3

3.5.Ön Değerlendirme

Çözüm seçeneklerinin azaltılması için "Seçim Kartı" kullanılmıştır (Pahl vd., 2010: 104-106). Şekil 63'de çözüm seçenekleri için ön değerlendirme yapmak amacıyla hazırlanan "Seçim Kartı" gösterilmiştir. Seçim kartı ile çözüm seçenekleri tüm işlevlere uyumlu olma, tasarım şartnamesini karşılama, ilke olarak gerçekleştirilebilirlik, izin verilebilir maliyet, emniyet şartlarını karşılama, tasarım şirketince tercih edilebilme ve yeterli bilgi ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Belirlenen ilk 4 ölçüt uygun olmayan çözümlerin elenmesi için kullanılmıştır. Seçim ve karar ölçütleri (+, -, ?, !) kullanılarak uygun olan çözüm seçenekleri belirlenmiştir.

3.6.Önemli Tasarımlar

Ön değerlendirme işleminden sonra çözüm seçenekleri farklı araçlar kullanılarak değerlendirilmelidir. Ancak, çözüm seçenekleri değerlendirilmeden önce hem teknik hem de ekonomik açıdan yapılabilirliğinin ortaya konulması gerekir. Bunun için en uygun çözümlerin önemli özellikleri ile ilgili yeterli bilgi toplanmalı ve hazırlanacak bu bilgiler ile çözümün daha sağlam ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi sağlanmalıdır. Bu bilgilerin ortaya konulması için basit kabullere dayalı kaba hesaplamalar yapılabilir, basit kroki ve resimler çizilebilir, analiz ve gösterime yardım edecek modeller oluşturulabilir, kullanılacak malzeme hakkında pazar araştırması yapılabilir, performans ve iyileştirmelere yönelik niceliksel ifadelerin elde edilebilir (Pahl vd., 2010: 185-192).

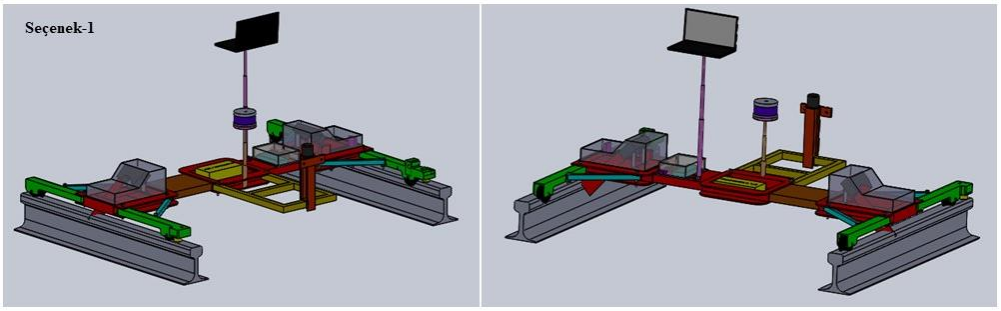
Bu çalışma kapsamında da Solidworks ortamında üç boyutlu çizimler yapılmış ve bu seçeneklerin ağırlık, boyut, ölçüm hassasiyeti konularında araştırmalar yapılmıştır (Tablo *29,* Resim-1, Resim 2, Resim3).

SEÇİM KARTI									
Çözüm Seçenekleri	Tüm işlevlere uyumlu	Tasarım şartnamesini karşılama	Prensipte gerçekleştirilebilir.	İzin verilebilir maliyet	Emniyet şartlarını karşılama	Tasarım şirketince tercih edilebilir.	Yeterli Bilgi	SEÇİM KRİTERLERİ + Evet - Hayır ? Bilgi Eksikliği ! Tasarım şartnamesini konrol et KARAR + Çözümü sürdür - Çözümü çıkar ! Değişiklikler için şartnameyi kontrol et	
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**GÖRÜŞLER**	**Karar**
ÇS 1	+	+	+	?	+	+	?	Çözüm uygun olabilir. Yüksek hassasiyetle ölçüm yapabilir ve konum belirleyebilir.	+
ÇS 2	+	?	+	+	+	?	?	Maliyet uygun. Tasarım şartnamesini tam olarak karşılanması için yüksek hassasiyetli ray profili ölçümü yapabilmesi hakkında bigi toplanmalı. Uygun diğer seçenekler tercih edilebilir.	-
ÇS 3	+	+	+	?	+	?	?	Bütün ölçümleri yüksek hassasiyetle yapabilir. Ama maliyeti oldukça yüksek oabilir. Tasarım şirketlerinde tercih edilebilirliği için bilgi toplanmalı.	-
ÇS 4	+	?	+	?	+	+	?	Maliyeti yüksek olabilir. Hassas ölçüm yapma kapasitesi ile ilgili bilgi toplanmalı. . Uygun diğer seçenekler tercih edilebilir.	-
ÇS 5	+	+	+	+	+	+	?	Çözüm uygun olabilir. Daha fazla bilgi toplanmalı.	+
ÇS 6	+	+	+	+	+	+	?	Çözüm uygun olabilir. Daha fazla bilgi toplanmalı.	+

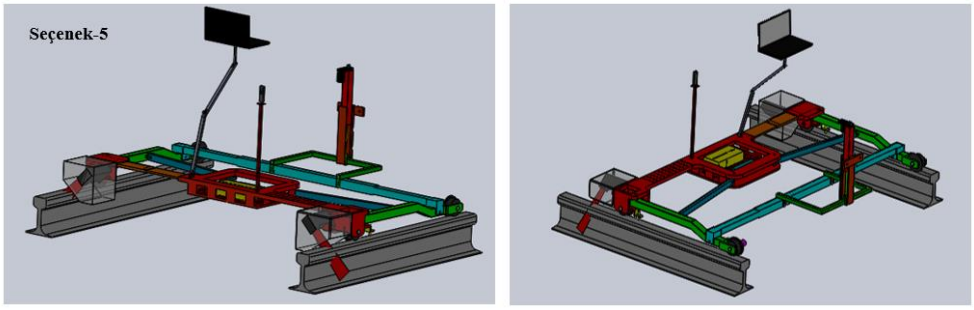
Şekil 63 - Demiryolu Muayene Arabası İçin Seçim Kartı

Tablo 29 - Önemli Tasarım Seçenekleri Özellikleri

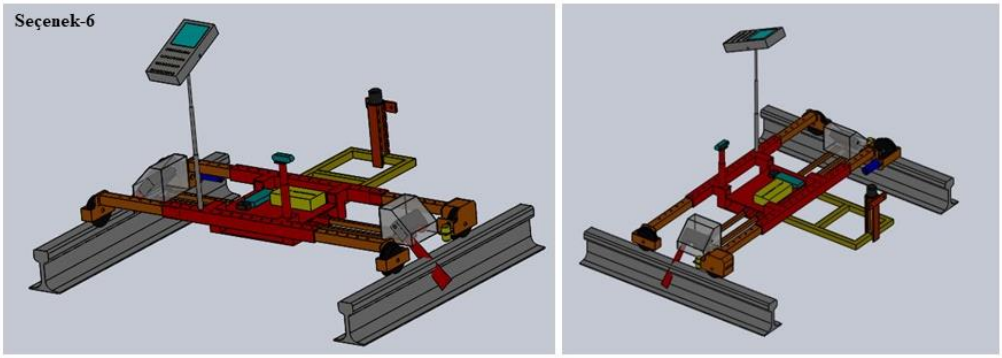
Ölçütler	**Seçenek-1**	**Seçenek-5**	**Seçenek-6**
Boyutlar (mm)(Kullanım)	1.507x199x603	1.520x144x960	1.520x226x332
Boyutlar (mm) (Taşıma/Depo)	1.007x199x603	1.170x199x505	1.520x226x332
Ağırlık (Yaklaşık) (kg)	63	103	86
Ekartman ölçüm hassasiyeti	Çok yüksek	Yüksek	Yüksek
Profil ölçüm hasssiyeti	Yüksek	Orta-Yüksek	Yüksek
Gabari ölçüm hassasiyeti	Yüksek	Orta-Yüksek	Orta
Konum belirleme hassasiyeti	Orta	Orta-Yüksek	Orta



Resim 1- Önemli Tasarım Seçenekleri (Seçenek-1)



Resim 2- Önemli Tasarım Seçenekleri (Seçenek-5)



Resim 3- Önemli Tasarım Seçenekleri (Seçenek-6)

3.7.Ek Seçim İşlemleri

Ön değerlendirme işleminden sonra çözüm seçeneklerinin hem teknik hem de ekonomik açıdan yapılabilirliği ortaya konulmuştur. Bunun için "Pugh Analizi" kullanılmış ve

daha önce "Kalite evi" aracı kullanılarak belirlenen tasarım parametreleri ve ağırlıkları matrisinin sol sütunlarına yazılmıştır. Daha sonra her bir ölçüt teknik bir parametre ile eşleştirilmiş ve değerleri VDI 2225 rehberine göre 1-10 aralığında değerlendirilmiştir. Daha sonra ölçütlerin değerleri ile ölçüt bağıl ağırlıkları birlikte değerlendirilerek ağırlıklı değerler hesaplanmıştır (Pahl vd, 2010: 189-192).

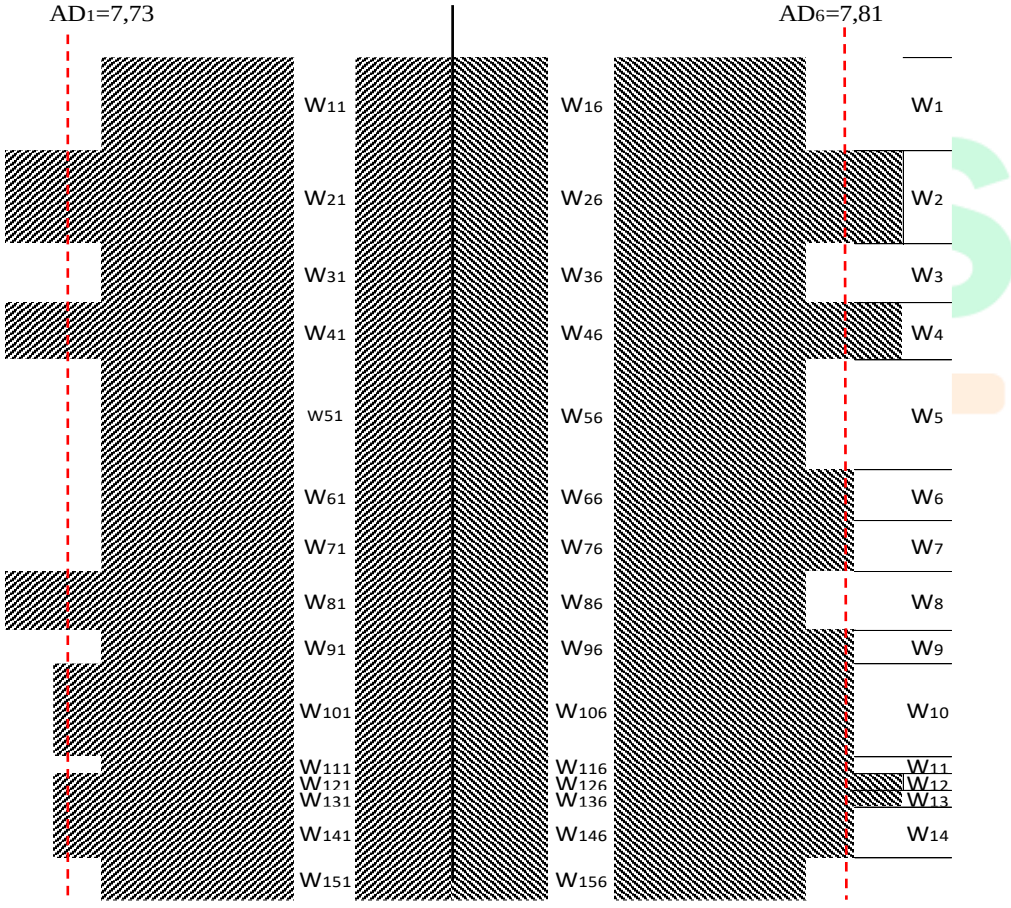
Buna göre değer seviyesi en düşük olan 5 no'lu çözüm seçeneği en zayıf çözüm olarak değerlendirilmiş ve elenmiştir (Tablo 30).

Tablo 30 - Değerlendirme Çizelgesi

	Seçenek 1	Seçenek-5	Seçenek-6
Toplam Değer (ΣD)	115	105	119
Ağırlıklı Değer (ΣAD)	7,73	7,00	7,81

3.8.Değerlendirme ve Nihai Karar

Değerlendirme çizelgesi ile en değerli 2 çözüm seçeneği elde edilmiştir. Ancak; her ne kadar çözüm çok değerli olsa da zayıf noktalar sonraki geliştirme süreçlerinde problem yaratabileceğinden çok az daha değerli olan ancak zayıf noktası bulunmayan çözümün değerlendirilmesi uygun olmaktadır (Pahl vd, 2010: 189-192). Bu nedenle değerlendirme sürecinin üçüncü adımında daha çok zayıf noktası olan seçenek elenmelidir. Bunun için daha önce değerlendirme çizelgesinde belirlenen değerlendirme ölçütleri değerleri ve ağırlıklı değer verileri kullanılır.



Şekil 64 - Değer Profili Grafiği

Değerlendirme ölçütleri bağıl ağırlıkları ve ağırlıklı değer seviyeleri dikkate alınarak değer profili grafiği oluşturulmuştur (Şekil 64). Buna göre 6 nolu seçenek daha dengeli bir dağılım gösterdiğinden en uygun çözüm seçeneği olarak değerlendirilmiştir.

4.Sonuç

Bu çalışmada inovatif, düşük maliyetli ve müşteri odaklı tasarımın ortaya çıkarılması için kavramsal tasarım aşamasında değer mühendisliği (DM), yaratıcı problem çözme teorisi (TRIZ) ve kalite fonksiyonu yayılımı (KFY) metotlarının bazı önemli araçları kullanılmıştır. Bu araçların kullanımı ile Kavramsal tasarım aşamasında kullanılasıyla tasarım sürecinde müşteri talep ve arzuları daha yüksek seviyeden karşılanması mükün hale gelecektir. Ayrıca, teknolojik dönüşüm kanunlarının kullanımı tasarımların rekabet edebilirliği açısından oldukça önemlidir. TRIZ'in en çok kullanılan aracı çelişkiler matrisi ve yaratıcı prensipler problemler için inovatif çözümler oluşturmak için oldukça faydalıdır. Bunula birlikte bilimsel etkiler aracı ile daha fazla çözüm ilkesi belirlemek mümkün hale gelmektedir. Fonksiyonların ölçülebilir bir isim ve fiil ifade edilmesi bilimsel etkilerin kullanımını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, fonksiyon şemasının mantıksal bir algoritmayla oluşturulması bütün fonksiyonların eksiksiz bir şekilde belirlenmesi için önemlidir.

ISBN: 978-625-372-170-1

Kaynakça

Akpınar, B., & Gülal, E. (2011). Ray Hattı Geometrisinin Belirlenmesine Yönelik Ölçme Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 60-64. Retrieved from https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1010752

Alippi, C., Casagrande, E., Scotti, F., & Piuri, V. (2000). Composite real-time image processing for railways track profile measurement. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 49*(3), 559-564. doi:10.1109/19.850395

Altshuller, G. (1999). *The innovation algoritm TRIZ, systematic innovation and Technical Creativity* (1 ed.). (L. Shulyak, & S. Rodman, Eds.) Worcester: Technical İnnovation Center.

Börklü, H. R., Bozbuğa, F., Sezer, H. K., & Özdemir, V. (2018). A Novel Conceptual Design of a Stairlift for Elderly and Disabled People. *Journal of Science-Part A: Engineering and Innovation, 5*(1), 17-29. Retrieved from https://dergipark.org.tr/en/pub/gujsa/issue/36283/340763

Caligiana, G., Liveran, A., Frizziero,, L., & Donnici,, G. (2017). Integrating QFD and TRIZ for innovative design. *Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing,, 11*(2), 1-15. doi:10.1299/jamdsm.2017jamdsm0015.

Chen, Q., Niu, X., Zuo, L., Zhang, T., Xiao, F., Liu, Y., & Liu, J. (2018). A Railway Track Geometry Measuring Trolley System Based on Aided INS. *Sensors., 18*(2). doi:10.3390/s18020538.

Desai, T. N., Prajapati, S. R., & Patel, H. (2016). Application of Value Engineering to Rework Reduction in Ship Building Project. *MATEC Web of Conferences.* doi:https://www.matecconferences.org/articles/matecconf/pdf/2016/03/matecconf_icmes2016_02008.pdf

Ekmekçi, İ., & Nebati, E. E. (2019). Triz Methodology and Applications. *3rd World Conference on Technology, 158*, pp. 303-315. doi:10.1016/j.procs.2019.09.056

Fazeli, H. R., & Peng, Q. (2022). Generation and evaluation of product concepts by integrating extended axiomatic design, quality function deployment and design structure matrix. *Advanced Engineering Informatics, 54*. doi:10.1016/j.aei.2022.101716.

Fey, V., & Rivin, E. I. (2005). *Innovation on Demand New Product Development Using TRIZ.* Cambridge: Cambridge University Press.

Ghane, M., Ang, M. C., Cavalucci, D., Kadir, R. A., Ng, K. W., & Sorooshian, S. (2022). TRIZ trend of engineering system evolution: A review on applications, benefits, challenges and enhancement with computer-aided aspects. *Computers & Industrial Engineering,, 174*. doi:10.1016/j.cie.2022.108833.

