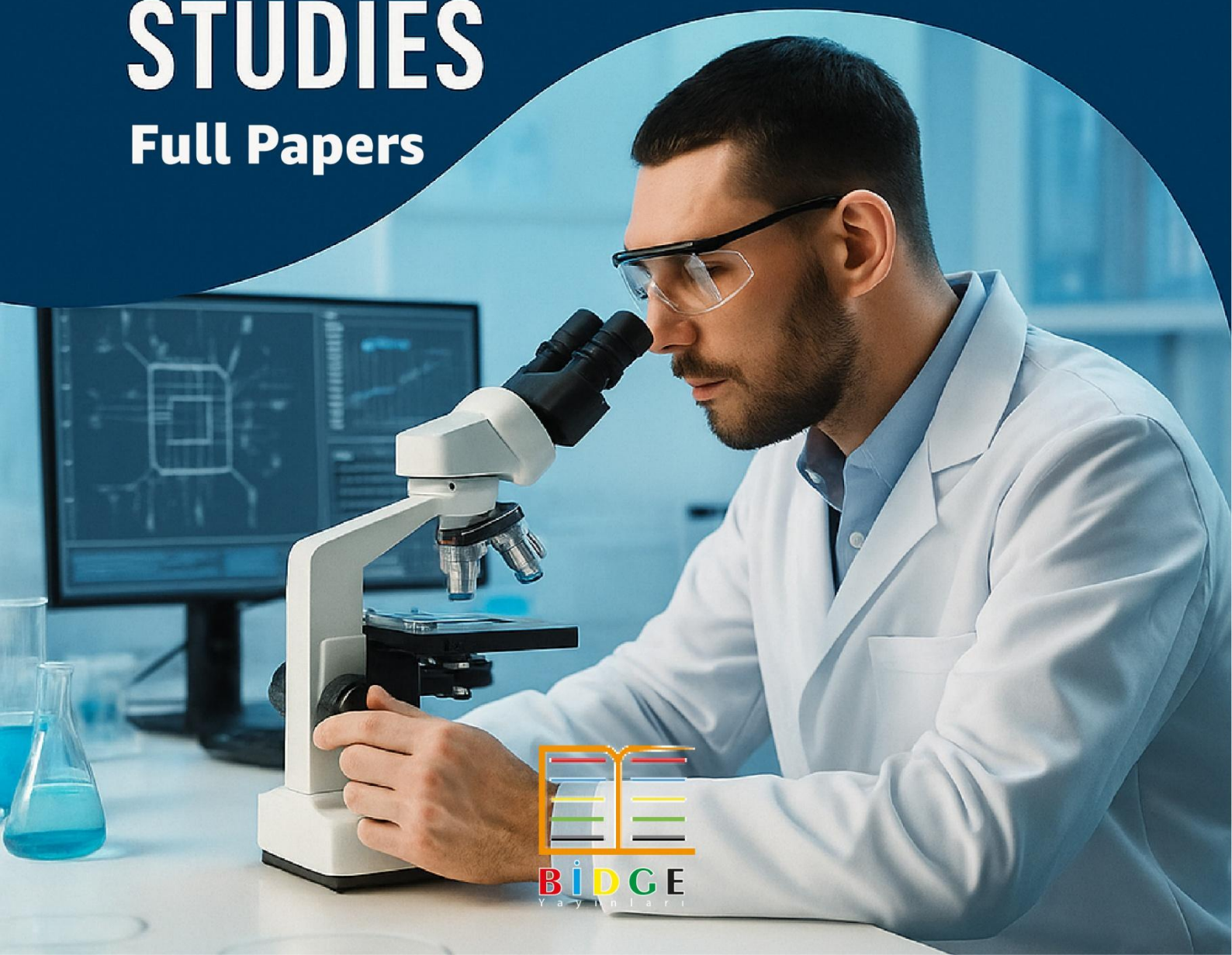
5TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES STUDIES

Full Papers



BİDGE Yayınları



5thInternational Congress of Engineering and Natural Sciences Studies Full Papers

24-25 May 2025

Ankara/Turkey

BIDGE Publications

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies Full Papers

ISBN: 978-625-372-661-4

Editors

Hikmet Yeter Çoğun, Veli Keskin, Nursel Söylemez Milli

Page Layout: Gözde YÜCEL

1st Edition: BIDGE Publications, 2025

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. HASAN ÜZMUŞ - VAN YÜZÜNCÜ YIL 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. İSHAK PARLAR – VAN YÜZÜNCÜ YIL 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
DR. ŞEHRİBAN OĞUZ - VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
DR. TAHİR YÜCEL - VAN YÜZÜNCÜ YIL 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

SEMİCONDUCTOR TECHNOLOGİES FOR AUTOMOTİVE INTEGRATİON: STANDARDS, MANUFACTURİNG, CHALLENGES, AND FUTURE DİRECTİONS 15

Özge AŞKAN 15

DEVELOPMENTS İN HOT MİX ASPHALT (HMA) DESİGN METHODS AND EVALUATİON OF THEİR INTEGRATİON İN TÜRKİYE 28

Ahmet ÇALIŞKAN 28

Altan ÇETİN 28

FRONT SEAT STRUCTURAL SOLUTİONS FOR ELECTRİC VEHİCLES 46

Ahmet SARI 46

ADR STANDARTLARINA UYGUN OTOBÜS KOLTUK BAĞLANTI BRAKETLERİNDE MALZEME DEĞİŞİMİNİN DAYANIM VE AĞIRLIK AÇISINDAN İNCELENMESİ 53

Ahmet YILMAZI 53

BİRLEŞİK KRALLIK TİP ONAYI ODAKLI OTOBÜS KOLTUK BAĞLANTILARINDA MALZEME TABANLI YAPISAL PERFORMANS İYİLEŞTİRMESİ 61

Ahmet YILMAZI 61

FMVSS STANDARTLARINA GÖRE OTOBÜS YOLCU KOLTUK BAĞLANTILARINDA AĞIRLIK VE DAYANIM DENGELEMESİ 68

Ahmet YILMAZI 68

AB REGÜLASYONLARI KAPSAMINDA HAFİFLETİLMİŞ YOLCU KOLTUK BAĞLANTI SİSTEMLERİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ 75

Ahmet YILMAZI 75

FROM COWS TO CLOUD: SMART TECH POWERS THE DAİRY INDUSTRY 83

Ayşe Övgü ŞEN 83

Kamil Öncü ŞEN 83

AKILLI ŞEBEKELERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ ENTEGRASYONU 89

Ayşenur SEKİN 89

EFFECT OF MİCROPHONE SETUP ON THE ACOUSTİC PACKAGE EVALUATİON 94

Barış VATANSEVER 94

TESTİNG CASUAL RELATİONSHİPS BETWEEN ENERGY CONSUMPTİON AND INCOME WİTH DOWHY ALGORİTHMS 103

Bensu Desen Kıvrak 103

Elif Tuna 103

ANALOG APPROXİMATİON OF FRACTANCE ELEMENTS USİNG MATLAB 'TFEST' FUNCTİON 114

Burak ARICIOĞLU 114

THE INFLUENCE OF ECE R26 ON BUMPER DESİGN 125
Burak YAVUZ 125
Ahmetcan ŞAHİN 125
THE EFFECT OF FİBER WİNDİNG ANGLE ON THE STRUCTURAL STRENGTH OF A TYPE IV COMPOSİTE PRESSURE VESSEL 132
Ceyhun ŞAHİN 132
Ahmet Hanifi ERTAŞ 132
Installation & Comparison of Driver Monitoring System on Vehicles 142
Erhan YAMAN 142
Eren BABAYİĞİT 142
EFFECTS OF SOME PHYTOHORMONE APPLİCATİONS ON GERMİNATİON PARAMETERS OF ANATOLİAN BLACK PİNE SEEDS UNDER DROUGHT STRESS 150
Esra Nurten YER ÇELİK 150
Seda Nur ATAK 150
DEVELOPMENT OF CYLINDRICAL DE-ICING DEVICE FOR AIRCRAFT ICING: DESIGN AND FUNCTION INTRODUCTION 165
Fatma Zehra PEKİNCE 165
Enes BAŞKAVAK 165
Elif Hazan EFE 165
Burhan ŞAHİN 165
MODELLİNG AND ANALYSİS OF A PERMANENT MAGNET SYNCHRONOS MOTOR USİNG FİELD-ORİENTED CONTROL AT DİFFERENT SPEEDS 177
Furkan SONERI 177
Volkan Başay 177
Güneş YILMAZ 177
OTOBÜS TORPİDOLARINDA TERMOFORM MALZEMEDEN ABS ENJEKSİYON MALZEMEYE GEÇİŞİN TASARIM OPTİMİZASYONU, MEKANİK DAYANIM VE AĞIRLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ 186
Gökhan AKÜREK 186
OTOBÜS ZEMİN MUŞAMBALARINDA POLİKLOROPREN (NEOPREN) BAZLI YAPIŞTIRICILARDAN EPOKSİ BAZLI YAPIŞTIRICILARA GEÇİŞİN TASARIM OPTİMİZASYONU VE MEKANİK DAYANIMA ETKİSİ 192
Gökhan AKÜREK 192
OTOBÜS ALT KAPLAMA YAPISINDA ALÜMİNYUM MALZEMEDEN ABS MALZEMEYE GEÇİŞİN TASARIM OPTİMİZASYONU MEKANİK DAYANIM VE AĞIRLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ 199
Gökhan AKÜREK 199

ARAÇ İÇİ İNNER SİDE PANEL MALZEMESİNİ ABS MALZEMEDEN PBT MALZEMESİNE GEÇİŞİN TASARIM OPTİMİZASYONU, MEKANİK DAYANIM VE AĞIRLIK ETKİLERİ 205
Gökhan AKÜREK 205
OTOBUSLERDE KULLANILAN DONER KOLTUK MEKANİZMASINDA ST-37 ÇELİĞİNDEN KOMPOZİT MALZEMEYE GEÇİŞİN TASARIM OPTİMİZASYONU, MEKANİK DAYANIM PERFORMANSI VE AĞIRLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ 212
Gökhan AKÜREK 212
PHOTOCHEMİCAL LASER ETCHİNG OF RANDOMLY DİSTRİBUTED INVERTED NANOHOLES ON CRYSTALLİNE SİLİCON 218
Güntuğ VURAL 218
Alpan BEK 218
Reşat Özgür DORUK 218
HYDROGEN PRODUCTION FROM AMMONIA BORANE USING THE ACTIVATED CARBON SUPPORTED PD(0) CATALYST OBTAINED FROM WASTE WHEAT STRAW 231
Hakkı Türker AKÇAY 231
Zehra ÖZÇİFÇİ 231
Emir ÖZDOĞAN 231
INVESTIGATION OF CATALYTIC DEGRADATION ACTIVITY OF PALLADIUM DOPPED ACTIVATED CARBON OBTAINED FROM SUNFLOWER STALK 241
Hakkı Türker AKÇAY 241
Zehra ÖZÇİFÇİ 241
Dilan TEKTAŞ 241
OTOBUSLERDE IC TAVAN KAPLAMALARINDA COMPACT LAMINANT MALZEMEDEN PET KOPUK CEKIRDEKLI KOMPOZIT YAPIYA GECISIN SEHIM PERFORMANSINA ETKISI 254
Harun ÇELEBİ 254
OTOBUSLERDE KULLANILAN ELEKTRONIK KONTROL KUTULARINDA ST-37 MALZEMEDEN AL-6061 ALUMINYUM MALZEMEYE GECISIN STATIK DAYANIM PERFORMANSINA ETKISI 261
Harun ÇELEBİ 261
OTOBUS EKRAN BRAKETLERINDE ST37 CELIGINDEN AL6061 ALUMINYUMA MALZEME GECISININ YAPISAL DAYANIM VE AGIRLIK UZERINDEKI ETKILERININ DEGERLENDIRILMESI 268
Harun ÇELEBİ 268
OTOBÜSLERDE KULLANILAN HAVA KANALI KAPAKLARINDA ALUMİNYUM VE POLİPROPİLEN MALZEMELERİN DEFORMASYON PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ 274

Harun ÇELEBİ 274
THE PLACE OF ATHERMİC GLASS AND SOLAR PVB GLASS İN THE AUTOMOTİVE INDUSTRY 280
Hilal ZEYTİNCİ 280
Mehmet Akif Çevik 280
Onur KOZBAY 280
DYNAMİC INTERACTİON AND SEİSMİC MİTİGATİON OF ADJACENT BUİLDİNGS WİTH TUNED MASS DAMPERS 287
Ibrahim OZ 287
A DESİGN APPROACH TO PREVENT THE RİSK OF LEAKAGE ON THE FUEL LİNE DURİNG A COLLİSİON 298
İlkay SARITAŞ 298
Fırat ARAS 298
SEAT SİDE AİRBAG PERFORMANCE FACTORS 306
Kemal Can YARPUZOĞLU 306
IMPLEMENTATİON OF DATA-DRİVEN LQR FOR CRUİSE CONTROL 316
Mehmet Can HALİS 316
Uğur YILDIRAN 316
AUTOMOTIVE KICK SENSORS APPLICATIONS 325
Melih CEBE 325
CHİLD OCCUPANTS' SAFETY VALİDATİON AGAİNST AİRBAG SYSTEM IMPACTS İN THE OUT OF DESİGNATED POSİTİONS 333
Mert MALKOÇ 333
DİGİTAL HUMAN MODELS ON VEHİCLE ERGONOMİCS 342
Muhammed Ali VURAL 342
INVESTİGATİON OF ACOUSTİC PERFORMANCE OF A VEHİCLE FOR HİGH-SPEED DRİVİNG 347
Muhammed Taha SIRMA 347
Ayhan YAĞCI 347
Halil ATEŞ 347
STEERİNG GEAR SİZİNG CALCULATİON ON PASSENGER VEHİCLES 357
Murat GÜNEY 357
TAKIM TEZGAHLARINDA DİJİTAL DOĞRUSALLIK VE DÜZLEMSELLİK ÖLÇÜM KONTROL ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ 364
Mustafa ALKAN , ... 364
Erdem ASLAN 364