Glaus , R. (n.d.). The Swiss Trolley: A modular system for track surveying. Retrieved Nisan 2024, from https://www.sgc.ethz.ch/sgc-volumes/sgk-70.pdf

Hauser, J. R., Clausing, D. P., & Garvin, D. A. (1988). *The House of Quality.* Harvard Business Review.

Ibusuki, U., & Kaminski, P. C. (2007). Product development process with focus on value engineering and target-costing: A case study in an automotive company. *Journal of Production Economics, 105*, 459-474. doi:10.1016/j.ijpe.2005.08.009.

Kamarudin, K. M., Ridgway, K., & Hassan, M. R. (2015). Modelling the Conceptual Design Process with Hybridization of TRIZ Methodology and Systematic Design Approach. *Procedia Engineering, 131*, 1064-1072. doi:10.1016/j.proeng.2015.12.424

Karaduman, G. (n.d.). Demir yollarında ray profil analizi için üç boyutlu görüntü işleme. Retrieved Nisan 2024, from https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/411942

Karaköse, M., Yaman, O., Murat, K., & Akin,, E. (2018). A New Approach for Condition Monitoring and Detection of Rail Components and Rail Track in Railway. *Int. J. Comput. Intell. Syst*, 830-845. doi:10.2991/ijcis.11.1.63.

Karsak, E. E., Sözer, S., & Alptekin, S. E. (2003). Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. *Computers & Industrial Engineering, 44*, 171-190. doi:10.1016/S0360-8352(02)00191-2.

KZV. (n.d.). *Products*. Retrieved Nisan 2024, from KZV : https://kzv.cz/products/

Leber, M., Bastic, M., Mavric, M., & Ivanisevic, A. (2014). Value Analysis as an Integral Part of New Product Development. *24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 69*, pp. 90-98. doi:10.1016/j.proeng.2014.02.207

Liu, Z., Sun, J., Wang, H., & Zhang, G. (2011). Simple and fast rail wear measurement method based on structured light. *Optics and Lasers in Engineering, 49*(11), 1343-1351. doi:10.1016/j.optlaseng.2011.05.014.

Malmqvist, J., Axelsson, R., & Johansson,, M. (1996). A Comparative Analysis of the Theory of Inventing problem Solving and the Systematic Approach of Pahl and Beitz. *1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference.* Göteborg. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/238781411_A_comparative_analysis_of_the_theory_of_inventive_problem_solving_and_the_systematic_approach_of_Pahl_and_Beitz

Mandelbaum, J., & Reed, D. L. (2006). *Value Engineering Handbook.* Retrieved Nisan 10, 2024, from Defence Technical Information Center: https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA464089.pdf

Mao, X., Zhang, X., & Abourizk, S. M. (2009). Enhancing Value Engineering Process by Incorporating Inventive Problem Solving Techniques. *Journal of Construction Engineering and Management,, 135*(5), 416-424. doi:doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000001

Mayda, M., & Börklü, H. R. (2014). Development of an innovative conceptual design process by using Pahl and Beitz's systematic design, TRIZ and QFD. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 8*(3), 1-12. doi:10.1299/jamdsm.2014jamdsm0031

Molleda, J., Usamentiaga, R., Millara, A., García, D., Manso, P., Suarez, C. M., & García, I. (2016). A profile measurement system for rail quality assessment during manufacturing. *IEEE Transactions on Industry Applications, 52*(3), 2684-2692. doi:10.1109/TIA.2016.2524459.

Natee, S., Teo, E. A., & Low, S. P. (2016). *Quality Function Deployment for Buildable and Sustainable Construction.* Singapore: Springer Science+Business Media Singapore Pte Ltd.,. Retrieved Nisan 2024, from ttps://link.springer.com/book/10.1007/978-981-287-849-6v

Naveiro, R. M., & Oliveira, V. M. (2018). QFD and TRIZ integration in product development:a Model for Systematic Optimization of Engineering Requirements. *Production*, 1-15. doi:10.1590/0103-6513.20170093

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2010). *Mühendislik Tasarımı Sistematik Yaklaşım* (1 ed.). (H. R. Börklü, Trans.) Ankara: Hatipoğlu Yayınevi.

Sharaf,, K., Ishak, M. R., Sapuan, S. M., & Yidris, N. (2020). Conceptual design of the cross-arm for the application in the transmission towers by using TRIZ–morphological chart–ANP methods. *Journal of Materials Research and Technology, 9*(4). doi:10.1016/j.jmrt.2020.05.129

Silaskar, S. M., & Shinde, V. B. (2018). A review on existing sensors and devices for inspecting railway infrastructure. *International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering, 20*, pp. 329-337. doi:10.1016/j.promfg.2018.02.048

Society of American Value Engineering (SAVE). (2007). *Value Standard and Body of Knowledge.* Retrieved 5 21, 2024, from scribd: https://www.scribd.com/doc/15563084/Value-Standard-and-Body-of-Knowledge

Tomiyana, T., Birkhofer, H., & Breedveld, P. (n.d.). Teaching Creative Design by Integrating General Design Theory and The Pahl & Beitz Methodology. Montreal: Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference,. doi:10.1115/DETC2010-28444.

Tsunashima, H., Naganuma, Y., Matsumoto, A., Mizuma, T., & Mori, H. (2012). Condition monitoring of railway track using in-service vehicle. *Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, 3*(1), 154-165. doi:10.1299/jmtl.3.154.

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları. (n.d.). *Hakkında*. Retrieved Mayıs 23, 2024, from Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları: https://www.tcdd.gov.tr/kurumsal/hakkinda

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (n.d.). *Bakanlık Yayınları.* Retrieved from Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı: https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/20221025-2053-ulastirma-ve-lojistik-ana-plani-tr.pdf

Weiss, M. P., & Hari, A. (2015). Extension of the Pahl and Beitz systematic method for conceptual design of a new product. *Procedia CIRP, 36,* 254-260. doi:10.1016/j.procir.2015.03.010.

Yamashina, H., Ito, T., & Kawada, H. (2002). Innovative Product Development Process by Integrating QFD and TRIZ. *International Journal of Production Research, 40*(5), 1035-1050. doi:10.1080/00207540110098490.

Yan, J., Luo, W., Wang, J., Yang, W., Ma, Y., Jiang, D., & Jia, J. (2022). Application of the quality function deployment method in the mechanical structure design of subsea power devices. *Ocean Engineering, 247*. doi:10.1016/j.oceaneng.2022.110536

Yogesh, N., Chinnappa, C. H., Karthik, H. K., Madhusudhan, L. E., & Deepak, N. (2021). Intelligent Railway Track Crack and Obstacle Detection. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT), 7*(2), 21476-21481 .

Zhang, F., Yang, M., & Liu, W. (2014). Using integrated quality function deployment and theory of innovation problem solving approach for ergonomic product design. *Computers & Industrial Engineering,, 76*, 60-74. doi:10.1016/j.cie.2014.07.019.

Zheng, S., Chai, X., An, X., & Lİ, L. (2012). Railway track gauge inspection method based on computer vision,. *012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 1292-1296. doi:ICMA.2012.6284322

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Numerical Investigation of a Slider Canopy Locking Mechanism

Furkan İPEKOĞLU[1]
Sadettin ORHAN[2]

Abstract

Slider mechanisms, providing an alternative to conventional tilt-up mechanism interfaces in aerospace applications, are highly preferred in aviation structures because of their lightweight design, extended maintenance intervals, and improved fatigue life.

On the other hand, geometric tolerances between components are crucial for the proper assembly of the sliding mechanism. Particularly, precise placement of bearings and slides ensures smooth operation of the mechanism.

Impact forces are a known source of concern, as they not only increase vibration amplitude but also reduce system reliability, stability, life, and precision.

In this study, three different mechanism models of a closed and fully locked sliding canopy mechanism under the static loads were designed, and the displacements and stresses corresponding to eccentricity were investigated by the finite element method.

The first model studied was equipped with a fixed pin structure. However, applying the fixed model to such a sliding system requires narrow tolerances, and these narrow tolerances are only available with a special tool design for assembly process. Deviations in tolerances during mechanism operation may require an extra trimming process for the pin diameter. However, the reduction in pin diameter leads to a loss of rigidity and a decrease in the load-bearing capacity. This leads to critical fatigue life and inability to fully absorb loads in the opposite direction on the structure.

As the second model, an eccentric pin composed of a single web was considered due to its simpler and more feasible application, design, and manufacturing compared to other solutions.

In the third model, a design with a double web whose front web was designed in accordance with the eccentric pin was discussed. With this design, it was thought that the double web solution would be effective against the moments applied to the pin body.

Keywords: Mechanisms, Sliding Mechanisms, Canopy, Eccentricity, Eccentric Pins

[1] Master of Science Student, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Mechanical Engineering Departmant, Orcıd: 0000-0002-9319-972X
[2] Prof. Dr., Ankara Yıldırım Beyazıt University, Mechanical Engineering Departmant, Orcıd: 0000-0002-9751-6665

ISBN: 978-625-372-170-1

1.GİRİŞ

Kanopi, uçuş güvenliğini doğrudan sağlamak için hayati öneme sahip bileşenlerden bir tanesidir. Öncelikle, hava aracının yüksek irtifalara çıkabilmesi için tam hava sızdırmazlığı sağlarken aynı zamanda iyi bir görüş açısı sunmalıdır; bu, pilotun etrafını net bir şekilde görebilmesi ve gerektiğinde hızlı kararlar alabilmesi için hayati önem taşır. Son olarak, kanopi pilotu kuş gibi küçük cisimlerin çarpmasına karşı koruyacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu koruma, pilotun güvenliği ve uçuşun sorunsuz bir şekilde devam etmesi açısından kritik bir rol oynar. (Leski, 2002)

Havacılık endüstrisinde kullanılan kayar/kızaklı mekanizmaların performansını artırmaya yönelik yapılan bu çalışmada bir kayar kanopi yapısı farklı geometrilere sahip pin yapıları incelenecektir. Havacılık yapılarında sıklıkla kullanılan kayar/kızaklı mekanizmalar, hafiflikleri, geniş bakım aralıkları ve uzun ömürleri sebebiyle tercih edilmektedir. Özellikle, kanopi ve motor kapakları gibi kritik yapıların tasarımında, mekanizmanın sorunsuz çalışması, taşıyacağı basınç ve aerodinamik gibi çeşitli kaynaklardan gelen yükler altında çok daha kararlı bir performans sergilemesi için geometrik toleranslar büyük önem taşımaktadır. (Whitney, 2004)

Bu çalışmada, kapanmış ve tam kilitlenmiş bir kayar kanopi mekanizmasına ait üç farklı modelin tasarımı ve analizi yapılmıştır. Her bir model için yüksek mukavemetli havacılık çeliği olan PH 13-8Mo (1.4534) malzemesi seçilerek, farklı geometrilerin etkileri değerlendirilmiştir. Tasarlanan üç farklı kilit mekanizması için sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanılarak, her modelin maruz kaldığı gerilme ve deformasyon gibi faktörler detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, havacılık endüstrisindeki mühendislerin ve tasarımcıların kayar/kızaklı mekanizmaların optimize edilmiş yapılarını geliştirme sürecindeki kararlarını desteklemektedir. Bu çalışma sonucunda tasarlanacak olan mekanizmaların performansını artırmak ve havacılık yapılarının güvenilirliğini artırmak için stratejik tasarım değişikliklerinin yapılmasına yönelik detaylı bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, gelecekteki araştırmalar için temel oluşturarak, havacılık endüstrisindeki mekanizma tasarımı alanında yeni tasarımların ve geliştirilmelerin yapılmasına bulunmaktadır.

2.LİTERATÜR VE MALZEME

PH13-8 paslanmaz çelik, yüksek performans gerektiren birçok endüstriyel uygulamada tercih edilen bir malzemedir. Martenzitik çökelme sertleşme (PH) çeliği olması, ona yüksek mukavemet ve sertlik kazandırır. Bu özellikler, genel korozyonun yanı sıra stres-korozyon çatlamasına karşı da etkili bir direnç sağlar. Ayrıca hem uzunlamasına hem de enine yönde büyük kesitlerde bile şekil değiştirme kabiliyeti ve dayanıklılık gösterir. (Pollard, 1993)

PH13-8 çeliği, diğer popüler PH çelikleri olan PH17-4 ve PH15-5'e göre daha üstün mekanik özellikler sunar, bu da onu ağır endüstriyel ortamlarda kullanım için ideal hale getirir. Bu çeliğin kullanım alanları oldukça geniştir. Özellikle iniş takımı parçaları, nükleer reaktör bileşenleri ve petrokimya endüstrisinde, özellikle de stres-korozyon çatlamasına karşı dayanıklılık gerektiren uygulamalarda sıkça kullanılır. (Guo vd., 2003)

Yüksek mukavemeti ve korozyon direnci, uzun süreli dayanıklılığı sağlar ve bu da uzun ömürlü ve güvenilir bileşenlerin üretiminde önemli bir avantaj sağlar. Bu nedenle, PH13-8 paslanmaz çelik, birçok kritik endüstriyel süreçte güvenilir bir malzeme seçeneği olarak kabul edilir.

PH13-8 paslanmaz çeliğinin tipik yaşlandırma işlemi, çözelti ısıl işleminden geçirilmiş malzemenin belirli sıcaklık ve sürelerde yaşlandırılmasını içerir. Bu işlemler, çelikteki metalik bileşiklerin çökelmesiyle sertleşmeyi sağlar ve mukavemet ile şekil değiştirilebilirlik arasında uygun bir denge oluşturur. (Guo vd., 2003)

Örneğin, çözelti ısıl işlem sonrası, H950 veya 510 °C'de 4 saatlik yaşlandırma işlemi uygulanabilir. Bu işlem, çözelti içerisinde çözünen fazların çökelmesini sağlayarak çeliğin mukavemetini arttırır. (Guo vd., 2003)

Benzer şekilde, H1100 veya 593 °C'de 4 saatlik yaşlandırma işlemi de kullanılabilir. Bu süreç, çeliğin mekanik özelliklerini optimize ederken çözelti sonrası oluşan mikroyapının istenilen dengeye ulaşmasını sağlar. (Guo vd., 2003)

Daha ileri yaşlandırma işlemleri de mümkündür. Örneğin, H1150M veya 760 °C'de 2 saatlik bir yaşlandırma işlemi ardından 621 °C'de 4 saatlik bir işlem uygulanabilir. Bu işlemler, çeliğin mukavemetini arttırırken aynı zamanda şekil değiştirilebilirlik ve tokluk gibi özelliklerini de korumasına yardımcı olur. Bu yaşlandırma işlemleri, PH13-8 paslanmaz çeliğinin geniş kullanım alanlarına uyum sağlamasını sağlar. (Guo vd., 2003)

Özellikle, yüksek mukavemet, sertlik ve korozyon direnci gerektiren uygulamalarda tercih edilirler. Bu yaşlandırma işlemleri sayesinde, çelik çeşitli endüstriyel alanlarda, örneğin havacılık, nükleer ve petrokimya endüstrilerinde kullanılabilir, bu da malzemenin çok yönlü kullanımını sağlar.

Kanopi ve motor koruma kapağı için tasarlanan kilit mekanizmasında da bu mekanizmaların malzemesi de bu özelliklere sahip olan PH13-8Mo çeliği olarak seçilmiştir.

3.YÖNTEM

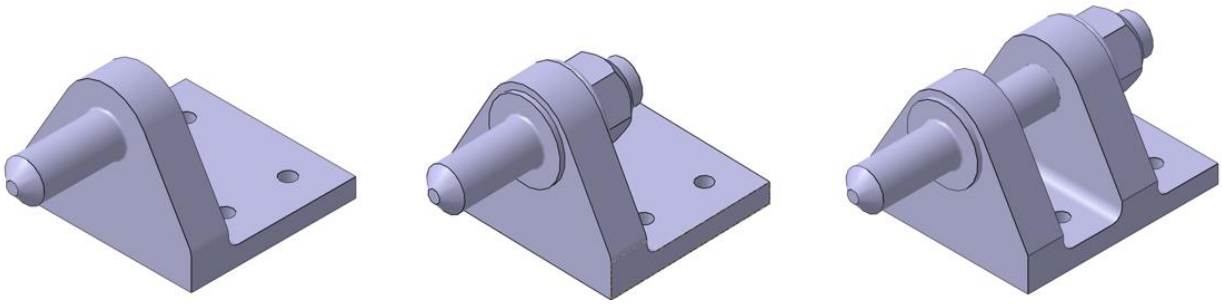
Bu çalışma, kayar kanopiye sahip bir kilit mekanizması için üç farklı tasarımın detaylı bir değerlendirmesini içermektedir. Her bir tasarım, standart pin çapına ve gereksinimlere uygun yüke maruz bırakılar geliştirilmiş olup, farklı sınır şartlarına sahiptir.

Her bir tasarım için, 16mm çapında ve 40mm uzunluğunda bir pin kullanılmıştır; bu ölçüler pilot görüş açısına, kanopi kafes yapısına ve karşılayacağı yüklere uygun olarak belirlenmiştir.

İlk tasarım (Şekil 1-a), sabit bir pim yapısına sahiptir. Bu tasarım, sabit bir konumda olan ve ayar gerektirmeyen bir yapıya ihtiyaç duyulan durumlar için uygun olabilir. (Corrado ve Polini, 2017) Ancak, esneklik veya ayarlanabilirlik gerektiren durumlar için uygun değildir.