EVALUATİNG THE SENSİTİVİTY OF VEHİCLE FRONT-END PARAMETERS ON PEDESTRİAN LOWER LEG PERFORMANCE 373
Müzeyyen Nur KAPLAN 373
INVESTİGATİON OF THE EFFECT OF WELDİNG SPEED AND WİRE FEED SPEED ON PENETRATİON IN LAP JOİNT WELDİNG OF FB590 HOT ROLLED FERRİTE-BAİNİTE STEEL BY PULSED-GMAW METHOD 383
Naime BABİR 383
Uğur ÜZEL 383
OPTİMİZATİON OF RESİSTANCE SPOT WELDİNG PARAMETERS FOR 2.5MM THİCK MPH660Y760T STEEL 394
Naime BABİR 394
Uğur ÜZEL 394
INVESTİGATİON OF MECHANİCAL EFFECTS OF DİFFERENT LATTİCE STRUCTURES ON COMPOSİTE WİNG OF UAV SYSTEM 403
Onur YAVUZ 403
M. Hüsnü DİRİKOLU 403
MODAL ANALYSİS OF SULFUR-BASED CONCRETE: EXPERİMENTAL INVESTİGATİON OF MODAL PROPERTİES 420
Ahmet ÖZBAYRAK 420
Ömer GÜMÜŞ 420
Bekir AKTAŞ 420
AĞAÇİŞLERİ ENDÜSTRİSİNDE YALIN ÜRETİM ARACI KULLANILARAK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN ARAŞTIRILMASI 427
Önder TOSUN 427
EFFECT OF PRE-HEAT TREATMENTS ON MECHANİCAL PROPERTİES OF BORON STEEL AFTER QUENCHİNG 437
Özgenur ERDOĞAN 437
EFFECT OF INJECTİON MOLDİNG PARAMETERS ON SCRATCH RESİSTANCE OF AUTOMOTİVE-GRADE POLYPROPYLENE 445
Selvi Naz ÇETİN 445
Çağrı ÇALIŞKAN 445
Referances 451
BRİEF EVALUATİON OF MANUALLY OPERATED EMERGENCY DOOR OPENİNG HANDLE ON CARS IN ASPECTS OF AVALİABİLİTY AND ERGONOMİCS 452
Serkan Burak Can ÇANGIR 452
THE FUTURE OF MİCROALGAE FOR ANİMAL FEEDİNG OPERATİONS AND WASTE TREATMENT 462
Seyit UGUZ 462

Arda SOZCU 462
DEEP NEURAL NETWORK APPROACH WİTH BAYESİAN PSO OPTİMİZATİON AS A NEW MODEL FOR CLASSİFYİNG PATİENT SATİSFACTİON 472
Yağmur ŞEN 472
Fuat ÇAĞLAYAN 472
EFFECT OF GLASS FİBER CONTENT ON THE UV RESİSTANCE OF NON-HOMOGENEOUS MULTİ-LAYERED STRUCTURES 482
Şazimet Sinem AYCAN 482
Keziban Kotanak PİŞKİN 482
Şenol ÇALIŞKAN 488
OTOBUS KOLTUK KOLCAKLARINDA POLIPROPILEN PP MALZEMEDEN PC-ABS ALASIMINA GECISIN YAPISAL PERFORMANSA ETKILERININ DEGERLENDIRILMESI 494
Şenol ÇALIŞKAN 494
ARAC ICI KOSE KAPLAMA CITALARINDA ST-37 MALZEMEDEN AL-6061 MALZEMEYE GECISIN YAPISAL PERFORMANSA ETKILERININ INCELENMESI 500
Şenol ÇALIŞKAN 500
TOPLU TASIMADA TUTUNMA BORULARINDAKİ TUTAMAÇ BILEŞENLERI ICIN ST 37 CELIGINDEN POLIPROPILEN (PP) MALZEMEYE GECISIN YAPISAL DAYANIM ACISINDAN DEGERLENDIRILMESI 506
Şenol ÇALIŞKAN 506
OTOBUS TABAN YAPILARINDA SEHIM PERFORMANSININ DEGERLENDIRILMESI PLYWOOD (KONTRAPLAK) VE FRP CORE (FIBER REINFORCED POLYMER CORE) MALZEMELERIN KARSILASTIRMALI ANALIZI 512
Şenol ÇALIŞKAN 512
REPELLENT EFFECTS OF ROSEMARY AND LAVENDER ESSENTIAL OILS ON TRIBOLIUM CASTANEUM (HERBST) (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE) 518
Şerife BÜTÜN 518
Ayşe YEŞİLAYER 518
THERMO-MECHANİCAL CREEP BEHAVİOR OF AUTOMOTİVE POLYPROPYLENE COMPONENTS 525
Tamer AYDINER 525
Mustafa NAZLI 525
Uğurcan SERBEST 525
Yunus TÜRK 525
Mechanics of HVAC Airflow Noise and Its Spectral Characteristics in Vehicle Cabins 535
Tarık KÜÇÜK 535

EXAMİNATİON AND EVALUATİON OF LED CONVERSİON İN LİGHTİNG OF EDUCATİONAL BUİLDİNGS İN TERMS OF VİSUAL COMFORT AND ENERGY EFFİCİENCY 543
Tuba BASKAN 543
INVESTIGATION OF LOCAL GOVERNMENTS' DISASTER MANAGEMENT APPROACHES FOR THE POSSIBLE ISTANBUL EARTHQUAKE USING AHP AND TOPSIS METHODS 555
Umut SOY 555
Aslı Pelin GÜRGÜN 555
Otobüs Sürücü Bölgelerindeki Taşıyıcı Yapıların İncelenmesi 571
Vural KART 571
Ticari Araç Ayırma Panellerinde Honeycomb Yapısının Değerlendirilmesi 578
Vural KART 578
Ticari Araç Ayırma Panellerinde T-Board Yapısının Değerlendirilmesi 584
Vural KART 584
Ticari Araç Taban Tahtalarında Honeycomb Yapısının İncelenmesi 590
Vural KART 590
GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELERDE ELEKTRİK TÜKETİMİ 597
Ayşenur SEKİN 597
The Place of Athermic Glass and Solar PVB Glass in the Automotive Industry 605
Hilal ZEYTİNCİ 605
Mehmet Akif Çevik 605
Onur KOZBAY 605
AUTOMOTIVE GLASS AND PRODUCTION METHODS 612
Hilal ZEYTİNCİ 612
Mehmet Akif Çevik 612
Onur KOZBAY 612
Thermal Cycle Test Of Automotive Industry While Component Development 620
Hami GÜLER 620
[1] 624
[2] 624
[3] 624
[4] 624
[5] 624
Utilization of Second Life Battery Energy Storage Systems in Energy Arbitrage 625
Esra BİLAL 625

Ali Rıfat BOYNUEĞRİ 625
Feyza TURAN 625
Some Important Pests That Cause Galls on Forest Trees 633
Emir ACARI 633
Ayşe YEŞİLAYER 633
Investigation of the Effect of Injector Geometry on Hydrogen Spray Characteristics by Numerical Simulation Method 643
Şerefcan DURANLI 643
Orkun ÖZENER 643
Modeling of Chassis Lifter Moving at Constant Speed on Vehicle Dynamics Software 654
Berk Can KUL 654
An Algorithm with Dna Encryption Using Discrete Wavelet Transform and Subblockıng Methods 660
Gülay ÇAĞLI 660
Hüseyin ÇAKIR 660
Application of Talk Filler in Plastic Materials and Its Effect on the Material 668
Ahmet SUCU 668
Alp Eren ENGIN 668
Surface Coatings for Solar Resistance in Plastic Materials in the Automotive Industry 674
Ahmet SUCU 674
Mümin BAHAR 674
Welding Methods and Advantages of Plastic Materials Used in the Automotive Industry 681
Ahmet SUCU 681
Mısra Nur ÖZCAN 681
Optimizing Trunk Volume: A Macro Feasibility Approach to Interior Trim Integration 688
Ahmet KAHRAMAN 688

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

SEMİCONDUCTOR TECHNOLOGİES FOR AUTOMOTİVE INTEGRATİON: STANDARDS, MANUFACTURİNG, CHALLENGES, AND FUTURE DİRECTİONS

Özge AŞKAN[1]

Abstract

The automotive industry has undergone significant transformations in semiconductor technology in recent years. These transformations are driven by the growing adoption of electric and autonomous vehicles, the increasing use of artificial intelligence (AI)-enabled applications, and the rising demand for advanced driver assistance systems (ADAS). In this transformation, the complex sensor fusion algorithms and real-time data processing requirements of ADAS, in particular have increased the need for high-performance semiconductors. Meanwhile, the growing complexity of in-vehicle infotainment systems (IVI) necessitates advanced graphics processing and AI integration to enhance user experience. Consequently, these developments have led to substantial evolution of semiconductor technology, with the development of more efficient, durable, and miniaturized solutions that are essential for the automotive industry.

While extant literature addresses each of semiconductor manufacturing processes and automotive technologies separately, there is a lack of comprehensive studies examining the integration of these two areas. This paper aims to provide a holistic approach by examining the stages of semiconductor production, from wafer-to-chip manufacturing processes, and presenting the significance and development processes of these components in automotive systems.

Significant progress in semiconductor technology, particularly through the adoption of smaller node sizes such as 5nm and 7nm, has enabled higher efficiency, faster processing speeds, and improved overall performance in automotive systems. The paper aims to provide a comprehensive overview of the role of semiconductors in the automotive industry, their production processes, standards, and future trends, while discussing the challenges faced by the sector and its future directions.

Keywords: Semiconductor technology, Automotive standards, Wafer-to-chip manufacturing, Advanced driver assistance systems (ADAS), In-vehicle infotainment systems (IVI), Node size(nm)

[1] Engineering Specialist, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. R&D Center, Bursa, Türkiye, Orcıd:

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

The automotive industry has witnessed a remarkable transformation in recent years, enabled by innovations in semiconductor technologies. The paper examines the integration of semiconductors into modern automotive technologies, driven by trends such as electric vehicles, autonomous driving, and enhanced connectivity. In this rapidly changing industry, semiconductors have emerged as the foundation for technological advancements and efficient vehicle functionality. Historically semiconductor chips had a limited role, focusing on fundamental electronic functions such as engine control and infotainment systems which user-focused services such as media playback and navigation, usually managed by main control units. As analogue controls were gradually replaced by electronic control units (ECUs), additional ECUs were introduced to support new vehicle functions. This change led to the evolution of software and electronic architecture in vehicles as shown in figure 1 which categorizes automotive semiconductors into main systems: safety-driving experience, connectivity-communication, power-efficiency and infotainment-comfort system. The subsequent paragraphs will provide examples of this integration within each of these trends, which we will examine in turn.

Semiconductor in automobile provides support for integrating in-vehicle artificial intelligence (AI) powered which enhance vehicle performance and cater to human actions, especially in autonomous **vehicles** where inferring actions depending on in-car and outside environmental sensors is crucial. In these vehicles, semiconductors are the components that enable the processing data from sensors such as radar, lidar, and cameras. These sensors help the vehicle navigate safely, making real-time decisions based on the data they collect.

Additionally, with increased focus on safety, AI-driven navigation, and vehicle-to-everything (V2X) communication, such chips are expected to play a pivotal role in driving the evolution of smart, connected vehicles in the coming years. Depending on the complexity of the vehicle, the number of semiconductor chips usage increase. The number of semiconductor chips in a modern car varies with the type; however, one can expect the number in the range of 1000 – 3500. (Abbasi, 2023)

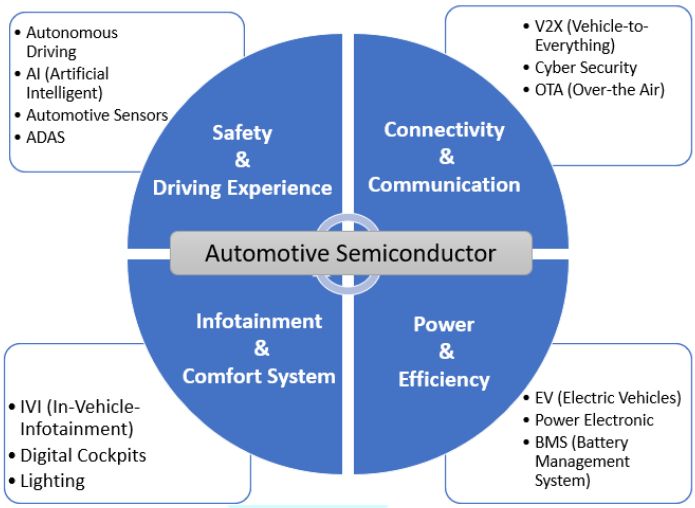
The growing adoption of electric vehicles, along with advancements in 5G/6G and AI technology, increase the demand for high-performance semiconductors in the automotive industry, positioning the market for continued growth in the coming years. To support these modern vehicles are required to equip and connect with a robust automotive infrastructure for seamless data sharing, making stable and fast network connectivity essential.

The adoption of software-defined vehicle architectures will further drive demand for secure over-the-air (OTA) update capabilities, enabling seamless software and firmware upgrades throughout the vehicle lifecycle. In addition, edge computing will play a critical role, enabling localized processing of sensor data and AI inference, reducing reliance on cloud connectivity and improving real-time responsiveness. This distributed intelligence will be essential for ADAS and the delivery of personalized in-vehicle experiences. Ultimately, the

future of automotive connectivity is about establishing a resilient, intelligent, and secure ecosystem.

With the advent of electric vehicles and autonomous driving systems, the demand for high-performance semiconductors has surged, prompting advancements in material selection and manufacturing techniques.

Figure 1 Automotive Semiconductors Main Systems



In accordance with the requirements previously outlined, the following sections of this paper will provide a comprehensive examination of the subjects in detail.

Automotive-Specific Chip

Standards and Requirements

Modern vehicles are expected to operate for more than 20 years. As these vehicles become increasingly reliant on electronic components, the role of chips becomes more important. Chips are general terms for semiconductor component products, also known as integrated circuits (IC). Currently, the world's major automotive chip manufacturers include Infineon, Texas Instruments, NXP, STMicroelectronics and Intel. These companies provide various types of automotive chips, including power management, sensors, communications, and safety control chips. In consideration of the critical functions performed by these chips in modern vehicles, it is crucial that automotive compliance standards are met to ensure the safety and quality of vehicles. These standards establish minimum requirements for parts, systems, and technologies, guaranteeing that vehicles meet specific production and safety criteria. The stringent standards imposed by the automotive sector, such as Automotive Electronics Council (AEC) and International Organization for Standardization (ISO), necessitate rigorous testing and quality control.