Diğer iki tasarım(Şekil 1-b ve Şekil 1-c), eksantriklik seviyeleri sayesinde ayarlanabilir bir yapıya sahiptirler. Bu tasarımlar, pinin pozisyonunu ayarlamak veya belirli bir açıda konumlandırmak gereken durumlar için idealdir. Kullanıcıların ihtiyaçlarına ve uygulamanın gereksinimlerine göre kolayca ayarlanabilirler. PH 13-8Mo (1.4534) malzemesi, her üç tasarım için de tercih edilen malzemedir. Bu malzeme, yüksek mukavemet, dayanıklılık ve korozyon direnci gibi özelliklere sahiptir ve birçok endüstriyel uygulama için ideal bir seçenek olarak kabul edilir.

Bu çalışmanın amacı, her bir tasarımın avantajlarını ve dezavantajlarını ayrıntılı bir şekilde inceleyerek, kayar kanopiye sahip bir uçak için en uygun tasarımı belirlemektir.



a b c

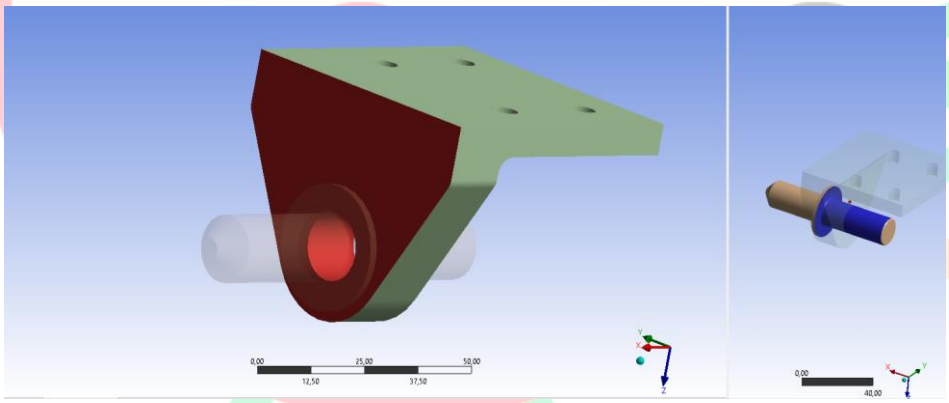
Şekil 1. Tasarlanan Sabit (Solda), Tek Destekli (Ortada) ve Çift Destekli(Sağda) Kilit Geometrileri

Pinin iki destek elemanı tarafından desteklenmesi, pin momentini azaltarak ön bölgede birikmesi beklenen yük yoğunluğunu azaltmak için titizlikle çalışılmıştır. Bu tasarım stratejisi, yapısal bütünlüğü artırmayı, parçanın dayanıklılığını iyileştirmeyi ve genel sistem performansını iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

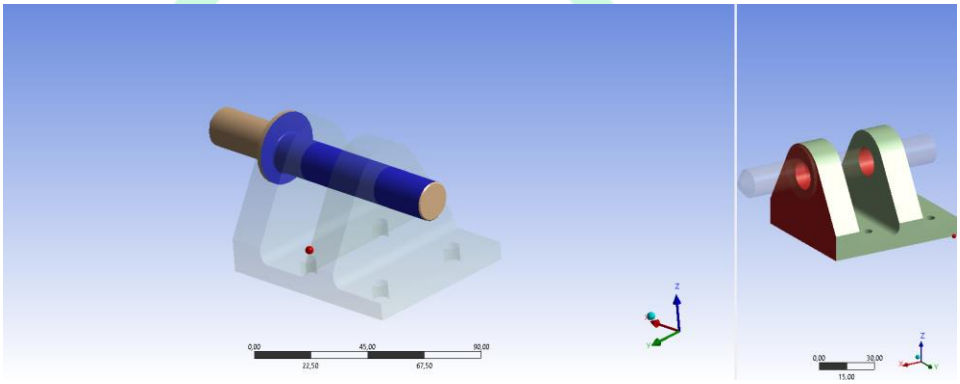
Doğru bir analiz sonucu elde etmek için, sınır şartları titizlikle ayarlanmalı ve incelenen sistem için uygun olan parametreler dikkate alınmalıdır. Şekil 2, tek desteğe sahip eksantrik pin yapısına, Şekil 3 ise çift desteğe sahip eksantrik pin yapısına sahip tasarımlar için belirlenen sınır şartlarını göstermektedir.

Bu sınır şartları, pin ve destek yüzeyleri için kontak noktalarının hareketini kısıtlayacak şekilde belirlenmiştir.

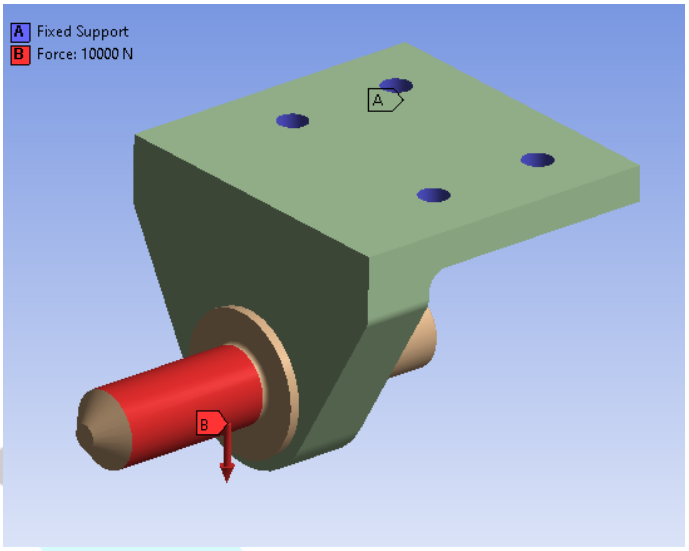
Bu analizde bağlayıcı torku değişiminin delik toleransı değişimine göre bağlantı dayanımına etkisi olacağı (Saraç, 2022) varsayıldığı için, uygun şekilde torklanan bağlayıcının kontak noktaları arasına parçaların dönme ve deplasman hareketini engelleyecek sabit kontak ilişkisi tanımlanmıştır.



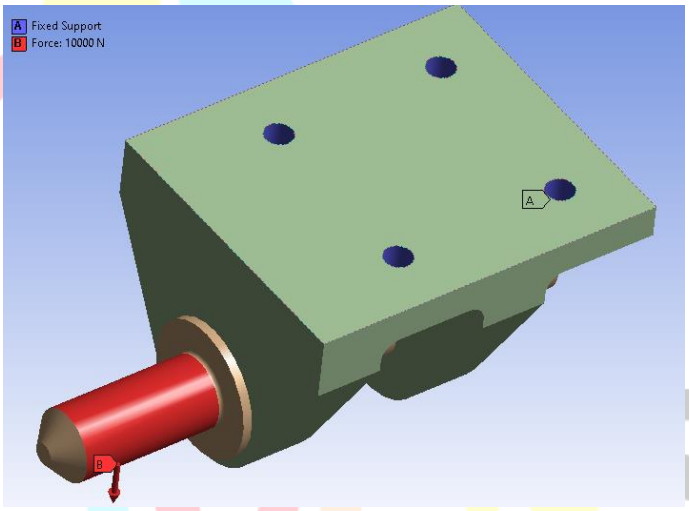
Şekil 2. Tek Destekli Tasarım için Temas Bölgelerinin Tanımlanması



Şekil 3. Çift Destekli Tasarım için Temas Bölgelerinin Tanımlanması



Şekil 4. Tek Destekli Tasarım için Sınır Şartlarının Tanımlanması



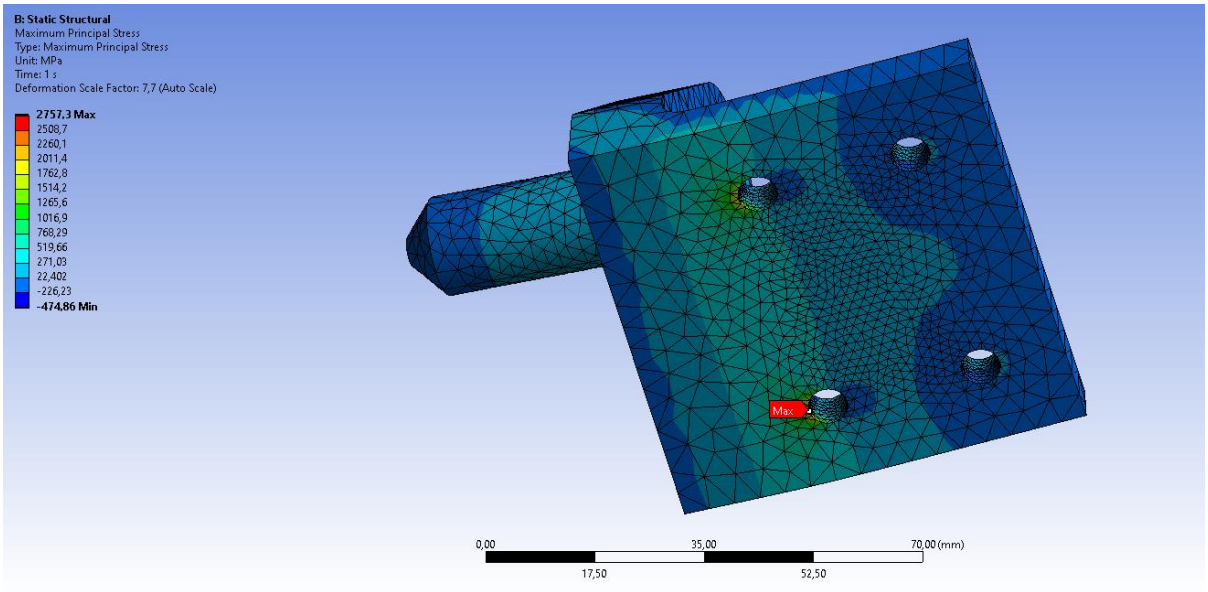
Şekil 5. Çift Destekli Tasarım için Sınır Şartlarının Tanımlanması

Analizden doğru ve kesin sonuçlar elde edebilmek için sınır şartları kadar parçanın optimum şekilde meshlenmesi de kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, yapısal bütünlüğün korunması ve yüklerin düzgün bir şekilde dağılımının sağlanması amacıyla parçanın belirli bölgeleri için daha detaylı mesh geometrileri çalışılmıştır. Özellikle, yapının sabitlendiği noktalar (Saraç, 2022) ve yükün etkisinin yoğun olduğu bölgeler için daha detaylı bir mesh kullanılarak, analizin hassasiyeti artırılmıştır.

4.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Tasarımı yapılan üç farklı kilit mekanizmasının sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiş ve bu analizler sonucunda eksantriklik derecesine karşılık gelen deplasman ve gerilme değerleri elde edilmiştir.

Şekil 6, detaylı meshlenmiş yüzeyleri göstermektedir. Bu detaylı meshleme yöntemi, yapısal analizdeki önemli bir adımdır ve yapısal mukavemetin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için gereklidir.

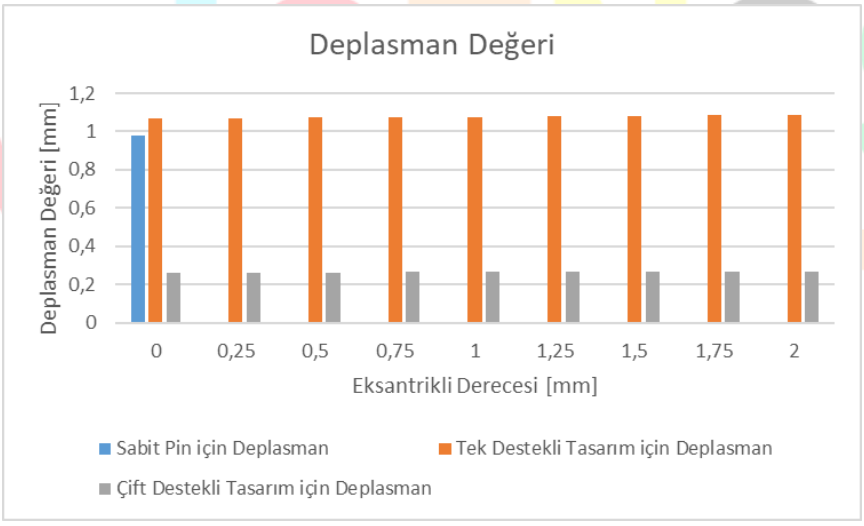


Şekil 6. Sabit Pin Geometrisi için Birincil Asal Gerilme Değeri ve Konumu

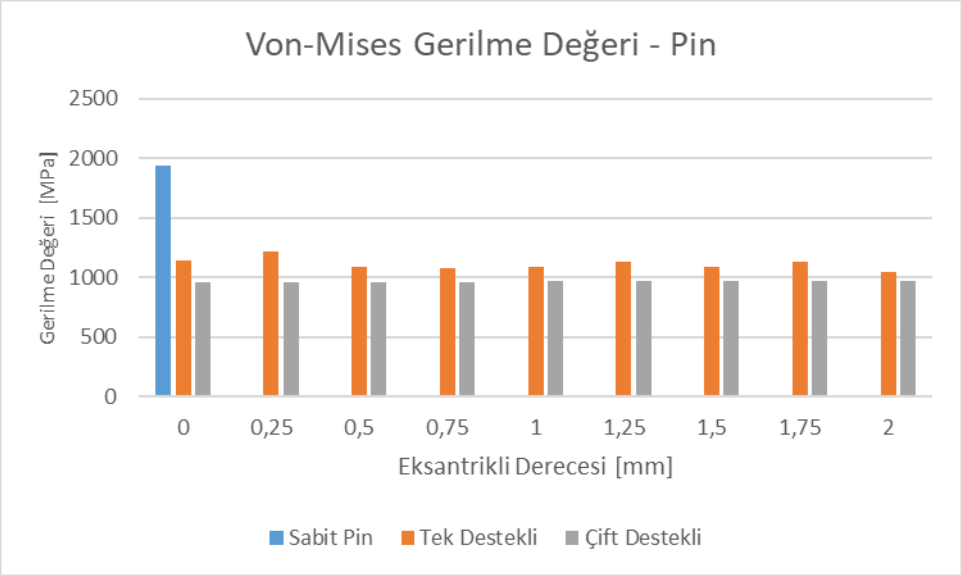
Analizden elde edilen verilere göre, sabit pin yapısında en yüksek kuvvetlerin gözlendiği nokta, destek noktasının ön bağlayıcılarıdır. Bu durum, kritik parçanın pin değil, ana yapıya bağlanan destek parçası olduğunu göstermektedir.

Şekil 6'da, sabit pin yapısı için yapılan analiz sonuçları görülmektedir. Analiz sonuçlarına dayanarak, literatürde de görülüğü gibi destek noktasının ön bağlayıcılarının tasarımının gözden geçirilmesi ve gerektiğinde güçlendirilmesi gerekebilir.

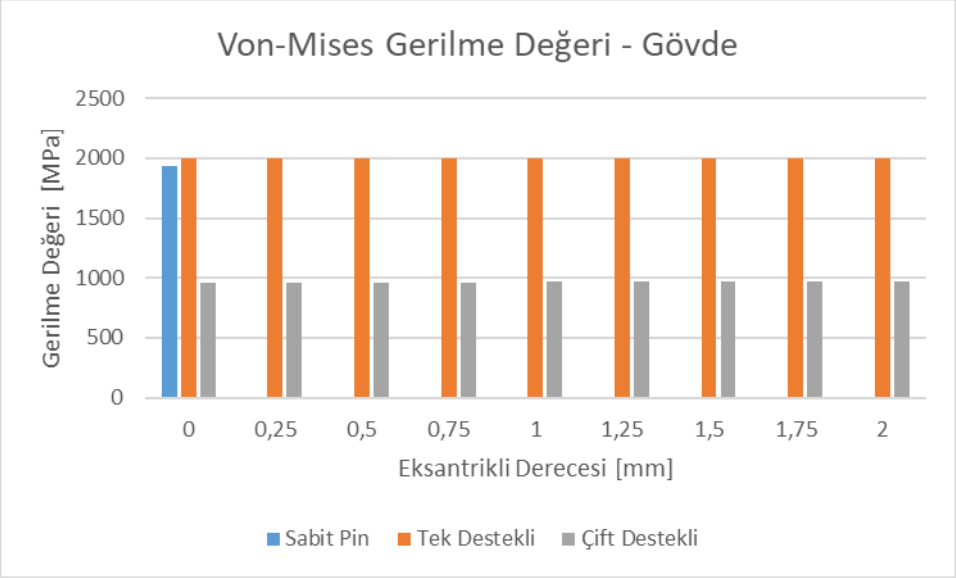
Genel gerilme dağılımları incelendiğinde genellikle gerilme değerlerinin delik çevrelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durumda hasarın delik çevrelerinden başlayacağı söylenebilmektedir. (Saraç, 2022)



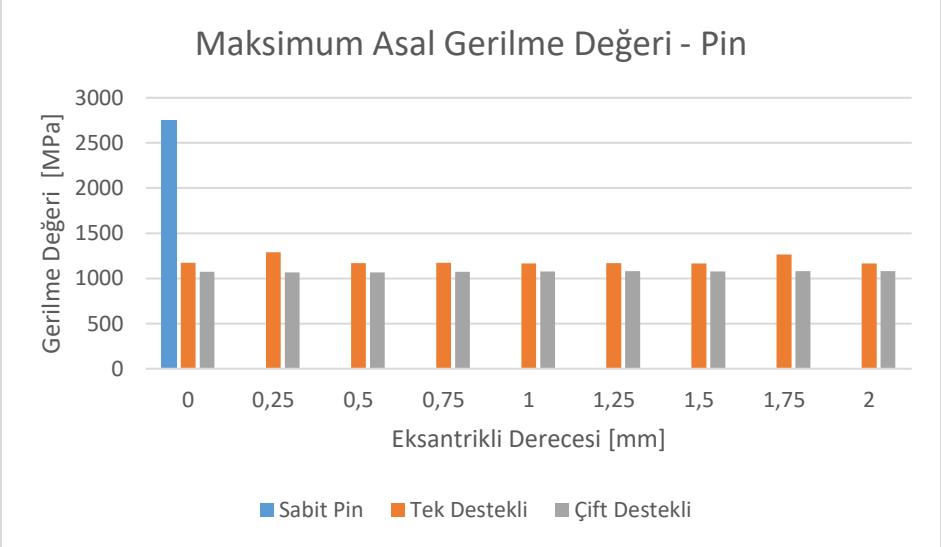
Şekil 7. Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması



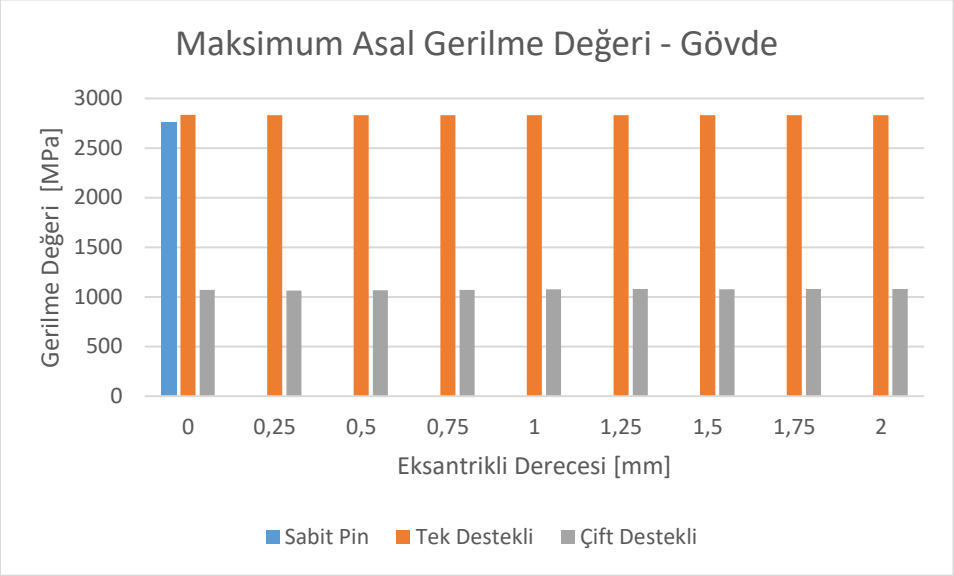
Şekil 8. Von-Misses Gerilme Değerlerinin Pin için Karşılaştırılması



Şekil 9. Von-Misses Gerilme Değerlerinin Gövde için Karşılaştırılması



Şekil 10. Maksimum Asal Gerilme Değerlerinin Pin için Karşılaştırılması



Şekil 11. Maksimum Asal Gerilme Değerlerinin Gövde için Karşılaştırılması

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Deplasman değerleri, sabit ve tek destekli eksantrik pin tasarımları için benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu durum, yükün homojen bir şekilde yayılmadığını, ancak yalnızca ön bağlayıcılarda biriktiğini göstermektedir. Öte yandan, çift destekli tasarımda deplasman değerlerinde bir azalma gözlemlenmektedir.
- Deplasman değerleriyle benzer bir şekilde, gövde için Von-Mises gerilme değerleri de sabit ve tek destekli tasarımlar için kritik seviyede yüksek bulunmuştur. Bu durum, tasarımların yapısal sağlamlığını etkileyen önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüksek gerilme değerleri, belirli bölgelerdeki aşırı gerilmenin yapısal bütünlüğü tehdit ettiğini ve potansiyel kırılma riski taşıdığını göstermektedir.
- Gövdeye kıyasla, pin yapısında kritik gerilme değerlerinin gözlenmemesi dikkat çekicidir. Bu analiz sonucuna göre, sabit veya tek destekli tasarımlarda yükün yeterince desteklenmediği ve bu nedenle yükün gövde üzerinde biriktiği sonucuna varılabilir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

1. Leski, A., R. Baraniecki, and J. Malachowski. (2002). Numerical simulation to study the influence of the thickness of canopy at a bird strike. *DS 30: Proceedings of Design 2002, the 7th International Design Conference, Dubrovnik*, (p. 667-672).
2. Whitney, D. E. (2004). *Mechanical assemblies: their design, manufacture, and role in product development* (Vol. 1). New York: Oxford university press.
3. Pollard B. (1993), *Selection of wrought precipitation-hardening stainless steels. ASM Handbook, 6. Materials Park.* (p. 482–94).
4. Guo, Z., Sha, W., & Vaumousse, D. (2003). Microstructural evolution in a PH13-8 stainless steel after ageing. *Acta Materialia, 51* (1), (p. 101-116).
5. Corrado, A., & Polini, W. (2017). Assembly design in aeronautic field: From assembly jigs to tolerance analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 231* (14), (p. 2652-2663).
6. Saraç, İ. (2022). The numerical investigation of the effects of hole tolerance and bolt torque variation on the joint strength in the bolted joints. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37* (2).

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

L6-L7 Vehicles Low Voltage Harness Design

Hicran Altunpul[1]
Alp Tekin Ergenç[2]

Abstract

The impact of the COVID-19 pandemic in 2019 led to significant shifts in people's behavior, particularly in transportation and mobility. Lockdown policies enforced worldwide encouraged the adoption of micro-mobility solutions for various purposes such as last-mile delivery, home office commuting, and car-sharing. These changes reflect a broader trend towards addressing emission and noise pollution concerns by promoting more environmentally friendly transportation options. One notable trend emerging from these circumstances is the modal shift in personal mobility, particularly from cars to lighter, smaller, and more specialized alternatives. Electric L-category Vehicles (such as electric scooters or small electric motorcycles) have gained prominence due to their suitability for average commuters. These vehicles are characterized by their compact size, lightweight design, and reduced energy requirements. As a result, they feature smaller batteries, which not only lower costs but also facilitate faster recharging times. By addressing these aspects comprehensively, this study aims to compile homologation and electrification requirements as well as harness calculations of electric L-category vehicles as viable alternatives for personal mobility. These vehicles not only offer environmental benefits but also align with the evolving preferences and behaviors of urban commuters seeking convenient, cost-effective, and sustainable transportation solutions.

Keywords: Light vehicles, micro-mobility, harness layout, electrification, homologation

[1] Student, Yildiz Technical University, altunpulhicran@gmail.com
[2] Associate Prof. Dr, Yildiz Technical University, Orcid : 0000-0001-6659-7370

ISBN: 978-625-372-170-1

Introduction

Automotive industry is a dynamic field where technological advancements rapidly influence vehicle design. The increasing popularity of electric and hybrid vehicles has added complexity to the electrical and electronic systems within vehicles, making the design of wiring harnesses more critical. In this context, L6 and L7 class vehicles, which are ideal for urban use and light cargo transportation, highlight the importance of the reliability and efficiency of their electrical systems.

L6 and L7 class vehicles are defined as light commercial vehicles and small-sized vehicles used for urban transportation. These vehicles are known for being user-friendly, environmentally friendly, and economical. However, the proper functioning of their electrical and electronic systems is crucial for safe driving and overall vehicle performance. Therefore, the design of wiring harnesses in these vehicles holds significant importance.

Wiring harnesses are critical components in modern vehicles, providing the necessary electrical connections between various parts and systems. According to [S. Olbrich and J. Lackinger, 2022], the complexity and importance of wiring harnesses have grown with the advent of electric and hybrid vehicles, requiring more sophisticated design and manufacturing techniques.

Recent studies[X. Yan, Y. Yan, Y. Li, 2019] have highlighted the need for reliability and efficiency in harness design to ensure vehicle safety and performance.

Methods

In this research, specifications of light vehicles were gathered and requirements were compiled. The vehicle's electrical systems were categorized, and both a pin-out scheme and a concept scheme created.

L6 vehicles are often electrically powered and designed for use in urban areas or restricted environments where speeds are limited. These vehicles are suitable for short-distance commuting within cities or towns, where higher speeds are not necessary. L6 vehicles are typically compact and maneuverable, making them suitable for navigating crowded urban streets and narrow lanes. L6 vehicles are restricted to a maximum speed of around 45 km/h or lower, ensuring safety in urban environments.

L7 vehicles might include specialized light vehicles designed for specific purposes, such as golf carts, utility vehicles, or small delivery vehicles. Similar to L6 vehicles, L7 vehicles are designed for low-speed operation, typically with a maximum speed of around 45 km/h or lower. While many L7 vehicles may be electrically powered for environmental and efficiency reasons, some may still use gasoline or other fuels depending on the application and infrastructure available.

Light electric vehicles are primarily powered by electric motors. The power source can be batteries (such as lithium-ion batteries), fuel cells (for hydrogen-powered vehicles), or a combination of both. Battery capacities may range from around 5 kWh to 20 kWh or more. Larger battery capacities generally provide longer range but can also increase vehicle weight and cost.

Key Factors

Designing a low-voltage harness for electric vehicles, especially for light vehicles like L6 and L7, requires careful consideration of various factors to ensure safety, efficiency, reliability, and compliance with regulations. Here are key factors to consider:

Determine the voltage and current requirements of the electrical system based on the components it will power, such as the motor, lights, sensors, and other electronic systems. For low-voltage systems, typical voltages may range from 12V to 48V, while current requirements depend on the power demands of the components.

Select appropriate wire sizes and materials based on the current-carrying capacity, voltage drop considerations, and environmental factors. Use materials that are suitable for automotive applications, such as copper or aluminum conductors with appropriate insulation to withstand temperature variations, moisture, and vibrations.

Plan the routing of the harness to minimize interference with other vehicle components, avoid sharp bends, and protect the cables from abrasion, heat, and potential damage. Use protective conduit, grommets, and looms to secure and shield the harness from external hazards.

Choose connectors that are compatible with the electrical components and provide secure, reliable connections. Consider factors such as waterproofing, durability, ease of installation, and maintenance requirements.

Ensure that the harness design minimizes electromagnetic interference (EMI) and susceptibility to external interference to prevent malfunctions and ensure the proper operation of electronic systems. Use shielding, grounding, and proper routing techniques to mitigate EMI risks.

Incorporate appropriate fusing and circuit protection devices to safeguard the electrical system against overcurrent conditions, short circuits, and other faults. Use fuses, circuit breakers, or electronic protection modules to prevent damage to components and ensure system reliability.

Coordinate the harness design with other vehicle systems, such as the powertrain, chassis, and body electronics, to ensure compatibility, optimize performance, and minimize integration challenges during vehicle assembly and testing.

Conduct thorough testing and validation of the harness design to verify electrical continuity, functionality, and reliability under normal and abnormal operating conditions. Perform electrical tests, such as continuity checks, insulation resistance measurements, and voltage drop tests, to ensure compliance with specifications and standards.

Requirements & Standards

Homologation limits for low voltage harnesses, may vary depending on regulatory requirements in different regions and countries.

Electrical Safety Standards

Low-voltage harnesses must meet specific insulation resistance requirements, typically measured in ohms per unit length. This ensures that the insulation materials effectively isolate conductors and prevent electrical leakage or short circuits.

The dielectric strength of insulation materials should be sufficient to withstand high voltage levels without breakdown. This property is crucial for ensuring electrical safety and preventing insulation failures.

Voltage drop along the length of the harness should be within acceptable limits to ensure that electrical components receive the required voltage for proper operation. This requires careful consideration of conductor size, material resistance, and circuit design.

Electromagnetic Compatibility (EMC) Regulations

Low-voltage harnesses must limit conducted emissions, which are electrical disturbances transmitted through the wiring harness. This requires filtering and suppression techniques to reduce noise and interference.

Harnesses should minimize radiated emissions, which are electromagnetic waves emitted by the wiring harness. Shielding and grounding techniques may be employed to contain and mitigate radiated emissions.

Low-voltage harnesses must demonstrate immunity to external electromagnetic interference, such as electromagnetic fields generated by nearby electronic devices or electromagnetic radiation from radio frequency (RF) sources. Shielding, grounding, and filtering techniques are used to improve immunity.

Environmental Regulations

Insulation materials used in low-voltage harnesses should have temperature ratings suitable for automotive applications, typically ranging from -40°C to 125°C or higher. This ensures reliable performance under extreme temperature conditions.

Harnesses must resist moisture ingress to prevent corrosion and electrical short circuits. This may involve using moisture-resistant insulation materials, sealing connectors, and employing protective sheathing.

Harness materials should be resistant to automotive fluids, such as oils, fuels, and cleaning agents, to ensure long-term reliability and performance in harsh operating environments.

Quality and Reliability Standards

Manufacturers must maintain traceability of materials used in low-voltage harnesses to ensure compliance with specifications and regulatory requirements. This involves tracking material sources, batch numbers, and certification documents.

Harness assembly processes must be carefully controlled to ensure consistent quality and reliability. This includes techniques such as crimping, soldering, and heat-shrinking connectors, as well as automated testing and inspection.

Low-voltage harnesses undergo various reliability tests, including thermal cycling, vibration testing, mechanical stress testing, and accelerated aging tests, to ensure durability and long-term performance in real-world conditions.

Voltage Drop

Voltage drop is a crucial consideration in the design of low voltage harnesses for automotive applications, including L6 and L7 vehicles. It refers to the decrease in voltage that occurs as electrical current flows through the conductors of the harness. Excessive voltage drop can lead to diminished performance of electrical components, reduced efficiency, and potential safety hazards.

Voltage drop occurs due to the inherent resistance of the conductive materials used in the harness, including wires, connectors, and terminals.

Factors contributing to voltage drop include the length and gauge of the conductors, the material properties of the conductors (e.g., resistivity), and the quality of connections between components. Voltage drop can be calculated using Ohm's Law, which states that voltage drop (V) equals current (I) multiplied by resistance (R), expressed as $V = I \times R$. The resistance of the conductors can be determined based on factors such as wire gauge, material properties, and length of the conductor. Voltage drop calculations consider the maximum allowable voltage drop specified for the electrical system and the operating conditions of the vehicle. Excessive

voltage drop can result in reduced voltage levels reaching electrical components, affecting their performance and functionality.

In automotive applications, voltage drop can lead to dimming of lights, reduced motor performance, slower operation of electronic devices, and potential damage to sensitive components. Voltage drop may also result in increased power dissipation in the conductors, leading to heating and potential safety hazards, particularly in high-current circuits. Design considerations to mitigate voltage drop include using conductors with appropriate gauge sizes to minimize resistance, reducing the length of wiring harnesses where possible, and optimizing routing to minimize voltage drop.

Additionally, ensuring secure and low-resistance connections between components, including terminals, connectors, and splices, helps to minimize voltage drop. Voltage drop can also be reduced by using materials with lower resistivity, such as high-conductivity copper or aluminum alloys, and employing techniques such as parallel conductor runs or busbars to distribute current more effectively.

Pin-out Schematics

The TMC(motor controller) is the core component, interfacing with the power supply, battery, sensors, and display. The pinout provides specific details for connecting wires to the TMC, ensuring all components communicate correctly. This setup is critical for managing the system, ensuring efficient and safe vehicle operation.

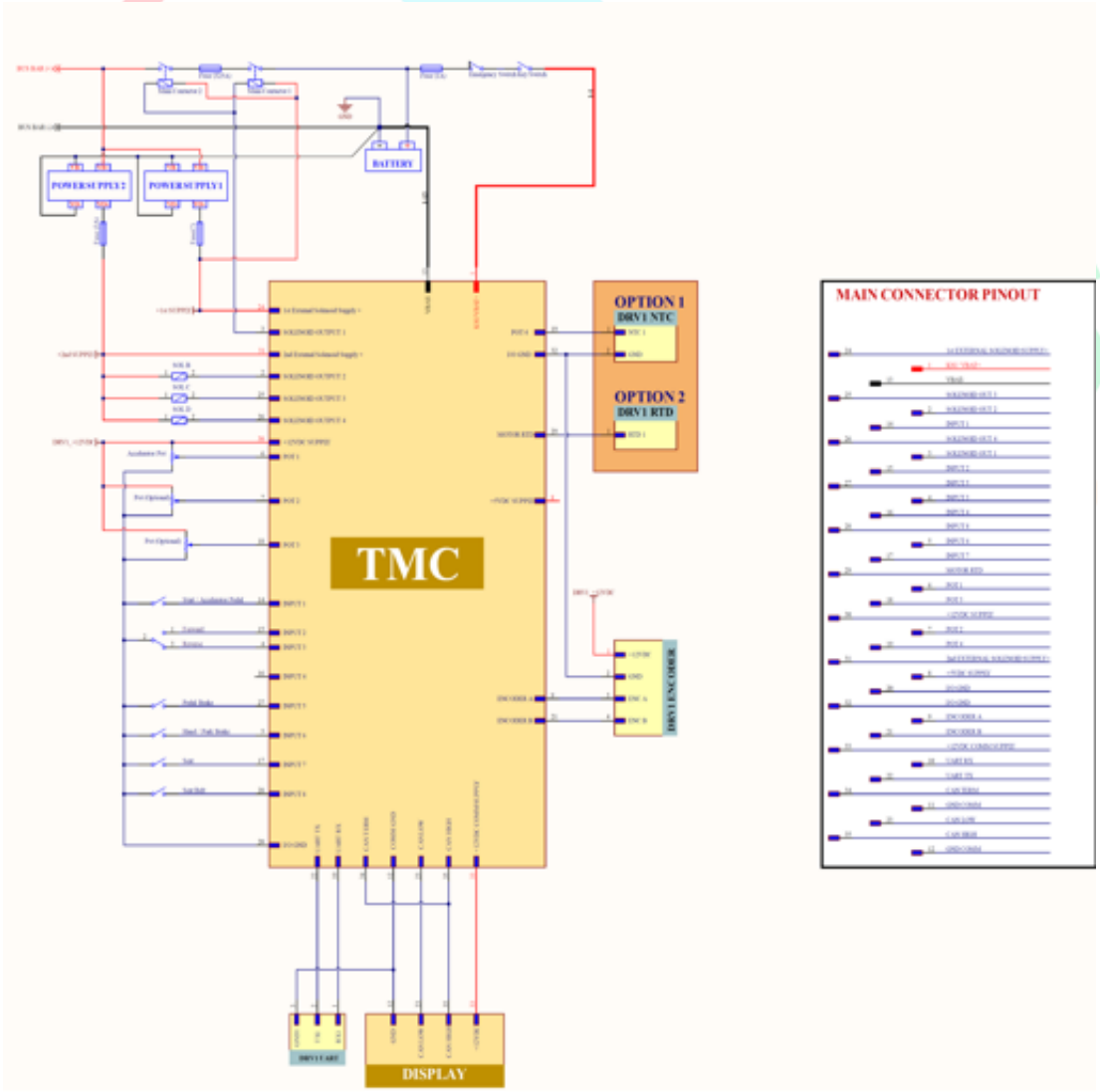


Figure 42 Pin-out Schematics of TMC

Power Connections

The battery is connected to the PSUs(Power Supply Unit), which then connect to the TMC(motor controller). Red line indicate power supply (12V or 24V in automotive applications).