ISO 26262 is the most critical standard for functional safety in road vehicles. It focuses on reducing risks associated with electrical and electronic (E/E) systems. Functional safety ensures systems operate safely by managing risks through engineered measures. Two potential sources of safety risks in automotive electronics include EM effects and silicon aging from hardware failures or systemic faults like incorrect implementation or bugs. To reduce the safety risk of malfunctions, automotive chipmakers must follow the ISO 26262 functional safety standard.

AEC is a council that defines quality standards for automotive electronic components. The AEC-Qx standards encompass a broad spectrum; for example, AEC-Q100 is one of the most widely used standards defining the reliability requirements for automotive integrated circuits (IC), AEC-Q101 for discrete semiconductors, AEC-Q102 for optoelectronic semiconductors, AEC-Q103 for sensors, and AEC-Q200 for passive components as shown in figure 2, **all of which are automotive quality standards used to ensure the performance and reliability of these components.** AEC-Q100 is a fundamental standard that rigorously tests the durability of these ICs under harsh conditions, ensuring they can withstand the demands of automotive environments.

Figure 2 AEC-Q Series



The different grades are important criteria to consider when selecting components suitable for specific applications. There are four grading systems under the AEC-Q standards as shown in table 1. The highest reliability and durability are offered by Grade 0, which is used in critical automotive applications. Grade 1 is slightly more flexible and is preferred in less critical systems. Grade 2 offers intermediate reliability, while Grade 3 represents the lowest level of performance and is generally used in areas such as consumer electronics.

Table 1 Temperature Ranges Depending on AEC Grades

AEC Grades	Ambient Temperature Ranges
Grade 0	-40 to 150 degrees
Grade 1	-40 to 125 degrees
Grade 2	-40 to 105 degrees
Grade 3	-40 to 85 degrees

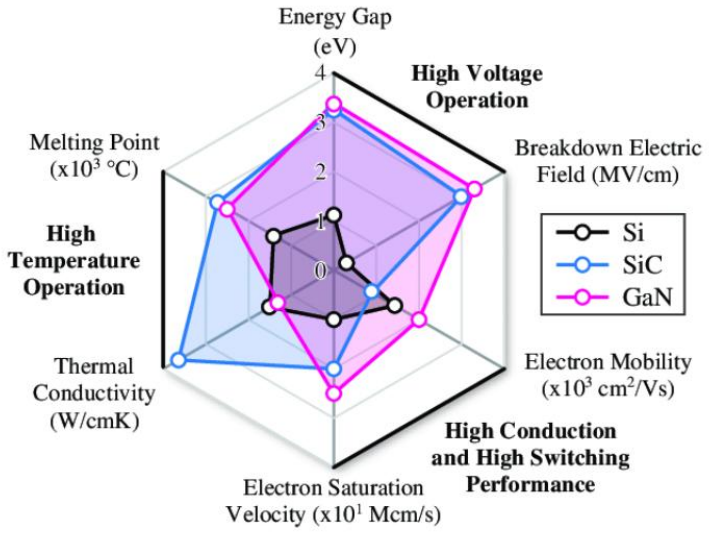
As explained in the previous stage, the increasing number of complex automotive components has increased the risk of cyber-attacks. ISO 21434 is the world's first international standard for cybersecurity in the automotive industry. The standard aims to reduce the risk of cyberattacks by integrating cybersecurity in automotive products life-cycle. In recent developments, advances in semiconductor technology and node size (nm) have led to the creation of high-capacity Security Gateways (SGWs) and Trust Anchor chips, which contribute to enhanced cyber security in the automotive sector. The progression towards smaller node sizes in semiconductor manufacturing has allowed for the integration of more powerful processors within these security components.

Electromagnetic compatibility (EMC) tests are performed to ensure that the electronic components inside the vehicle operate properly without being affected by electromagnetic fields in the external environment. The two fundamental standards that serve as the basis for electromagnetic compatibility (EMC) testing in the automotive industry are International Special Committee on Radio Interference 25 (CISPR) and ISO 11452-2. CISPR 25 aims to protect receivers in vehicles, while CISPR 12 protects external receivers. These standards require controlled environments for accurate testing.

Materials Considerations

The increasing use of electronic components in the automotive industry makes material performance and reliability more critical than ever. The choice of semiconductor material, primarily silicon (Si), silicon carbide (SiC) or gallium nitride (GaN), significantly impacts performance and suitability for specific applications. Figure 3 shows the significant advantages of SiC and GaN when compared to silicon. Traditionally, silicon has been the mainstay due to its cost-effectiveness and well-established manufacturing processes, catering to a wide range of applications from MCUs to basic sensors. However, the rising demand for high-power, high-frequency and high-temperature operation, particularly in EVs and ADAS, has driven the adoption of wide bandgap materials such as GaN and SiC. GaN is increasingly favored in power electronics for its superior switching speed, high voltage breakdown and efficiency. SiC excels in high-temperature applications, offering enhanced thermal conductivity and robustness.

Figure 3 SiC and GaN Advantages Chart Compared to Si



Reference: (Haley, 2025)

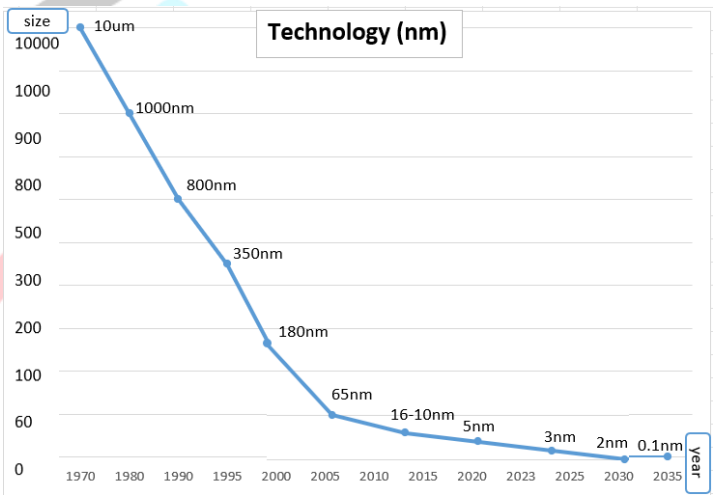
Semiconductor Technology and Size impacts

Chip Size Evolution

Gordon Moore is most famous for Moore's law, which states that "the number of transistors on a microchip doubles every two years while the cost per transistor decreases" (Young, 2024). In the past few decades, the chip manufacturing process has developed from the micron level to the nanometer level and has entered the stage below 10 nm. Figure 4 shows that the most significant technology nodes over the past 55 years and provide a vision for what

can be expected from 2025 to 2035. Technology node corresponds to the physical feature size of the transistor. In the future, chip manufacturing processes will move towards smaller feature sizes, including nodes of 3 nm, 2 nm or even smaller. This will result in higher integration, lower power consumption and better performance. Looking at the wafer to chip manufacturing process, the reduction of the critical size is realized by the development of lighting techniques and light intensity used in the photolithography process. The impact of this reduction not limited to the photolithography stage; it also affects subsequent stages, depending on the particular stage in the photolithography process. In the following section, further details on manufacturing process will be discussed.

Figure 4 Chip Size Technology by Year

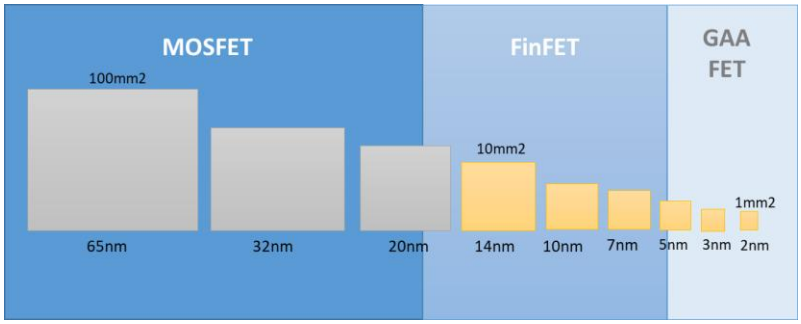


The 5-nm process is, in great part, design-rule compatible with previous 7-nm, which should save time and limit the cost of redesign. A primary argument for scaling down the lithography is the ability to implement the same processor within a smaller silicon area, as shown in figure 5. The 5-nm process entitles more than 150 million transistors per millimeter square. A secondary argument is that, compared to the 7nm process, the 5nm node increases power savings by 20-30% and speed by 10-15% (Sicard & Trojman, 2021).

Samsung's GAA technology, first applied in 2022, has been shown to challenge the performance restrictions of FinFET, enhancing power efficiency by lowering the supply voltage level and improving performance by increasing the drive current capacity. A comparison of the 3nm process with its 5nm process shows that the 3nm process is able to reduce power consumption by up to 45%, improve performance by 23% and reduce area by 16% compared to 5nm (Samsung Newsroom, 2022)

It has been demonstrated that performance percentages vary for each company in their transition to nm technology. These variations attributed to the design of the chip. Achieving the expected performance necessitates the redesign of the chip from the beginning for each scale. Figure 5 illustrates the process from 65nm to 2nm. The following section explains how different transistor technologies address these challenges.

Figure 5 Transistor Technologies by Chip Size



Traditional 2D Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors (MOSFETs), while simple and cost effective, suffer from high power consumption and limited performance. In contrast, 3D Fin Field Effect Transistors (FinFETs) provide superior channel control, reduced power consumption, and enhanced performance, thus becoming prevalent in modern electronic devices. Furthermore, Gate All Around Field Effect Transistors (GAA FETs), featuring the most advanced 3D architecture, offer superior electrostatic channel control, lowest power consumption, and highest performance, positioning them as a technology for next-generation high-performance processors and AI applications. As technology progresses towards increasingly smaller nodes, GAAFETs come into the spotlight. The GAA structure of these devices offers superior electrostatic control over the channel, further reducing leakage and pushing the limits of power efficiency in semiconductor devices. (Duan, From MOSFET to FinFET to GAAFET: The evolution, challenges, and future prospects, 2024)

Today, vehicles from OEM1 and OEM2's latest series utilize 5-nanometer technology. These series are equipped with high-performance chips such as the Drive Orin chipset using 5nm technology. These chips are used in ADAS systems, artificial intelligence-based driving assistants, data processing and ADAS. The vehicles from OEM1 and OEM2's series are just a few examples of how nanotechnology and advanced semiconductors are used in modern vehicles. As the development of vehicles increases, the use of nanotechnology will become more common. (Soares, 2024) , (Shapiro, 2023)

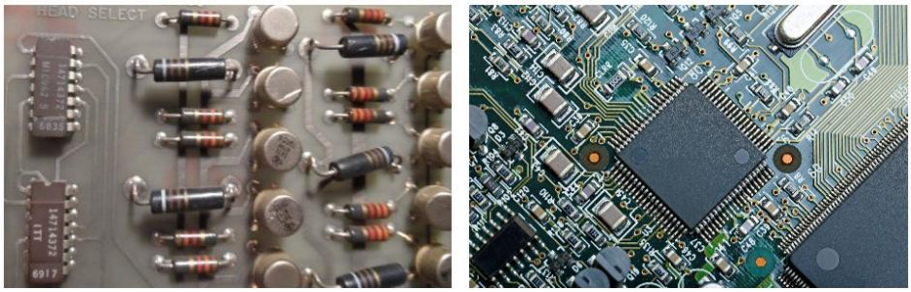
PCB Size Adaptation

Printed circuit boards (PCBs) form the backbone of electronic devices. PCBs provide a platform to mount components and interconnect them. The improvements in chip technology are directly influencing the design and development of PCB technology. As semiconductor chips become more powerful and smaller (thanks to advances such as smaller nodes, SoC integration, and embedded memory), the PCBs that support these chips must evolve to handle the increased complexity and miniaturization.

For instance, with smaller chip sizes and the use of System on Chip (SoC) architectures, there's a need for high-density interconnect (HDI) and multilayer PCBs that can accommodate more components in less space while maintaining high performance and signal integrity. As chips continue to shrink, flexible PCBs and advanced materials are also being used to optimize space and improve the overall efficiency of electronic systems.

Infotainment systems, ADAS and vehicle control units need HDI boards due to high component densities. Weight and fuel efficiency demands also drive adoption. (Rayming, 2025)

Figure 6 Comparison of legacy PCB and advanced PCB



With the PCB size adaptation, the challenges are also increasing from the perspective of Electromagnetic Interference and Compatibility (EMI/EMC). In high-speed PCB design, engineers often encounter false triggering, damping oscillations, overshoot, undershoot, crosstalk and other signal integrity issues. (Jiang, 2020)

In summary, the advancements in chip technology are pushing the need for more compact, more intricate, and higher-performance PCBs to meet the demands of modern applications such as autonomous driving, electric vehicles, and 5G communication systems as discussed previous parts.

Having discussed the growing importance of chips in modern vehicles, the focus will now shift to the detailed manufacturing processes of the wafers that are subsequently transformed into chips. It is vital to understand that these processes are essential for ensuring the functionality and reliability of automotive electronics.

Wafer-to-Chip Manufacturing Processes

From the foundational steps of wafer manufacturing to the intricate processes of photolithography and etching, each stage is critical to ensuring the reliability and performance of automotive chips.

The fabrication of integrated circuit involves a series of critical steps in the semiconductor manufacturing process. These critical semiconductor manufacturing chip steps:

- Wafer manufacturing
- Oxidation
- Photolithography
- Etching
- Deposition & Ion Implantation
- EDS (Electrical Die Sorting)
- Packaging & Final test

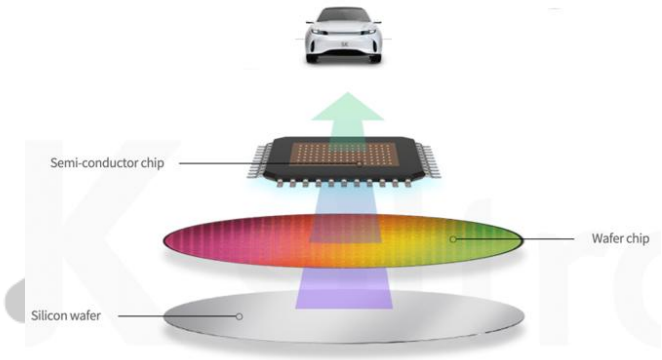
Chip manufacturing is extremely sensitive. Therefore, operations are carried out in a "clean room". Automotive semiconductors must meet rigorous reliability and durability standards, including high-temperature tolerance, long lifespan, vibration resistance. Chips are tested under a variety of voltage, electrical signals and temperature conditions.

Wafer Manufacturing

The foundation of semiconductor manufacturing begins with wafer production. Wafers are circular plates containing pure silicon used for the manufacture of integrated circuits in semiconductor technology as shown in figure 7. In the electronics jargon, wafer is defined as a

thin slice of semiconductor material. These wafers undergo multiple stages of production to become functional chips.

Figure 7 General View from Wafer to Chip



Reference: (Bellan, 2021)

Oxidation

Initially, the wafer undergoes an oxidation process. In this oxidation process, oxygen or water vapor is sprayed onto the wafer surface, forming a homogeneous oxide film. This oxide film functions to protect the wafer surface during subsequent processes and performs as an insulator.

Photolithography

Photolithography is the process of printing chip circuit patterns on wafers. It is the most critical step in integrated circuit manufacturing. It accounts for approximately 35% of the total manufacturing cost in the whole chip manufacturing process (PCB Hero, 2022). The automotive photolithography process necessitates high-quality reticles and exacting overlay accuracy. It also demands stringent process controls and reliable, consistent processes over extended periods.

Etching

Etching is a process in which unnecessary materials are selectively removed to create the desired design. Etching uses a methodical process selectively removing the portion of the thin film layer using chemical, physical, or both chemical and physical methods. The precision control of critical dimensions (CDs) and high selectivity are required in automotive etching processes to ensure consistent device performance and reliability.

Deposition and Ion Implementation

Following the etching process, a thin film is utilized to divide, connect, and protect the circuits. To form a multi-layer structure, the oxidation, photolithography, and etching steps are repeated several times on the wafer, layer by layer. Insulating layer that separates and protects the stacked circuits is essential. This layer is referred to as a "thin film". Semiconductors composed of silicon are naturally nonconductive; however, by adding impurities, it conducts current and gain conductive properties. Furthermore, ion implantation imparts electrical characteristics to the semiconductor.

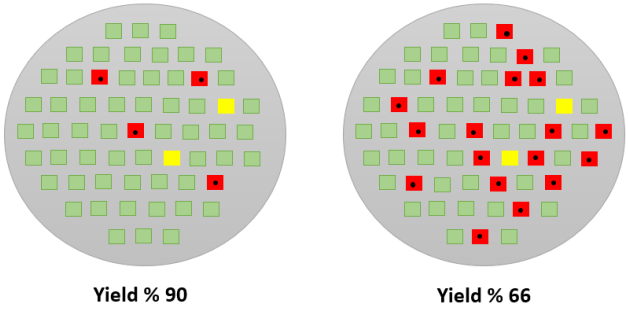
EDS (Electrical Die Sorting)

EDS is the process of testing to ensure flawless semiconductor chips. In other words, it is a testing step to sort out defective chips. This stage of the process involves the evaluation of electrical properties to guarantee that each chip achieves the required level of quality. This stage also involves the identification and removal of any defective chips.

Automotive testing requires comprehensive electrical testing, including testing over a wide temperature range and burn-in tests, to verify the reliability of devices in harsh environments. All test data is systematically recorded and tracked to ensure traceability.

Figure 8 illustrates the distribution of working (green), defective (red), and other (yellow) chips on a semiconductor wafer in two different production scenarios, along with their corresponding yield percentages.

Figure 8 Yield Percentages



$$Yield = \frac{\text{Number of working chips}}{\text{Maximum number of designed chips}} \times 100 \quad (1)$$

Yield as shown in equation 1 is defined as the percentage of prime good chips relative to the maximum chip count on a single wafer. It serves as a direct indicator of semiconductor productivity.

Packaging and Final Test

The last stage is the packaging process. The wafer is cut into individual chips, which are then placed on the PCB board. The aim of packaging is to connect the integrated circuit to an electronic device, and to protect the circuits from elements: high temperatures, high humidity, chemical agents, impact, and vibration. Once the packaging (molding) process is finished, the chips are ready for final testing. Automotive chips must be capable of withstanding extreme environmental conditions such as fluctuating temperatures, high vibration levels, and long-term usage.

The chips are tested under various conditions, such as different voltages, electrical signals, and temperatures, to ensure they work correctly. The entire process, from wafer to chip packaging, takes approximately 25-30 weeks to complete.

Challenges and Future Directions

Significant progress in semiconductor technology, particularly through the adoption of smaller node sizes (such as 5nm and 7nm), has enabled higher efficiency, faster processing speeds, and improved overall performance in automotive systems. As feature sizes shrink

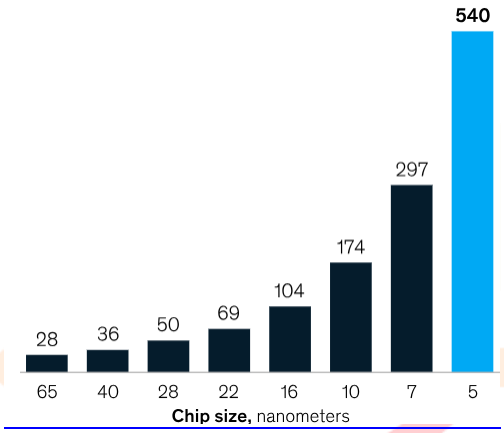
below 5nm, traditional materials such as silicon may be subject to some physical and electrical limitations and struggle to meet the demands of modern applications. So new types of alternative or improved performance materials need to be developed.

The resistivity of interconnects becomes a major challenge, with carbon nanotubes and graphene emerging as promising alternatives to copper. These material innovations are crucial for maintaining performance as dimensions decrease, underscoring the need for continuous research and development in advanced materials.

Furthermore, the inherent limitations of silicon in high-power and high-frequency applications, drive the adoption of wide-bandgap (WBG) materials like SiC and GaN (Ramachandran, 2024). However, as demands continue to rise, even these materials may face limitations.

As chips get smaller, R&D becomes more challenging as researchers deal with quantum effects, minor structural variations, and other factors that can complicate development. Figure 9 illustrated that smaller chip sizes correlate with significantly higher design costs. Designing a 5 nm chip costs for everything from validation to IP qualifications about $540 million. This far exceeds the estimated costs of $174 million for the design of a 10nm chip and $297 million for 7nm chip. Extremely tight tolerances in fabrication require advanced processes and equipment (Harald Bauer, Ondrej Burkacky, Peter Kenevan, Stephanie Lingemann, 2020).

Figure 9 Chip-Design Cost



Reference: (Harald Bauer, Ondrej Burkacky, Peter Kenevan, Stephanie Lingemann, 2020).

As the industry strives for further miniaturization of transistors, approaching atomic scales, the current capabilities of lithography and fabrication methods are being called into question. It becomes imperative to find innovative methodologies to ensure precision at these scales. Concurrently, the compact design leads to difficulties in efficient heat dissipation, with devices potentially facing elevated temperatures. This heat can negatively influence both performance and durability. Another concern that has come to light is leakage and variability. Despite the advancements, as dimensions reduce, issues such as electron tunnelling and leakage become increasingly prominent. Furthermore, variations introduced during manufacturing can cause inconsistent performance across transistors (Duan, From MOSFET to FinFET to GAAFET: The evolution, challenges, and future prospects, 2024).

The need to overcome physical barriers and cost challenges necessitates a focus on innovation, collaboration, and the development of new business models to sustain progress in the semiconductor industry.

Conclusion

In conclusion, the integration of semiconductor technologies into the automotive industry has significantly contributed vehicle capabilities, allowing for more advanced and intelligent systems. The increasing demand for electric vehicles and autonomous driving technologies has led to a heightened requirement for high-performance semiconductors that facilitate essential functions such as AI-driven navigation, efficient power management, and real-time processing of sensor data. As automakers focus on enhancing vehicle safety, performance, and efficiency, the integration of semiconductors in various automotive applications including infotainment systems, ADAS, power electronics, and EV management has surged. As chip manufacturing transitions towards smaller chip sizes below 5 nm, innovations such as 3D FinFETs, GAA FETs become increasingly important to achieve higher transistor density and lower energy consumption. These technological advancements require adherence to stringent automotive standards such as AEC-Q100 and ISO 26262 to guarantee reliability.

Consequently, there has been a shift towards the use of faster and more efficient materials in chip manufacturing. While these materials offer significant performance improvements, they also bring new challenges in terms of cost, manufacturability, and long-term reliability. It is therefore essential to address these challenges if the benefits of these innovations are to be fully leveraged in automotive applications.

This paper has presented a general framework of semiconductor technologies in the automotive industry. In the next paper, a more in-depth examination is planned, with a specific focus on the design of high-performance processors for sensor algorithms used in artificial intelligence systems.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Abbasi, I. (2023, December 18). *AZOM*. AZO Materials: https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=23253&utm_source

Bellan, R. (2021, July 14). *Tech Crunch*. techcrunch: https://techcrunch.com/2021/07/14/semiconductor-wafer-producer-sk-siltron-to-invest-300m-in-us-to-boost-ev-supply-chain/

Duan, H. (2024). From MOSFET to FinFET to GAAFET: The evolution, challenges, and future prospects. *ResearchGate*, 3.

Duan, H. (2024). From MOSFET to FinFET to GAAFET: The evolution, challenges, and future prospects. *ResearchGate*, 6.

Haley, G. (2025, January 23). *Semiconductor Engineering*. Semiengineering: https://semiengineering.com/electrifying-everything-power-moves-toward-ics/

Harald Bauer, Ondrej Burkacky, Peter Kenevan, Stephanie Lingemann. (2020). Semiconductor design and manufacturing: Achieving leading-edge capabilities. *Advanced Electronics Practice*, 5.

Jiang, J. (2020). Signal Integrity Simulation Design and Analysis of Electronic Article Surveillance PCB fr RFID applications. *IEEE Explore*, 1.

PCB Hero. (2022, September 3). *Integrated Circuit Manufacturing Process*. PCB HERO: https://www.pcb-hero.com/blogs/lilycolumn/integrated-circuit-manufacturing-process?_pos=1&_sid=b027dc158&_ss=r

Ramachandran, A. (2024). AI-Powered Wide-Bandgap and Ultra-Wide-Bandgap Semiconductors Innovations, Applications, and Future Directions. *ResearchGate*, 3.

Rayming. (2025, January 5). *Rayming PCB & Assembly*. Ray PCB: https://www.raypcb.com/high-speed-high-density-pcb-design-tips/

Samsung Newsroom. (2022, June 30). *Samsung Begins Chip Production Using 3nm Process Technology With GAA Architecture*. Samsung Newsroom: https://news.samsung.com/us/samsung-begins-chip-production-3nm-process-gaa-architecture/

Shapiro, D. (2023, January 3). *Manufactured in the Metaverse: Mercedes-Benz Assembles Next-Gen Factories With NVIDIA Omniverse*. Nvidia Blogs: https://blogs.nvidia.com/blog/mercedes-benz-next-gen-factories-omniverse/

Sicard, E., & Trojman, L. (2021, June 8). *HAL open science*. HAL science: https://hal.science/hal-03254444v1

Soares, J. (2024, September 27). *Bon Voyage: NIO Unveils ONVO L60 Smart Electric SUV, Built on NVIDIA DRIVE Orin*. Nvidia Blogs: https://blogs.nvidia.com/blog/nio-onvo-l60/

Young, I. (2024). Gordon Moore's Journey: "Moore's law" dissected. *IEEE*, 1.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

DEVELOPMENTS İN HOT MİX ASPHALT (HMA) DESİGN METHODS AND EVALUATİON OF THEİR INTEGRATİON İN TÜRKİYE

Ahmet ÇALIŞKAN[1]
Altan ÇETİN[2]

Abstract

Over time, knowledge of the physical and chemical properties of asphalt pavement systems has increased significantly. Accordingly, modern methods used in pavement design are constantly evolving in line with new data and technological developments. Failure to meet the expected performance of pavements produced by empirical methods used in asphalt pavement design and permanent deformations caused by high traffic loads have brought performance-based mix design methods to the agenda. The Superpave method has been developed, which takes into account regional and climatic conditions in terms of permanent deformations and low temperature cracks. However, the complexity and cost of performance-based tests in Level 2 and Level 3 of this method limited this method to Level 1, which is based on volumetric mix design. Consequently, this leads to the need for design that incorporates easily applicable performance tests. In this context, Balanced Mix Design (BMD) has emerged as one of the most recent and promising approaches to the design of asphalt mixtures. This method replaces certain elements of traditional volumetric design with performance test criteria, taking into account common asphalt deterioration phenomena such as rutting and cracking. In Turkey, efforts to keep pace with developments are being made by the relevant authorities. Although some experiments on the Superpave binder system have been integrated, the Marshall Method is still widely used in BSK design. Superpave and BMD methods should be evaluated in terms of our country's conditions. It is important to develop a BSK design method by integrating basic performance tests suitable for the conditions of our country. Turkey's transition to performance-based methodologies while developing its highway infrastructure is of critical importance. The integration of BMD, including rutting and cracking tests, and the adoption of BMD by the relevant sector will improve the quality and service life of asphalt pavements.

Keywords: Asphalt Mix Design Methods, Performance Based Design methods, Superpave Method, Balanced Mix Design, Simple Performance Tests

[1] İnş. Müh., Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, ahmet.caliskan@kgm.gov.tr, Orcıd: 0009-0007-1619-9906
[2] Prof. Dr., Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, acetin@bartin.edu.tr, Orcıd: 0000-0001-5406-6580

ISBN: 978-625-372-661-4

1. Giriş

Birçok ülkede karayolu üstyapısında daha çok asfalt esnek kaplamalar kullanılmaktadır. Esnek kaplama karışımları için çeşitli tasarım yöntemleri mevcuttur. Bunlar içinde en yaygın olarak kullanılanı Marshall tasarım yöntemidir. Bu yöntemin avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Yol üzerindeki çeşitli bozulmalar, hava ve iklim şartlarına göre kaplamanın gerçek performansını koruyamaması, analiz ve uygulama sırasındaki sıkıştırma tekniklerinin farklı olması nedeniyle başta gelişmiş ülkeler olmak üzere pek çok ülkeyi yeni tasarım yöntemleri geliştirmeye sevk etmiştir. Bunların neticesinde yeni tasarım yöntemleri de ortaya çıkmaktadır. Bu tasarım yöntemlerinden birisi de Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) olarak isimlendirilen "üstün performanslı kaplama" yöntemidir. "Superpave" yöntemi, A.B.D.'deki "Strategic Highway Research Program" (SHRP) "Stratejik Yol Araştırmaları Programı" tarafından geliştirilmiştir (Brown, 2001).