Figure 43 DC Converter Connections

TMC Connections

Inputs (Left Side)

Various inputs such as sensor data, brake signals, and other control inputs are connected here. These inputs are critical for the TMC to manage based on real-time data.

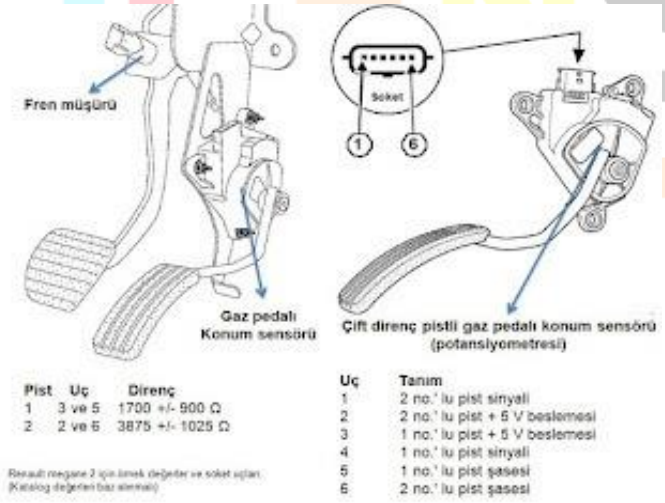


Figure 44 Brake and accelerator pedal connections

Outputs (Right Side)

Outputs to the display other actuators or systems in the vehicle.

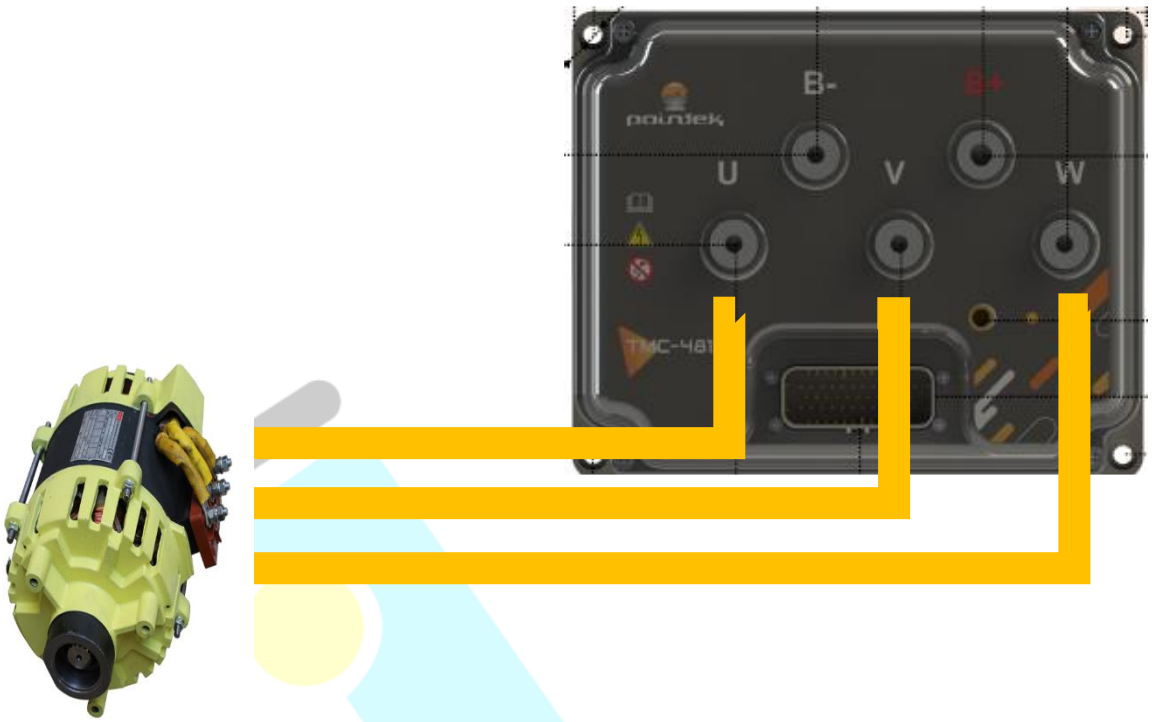


Figure 45 Inverter and Electric Motor

Display Connection

Direct connection from the TMC to the display unit. This connection likely includes both power and data lines to operate the display and transmit information.



Figure 46 Display icons

Main Connector Pinout

Each pin has a specific function, such as power input, ground, sensor inputs, and signal outputs. Pinout helps in understanding which wire connects to which part of the system, ensuring proper installation and troubleshooting.

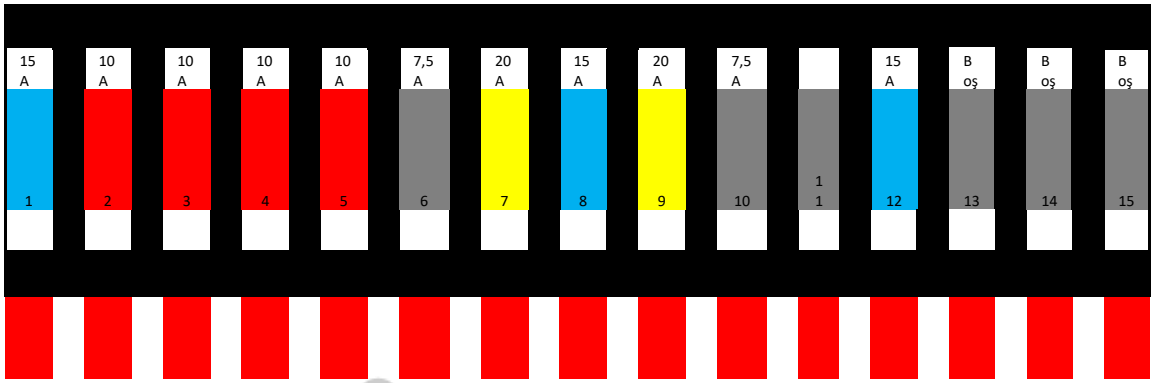


Figure 6 Main Connector Pin-out

Key Signals

12V_DC_1 and 12V_DC_2

These are power supply lines coming from the power supplies (PSU1 and PSU2) to the TMC.

Ground Connections

Essential for completing the electrical circuit and ensuring stable operation of the electronic components.

Sensor Inputs (e.g., CDC)

Inputs from various sensors, like brake sensors, that provide data to the TMC for processing.

These inputs help the TMC make decisions about how to control the transmission.

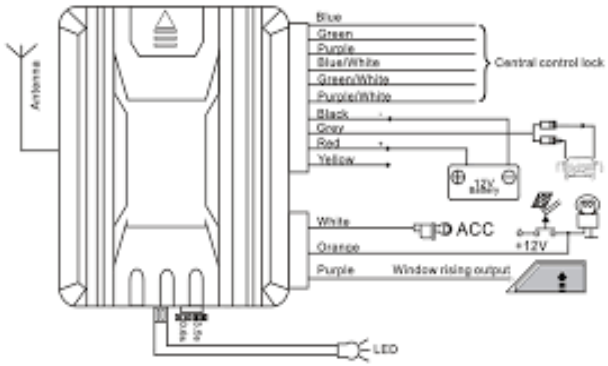


Figure 7 Central Door Controller

Data and Control Lines

Lines that carry data and control signals between the TMC and other components (like the display and optional brake components). Ensure the TMC can send and receive information to operate the transmission system effectively.

Since the electronic components in the braking system are standard, no calculation has been done; only the sensors are selected. In the lighting system, to extend the life of the LV battery, LEDs are used at the rear. Cheaper and longer-lasting choices has been made.

Conclusions

The research highlighted the significant shifts in transportation behavior prompted by the COVID-19 pandemic, emphasizing the growing trend towards micro-mobility solutions. As urban commuters increasingly opt for environmentally friendly and efficient alternatives, electric L-category vehicles have emerged as a promising solution. These vehicles, characterized by their compact size, lightweight design, and lower energy requirements, offer advantages such as cost-effective production and faster recharging times.

In addressing the homologation and electrification requirements of these vehicles, this study underscores the critical role of properly designed wiring harnesses in ensuring safe and efficient vehicle operation. Key factors in harness design, such as voltage and current requirements, material selection, routing, connectors, electromagnetic interference management, and fusing, are essential to meet regulatory standards and ensure reliability.

By categorizing the vehicle's electrical systems and developing comprehensive pin-out and concept schemes, the study provides a foundation for the implementation of electric L-category vehicles. These vehicles not only contribute to reducing emission and noise pollution but also align with the evolving preferences of urban commuters for convenient, sustainable transportation solutions. Ultimately, this research supports the advancement of light electric vehicles as viable alternatives for personal mobility, highlighting their potential to enhance urban transportation dynamics.

ISBN: 978-625-372-170-1

References

Olbrich S., Lackinger J., (2022), Manufacturing Processes of automotive high-voltage wire harnesses, 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems.

Xinxing Y., Yu Y., Yuqing L., (2019), Design and application of low cost and high reliability intelligent electric vehicle overall wire harness, AIP Conference Proceedings 2154.

4th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-170-1

Son Kilometre Teslimatında Karbon Ayak İzinin Azaltılması İçin Hibrit Scooter Modellemesi

Mustafa Mert ŞENOL[1]
Alp Tekin ERGENÇ[2]

Özet

Son yıllardaki tüketici alışkanlarındaki değişimler, e-ticaret ve yemek teslimatı sektörlerinde büyüme eğilimine yol açtı. Özellikle COVID-19 salgını, hükümetlerin evde kalma kısıtlamaları, şirketlerin evden çalışma düzenlemeleri ve öğrenciler için çevrimiçi eğitim gibi faktörler nedeniyle insanların evde geçirdiği süreyi artırdı. Bu durum, tüketicilere hizmet vermek için kurulan şirketlerin sayısı ve büyüklüğüne de yansıdı. Kişisel alışveriş ve evde yemek yapmaya kıyasla, çevrimiçi alışveriş ve yemek siparişleri günden güne artıyor. E-ticaret şirketleri, genellikle şehir içi kargo dağıtımı için panelvan ve motosikletleri tercih ederken, yemek dağıtımında ise genellikle hız ve park avantajları nedeniyle motosikletler kullanılmaktadır. Motosiklet kullanımının ana sebepleri olarak online yemek siparişlerindeki tüketici baskısı ve kalabalık şehirlerdeki park sorunu gösterilebilir. Buna bağlı olarak, sayıları hızla artan motosiklet kuryelerinin olumsuz çevresel etkilerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için son kilometre teslimatları için çeşitli önlemler almak gerekmektedir. Hibrit scooter araçlar, paket teslimatıyla ilişkili karbon ayak izini azaltmak için güçlü alternatiflerden biridir. Bu sayede yakıt tasarrufu ve dolayısıyla daha düşük emisyonlar sağlanacaktır. Hibrit çözüm yaklaşımı, içten yanmalı motora sahip olması sayesinde batarya teknolojisinin tamamen elektrikli menzil kısıtlamalarından kaynaklanan menzil kaygısını gidermenin yanı sıra, emisyonları da azaltır. Bu çalışma, son kilometre teslimatlarında içten yanmalı motorlu scooter araçları hibrit scooter araçlara dönüştürerek azaltılacak karbon ayak izini hesaplamak için bir araç modelleme çalışmasıdır.

Anahtar Sözcükler: Sürdürülebilirlik, karbon ayak izi, son kilometre teslimatı, hibrit scooter, e-ticaret

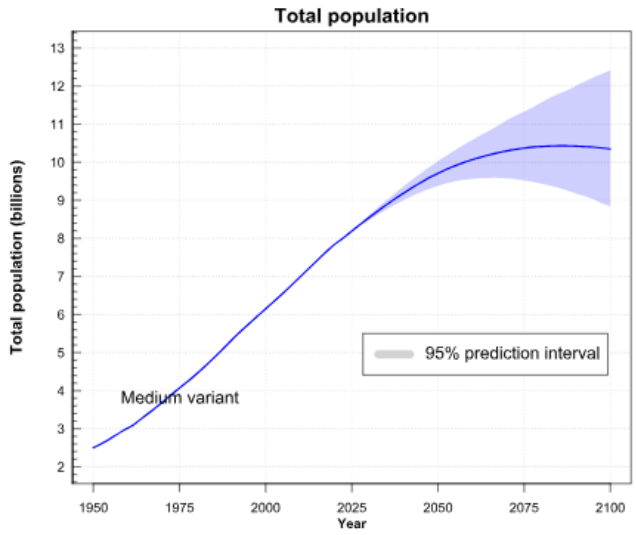
[1] Mühendis, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği
[2] Doç.Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Orcıd: 0000-0001-6659-7370

ISBN: 978-625-372-170-1

GİRİŞ

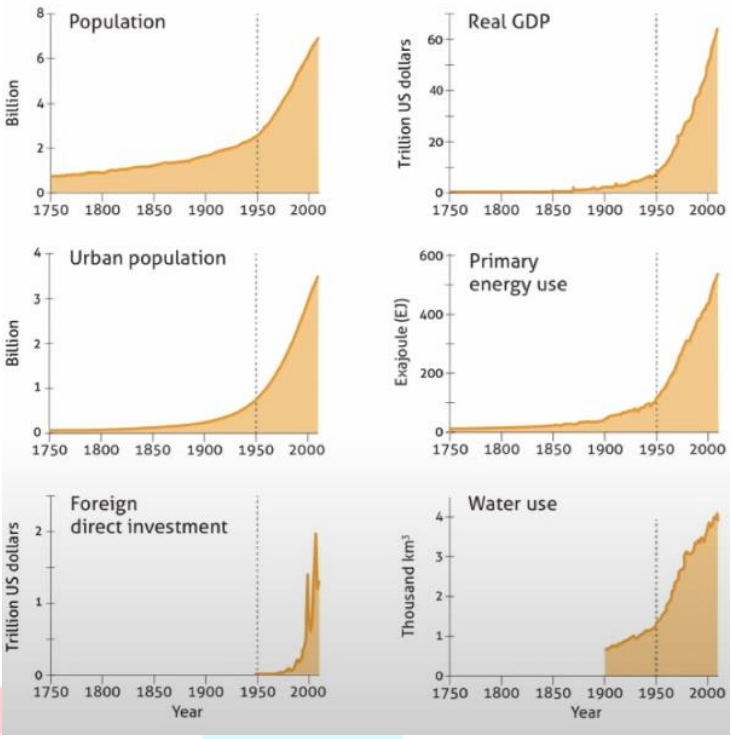
Sürdürülebilir Bir Çevre İçin Geçmişten Günümüze Değerlendirme

Gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama becerilerine engel olmadan, bugünün ihtiyaçlarını karşılamak, bize sürdürülebilirliğin en özet tanımını verir. Birleşmiş Milletler (BM) öncülüğünde imzalanan küresel ısınmaya yönelik hükümetlerarası ilk çevre sözleşmesi olan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) iklim değişikliğini, kıyaslanabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan değişiklik olarak tanımlamaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliğ i Bakanlığı, 2002). Son yıllarda çok daha sık duymaya başladığımız küresel iklim değişikliği, aslında tarih boyunca süregelen bir olgu olsa da günümüzde, insan faaliyetleri sebebiyle çok daha hızlı gerçekleşmektedir. Doğal sebepler arasında güneş aktiviteleri, volkanik patlamalar ve milankoviç döngüleri değerlendirilirken, insan kaynaklı sebepler arasında enerji üretimi, sanayi, ormansızlaşma, ulaşım, gıda üretimi ve binalarda kullanılan enerji bulunmaktadır.