Superpave metodolojisi, tekerlek izi oluşumunu azaltma konusunda avantajlar sağlamakla birlikte, Marshall karışım tasarımına kıyasla daha düşük bağlayıcı içeriğine sahip olması nedeniyle uzun vadeli dayanıklılıkla ilgili endişelere yol açmıştır. Bunun yanı sıra, bu yöntem büyük ölçüde asfalt karışımının hacimsel özelliklerine dayanmaya devam etmiştir. Başlangıçta, Superpave karışım tasarım prosedürü kapsamında performans testleri ile hacimsel karışım tasarımının entegre edilmesi amaçlanmışsa da, söz konusu testler tam anlamıyla uygulanamamıştır. Bu durum, asfalt endüstrisinde, hacimsel kriterleri sağlayabilen ancak saha koşullarında yetersiz performans sergileyen asfalt karışımlarını belirleyip elemek amacıyla tasarım sürecine dahil edilebilecek performans testlerine duyulan ihtiyacı artırmıştır.

Asfalt karışımları modern yol yapımının temelini oluşturan ve dayanıklılık ile uyarlanabilirlik arasında bir denge sağlayan yenilikçi tasarımlar gerektirmektedir. Hacimsel yaklaşımlara dayanan geleneksel asfalt karışım tasarımlarının, modern trafik yükleri ve iklim değişikliklerinin ortaya çıkardığı değişken talepleri karşılamada yetersiz kaldığı kanıtlanmıştır. Bu çalışma, asfalt karışım tasarım yöntemlerinin bir analizini sunmakta ve performansa dayalı testlerle entegre edilen Dengeli Karışım Tasarımına (Balanced Mixture Design - BMD) geçişi araştırmaktadır. Sınırlı altyapı ve yüksek ekipman maliyetleri gibi zorlukların modern uygulamaların benimsenmesini engellediği Türkiye bağlamına özel bir vurgu yapılmaktadır. Çalışma, sürdürülebilir ve uygun maliyetli altyapı gelişimi için performans odaklı metodolojilerin uygulanmasının önemini vurgulamaktadır. Aynı zamanda laboratuvar bulguları ile saha performansı arasındaki boşluğu kapatmak için performansa dayalı testlerle entegrasyonunu vurgulayan dönüştürücü bir yaklaşım araştırmaktadır. Çalışma, asfalt karışım tasarımının gelişimini inceleyerek, Türkiye'de gelişmiş metodolojilerin uygulanmasına ilişkin fırsat ve zorlukları ortaya koymaktadır.

2. Asfalt Karışım Tasarım Yöntemleri ve Gelişimlerinin Değerlendirilmesi

Asfalt karışımlarının tasarımı, söz konusu karışımın karıştırma, taşıma ve serme aşamalarında sergileyeceği performansın öngörülmesini ve hizmet ömrü boyunca optimum performans göstermesini sağlamaktadır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneme serileri, uygun bir formülasyon belirlenene kadar küçük ölçekte hızlı deneyimler kazanılmasına ve potansiyel hatalardan öğrenme sağlanmasına olanak tanımaktadır. Asfalt ve asfalt kaplama sistemlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine dair bilgi birikimi zaman içinde artmış olup, kaplama tasarımında kullanılan modern yöntemler, yeni bilgilerin ışığında gelişim göstermeye devam etmektedir.

Sanayi devriminin zirvesinde, 1890 yılında, Amzi L. Barber tarafından kurulan Barber Asphalt Paving Company, yol altyapısı sektöründe önemli bir dönüm noktası olmuştur. Barber, 1883 yılında Barber Asphalt Company'yi kurarak bitümlü karışımın yol yapımındaki potansiyelini araştırmış ve dayanıklı, maliyet etkin kaplamalar oluşturmak için çeşitli formülasyonlar üzerinde çalışmıştır. Barber şirketi, Trinidad kaynaklı bitümlü bağlayıcı, temiz kum ve dolgu malzemesi içeren tabaka asfaltıadı verilen bir ürün geliştirmiştir. Söz konusu karışım, geleneksel yöntemlere kıyasla daha düşük maliyetle uzun ömürlü ve güvenilir yollar inşa edilmesini sağlamıştır.

Frederick Warren, Barber'den farklı olarak, Warren Brothers Company bünyesinde 3 inç büyüklüğünde agregalar içeren ve modern sıcak karışım asfalt tasarımına benzeyen bir malzeme geliştirmiştir. "Bitulithic" adını verdiği bu karışım, yoğun derecelendirilmiş büyük agrega taneleri sayesinde minimum boşluklu, yüksek stabiliteye sahip bir yapı sunmaktadır. 1901 ve 1903 yıllarında patentlenen bu teknoloji, modern asfalt tasarımının öncüsü olarak kabul edilmektedir. (Asphalt Institute, 2014)

19. yüzyılın sonlarında kaplama tasarımına yönelik geliştirilen ilk yaklaşımlar, ampirik bulgulara dayanmaktaydı. Bununla birlikte, kantitatif veya performansa dayalı laboratuvar testleri henüz yaygın olarak kullanılmamaktaydı. Clifford Richardson, 1913 yılında bitüm içeriğinin görsel olarak tahmin edilmesine olanak tanıyan "Pat-Kağıt Testi"ni geliştirerek bu alanda ilk niteliksel testlerden birini ortaya koymuştur. Richardson'ın malzeme bileşenlerine ilişkin getirdiği yeni kriterler, asfalt kaplamaların kalitesini artırmış ve modern tasarım yöntemlerine zemin hazırlamıştır. (URL-4). Alanındaki bilgi birikimi ve karışım tasarım yöntemlerini iyileştirme konusundaki çabaları, Clifford Richardson'ı sektörde önemli bir isim haline getirdi. Onun geliştirdiği karışım, hammaddelerin seçimi konusunda daha özel kriterler getirerek, agregaların boyutuna ve dayanıklı karışımlar elde etmek için bunların kombinasyonuna dikkat çekiyordu. Bileşenlerin seçimindeki bu titizlik, bitümlü kaplamaların kalitesini ve performansını artırarak sektörde yeni standartlar belirledi. Bu yöntemin temel prensipleri hala geçerliliğini korumakta ve bitümlü karışım tasarım uygulamalarını etkilemektedir.

Asfalt Enstitüsü araştırmacılarından Prevost Hubbard ve Frederick Field, özellikle ince asfalt karışımları için bir tasarım prosedürü geliştirmiştir. Kaplama sistemlerinin yığılma deformasyonuna karşı direncine yönelik yapılan deneysel çalışmalar doğrultusunda, minimum Hubbard-Field stabilite değeri belirlenmiştir. Söz konusu yöntem, 1920'li yıllarda geliştirilmiş olup 1950'lerin sonlarına kadar yaygın bir şekilde uygulanmıştır. Aynı dönemde kullanılan diğer asfalt karışım tasarım yöntemleri arasında Smith Triaxial yöntemi ve Texas Gyratory yöntemi de yer almaktadır.

1930'lu yıllarda, California Karayolları Bölümü'nde malzeme ve araştırma mühendisi olarak görev yapan Francis Hveem, asfalt karışımlarının tasarımına yönelik bir prosedür geliştirmiş ve bu süreçte bir yoğurma makinesinin kullanımını tanıtmıştır. Hveem, sahada çelik ve pnömatik lastikli silindirler ile sıkıştırılan asfalt karışımlarının laboratuvar ortamında daha gerçekçi bir şekilde temsil edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bununla birlikte, karışımın performansını değerlendirmek amacıyla mekanik testlere duyulan ihtiyacı tespit etmiştir. Bu gereksinim doğrultusunda, asfalt karışımlarının—özellikle agrega yapısının—trafik yükleri altında maruz kaldığı kayma kuvvetlerine karşı direncini ölçmek amacıyla Hveem Stabilometresi geliştirilmiştir.

Marshall Karışım Tasarım prosedürü, 1930'lu yıllarda Mississippi Karayolu Departmanı'ndan Bruce Marshall tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, laboratuvar ortamında uygulanan sıkıştırma işleminin trafik etkilerini temsil eden bir yoğunluk üretmesi gerektiği ve en yüksek yoğunluğu sağlayan optimum bitüm içeriğinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Ayrıca, sıkıştırılmış karışımın stabilite ve akma değerleri ölçülerek, belirlenen minimum kabul edilebilir seviyelerin sağlanıp sağlanmadığı doğrulanmaktadır. İkinci Dünya Savaşı sırasında, uzak bölgelerde gerçekleştirilen pist inşaatları için basit ve taşınabilir laboratuvar ekipmanları ile uygulanabilecek bir karışım tasarım prosedürüne duyulan ihtiyaç artmıştır. Bu bağlamda,

ABD Ordusu Mühendislik Kolordusu, yeni nesil uçakların tekerlek yükleri ve lastik basınçlarını destekleyebilecek kaplama sistemleri tasarlamak amacıyla Marshall yöntemini uyarlamıştır. Marshall Karışım Tasarımı, pratikliği ve farklı trafik ve çevre koşullarına uygunluğu nedeniyle dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, yeterli hava boşluğu ve agrega kenetlenmesini korurken asfalt karışım stabilitesini ve akış özelliklerini optimize etmeye odaklanır. Tasarım, silindirik numunelerin standart bir Marshall çekici ile sıkıştırılmasını ve ardından optimum bitümlü bağlayıcı içeriğini belirlemek için stabilite ve akış testlerini içerir. Temel parametreler arasında hava boşluğu içeriği (Vh), mineral agregadaki boşluklar (VMA) ve asfaltla doldurulmuş boşluklar (VFA) yer alır (Kaya, 2016).

Marshall ve Hveem yöntemleri asfalt tasarımı için uzun süredir kullanılmakta ve öncelikle stabilite ve akış gibi hacimsel parametrelere odaklanmaktadır. Bu yöntemler basitlik ve maliyet verimliliği sunarken, özellikle yüksek trafik yükleri ve değişken iklim koşullarının yaşandığı bölgelerde tekerlek izi, çatlama ve nem hasarını ele alma konusundaki sınırlamaları giderek daha belirgin hale gelmiştir. Marshall yöntemi, karışım özellikleri ve performans arasındaki ampirik korelasyonları vurgulamakta ancak yorulma çatlaması gibi kritik konuların doğrudan değerlendirilmesinden yoksundur. Hveem'in yaklaşımı, stabilite odaklı ekipmanlar sunarken, çeşitli trafik ve iklimsel stresler altında uzun vadeli dayanıklılığı değerlendirmede benzer şekilde yetersiz kalmaktadır. Her iki yöntem de temel bilgiler sağlamıştır ancak çağdaş talepleri karşılamak için modernizasyona ihtiyaç duymaktadır (URL-2).

1950'li yılların başında, Ulusal Karayolu Sistemi'nin oluşturulmasıyla birlikte eyalet karayolu departmanlarının, yüksek trafik hacmine sahip yolların inşasını genişletmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu kapsamda, 1987 ile 1993 yılları arasında Stratejik Karayolu Araştırma Programı (Strategic Highway Research Program-SHRP) kapsamında çeşitli araştırmalar yürütülmüştür. 1990'lı yılların başında Superpave sisteminin geliştirilmesinden önce, eyalet karayolu ajanslarının yaklaşık %75'i Marshall Karışım Tasarım prosedürünü kullanmaktaydı. SHRP'nin temel hedefi, artan trafik yükleri ve çevresel koşullar karşısında ulusal karayolu altyapısının tasarım ve inşa süreçlerinde iyileştirmeler sağlayacak, performans odaklı teknoloji ve standartları geliştirmek olmuştur. Bu araştırmaların sonucunda, bağlayıcı malzemeler için Performans Derecelendirme (Performance Grade-PG) sistemi ile Superpave olarak adlandırılan yeni bir karışım tasarım yöntemi geliştirilmiştir. İlk Superpave teknolojisi kullanılarak inşa edilen projeler 1990'ların başında hayata geçirilmiş ve bu prosedür, kısa sürede ABD ve Kanada'da asfalt karışımı tasarımında standart hale gelmiştir (Asphalt Institute, 2014).

Superpave karışım tasarım yönteminde, numunelerin optimum bağlayıcı içeriğini belirlemek amacıyla hacimsel ölçümler gerçekleştiren döner bir kompaktör kullanılmaktadır. Tasarlanan karışımın uygunluğunu doğrulamak için nem direnci testleri ve bazı durumlarda performans testleri de prosedüre dahil edilmektedir. Superpave karışım tasarım sistemi, hacimsel bazlı asfalt karışım tasarımının gerçekleştirilmesi açısından malzemelerin doğru seçimi için sağlam bir temel oluşturmaktadır. Bununla birlikte, üretilen asfalt karışımının tasarım sürecinde öngörülen performans kriterlerini karşılayıp karşılamadığını doğrulayan test prosedürlerinin eksikliği önemli bir sınırlılık olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, genellikle üstyapı tasarımıyla doğrudan ilişkilendirilmeyen bir diğer kritik husus, asfalt karışımlarının üretimi sırasında uygulanan kalite kontrol yöntemleridir. Laboratuvar ortamında üretilen numuneler ile saha üretimi karışımlar arasında belirgin farklılıkların bulunduğu iyi anlaşılmıştır. Bu nedenle, asfalt karışım tasarımının beklenen performansı sergilemesini güvence altına alabilmek için etkili bir kalite kontrol mekanizmasını içeren performansa dayalı bir sistemin benimsenmesi gerekmektedir.

Superpave karışım tasarım sistemi, başlangıçta farklı trafik seviyeleri için üç düzeyde tasarlanmıştır. Düzey 1'in trafiğin az olduğu kaplamalarda kullanılması öngörülmüştür ve karışım tasarımı gereksinimleri öncelikle geleneksel hacimsel özelliklere dayanmaktadır. Düzey 2, orta düzeydeki trafik projelerinin çoğunluğu için kullanılacak ve hacimsel gereksinimlerin yanı sıra sınırlı sayıda karışım performans testini içermektedir. Düzey 3,

yüksek trafikli kaplamalar için olacak ve hacimsel bazlı bir karışım tasarımıyla başlayacak ve bunu genişletilmiş bir dizi gelişmiş performans testi takip etmektedir. Bununla birlikte, SHRP tarafından önerilen karışım performans testleri, birkaç özel proje dışında hiçbir zaman uygulanmamıştır. Bunun temel nedeni, bu testlerin, ABD'de her yıl kullanılan binlerce karışım tasarımı için rutin kullanım açısından pratik kabul edilmemesidir. (Yin, 2021)

Yıllar boyunca hem altyapı yönetim kurumları hem de bitümlü karışım endüstrisi, karışım tasarım sürecine entegre edilebilecek performans testlerine ilgi göstermiştir. Bu ilgi, hacimsel gereklilikleri karşılayan ancak sahada yapısal kusurlar nedeniyle daha düşük performans gösteren karışımların tespit edilmesi gereksiniminden ve aynı zamanda karışım tasarım sürecinde yenilikçi malzemelerin kullanılmasını kolaylaştırma isteğinden kaynaklanmıştır. ABD'deki çeşitli ulaşım departmanları, bitümlü karışımların dayanıklılığını artıracak çözümler arayarak yol ağını daha sürdürülebilir, dayanıklı ve ekonomik hale getirmeyi hedeflemiştir. Bu bağlamda, Dengeli Karışım Tasarımı (Balanced Mix Design - BMD), asfalt karışımlarının tasarımına yönelik en yeni ve gelecek vadeden yaklaşımlardan biri olarak ortaya çıkmıştır. Bu yöntem, tekerlek izi ve çatlama gibi yaygın asfalt bozulmalarını dikkate alarak, geleneksel hacimsel tasarımın belirli unsurlarını performans test kriterleriyle değiştirmektedir. BMD, tekerlek izi ve çatlama dahil olmak üzere temel bozulma mekanizmalarını değerlendiren performans testlerini entegre ederek hem geleneksel hem de Superpave yöntemlerinin sınırlamalarını ele alır. Tamamen hacimsel yaklaşımların aksine BMD, karışımları belirli performans ihtiyaçlarına göre uyarlayarak dayanıklılık ve esneklik arasında bir denge sağlamayı benimser (Costa, 2021).

3. Dengeli Karışım Tasarımı (Balanced Mix Design-BMD)

Dengeli Karışım Tasarımı, performans odaklı testlere dayandığı için bitümlü karışım tasarımı alanında önemli bir gelişmeyi temsil etmektedir. BMD, "karışımın yaşlanma, trafik, iklim ve kaplama yapısındaki konum gibi çeşitli bozulma türlerine karşı direncini değerlendiren uygun şekilde şartlandırılmış numuneler üzerinde performans testleri kullanan bir bitümlü karışım tasarım yöntemi" olarak tanımlanmaktadır. Performans testleri, bir karışımın yerel ortamdaki belirli tehlike türlerine nasıl dayanabileceğini güvenilir bir şekilde tahmin etmek için seçilmelidir. Test yöntemleri basit olmalı ve her laboratuvar tarafından kolaylıkla gerçekleştirilebilmelidir. BMD yöntemleri, geçmiş deneyimlere, malzeme maliyetlerine veya prosedür sınırlarına dayalı olarak malzeme oranlarını seçmek yerine, gerçeğe dayalı test sonuçlarını kullanarak hedeflenen yerel tehlike modları için karışımları optimize eder. Ancak bu performans testlerinin başarıyla tamamlanmasından sonra belirli bir karışımın iş karışımı formülü (Joint Mixture Formula-JMF) olarak kullanılabilirler.

AASHTO PP 105-20'de Yaklaşım A'dan Yaklaşım D'ye kadar dört farklı BMD yaklaşımı tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımlar arasındaki temel farklar, hacimsel kriterlerin karşılanmasındaki katılık derecesi ve performans kriterlerinin karşılanmasında yeniliklere izin verilme potansiyelidir.

- Yaklaşım A- Performans Doğrulamalı Hacimsel Tasarım: Mevcut hacimsel karışım tasarım yöntemiyle (yani Superpave, Marshall veya Hveem) başlar, sonrasında optimum bağlayıcı içeriğinde (Optimum Bitumen Content-OBC) performans testleriyle doğrulama yapılır.

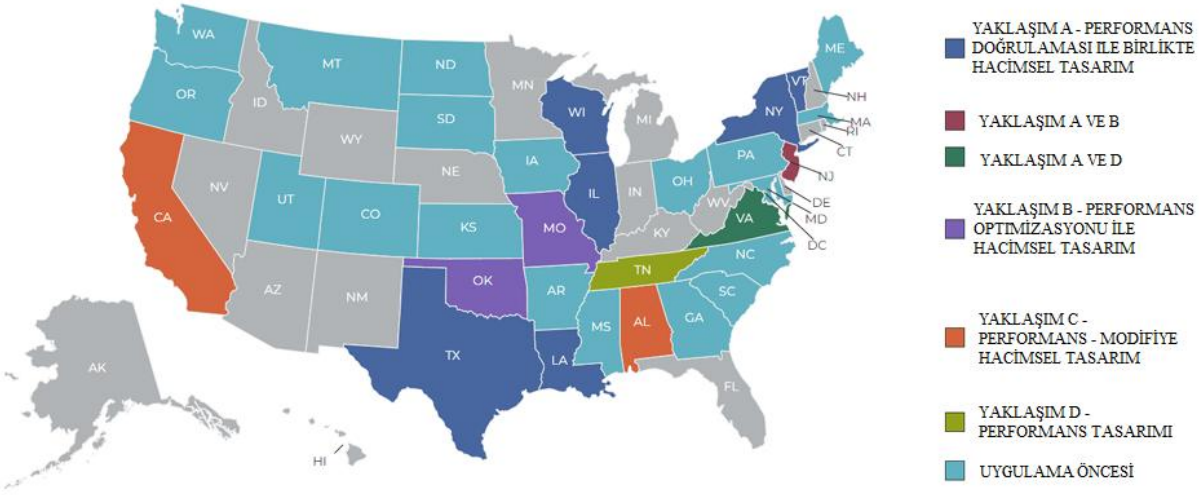
- Yaklaşım B- Performans Optimizasyonu ile Hacimsel Tasarım: Bu yaklaşım, Yaklaşım A'nın genişletilmiş versiyonudur. Mevcut hacimsel karışım tasarım yöntemiyle (yani Superpave, Marshall veya Hveem) başlar. Sonrasında OBC'nin yüzde 0,3 ila 0,5 aralıklarla iki veya daha fazla ilave bağlayıcı içeriği ile performans testleriyle doğrulama yapılır.

– Yaklaşım C- Performansa Göre Değiştirilmiş Hacimsel Tasarım: Önce hacimsel tasarım yapılır, ardından performans test sonuçlarına göre bağlayıcı içeriği ve agrega bileşimi optimize edilir.

– Yaklaşım D- Doğrudan Performans Testlerine Dayalı Tasarım: Karışım tamamen saha performans testlerine dayalı olarak tasarlanır ve hacimsel kriterlerden bağımsız hale gelir.

Yaklaşım A, mevcut hacimsel gereksinimlere ve ek performans gereksinimlerine tam uyum gerektirir ve bu nedenle en tutucu yaklaşımdır ve en düşük yenilik potansiyeline sahiptir. Yaklaşım B, OBC'deki hacimsel gerekliliklere tam uyum gerektirir ancak karışım performans testi sonuçlarına dayalı olarak performans optimizasyonu için bitümlü bağlayıcı içeriğinde orta düzeyde değişikliklere izin verir. Yaklaşım B, Yaklaşım A'dan biraz daha esnek olmasına rağmen, yine de sınırlı yenilik potansiyeline sahip tutucu bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Yaklaşım C, performans kriterlerinin karşılanması koşuluyla bazı hacimsel gereksinimlerin gevşetilmesine veya ortadan kaldırılmasına olanak tanır. Performans optimizasyonu için izin verilen karışım tasarımı değişiklikleri, bitümlü bağlayıcı içeriğindeki değişikliklerle sınırlı değildir. Bu nedenle, Yaklaşım A ve Yaklaşım B'den daha az tutucudur ve orta derecede yenilik potansiyeli sağlar. Son olarak, Yaklaşım D'nin hacimsel özelliklerle ilgili bir zorunluluğu yoktur ve karışım tasarımı optimizasyonu için yalnızca karışım performans testi sonuçlarına dayanır ve bu nedenle, en yüksek derecede yenilik potansiyeline sahip en az tutucu yaklaşım olarak kabul edilir (West, 2024).

Şekil 1'de BMD üzerine, geçici veya standart spesifikasyon geliştiren Eyalet Karayolu İdaresi (State Highway Administration-SHA) ABD haritasını sunmaktadır. Bu veriler, Mayıs 2020'de Ulusal Asfalt Teknolojisi Merkezi (National Asphalt Technology Center-NCAT) tarafından gerçekleştirilen SHA'lar ve asfalt yol endüstrisi anketinden toplanmıştır. Tanımlanan 11 BMD eyaleti arasında Illinois, Louisiana, New Jersey, Texas ve Vermont Yaklaşım A'yı, Performans Doğrulamalı Hacimsel Tasarım'ı kullanmaktadır. California, Missouri ve Oklahoma şu anda Yaklaşım C'yi, Performans Modifiye Hacimsel Tasarımı kullanmaktadır. Alabama ve Tennessee Yaklaşım D, Performans Tasarımını tercih etmekte; Virginia ise hem Yaklaşım A'yı hem de Yaklaşım D'yi kullanmaktadır. Henüz hiçbir eyalet Yaklaşım B, Performans Optimizasyonlu Hacimsel Tasarım ile ilerlememiştir.



Şekil 3.1: Geçici veya standart spesifikasyon geliştiren Ulaştırma Departmanlarının ABD haritası

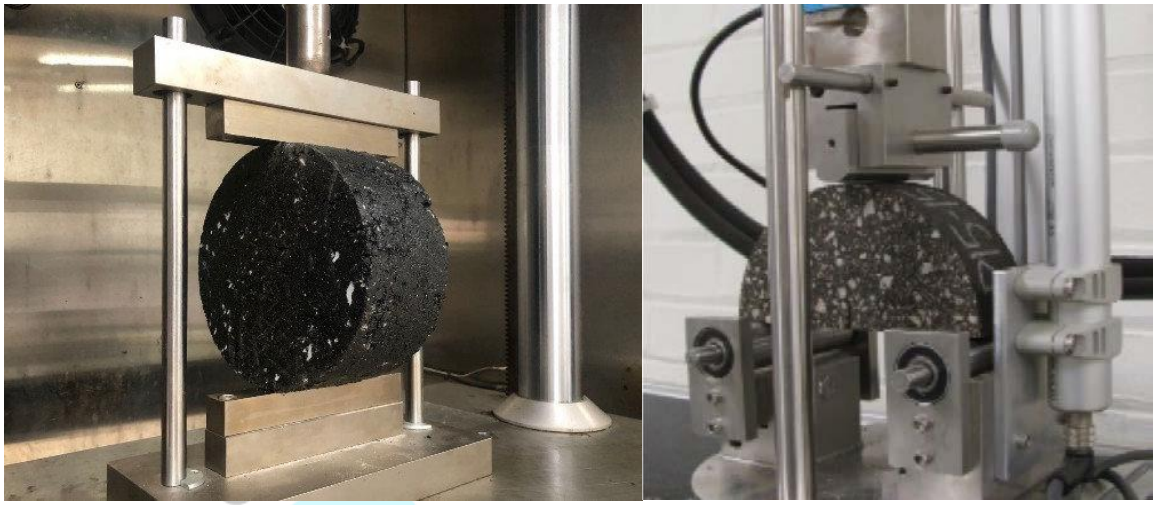
BMD'nin başarısı, asfalt karışımlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini ölçen performans testleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu testler, BMD sürecinin her aşamasında asfalt karışımlarının değerlendirilmesini sağlamakta ve saha performansını en iyi şekilde yansıtacak

karışımların seçilmesine olanak tanımaktadır. Aşağıda, BMD sürecine entegre edilen temel basit performans testleri tanımlanmaktadır.

- Hamburg Tekerlek İzi Testi (Hamburg Wheel-Tracking Test-HWTT): Bir asfalt numunesini su banyosunda tekrarlanan tekerlek yüklemesine tabi tutarak ve ortaya çıkan deformasyonu ölçerek hem tekerlek izi direncini hem de nem duyarlılığını değerlendirir (Şekil 2a).
- Akış Sayısı Testi (Flow Number-FN): Bir numuneye tekrarlanan eksenel yükler uygulayarak ve kalıcı deformasyonun hızlandığı yük döngüsü sayısını belirleyerek asfalt karışımlarının tekerlek izi potansiyelini değerlendirir (Şekil 2b).
- Kaplama Test Cihazı (Overlay Test-OT): Bir numuneye tekrarlanan çekme yükleri uygulayarak asfalt karışımının yansıtıcı çatlamaya karşı direncini değerlendirir ve alttaki tabaka hareketlerinden kaynaklanan gerilimleri temsil eder.
- Eğilme Kirişi Yorulma Testi (Flexural Bending Beam Fatigue Test-BBF): Bir kiriş numunesine tekrarlanan eğilme yüklemesi uygulayarak, kontrollü koşullar altında hasar oluşumuna kadar döngü sayısını belirleyerek asfalt karışımlarının yorulma ömrünü değerlendirir.
- Yarı Dairesel Eğilme Testi (Semi Circular Bend- SCB-Jc): Yarı dairesel bir numuneyi hasar oluşumuna kadar yükleyerek asfalt karışımlarının kırılma direncini ölçer ve malzemenin çatlamaya direnme kabiliyeti hakkında bilgi sağlar.
- Dolaylı Çekme Asfalt Çatlama Testi (Indirect Tensile Asphalt Cracking Test-IDEAL-CT): Silindirik bir numuneye hasar oluşumuna kadar dolaylı bir çekme yükü uygulayarak asfalt karışımlarının çatlama direncini belirleyen basit ve hızlı bir testtir (Şekil 2c).
- Illinois Esneklik İndeksi Testi (Illinois Flexibility Index Test- I-FIT): Test sırasında elde edilen yük-deplasman eğrilerinden Esneklik İndeksini belirleyerek asfalt karışımlarının esnekliğini ve çatlama potansiyelini değerlendirir (Şekil 2d).
- Cantabro Testi: Aşınmaya maruz kalan sıkıştırılmış bir numuneden parçacık kaybını ölçerek asfalt karışımlarının, özellikle açık gradasyonlu olanların dayanıklılığını değerlendirir.
- Çentikli Kenar Testi (Notched Edge-NE): Bir numuneye çentik açarak ve çatlak ilerlemesini temsil etmek için çekme yükleri uygulayarak asfalt karışımlarının çatlama direncini değerlendirir.