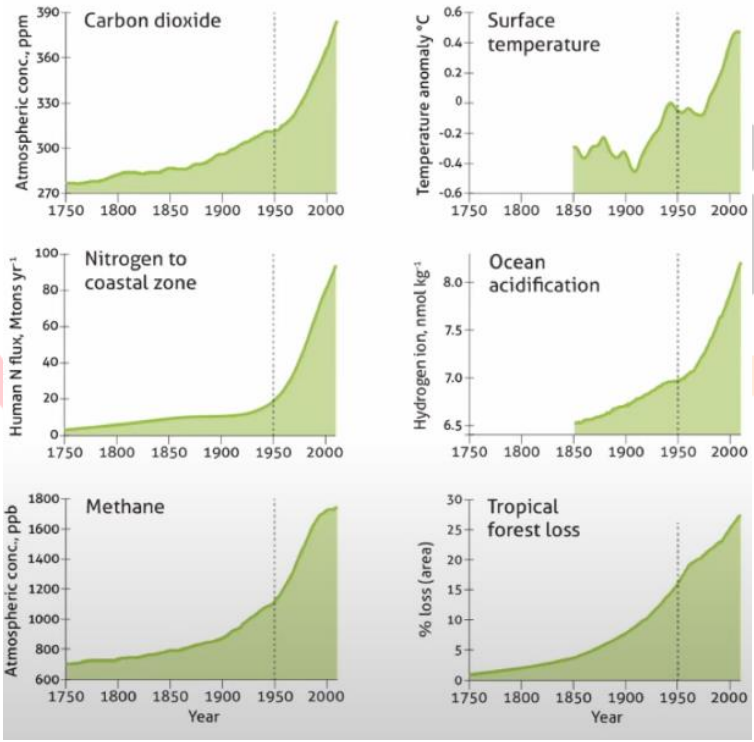


Şekil 1: *1950 yılından bu yana toplam insan nüfusundaki değişim ve 2100 tahmini (United Nations, 2022)*

Şekil 1'de görüldüğü üzere, 1950'li yıllar itibariyle, insan nüfusunda ve dolayısıyla insan faaliyetlerinde ciddi bir hızlanma ve genişleme gerçekleşmesi, küreselleşmiş bir toplum ortaya çıkmasına yol açtı ve çok sayıda insan için sağlık ve maddi yaşam standartları iyileşti. Bu durum, sosyoekonomik açıdan toplumun Şekil 2'de görüldüğü şekilde gelişmesini sağlarken, fosil enerji kaynaklarının ve diğer kaynakların kullanımında artışa sebep oldu ve bu nedenle de gezegenimiz Şekil 3'te görüldüğü şekilde etkilendi.



Şekil 2: *1750 – 2000 yılları arasındaki sosyoekonomik eğilim (Jäger vd. 2004)*

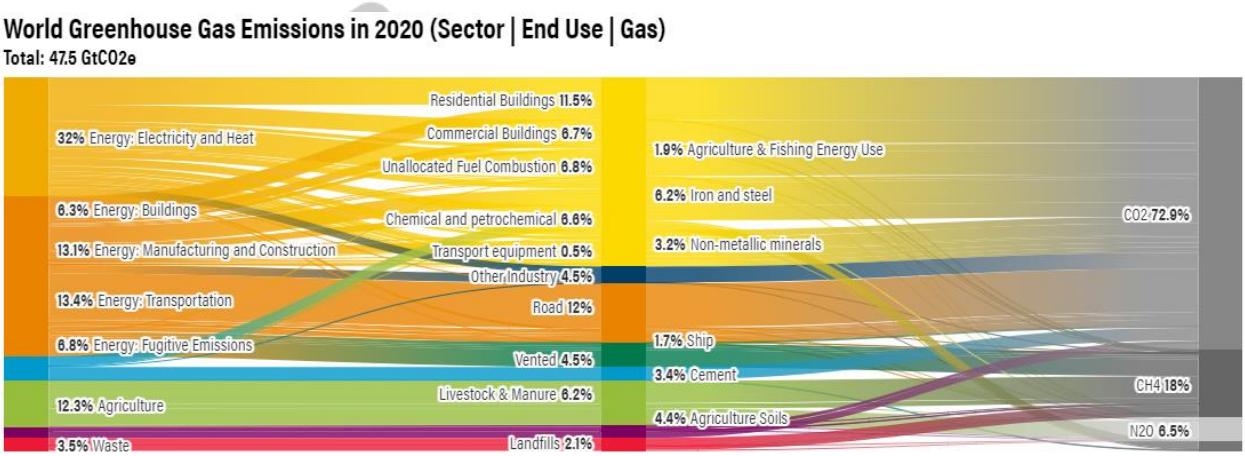


Şekil 3: *1750 – 2000 yılları arasındaki dünya sitstem eğilimi (Jäger vd. 2004)*

Küresel ısınmanın yakın tarihteki muhtemel sonuçlarından bahsetmek gerekirse, bu yüzyılın sonunda 3-4 santigrat derecelik bir artışı göz önüne aldığımızda muhtemel senaryoyu şu şekilde özetleyebiliriz.- Deniz seviyesinde, 60-130 santimetre kadar yükselme ve buna bağlı olarak sahil kentlerinin ve adaların su altında kalma riski. Bununla beraber, deniz ve okyanusların yeraltı suları ile karışması ve yeraltı sularının tuzlanması, - Mercan kayalıkları gibi ekosistemlerin çöküşü,

- Yeni hastalıkların ortaya çıkışı,
- Kuraklık, sıcaklık ve eriyen buzulların, suya ve gıdaya erişimi olumsuz yönde etkilemesi,
- Yangınların artması ve insanların yaşam alanlarının kısıtlanması.

İnsanların bu muhtemel sonuçlara nasıl tepki vereceği henüz tam olarak bilinmese de çatışmaların ve büyük göçlerin söz konusu olacağı ortadadır. Tüm bu nedenlerle, dünya uluslarının harekete geçmesi artık bir zorunluluktur. Bu bağlamda yapılan çalışmalar, bize salınımların nereden geldiğine dair genel bilgiler sunarak, atacağımız adımlar hakkında fikir sahibi olmamızı kolaylaştırmaktadır. World Resource Institute (2023) 2020 yılı için sera gazı emisyonlarının kaynakları sektör ve son kullanım alanı detayı ile verilmiştir. Bu detaylar Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4: *2020 yılı için sera gazı emisyonlarının sektör ve son kullanım alanı detayıyla gösterimi (World Resoursce Institute, 2023)*

Sera gazı emisyonları Dünya'mızı kaplamakta ve bu vesileyle Dünya'ya gelen güneş ışınlarının geri yansımasına engel olarak ısınmaya ve dolayısıyla küresel iklim değişikliğine, yol açmaktadır. İklim değişikliği ile birlikte, doğanın işleyişi değişmeye zorlanmakta ve gezegenimizdeki tüm canlılar bundan etkilenmekte veya gerekli önlemler alınmazsa, yakın zamanda etkilenecektir. National Aeronautics and Space Administration'a (NASA) (2024) göre, sera gazı tanımını oluşturan gazlar karbondioksit, metan, nitröz oksit ve kloroflorokarbonlar olmakla birlikte, su buharı da iklim değişikliğine dolaylı yoldan katkıda bulunan sera gazı olarak belirtilmektedir.

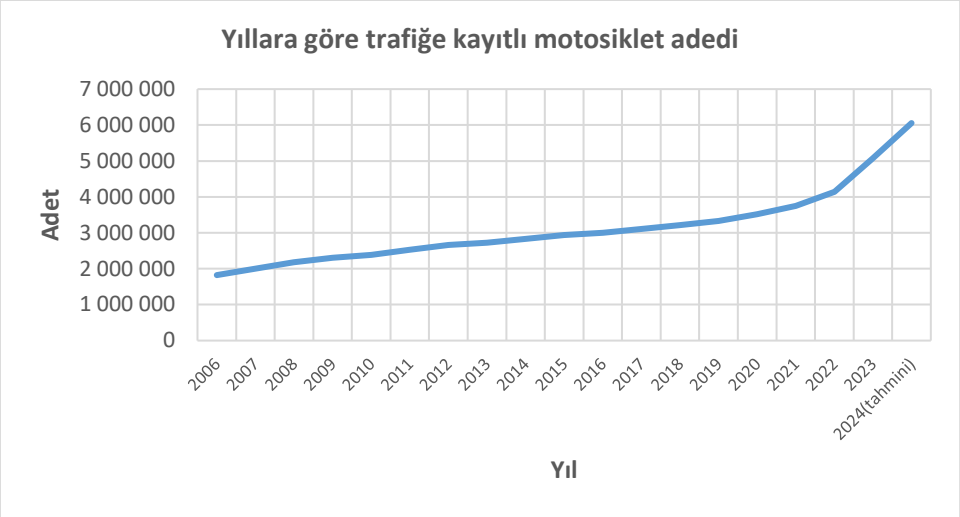
Kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtlar, küresel iklim değişikliğine en büyük katkıyı sağlamakta, küresel ölçekteki sera gazı emisyonlarının %75'inden fazlasını, tüm karbondioksit emisyonlarının ise neredeyse %90'ını oluşturmaktadır (United Nations, 2022).

Son Kilometre Teslimatı ve Karbon Ayak İzi

Son yıllardaki tüketici alışkanlarındaki değişimler; E-ticaret ve yemek teslimatı sektörlerinde büyüme eğilimine yol açtı. Özellikle COVID-19 salgını, hükümetlerin evde kalma kısıtlamaları, şirketlerin evden çalışma düzenlemeleri ve öğrenciler için çevrimiçi eğitim gibi faktörler nedeniyle insanların evde geçirdiği süreyi artırdı. Bu durum, tüketicilere hizmet vermek için kurulan şirketlerin sayısı ve büyüklüğüne de yansıdı. Kişisel alışveriş ve evde yemek yapmaya kıyasla, çevrimiçi alışveriş ve yemek siparişleri günden güne artmakta. Yemeksepeti firması, 2019 sonunda yayınladığı raporunda, 2019 yılında, yani COVID-19 öncesi dönemde, toplamda 340 milyon porsiyon teslimat yaptığını raporlamıştır.

E-ticaret şirketleri, genellikle şehir içi kargo dağıtımı için panelvan ve motosikletleri tercih ederken, yemek dağıtımında ise genellikle hız ve park avantajları nedeniyle motosikletler kullanılmaktadır. Motosiklet kullanımının ana sebepleri olarak çevrimiçi yemek siparişlerindeki tüketicilerin hız baskısı ve kalabalık şehirlerdeki park sorunu gösterilebilir. Buna bağlı olarak motosiklet kuryelerinin sayısı artmaktadır. İstanbul Planlama Ajansı'nın

Şubat 2022 tarihli raporuna göre, ülkemizdeki kayıtlı ve kayıtsız toplam sayıları 2021'de 900bin mertebesindedir. 2023'te ise bu rakamın 1,5 milyona ulaştığı söylenmiştir. Bu artışın bir başka göstergesi de, Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) (2024) raporunda, 2023 boyunca trafiğe kaydı yapılan toplam 2,3 milyon taşıtın 937bin kadarının motosiklet olmasıdır. Şekil 5'te görüldüğü üzere, 2024 yılı sonunda trafiğe kayıtlı toplam motosiklet adedinin 6 milyona ulaşması tahmin edilmektedir. Tüm bu artışlara ek olarak, önde gelene araştırma kuruluşlarından Statista (2024) raporunda Türkiye'deki çevrimiçi yemek siparişi pazarının 2028'e kadar %57 büyüme öngörüsünden bahsetmektedir.



Şekil 5: *2006-2024 yılları için trafiğe kayıtlı motosiklet adetleri (TÜİK, 2024)*

Tüm bu sebeplerden ötürü, sayıları hızla artan motosiklet kuryelerinin, olumsuz çevresel etkilerinin de artmaya devam edeceği gözlemlenmiştir. Sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için son kilometre teslimatları için çeşitli önlemler almak gerekmektedir. Hibrit motosiklet araçlar, paket teslimatıyla ilişkili karbon ayak izini azaltmak için güçlü alternatiflerden biridir. Bu sayede yakıt tasarrufu ve dolayısıyla daha düşük emisyonlar sağlanacaktır. Hibrit çözüm yaklaşımı, içten yanmalı motora da sahip olması sayesinde, batarya teknolojisinin, tamamen elektrikli menzil kısıtlamalarından kaynaklanan menzil kaygısını da ortadan kaldıracaktır. Tüm bu nedenlerle, bu çalışmada, son kilometre teslimatlarında içten yanmalı motorlu motosikletleri, hibrit motosikletlere dönüştürerek azaltılacak karbon ayak izini hesaplamak için bir araç modellemesi çalışılmıştır.

METODOLOJİ

Motosiklet Seçimi

Çalışmada üzerinde çalışılacak motosiklet seçilirken, kurye ve işletmeler tarafından sıkça tercih ediliyor olmasına dikkat edilmiş ve bu sayede hibrit model değerlendirmesi yapılırken, gerçeğe en yakın sonucu verecek bir çalışma olması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, üzerinde çalışılacak scooter marka modeli Honda Spacey Vision 110cc olarak belirlenmiştir. Araca ait bazı teknik bilgiler Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir. Motosikletin standart kütlesi 105 kg iken, hibrit dönüşümü gerçekleştirildiğinde, batarya, elektrik motoru vb. parçaların sisteme katılması sebebiyle, bu kütle 135 kg mertebesinde olacaktır. Bu kütle farkı, toplam kütle ve toplam enerji tüketimi göze alındığında, ihmal edilebilir sonuçlar yarattığı için, çalışmada göz ardı edilmiştir.

Özellik	Açıklama
Motorun tipi	Hava soğutmalı, 4 zamanlı, üstten çift eksantrikli
Motor hacmi	108 cc
Motor gücü	5,7 kW (7,6 bg) (7000 d/d)
Tork	8,4 Nm (5750 d/d)
Kütle	105 kg
Yakıt tankı kapasitesi	6,5 kg
İlk redüksiyon	V-Matic (2,52:1 – 0,82:1)
Son redüksiyon	9,423

Tablo 1: Çalışma için seçilen motosiklet için bazı teknik bilgiler

Sıra No	Nesne	Kütle [kg]
1	Motosiklet	105
2	Sürücü	90
3	Sürücüye ait koruyucu ekipmanlar	20
4	Batarya, kontrol ünitesi ve kablolar (sadece hibritte)	20
5	Elektrik motoru (sadece hibritte)	7
6	Güç aktarma için gerekli parçalar (sadece hibritte)	3
	TOPLAM	**245**

Tablo 2: Çalışma için seçilen motosiklet için detaylı kütle bilgileri

Motosiklete Etkiyen Direnç Kuvvetleri

Tekerleklerin, yol ile temas halindeyken dönmeye karşı gösterdiği direnç, yuvarlanma direnci (F_R) kuvveti olarak isimlendirilmektedir. Bu direnç, aracın hareket yönüne zıt bir kuvvet oluşturur. Bir motosiklette yuvarlanma direncini etkileyen faktörler, hız, taç açısı, lastik basıncı, lastik kesit oranı, lastik malzemesi ve şekli, yol yüzeyi (zemin), lastik yükü ve eğim olarak verilebilir. Bu araçlar iki tekerlekli olduğu için, iki ayrı yuvarlanma direnci oluşur. Hesaplama kolaylığı açısından, toplam ağırlığın tek bir tekerleğe aitmiş gibi ele alınması, sonuçtaki hata miktarını ihmal edilebilir düzeye indirir. Bu nedenle, bu çalışmada da hesaplamalar bu şekilde yapılmıştır. Yuvarlanma kuvveti aşağıdaki formül ile hesaplanır ve devamında formülde geçen tanımlar verilmiştir.

$$F_R = m * \varrho * C_R * Cos\alpha$$

m: kütle [kg]
ϱ: yerçekimi ivmesi [m/s^2]
C_R: yuvarlanma direnci katsayısı
α: taşıtın taban düzlemi ile zemin düzlemi arasındaki açı [derece]

Kukla vd. (2019) çalışmalarında, düzgün asfalt zemin için yuvarlanma direnci katsayısı 0,007 ile 0,02 arasında değerlendirilmekle birlikte, çoğunlukla 0,012 olarak hesaba alındığından bahsetmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada da 0,012 katsayısı kullanılacaktır.