(a) (b)



(c) (d)

Şekil 3.2: BMD kapsamında en yaygın kullanılan basit performans tesleri (a) HWTT (b) FN (c) IDEAL-CT (d) I-FIT

Her test, saha koşullarını temsil edecek şekilde numunelerin hazırlanmasını ve şartlandırılmasını, ardından performans özelliklerini değerlendirmek için belirli yükleme protokollerinin uygulanmasını içerir. Sonuçlar, her projenin özel gereksinimlerine göre uyarlanmış farklı performans kriterleri arasında bir denge sağlamak için karışım tasarımı ayarlamalarına rehberlik eder (Asphalt Pavement, t.y.). ABD eyaletlerinde mevcut BMD'nin uygulanması ve performans testlerinin seçimi eyalet Ulaştırma Bakanlıkları arasında farklılık göstermektedir.

Tablo 3.1'de, Şekil 3.1'deki 11 eyalet için BMD'nin uygulanması hakkında uygulanabilir karışım türü, seçilen çökme ve çatlama testleri ve üretim kabulü için performans testi kullanımı da dahil olmak üzere ek bilgileri göstermektedir.

Tablo 3.1: ABD'deki Eyalet bazında BMD uygulamasına ilişkin durumun özeti

BMD Yaklaşımları	Eyalet	Uygulanabilir Karışım Tipi	Tekerlek izi	Çatlama	Performans Testi Üretim Kabulü
Yaklaşım A	Illinois	Yüksek ESAL karışımları	HWTT	I-FIT	Evet
	Louisiana	Aşınma ve bağlayıcı madde karışımları	HWTT	SCB-Jc	Evet
	New Jersey	Özel karışımlar	NE	OT, BBF	Evet
	Teksas	Yüzey karışımları	HWTT	OT, IDEAL-CT	Evet
	Vermont	Superpave tipi karışımlar	HWTT	I-FIT	Evet
Yaklaşım A ve D	Virjinia	Yüzey karışımları	NE	Cantabro, IDEAL-CT	Evet
Yaklaşım C	Kaliforniya	Uzun ömürlü kaplama karışımları	FN, HWTT	BBF, I-FIT	Evet
	Missouri	Ana hat kaplama karışımları	HWTT	I-FIT, IDEAL-CT	Evet
	Oklahoma	Superpave tipi karışımlar	HWTT	IDEAL-CT	Hayır
Yaklaşım D	Alabama	Superpave tipi karışımlar	HT-IDT	AL-CT	Evet
	Tenessee	Tüm karışımlar	HWTT	IDEAL-CT	Belirlenecek

4. Avrupa'daki Gelişmeler

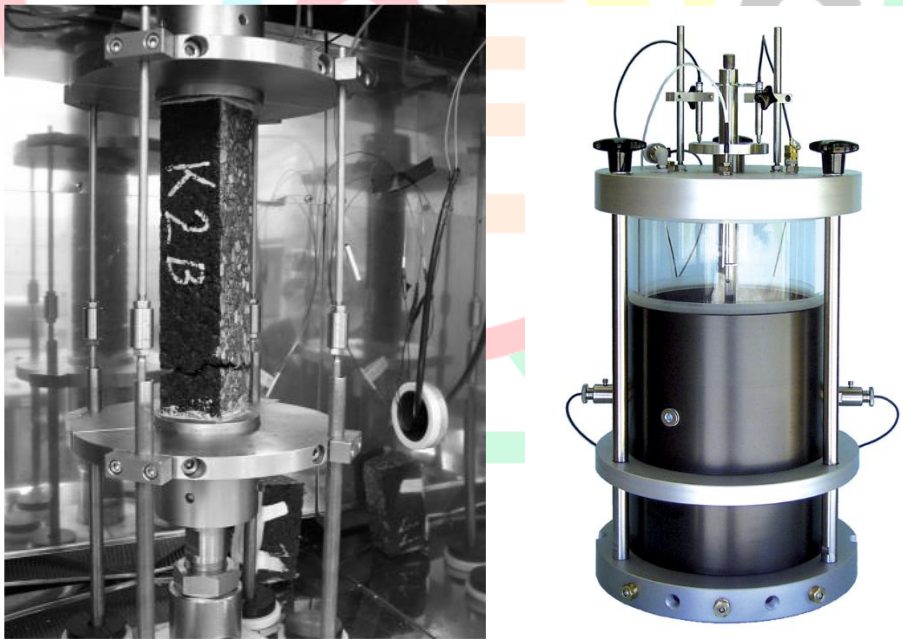
2007'ye kadar, tüm Avrupa Birliği içindeki Avrupa Standardizasyon Komitesi (Comité Européen de Normalisation-CEN) üye ülkelerinde yol asfalt malzemelerinin tasarımı ve test edilmesi için yeni uyumlu Avrupa Standartları (European Norm-EN) tanıtılmıştır. Genel olarak, bu EN standartlarında, ampirik karışım tasarım yaklaşımı ile yeni olan temel, performansa dayalı yaklaşım arasında karşılaştırmalı ayrımı yapılmıştır. Her iki yaklaşım da iyi performans gösteren, yapısal olarak optimize edilmiş kaplamaları gerçekleştirmeyi amaçlasa da performansa dayalı yaklaşımın önemli bir avantajı, laboratuvar değerlendirmelerine dayanmasıdır. Bu nedenle, Avrupa standartları çerçevesinde mevcut olan ve bitümlü malzemelerin etkili mekanik karakteristiklerini ele alan performansa dayalı test yöntemlerine odaklanmaktadır ve bu yöntemlerin Avrupa HMA şartnameleri çerçevesinde ulusal gerekliliklere dahil edilebileceği konusuna değinmektedir. Avrupa HMA test standardı serisi EN 12697-xx'de temel performans HMA özellikleri Tablo 4.1'de özetlendiği gibi farklı performans testleri ile ele alınmaktadır. Yüksek sıcaklıklardaki tekerlek izi davranışını tanımlamak için sınırlama basınçları olan veya olmayan tekrarlı eksenel yük testleri (Triaxial Cyclic Compression Test-TCCT veya Uniaxial Cyclic Compression Test-UCCT) (Şekil 4.1b) belirtilmiştir. Düşük sıcaklık davranışı, Çekme Gerilimi Sınırlandırılmış Numune Testi (Tensile Stress Restrained Specimen Test-TSRST) (Şekil 4.1a) ve Tek Eksenli Çekme Dayanımı Testi (Uniaxial Tensile Strength Test-UTST) ile belirlenmektedir. Asfalt

karışımlarının rijitliğini ve yorulmasını karakterize etmek için Avrupa standartlarında eğilme testleri ve doğrudan ve dolaylı çekme testleri dahil olmak üzere farklı testler tanımlanmıştır. Ancak belirli bir test cihazı türü tercih edilmemiştir. Ayrıca, Avrupa HMA şartnamesi EN 13108-1, bu performansa dayalı HMA özellikleri için ulusal şartnamelere temel HMA gereklilikleri olarak eklenebilecek farklı kategoriler sunmaktadır (Blab, 2013).

Tablo 4.1. Performansa dayalı gereksinimler için Avrupa test standartları

Test Standardı	**Sertlik**	**Malzeme Yorgunluğu**	**Düşük Sıcaklık Performansı**	**Kalıcı Deformasyon**
Aşınma	x	(x)	x	x
Binder	x	(x)	x	x
Temel	x	x	(x)	(x)
Test Prosedürü	1-Nokta Eğilme testi trapezoidal örnekle (2PBTR), 2-Nokta Eğilme testi prizmatik örnekle (2PBPR), 3-Nokta Eğilme testi (3PB), 4-Nokta Eğilme testi (4PB), Dairesel dolaylı çekme testi (CIDT) ve Doğrudan gerilme-kompresyon testi (DCT).	Nokta Eğilme testi (4PB), Dairesel dolaylı çekme testi (CIDT)	Sıcaklık Stresi Kısıtlanmış Örnek Testi (TSRST), Tek eksenli gerilme testi (UTST), Tek eksenli Dairesel gerilme testi (UCTST).	Üç eksenli dairesel kompresyon testi (TCCT), Tek eksenli dairesel kompresyon testi (UCCT).
EN standardı	EN 12697-26	EN 12697-24	EN 12697-46	EN 12697-25

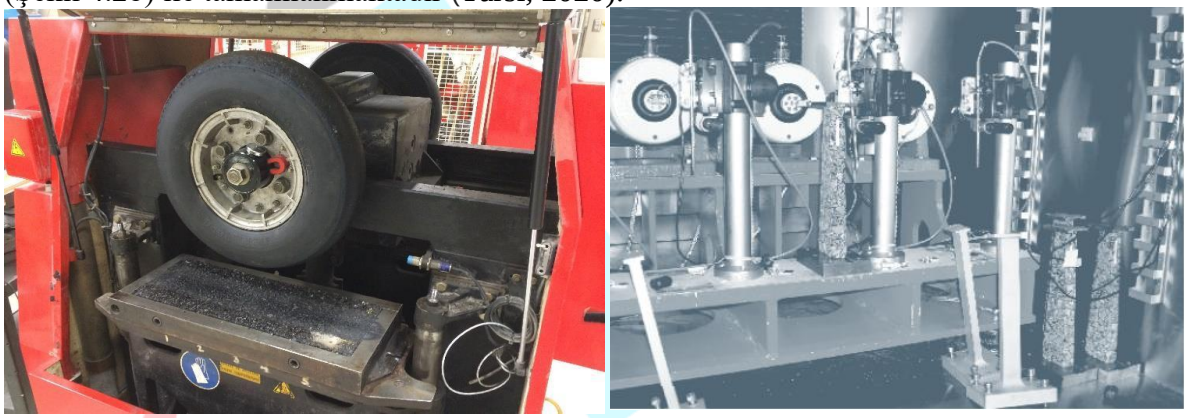
Not: x...performans özelliği zorunlu, (x)...ek performans özelliği



(a) (b)

Şekil 4.1. Avrupa performans test örnekleri (a) Tensile Stress Restrained Specimen Test-TSRST (b) Triaxial Cyclic Compression Test-TCCT

Fransa, özellikle yorulma direnci ve modül testlerine odaklanarak performansa dayalı testleri vurgulayan bir karışım tasarım metodolojisi kullanmaktadır. Fransız yaklaşımı, ampirik yöntemleri mekanistik ilkelerle bütünleştirerek asfalt karışımlarının belirli trafik yüklerine ve iklim koşullarına dayanabilmesini sağlar. Bu yöntem, Avrupa'daki üstyapı tasarım uygulamalarının şekillendirilmesinde etkili olmuş ve asfalt karışımlarının yerel gereksinimlere göre uyarlanmasının önemini vurgulamıştır (Pereira, 2017). Performans spesifikasyonları dört seviye içerir. Seviye 1, işlenebilirlik (saha sıkıştırması ile ilgili) ve nem duyarlılığı için döner sıkıştırma testlerini içerir. Seviye 2, tekerlek izi testini tekerlek izi duyarlılığı için ekler. Seviye 3'e modül testleri ve Seviye 4'e yorulma testleri eklenir. Fransa'da, döner kompaktör ile asfalt karışım tasarımı, Duriez testi ile suya duyarlılık, LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) tekerlek izi testi ile kalıcı deformasyon direnci (Şekil 4.2a), iki noktalı trapez eğilme kirişi ile sertlik değerlendirmesi ve iki noktalı trapez eğilme kirişi ile yorulma direnci (Şekil 4.2b) ile tamamlanmaktadır (Tarsi, 2020).



(a) (b)

Şekil 4.2 (a): LCPC büyük ölçekli tekerlek izleme testi, (b): Trapezoidal modül ve yorulma test cihazı.

5. Türkiye'deki Gelişmeler

Türkiye'de asfalt karışım tasarımının gelişimi, küresel ilerlemelerden ve yerel altyapı ihtiyaçlarından etkilenerek yıllar içinde değişim göstermiştir. Osmanlı dönemindeki ilk asfalt uygulamalarından modern HMA tekniklerine kadar, ülke kaplama tasarım yaklaşımlarını sürekli olarak uyarlamıştır. BSK tasarım yöntemlerinin uygulanması, değişen iklim ve trafik koşulları altında yol dayanıklılığı, sürdürülebilirliği ve performansını artırmada önemli bir rol oynamıştır.

Türkiye'de asfalt kullanımı, Fransız işbirliği ile penetrasyonlu makadam tekniklerinin uygulandığı Osmanlı İmparatorluğu dönemine kadar uzanmaktadır. Asfalt yol yapımına yönelik ilk yapılandırılmış çaba, 1929 yılında Şose ve Köprüler Kanunu'nun yürürlüğe girmesiyle başlamıştır. 20. yüzyılın ortalarına gelindiğinde, Marshall Planı'nın da desteğiyle, Türkiye mekanize yol yapım tekniklerini benimsemiş ve yol ağını önemli ölçüde genişletmiştir. 1970'lere gelindiğinde ülke, dayanıklı ve uzun ömürlü BSK kaplama yapılarını vurgulayan yüksek standartlı otoyollara doğru kaymaya başlamıştır (URL-1).

1960-1970 yılları arasında asfalt kaplamalı yol uzunluğunun artırılması için yürütülen çalışmaların sonucunda, 1970 yılında asfalt kaplamalı Devlet Yolu uzunluğu 17.124 kilometreye ulaştı. 1970'ler, karayolu politikalarında yeni boyutların eklendiği bir dönemdi; bu yıllarda çok şeritli ekspres yolların yapımına başlanmış ve Asfalt Endüstrisi büyük atılımlar gerçekleştirmiştir. Yoğun trafiğe sahip yollar için yüksek standartlı, çok şeritli ekspres yollar ve problemler için sorun gelirken, kısa süreli ve sürekli bakımlı sathi kaplamalı asfalt yollar yerine, ağır taşıt hatlarına dayanıklı, uzun ömürlü, güvenli ve konforlu bir sürüş sağlayan BSK'lı asfalt yapımına geçilmiştir.