Hareket halindeki her taşıt, havanın direnciyle karşı karşıyadır. Bu direnç, rüzgar direnci (F_{AD}) olarak isimlendirilir ve taşıtın ilerlemesini zorlaştıran, taşıtı yavaşlatan hususlardan biridir. Rüzgar direncinin etkisi, özellikle yüksek hızlarda belirgin hale gelir ve bu direnç yakıt tüketimini artırır ve gürültü kirliliğine yol açar. Rüzgar direncinin büyüklüğü, aracın rüzgara göre bağıl hızına, aerodinamik şekline ve havanın yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Rüzgar direnci, söz konusu bağıl hızın karesiyle değişirken, taşıtların aerodinamik şeklinden doğan aerodinamik katsayı da, rüzgar direnci hesaplamaları konusunda

önemli bir husustur. Tablo 3'te bazı taşıtlar için kullanılan rüzgar direnç katsayıları verilmiştir. Bu çalışmada 0,65 olarak hesaplamalara dahil edilecektir. Rüzgar kuvveti aşağıdaki formül ile hesaplanır ve devamında formülde geçen tanımlar verilmiştir.

$$F_{AD} = \frac{1}{2} * \rho * C_D * A * (V \pm V_0)^2$$

ρ: havanın yoğunluğu [kg/m^3]
C_D: rüzgar direnci katsayısı
A: aracın hareket yönündeki (ön) alanı [m^2]
V: aracın hızı [m/s]
V_0: rüzgar hızı [m/s]

Taşıt	Rüzgar Direnç Katsayısı (C_D)
Motosiklet	0,6 – 0,7
Otomobil (sedan)	0,4 – 0,6
Otomobil (üstü açık)	0,5 – 0,7
Otobüs	0,6 – 0,8
Kamyon ve TIR	0,8 – 1,5

Tablo 3: Bazı taşıtlar için kullanılan rüzgar direnç katsayıları

Taşıtların her zaman düz yolda ilerlemediği bir gerçektir. Yokuş yukarı ilerleyen taşıtlarda, yokuş direnci taşıtın hareketine olumsuz etki yaparken, yokuş aşağı ilerleyen taşıtlarda ise olumlu etki yapmaktadır. Basit ifade ile, taşıtların yokuş tırmanırken daha fazla kuvvete karşı gelmek zorunda kalmalarının sebebi, yerçekimine karşı yapılan iştir. Taşıt düz yolda ilerleme hareketine ek olarak bir yükseklik kazanacağı için bu şekilde ifade edebiliriz. Yokuş kuvveti (F_{CR}), taşıtın ağırlığına, yerçekimine ve eğim açısına bağlı olarak değişir. Eğim kuvveti aşağıdaki formül ile hesaplanır ve devamında formülde geçen tanımlar verilmiştir.

$$F_{CR} = m * \varrho * \text{Sin}\alpha$$

m: kütle [kg]
ϱ: yerçekimi ivmesi [m/s^2]
α: aracın taban düzlemi ile zemin düzlemi arasındaki açı [derece]

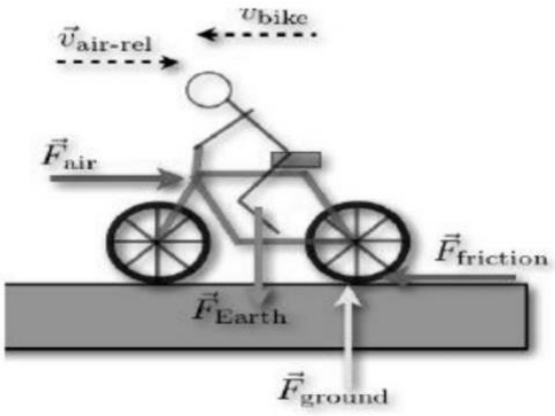
Taşıtlar trafikte ilerlerken, hızları (trafik hızına bağlı olarak) sürekli değişkendir. Bazı anlarda hızlanırken, bazı anlarda da yavaşlayan taşıtların ortak bir yönü, eylemsizlik kuvvetiyle karşılaşmalarıdır. Özetle, taşıt hızının değiştiği yönün aksine olan bu atalet kuvveti, ivme kuvveti (F_a) olarak adlandırılmaktadır. Bu ivme kuvvetinin hesabında, tekerleklerden kaynaklı dönme eylemsizliği de dikkate alınmaktadır. Yap (2010) çalışmasında, dönme eylemsizliği katsayısı (Km) için 1,08 ile 1,1 arasında alınabileceğinden bahsetmiştir ve bu çalışmada da 1,08 olarak hesaba katılacaktır. Eğim kuvveti aşağıdaki formül ile hesaplanır ve devamında formülde geçen tanımlar verilmiştir.

$$F_a = K_m * m * a$$

K_m: dönme eylemsizliği katsayısı
m: kütle [kg]
a: taşıtın ivmesi [m/s^2]

Taşıta etkiyen toplam direnç kuvveti (F_{TR}), bu bahsi geçen 4 kuvvetin toplamından oluşmaktadır.

$$F_{TR} = F_R + F_{AD} + F_{CR} + F_a$$



Şekil 6: Motosiklete etkiyen kuvvetler (Bhorge vd. (2017)

Elektrik Motorunun Seçimi (Gerekli Güç Hesaplaması)

Çalışma yapılacak motosiklet marka ve modeli, özellikle motokuryeler tarafından çok tercih edilen Honda Spacey Vision olarak seçilmiştir. Gerekli elektrik motoru gücü hesaplanırken ise, motokuryelerin ihtiyacını mümkün mertebe karşılarken, uygulanabilirlik açısından da problem yaratmayacak bir çözüm hedefinde titizlikle çalışılmıştır. Bu bağlamda, elektrik motoru düz yolda, maksimum 20km/sa hıza kadar ve maksimum 0,4 m/s2 ivmeli hızlanmayı sağlayacak şekilde seçilmek üzere, aşağıdaki hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalar gerçekleştirilirken, şu kabuller yapılmıştır;

$C_R = 0{,}012$

$C_D = 0{,}65$

$A = 1{,}5\ m^2$

$V_0 = 0$

$K_m = 1{,}08$

$$F_R = 28{,}85\ N$$

$$F_{AD} = 18{,}1\ N$$

$$F_{CR} = 0$$

$$F_a = 105{,}85\ N$$

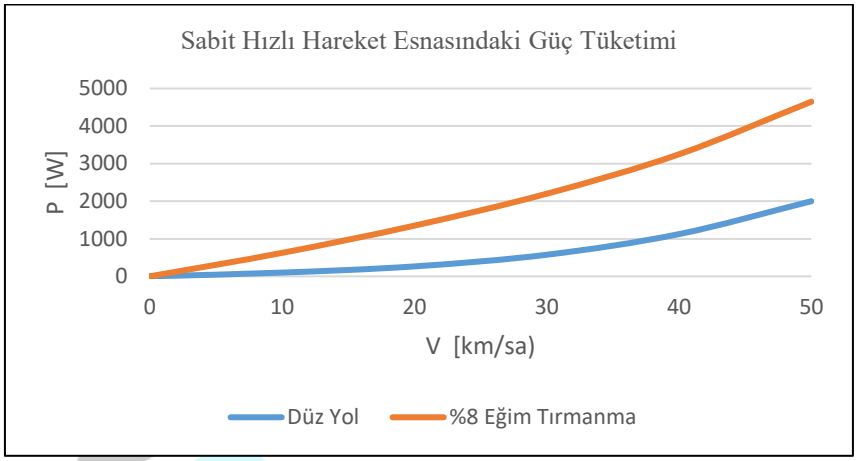
$$F_{TR} = 152{,}8\ N$$

$$P = F_{TR} * V$$

$$P = 152{,}8 * 5{,}56$$

$$P = 850\ W$$

Taşıta etkiyen direnç kuvvetleri göz önüne alınarak yapılan hesaplamaların sonucunda, taşıtın EM ile ilerleyeceği en zorlayıcı şartlarda yaklaşık 850W güce ihtiyacı olacağı ortadadır. Bu noktada, servis faktörü 1,2 olan 750W nominal güce sahip bir elektrik motoru seçilirse, hem dizayn açısından, hem de maliyet acısından kazanç ile proje çalışılabilir. Zira, taşıtın hızlanmasında, 18 km/sa hıza kadar tüketim 750 W'ı geçmeyecek, sadece 18 ile 20 km/sa hızları arasında geçen 1,5 saniye boyunca gerekli güç kademeli olarak 850 W'a ulaşacaktır. Bu vesile ile, 750 W nominal güce sahip bir elektrik motoru, yeter ve gerek şartları karşıladığı öngörülerek, çalışma için seçilmiştir.



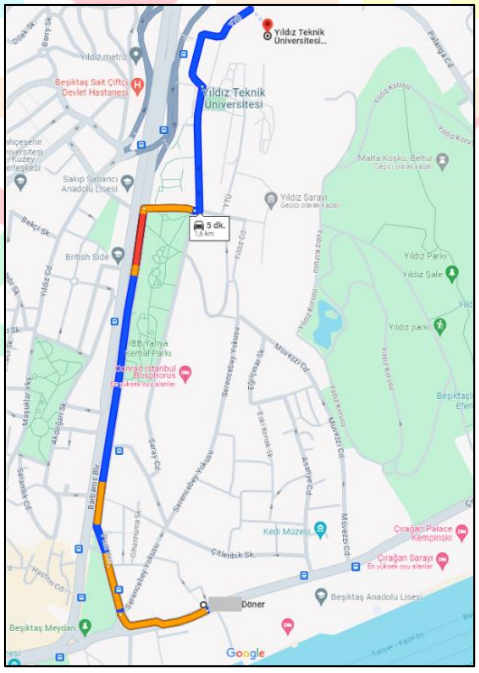
Şekil 7: Motosikletin sabit hızlı hareketindeki güç ve hız ilişkisi

Motosikletin Teslimat Rotasındaki Güç Tüketimi

Yemeksepeti firmasının açıkladığı 2023 yılı istatistiklerinde, en çok sipariş edilen olmasından dolayı, sipariş edilen yemek döner olarak seçilmiş olup buna istinaden Yıldız Teknik Üniversitesi (Beşiktaş, İstanbul) yakınlarında bir döner restoranı belirlenerek, rota oluşturulmuştur.



Şekil 8: Yemeksepeti 2023 satışlarındaki ilk 5 ürün sıralaması



Şekil 9: Rota (sadece tek yön çizilmiştir)

Rota detayı Tablo 4'te verilmiştir.

Yol Tipi	**Güzergah (Gidiş)**	**Mesafe [m]**
Düz yol	Restoran - Beşiktaş Meydan Işıklar	350
Duruş	Işıklarda Bekleme	0
%8 Yokuş tırmanma	Beşiktaş Meydan Işıklar - Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar	200
Duruş	Işıklarda Bekleme	0
%8 Yokuş tırmanma	Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar - Saray Cd. Işıklar	550
Duruş	Işıklarda Bekleme	0
Düz yol	Saray Cd. Işıklar - YTÜ Giriş Güvenlik	125
Duruş	YTÜ Giriş Güvenlik	0
Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Kütüphane Alt Hizası	75
%8 Yokuş tırmanma	Kütüphane Alt Hizası - YTÜ Oditoryum Girişi	200
Düz yol	YTÜ Oditoryum Girişi - E Blok Girişi	150
	Toplam	**1650**

Yol Tipi	**Güzergah (Dönüş)**	**Mesafe [m]**
Düz yol	E Blok Girişi - YTÜ Oditoryum Girişi	150
%8 Yokuş iniş	YTÜ Oditoryum Girişi - Kütüphane Alt Hizası	200
Düz yol	Kütüphane Alt Hizası - YTÜ Giriş Güvenlik	75
Duruş	YTÜ Giriş Güvenlik	0
Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Saray Cd. Işıklar	125
Duruş	Işıklarda Bekleme	0
%8 Yokuş iniş	Saray Cd. Işıklar - Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar	550
Duruş	Işıklarda Bekleme	0
%8 Yokuş iniş	Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar - Beşiktaş Meydan Işıklar	200
Duruş	Işıklarda Bekleme	0
Düz yol	Beşiktaş Meydan Işıklar - Restoran	350
	Toplam	**1650**

Tablo 4: Yemek siparişi için belirlenen rota ve bazı detayları

Söz konusu rotada ilgili motosikletin içten yanmalı motor (İYM) ile gerçekleştireceği yolculuk için detaylar Tablo 5'te verilmiştir. Aynı rotada, motosikletin İYM ve elektrik motoru (EM) ile hibrit çalışma düzeninde gerçekleştireceği yolculuk için detaylar ise Tablo 6'da verilmiştir. Bu hesaplamalarda, hibrit motosikletin fren süresince gerçekleşen rejenerasyon sürecinde batarya şarjı göz ardı edilmiştir.

Adım No	Yol Tipi	Güzergah (Gidiş)	Mesafe [m]	Motorun Anlık Çalışma Durumu	V1 [km/sa]	V2 [km/sa]	Vort [km/sa]	İvme [m/s2]	Tort [s]	Port [W]	P * T [kWsa]
1. Adım	Düz yol	Restoran - Beşiktaş Meydan Işıklar	70	Tam Gaz	0	50	25	1.39	10.08	5700	0.01596
2. Adım	Düz yol	Restoran - Beşiktaş Meydan Işıklar	280	Sabit hız için orta gaz	50	50	50	0	20.16	2000	0.0112
3. Adım	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Rölanti	0	0	0	0	15	0	0
4. Adım	%8 Yokuş tırmanma	Beşiktaş Meydan Işıklar - Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar	150	Tam Gaz	0	50	25	0.66	21.6	5700	0.0342
5. Adım	%8 Yokuş tırmanma	Beşiktaş Meydan Işıklar - Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar	50	Sabit hız için orta gaz	50	50	50	0	3.6	4650	0.00465
6. Adım	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Rölanti	0	0	0	0	15	0	0
7. Adım	%8 Yokuş tırmanma	Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar - Saray Cd. Işıklar	150	Tam Gaz	0	50	25	0.66	21.6	5700	0.0342
8. Adım	%8 Yokuş tırmanma	Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar - Saray Cd. Işıklar	400	Sabit hız için orta gaz	50	50	50	0	28.8	4650	0.0372
9. Adım	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Rölanti	0	0	0	0	15	0	0
10. Adım	Düz yol	Saray Cd. Işıklar - YTÜ Giriş Güvenlik	70	Tam Gaz	0	50	25	1.39	10.08	5700	0.01596
11. Adım	Düz yol	Saray Cd. Işıklar - YTÜ Giriş Güvenlik	55	Sabit hız için orta gaz	50	50	50	0	3.96	2000	0.0022
12. Adım	Duruş	YTÜ Giriş Güvenlik	0	Rölanti	0	0	0	0	30	0	0
13. Adım	Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Kütüphane Alt Hizası	15	Tam Gaz	0	20	10	1.39	5.4	5700	0.00855
14. Adım	Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Kütüphane Alt Hizası	60	Sabit hız için hafif gaz	20	20	20	0	10.8	265	0.000795
15. Adım	%8 Yokuş tırmanma	Kütüphane Alt Hizası - YTÜ Oditoryum Girişi	200	Sabit hız için hafif gaz	20	20	20	0	36	1350	0.0135
16. Adım	Düz yol	YTÜ Oditoryum Girişi - E Blok Girişi	150	Sabit hız için hafif gaz	20	20	20	0	27	265	0.0019875
		Toplam	1650						274.08		0.1804

Adım No	Yol Tipi	Güzergah (Dönüş)	Mesafe [m]	Motorun Anlık Çalışma Durumu	V1 [km/sa]	V2 [km/sa]	Vort [km/sa]	İvme [m/s2]	Tort [s]	Port [W]	P * T [kWsa]
1. Adım (Düz yol)	Düz yol	E Blok Girişi - YTÜ Oditoryum Girişi	15	Tam Gaz	0	20	10	1.39	5.4	5700	0.00855
2. Adım (Düz yol)	Düz yol	E Blok Girişi - YTÜ Oditoryum Girişi	135	Sabit hız için hafif gaz	20	20	20	0	24.3	265	0.00178875
3. Adım (%8 Yokuş iniş)	%8 Yokuş iniş	YTÜ Oditoryum Girişi - Kütüphane Alt Hizası	200	Rölanti	20	20	20	0	36	0	0
4. Adım (Düz yol)	Düz yol	Kütüphane Alt Hizası - YTÜ Giriş Güvenlik	75	Sabit hız için hafif gaz	20	20	20	0	13.5	265	0.00099375
5. Adım (Rölanti 5 s)	Duruş	YTÜ Giriş Güvenlik	0	Rölanti	0	0		0	5	0	0
6. Adım (Düz yol)	Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Saray Cd. Işıklar	70	Tam Gaz	0	50	25	1.39	10.08	5700	0.01596
7. Adım (Düz yol)	Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Saray Cd. Işıklar	55	Sabit hız için hafif gaz	50	50	50	0	3.96	2000	0.0022
8. Adım (Rölanti 15 s)	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Rölanti	0	0		0	15	0	0
9. Adım (%8 Yokuş iniş)	%8 Yokuş iniş	Saray Cd. Işıklar - Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar	50	Tam Gaz	0	50	25	2.1	7.2	5700	0.0114
10. Adım (%8 Yokuş iniş)	%8 Yokuş iniş	Saray Cd. Işıklar - Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar	500	Rölanti	50	50	50	0	36	0	0
11. Adım (Rölanti 15 s)	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Rölanti	0	0		0	15	0	0
12. Adım (%8 Yokuş iniş)	%8 Yokuş iniş	Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar - Beşiktaş Meydan Işıklar	50	Tam Gaz	0	50	25	2.1	7.2	5700	0.0114
13. Adım (%8 Yokuş iniş)	%8 Yokuş iniş	Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar - Beşiktaş Meydan Işıklar	150	Rölanti	50	50	50	0	10.8	0	0
14. Adım (Rölanti 15 s)	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Rölanti	0	0		0	15	0	0
15. Adım (Düz yol)	Düz yol	Beşiktaş Meydan Işıklar - Restoran	70	Tam Gaz	0	50	25	1.39	10.08	5700	0.01596
16. Adım (Düz yol)	Düz yol	Beşiktaş Meydan Işıklar - Restoran	280	Sabit hız için hafif gaz	50	50	50	0	20.16	2000	0.0112
		Toplam	1650						234.68		0.0795

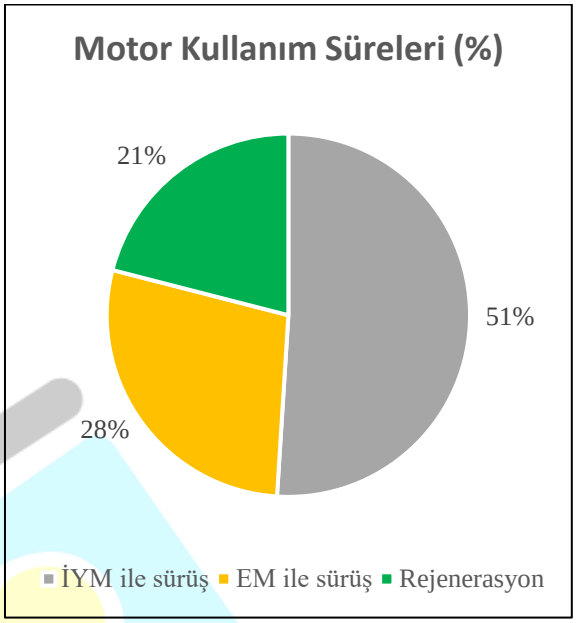
Tablo 5: İlgili rotada, İYM ile yolculuğa ait detaylar

Adım No	Yol Tipi	Güzergah (Gidiş)	Mesafe [m]	Motorun Anlık Çalışma Durumu	V1 [km/sa]	V2 [km/sa]	Vort [km/sa]	İvme [m/s2]	Tort [s]	Port [W]	P * T [kWsa]
1. Adım	Düz yol	Restoran - Beşiktaş Meydan Işıklar	40	EM Tam Gaz	0	20	10	0.4	14.4	800	0.0032
2. Adım	Düz yol	Restoran - Beşiktaş Meydan Işıklar	60	İYM Tam Gaz	20	50	35	1.39	6.2	5700	0.009771429
3. Adım	Düz yol	Restoran - Beşiktaş Meydan Işıklar	250	İYM Sabit hız için orta gaz	50	50	50	0	18.0	2000	0.01
4. Adım	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Stop	0	0	0	0	15.0	0	0
5. Adım	%8 Yokuş tırmanma	Beşiktaş Meydan Işıklar - Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar	150	İYM Tam Gaz	0	50	25	0.66	21.6	5700	0.0342
6. Adım	%8 Yokuş tırmanma	Beşiktaş Meydan Işıklar - Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar	50	İYM Orta Gaz	50	50	50	0	3.6	4650	0.00465
7. Adım	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Stop	0	0	0	0	15.0	0	0
8. Adım	%8 Yokuş tırmanma	Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar - Saray Cd. Işıklar	150	İYM Tam Gaz	0	50	25	0.66	21.6	5700	0.0342
9. Adım	%8 Yokuş tırmanma	Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar - Saray Cd. Işıklar	400	İYM Orta Gaz	50	50	50	0	28.8	4650	0.0372
10. Adım	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Stop	0	0	0	0	15.0	0	0
11. Adım	Düz yol	Saray Cd. Işıklar - YTÜ Giriş Güvenlik	40	EM Tam Gaz	0	20	10	0.4	14.4	800	0.0032
12. Adım	Düz yol	Saray Cd. Işıklar - YTÜ Giriş Güvenlik	60	İYM Tam Gaz	20	50	35	1.39	6.2	5700	0.009771429
13. Adım	Düz yol	Saray Cd. Işıklar - YTÜ Giriş Güvenlik	25	İYM Orta Gaz	50	50	50	0	1.8	2000	0.001
14. Adım	Duruş	YTÜ Giriş Güvenlik	0	Stop	0	0	0	0	15.0	0	0
15. Adım	Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Kütüphane Alt Hizası	40	EM Tam Gaz	0	20	10	0.4	14.4	800	0.0032
16. Adım	Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Kütüphane Alt Hizası	35	EM Hafif Gaz	20	20	20	0	6.3	265	0.00046375
17. Adım	%8 Yokuş tırmanma	Kütüphane Alt Hizası - YTÜ Oditoryum Girişi	200	İYM Hafif Gaz	20	20	20	0	36	1350	0.0135
18. Adım	Düz yol	YTÜ Oditoryum Girişi - E Blok Girişi	150	EM Hafif Gaz	20	20	20	0	27.0	265	0.0019875
		Toplam	1650						280.2		0.1663

Adım No	Yol Tipi	Güzergah (Dönüş)	Mesafe [m]	Motorun Anlık Çalışma Durumu	V1 [km/sa]	V2 [km/sa]	Vort [km/sa]	İvme [m/s2]	Tort [s]	Port [W]	P * T [kWsa]
1. Adım	Düz yol	E Blok Girişi - YTÜ Oditoryum Girişi	40	EM Tam Gaz	0	20	10	0.4	14.4	800	0.0032
2. Adım	Düz yol	E Blok Girişi - YTÜ Oditoryum Girişi	110	EM Hafif Gaz	20	20	20	0	19.8	265	0.0014575
3. Adım	%8 Yokuş iniş	YTÜ Oditoryum Girişi - Kütüphane Alt Hizası	200	Rejenerasyon	20	20	20	0	36.0	0	0
4. Adım	Düz yol	Kütüphane Alt Hizası - YTÜ Giriş Güvenlik	75	EM Hafif Gaz	20	20	20	0	13.5	265	0.00099375
5. Adım	Duruş	YTÜ Giriş Güvenlik	0	Stop	0	0	0	0	5.0	0	0
6. Adım	Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Saray Cd. Işıklar	40	EM Tam Gaz	0	20	10	0.4	14.4	800	0.0032
7. Adım	Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Saray Cd. Işıklar	60	İYM Tam Gaz	20	50	35	1.39	6.2	5700	0.009771429
8. Adım	Düz yol	YTÜ Giriş Güvenlik - Saray Cd. Işıklar	25	İYM Orta Gaz	50	50	50	0	1.8	2000	0.001
9. Adım	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Stop	0	0	0	0	15.0	0	0
10. Adım	%8 Yokuş iniş	Saray Cd. Işıklar - Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar	200	Rejenerasyon	0	50	25	0.5	28.8	0	0
11. Adım	%8 Yokuş iniş	Saray Cd. Işıklar - Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar	350	Rejenerasyon	50	50	50	0	25.2	0	0
12. Adım	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Stop	0	0	0	0	15.0	0	0
13. Adım	%8 Yokuş iniş	Mehmet Ali Bey Sk. Işıklar - Beşiktaş Meydan Işıklar	200	Rejenerasyon	0	50	25	0.5	28.8	0	0
14. Adım	Duruş	Işıklarda Bekleme	0	Stop	0	0	0	0	15.0	0	0
15. Adım	Düz yol	Beşiktaş Meydan Işıklar - Restoran	40	EM Tam Gaz	0	20	10	0.4	14.4	800	0.0032
16. Adım	Düz yol	Beşiktaş Meydan Işıklar - Restoran	60	İYM Tam Gaz	20	50	35	1.39	6.2	5700	0.009771429
17. Adım	Düz yol	Beşiktaş Meydan Işıklar - Restoran	250	İYM Orta Gaz	50	50	50	0	18.0	2000	0.01
		Toplam	1650						277.4		0.0426

Tablo 6: İlgili rotada, İYM + EM ile (hibrit) yolculuğa ait detaylar

Tablolardan görüldüğü üzere, motosiklet İYM ile bu yolculuğu gerçekleştirdiğinde, toplamda 509 saniyelik yolculuğun tamamını benzin tüketerek gerçekleştirirken, İYM ve EM (hibrit) şekilde gerçekleştirdiğinde ise 558 saniyelik toplam yolculuğun sadece 286 saniyelik kısmını benzin tüketerek gerçekleştirmektedir. Şekil 10, hibrit motosikletin tahrik edildiği yöntem bazında yolculuk sürelerinin oranlarını göstermektedir.



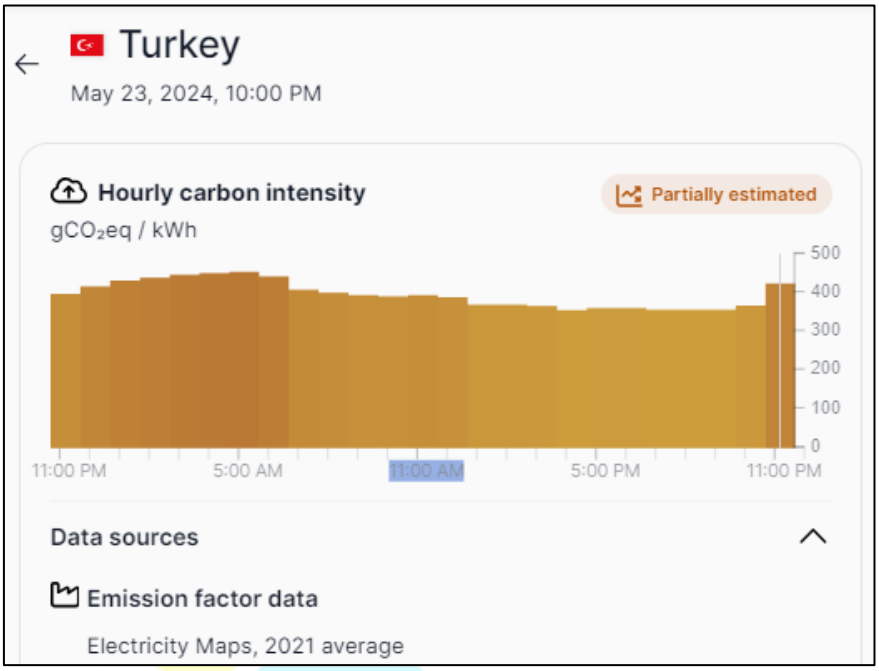
Şekil 10: Motor kullanım sürelerinin dağılımı

SONUÇ

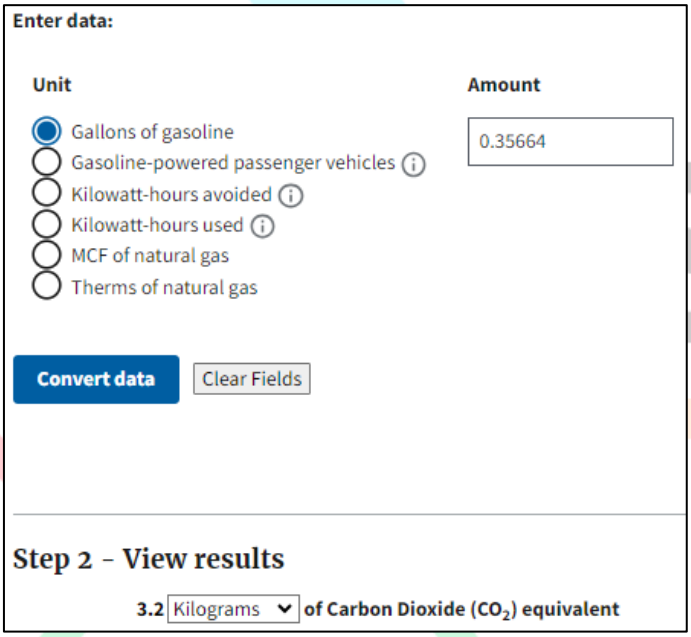
Rotadaki Tüketim ve Emisyonlar

Teorik hesaplamalara göre, ilgili rotadaki teslimat; İYM ile gerçekleştirildiğinde toplam enerji tüketimi yaklaşık 0,26 kWsa, İYM + EM ile gerçekleştirildiğinde ise yaklaşık 0,21 kWsa olarak gerçekleşecektir. Hibrit modeldeki 0,21 kWsa tüketimin; 0,024 kWsa'lik kısmı elektrik motorundan gelirken, 0,185 kWsa'lik kısmı içten yanmalı motordan gelmektedir.

Electricity Maps (2024) verilerine göre, karbon yoğunlukları ülkemizde, elektrik için öğlen 375 ve akşam 350 gCO2e/kWsa mertebelerindedir. Benzin için karbon yoğunluğu ise 270 gCO2e/kWsa mertebesindedir. Benzinin 1 kg yakılması durumunda ortaya çıkan karbon emisyonu ise 3.200 gCO2e mertebesindedir (EPA, 2024). Toplam yakıt sarfiyatı ve oluşan emisyon hesaplamaları yapılırken, yakıttan kaynaklı ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüşüm verimi
dikkate alınmalıdır. İYM için toplam verimin %20, EM için ise %95 olduğu kabul edildiğind e;
İYM'li taşıtın bir turundaki emisyon 351 gCO2e iken, hibrit model için bu değer yaklaşık 259 gCO2e olarak gerçekleşecektir. Bu sayede 92 gCO2e karbon emisyonunun önüne geçilerek, %26 oranında emisyon düşüşü sağlanacaktır. İYM'li taşıt söz konusu rotada 110 g benzin tüketirken, hibrit taşıt 78,4 g benzin tüketmektedir. Bu sayede fosil yakıt tüketiminden de tasarruf sağlanacaktır.



Şekil 11: Türkiye'de elektrik enerjisi üretimi için ortalama saatlik karbon yoğunluğu (Electricity Maps, 2024)



Şekil 12: 1 kg karşılığı benzin için karbon yoğunluğu

Değerlendirme

Çevrimiçi yemek siparişi ve kargo teslimatlarında kullanılan motosikletlerin, teslim edilen paket başına düşen emisyon oranlarının azaltılması gerekliliği ortadadır. Bu taşıtların trafikteki güncel adedi bir hayli yüksek olmasının yanı sıra, önümüzdeki süreçte daha büyük bir hızla artmasının öngörülmesi sebebiyle, emisyonların azaltılması için bir an evvel hareket geçilmelidir. Günümüz teknolojisinde ortadan kaldırdığı menzil problemi ve ekonomik avantajlar sebebiyle, hibrit sistem bu konuda güçlü bir alternatiftir.

Tasarımımıza göre nominal gücü 750 W, servis faktörü 1,20 olan bir elektrik motoruyla, söz konusu hibrit model düz yolda 20 km/sa hıza çıkabilecektir. Bu sayede, İYM

ile sürüş oranını yarıya düşürecektir. Yokuş inişlerinde gerçekleşecek rejenerasyon sayesinde hem İYM çalışmayarak yakıt tasarrufu ve emisyon düşüşü sağlanacak, hem de batarya şarj olarak elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonların da düşmesi sağlanacaktır. Trafik lambaları ve site/kurum girişlerindeki güvenlik kontrolleri süresince de motorun çalışmaması yakıt tasarrufu ve emisyon düşüşü sağlayacaktır. Hibrit araçlar elektrik üretiminde karbon yoğunluğunun düştüğü akşam saatlerinde şarj edilirse, emisyonlar daha da düşecektir.

Detaylı çalışmalar yapılarak modelin ispatlanmasına, çalışmanın diğer kısımlarında yer verilecektir. Projenin ilerletilmesi ile oluşacak net model ile birlikte, bir paketin farklı rotalardaki karbon ayak izi yorumlanacak ve birim paket başına rotaya bağlı karbon ayak izi hesaplaması elde edilecektir.

ISBN: 978-625-372-170-1

KAYNAKÇA

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2002, Ekim). *İklim değişikliği çerçeve sözleşmesi*. Erişim tarihi: 16.04.2024, https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/webmenu/webmenu12421_1.pdf

United Nations. (2022). *World population prospects 2022*. Erişim tarihi: 20.04.2024, https://population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/Line/900

(Jager, J., Matson, P., Moore, B., Oldfield, F., Richardson, K., Sanderson, A., Schellnhuber, H. J., Steffen, W., Turner, B. L., Tyson, P., & Wasson, R. J. (2004). *Global change and the earth system: a planet under pressure.* Berlin: Springer

World Resources Institute. (2023, Ekim). *World greenhouse gas emissions: 2020*. Erişim tarihi: 20.04.2024, https://www.wri.org/data/world-greenhouse-gas-emissions-2020

National Aeronautics and Space Administration. (2024, Mart). *The causes of climate change*. Erişim tarihi: 05.05.2024, https://science.nasa.gov/climate-change/causes

United Nations. (2022). *Cause and effects of climate change*. Erişim tarihi: 20.04.2024, https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change).

Yemeksepeti. (2019). *Yemeksepeti infografi 2020*. Erişim tarihi: 14.02.2024, https://www.youtube.com/watch?v=832ydkYsOrI&t=1s

İstanbul Planlama Ajansı. (2022, Şubat). *İki teker üstündeki kent işçileri: moto kuryeler*. Erişim tarihi: 15.03.2024, https://ipa.istanbul/wp-content/uploads/2022/02/Moto-Kuryeler.pdf

Demircioğlu, A. (20.03.2023). *Türkiye'deki sayıları 1.5 milyona ulaştı… Moto kuryelerin yolları çile dolu!*. Yeni İzmir Gazetesi. https://www.yeniizmir.com/turkiyedeki-sayilari-1-5-milyona-ulasti-moto-kuryelerin-yollari-cile-dolu/

Türkiye İstatistik Kurumu. (2024, Ocak). *Motorlu kara taşıtları, Aralık 2023*. Erişim tarihi: 15.04.2024, https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2023-49432

Statista. (2024, Şubat). *Revenue of the online food delivery market in Turkey from 2019 to 2028*. Erişim tarihi: 04.05.2024, https://www.statista.com/forecasts/1303796/turkey-revenue-of-online-food-delivery-market

Kukla, M., Wargula, L., & Wieczorek, B. (2019, Ocak). The determination of the rolling resistance coefficient of objects equipped with the wheels and suspension system – results of preliminary tests. *MATEC Web of Conferences, 254(01005)*. https://doi.org/10.1051/matecconf/201925401005

Yap, W. K. (2010). *Emissions predictive modelling and simulation for a plug-in hybrid electric scooter* [Doctoral dissertation, University of Tasmania]. UT Open Access Repository. https://doi.org/10.25959/23211296.v1

Bhorge, R., Janunkar, R., Kamble, A., Karamkar, B. (2017, Aralık) A study on effect of air resistance on motorcycle. *International Research Journal of Engineering and Technology, 04(12),* 163-165. e-ISSN: 2395-0056, p-ISSN: 2395-0072

Yemeksepeti. (2023). *Yemeksepeti, 2023'ün yemek istatistiklerini açıkladı*. Erişim tarihi: 14.02.2024, https://kurumsal.yemeksepeti.com/newsroom/yemeksepeti-2023un-yemek-istatistiklerini-acikladi/

Electricity Maps. (2024). *Carbon Intensity – Turkey*. Erişim tarihi:23.05.2024, https://app.electricitymaps.com/zone/TR

Environmental Protection Agency. (2024). *Greenhouse gas equivalencies calculator*. Erişim tarihi: 15.05.2024, https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator


BİDGE
Yayınları