1980'li yıllara gelindiğinde asfalt kaplamalı karayolu uzunluğu 34.205 kilometreye ulaştı. Bu dönemde yüksek standartlı yolların yapımına ağırlık verilmiş ve çalışmalar yürütülmüştür. Devlet ve il yollarında da geometrik ve fiziksel standartlar yükseltilerek, asfalt kaplamalı yol ağı oranı %80 seviyeye çıkarılmıştır. Ancak mevcut yolun %10'undan azında BSK uygulaması gerçekleştirilmiş; genellikle sathi kaplama yapılmıştır.

2010'lu yıllarda ise mevcut sathi kaplamalı yolların BSK kaplamaya dönüştürülmesi hedeflenmiş ve bu doğrultuda BSK üretim ve uygulamaları artırılmıştır. Mayıs 2022 itibarıyla, Türkiye'de 68.687 kilometrelik karayolu ağının 29.163 kilometresi BSK asfalt kaplamalı, 36.866 kilometresi ise sathi kaplamalı olarak hizmet vermektedir (URL-3).

Türkiye'de BSK tasarımına yönelik şartnameler, yol kaplamalarının uzun ömürlü, dayanıklı ve ekonomik olması amacıyla sürekli olarak güncellenmektedir. Günümüzde, trafik yüklerinin artması, iklim değişikliklerinin etkisi ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda yeni nesil şartname düzenlemeleri büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda Türkiye'de asfalt kaplamalarına yönelik spesifikasyonlar ve test yöntemleri, uluslararası standartlarla uyumlu hale getirilerek geliştirilmiştir.

Türkiye'de, yol malzemelerinin gerekli özellikleri Karayolları Teknik Şartnameleri (KTŞ) ile belirlenir. 1950 yılında KGM'nin kurulmasının ardından ilk teknik şartname 1952 yılında yayımlanmıştır. KTŞ, dünyadaki gelişmeler ve ülkemizin ihtiyaç duyduğu yenilikler dikkate alınarak 1963, 1973, 1978, 1989, 2006 ve 2013 olmak üzere çeşitli yıllarda güncellenmiştir. Bu kapsamda, ulusal ve uluslararası güncel standartlara, son teknolojik gelişmelere, uygulama ve araştırmalardan elde edilen tecrübelere göre yeniden düzenlenerek hazırlanan KTŞ 2023, 27.12.2023 tarih ile yürürlüğe girmiştir.

1989 yılında yürürlüğe giren Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, Avrupa Ekonomik Topluluğu içerisinde yapı malzemelerinin ticaretine yönelik teknik engellerin kaldırılmasını amaçlamaktadır. Bu yönetmelik, 2002 yılında ülkemizde yayımlanmış ve 2007 yılından itibaren yapı malzemelerinin "CE işareti" taşıması ve "Uygunluk Beyanı" ile pazara arz edilmesi zorunlu hale getirilmiştir. Asfalt ve bileşenlerini de kapsayan bu düzenleme, 2011 yılında yürürlüğe giren yeni Yapı Malzemeleri Regülasyonu ile güncellenmiş ve 2013 yılında uygulanmaya başlanmıştır. Bu kapsamda, Avrupa uyumlaştırılmış standartları ve Avrupa Teknik Değerlendirmesi çerçevesinde piyasaya arz edilen yapı malzemeleri için "Uygunluk Beyanı" yerine "Performans Beyanı" düzenlenmesi ve CE işareti iliştirilmesi zorunlu hale getirilmiştir. Türkiye'de, uyumlaştırılmış standartlar Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından TS EN olarak yayımlanmış ve yapı malzemelerinin piyasaya arzı için zorunlu tutulmuştur. Bu standartlar, yapı malzemelerinin temel performans karakteristiklerinin beyan edilmesi ve değerlendirilmesine yönelik yöntemleri içermektedir (URL-3).

Uyumlaştırılmış bitümlü karışımlar KTŞ'de tam olarak adapte edilmemiş ancak şartnamede bu standartlar kapsamında yer alan bazı özelliklere ilişkin kategoriler seçilmiş ve ilgili deney standartları belirtilmiştir. BSK tasarımı ile ilgili esaslar "TS EN 13108-1: Asfalt betonu" uyumlaştırılmış standart içerisinde yer almaktadır.

Geleneksel karışım tasarım yöntemlerinde, genellikle hacimsel parametreler esas alınarak karışım bileşenleri belirlenmiştir. Ancak son yıllarda, karışımın saha performansını doğrudan değerlendiren performans esaslı şartnameler ön plana çıkmıştır. Yeni şartnamelerde, karışımların tekerlek izi direnci, çatlama dayanımı ve nem duyarlılığı gibi parametreler üzerinden değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu kapsamda, Türkiye'deki yeni şartnamelerde aşağıdaki performans testleri entegre edilmiştir.

KTŞ (2023) ile getirilen düzenlemede, KGM tarafından başka bir karışım tasarım yöntemi tayin edilmedikçe asfalt betonunun karışım tasarımı "Asphalt Institute MS-2" el kitabına göre Marshall metodu kullanılarak yapılacaktır. Binder karışım dizaynı Tablo 407.1 ve aşınma karışım dizaynı Tablo 407.2'de verilen gradasyon limitleri içinde kalmak ve Tablo 407.6'de verilen dizayn kriterlerini sağlamak kaydıyla "AASHTO M 323" ve "AASHTO R 35" standartlarına göre Superpave Tasarım metodu kullanılarak da yapılabilecektir. Karışım tasarımının Superpave metoduyla yapılması durumunda ise idare laboratuvarında, malzeme

özgül ağırlıklarına ilaveten tasarımda kullanılan deneme gradasyonları da dahil tüm gradasyonlarda başlangıç, tasarım ve maksimum ($N_{başlangıç}$, $N_{tasarım}$, $N_{maksimum}$) sıkıştırma parametreleri dikkate alınarak yoğurmalı (Gyratory) kompaktör ile hazırlanacak en az 3 grup briket üzerinde nihai karışımın tasarım değerleri kontrol edilecektir. Ayrıca optimum bitümde hazırlanacak numuneler üzerinde yapılacak performans deneyleri ile şartname kriterlerinin sağlandığı da teyit edilecektir.

Tekerlek İzinde Oturma deneyine ek olarak TS EN 12697-22 (Küçük Ebatlı cihazla: HWT, Metot B, Havada) standardı şartnameye eklenmiştir. Ankara, İstanbul ve Konya bölgelerine HWTT cihazı temin edilmiştir. Diğer bölgeler, deney numunelerini bu cihazların bulunduğu en yakın bölgeye gönderecektir. Ayrıca Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Direnci(Koşullu-Koşulsuz), İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) şartnameye eklenmiştir. TS EN 12697-22 standardının eklenmesi ve modern test cihazlarının kullanımı, uluslararası standartlara uyum sağlamayı amaçlamaktadır.

Türkiye'de Superpave bağlayıcı sistemi konusunda ilk somut adımlar, 2012 yılında KGM Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı tarafından atılmıştır. Bu kapsamda, BSK kaplamalı yollar ve sathi kaplamalı yollar için uygun bitüm sınıflarını belirlemek amacıyla bitüm sınıfı seçim haritaları hazırlanmıştır. Bu haritalar, 2013 yılında yayımlanan Karayolu Teknik Şartnamesi (KTŞ 2013) kapsamına alınmış ve yapım süreçlerinde kullanılmaya başlanmıştır.

KGM'nin BSK kullanımını yoğun olarak gerçekleştirildiği 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 ve 13. Bölge Müdürlüklerinde, performans test cihazları aktif olarak kullanmaya başlamış; ilgili bitümlü bağlayıcı testleri geçtiğimiz yıllarda teminleri sağlanmıştır. Güncel olarak 9. Bölge Müdürlüğünde test cihazlarının temini ve kullanımı için çalışmalar sürdürülmektedir. Bu düzende Superpave yöntemine dayalı olarak bahse konu performans testleri, ilgili prosedürler ve mevcut uygulamalar değiştirilmeden, KTŞ'de belirtilen bölümlere göre yürütülmektedir. Bu durum, Türkiye genelinde Superpave bağlayıcı sisteminin yaygınlaşması ve kalite kontrol açısından önemli bir ilerleme sağlamıştır.

Yol üstyapılarında kullanılacak bitüm performans sınıflarının belirlenebilmesi için ilk adım, yolun geçtiği bölgedeki sıcaklık koşullarının doğru bir şekilde analiz edilmesidir. Bu amaçlanan, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden, ülke genelindeki meteorolojik istasyonlardan alınan sıcaklık verileridir. Veriler, her yıl için ardışık 7 gün ve yüksek sıcaklık ortalamaları hesaplanmış ve son 20 yıllık ortalama sıcaklıklar ile standart sapmalar belirlenmiştir. Aynı şekilde, yıllık ve düşük sıcaklıkların engellendiği ve standart sapması da hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, aşırı sıcaklık seviyeleri yansıtılarak, ortalama yüksek ve düşük hava sıcaklıkları olarak değerlendirilmiştir. Bu sıcaklık verileri, istasyon düzeylerinin bulunup bulunmadığı, yol seviyesinin geçerli olması için bir dönüşüm yapılması gerekmiştir. Bu ayarlama, yol ve istasyon kot farkları dikkate alınarak, en yakın meteorolojik istasyon verileriyle yapılmış ve yol kesimlerine özel en yüksek ve en düşük sıcaklıklar hesaplanmıştır. Aşağıda bitüm sınıfı seçim tablosu Tablo 5.1'de verilmiştir (Komut, 2021).

1. *20 yıllık toplam standart dingil yükü tekerrür sayısı 20-70 milyon arasında olan yollarda yüksek sıcaklık performansı bir sınıf artırılacaktır.*
2. *20 yıllık toplam standart dingil yükü tekerrür sayısı ($T_{8.2}$) > 70 milyon yollarda yüksek sıcaklık performansı iki sınıf artırılacaktır.*
3. *Boyuna eğimi ≥ %4 ve uzunluğu L≥ 500 m olan rampalarda, yarıçapı ≤ 200 m olan yatay kurplarda, kavşak noktalarının gerisinde 200 metrelik bir kesim içerisinde ve kavşak içlerinde yüksek sıcaklık performans sınıfı bir sınıf artırılacaktır.*
4. *Temmuz ve ağustos aylarının sıcaklık ortalaması ile haziran ve eylül aylarının sıcaklık ortalaması arasındaki fark ≤ 3 °C olan yollarda yüksek sıcaklık performansı bir sınıf artırılır (sıcaklık verilerine 'http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx' adresinden ulaşılabilir).*
5. *Toplamda yüksek sıcaklık performansı üç sınıftan fazla artırılamaz.*

ÖRNEKLER :

	1	2	3	4	5
Yol kesimi	Aliyman	Kavşak (1†)	Rampa s=%6, L=1 km (1†)	Kurp, R=150 (1†)	Kavşak (1†)
Temel PG sınıfı	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-28	PG 64-16	PG 58-22
Proje trafiği ($T_{8.2}$)	45 Milyon (1†)	123 Milyon (2†)	15 Milyon	52 Milyon (1†)	120 Milyon (2†)
$T_{ort(ağus.tem)}$ -$T_{ort(haz.ey)}$	5.0 °C	3.2 °C	4.5 °C	2.5 °C (1†)	3 °C (1†)
Gerekli PG sınıfı	PG 64-22	PG 76-22	PG 64-28	PG 82-16	PG 76-22
Kullanılacak Bitüm	**B 50/70** (1†)	**PMB 76-22** (3†)	**Batman B 70/100 veya PMB 64-28** (1†)	**PMB 82-16** (3†)	**PMB 76-22** (3†)

Tablo 5.1: Bitüm Sınıfı Seçim Tablosu

Yolun ihtiyaç duyduğu bitüm performans sınıfı bu sıcaklık sistemine dayalı olarak sabitlenmiştir. Ancak bu sınıflamalar yalnızca sıcaklık koşullarında esasen yapılı olup, trafik yoğunluğu, trafik hızı, yol eğimi gibi değişkenlik gösterenler göz ardı edilmiştir. Bu nedenle nihai performans sınıfının belirlenmesinde diğer faktörler dikkate alınır. Söz konusu faktörler arasında sadece yüksek sıcaklık performans sınıfı değişmekte, düşük sıcaklık performansı sabit tutulmaktadır. Bitüm seçim sınıfı şu adımlarla yapılır: İlk olarak, yolun bulunduğu bölgedeki PG sınıfı, haritadaki renk ile belirlendi. Daha sonra 20 yıl boyunca maruz kaldığı toplam standart dingil yükü (T8.2) hesaplanmıştır. Eğer bu yük 20 ile 70 milyon arasında ise yüksek sıcaklık performansı bir sınıf artırılır, 70 milyonun üzerinde ise iki sınıf artırılır. Yüksek eğimli rampalar, kısa yarıçaplı büyük kurplar, kavşak iç kesimler gibi özel yol geometrilerine sahip

bölgelerde yüksek sıcaklık performansı bir sınıf daha artırılacaktır. Ayrıca Temmuz-Ağustos ile Haziran-Eylül arasındaki sıcaklık farkı 3°C'den küçük olması durumunda da yüksek sıcaklık performansının bir sınıfı artırılacaktır. Performans sınıflarındaki değişiklikler, mevcut 6°C'lik aralıklarla yapılır ve yüksek sıcaklık performansı üç sınıftan fazla artırılabilir.

6. Sonuçlar ve Tartışma

Asfalt karışım tasarımı yapmanın ardındaki nihai amaç, proje koşulları (trafik, hız ve iklim) için uygun performans (örneğin, kalıcı deformasyon ve çatlamaya karşı direnç) sağlamak üzere doğru tip ve oranda malzeme (agrega ve bitümlü bağlayıcılar) bulmaktır. "Proje koşulları için uygun performans" ifadesinin, maliyetin dikkate alınması gerektiği anlamına gelir. Performans testleri yaygın olarak kullanılıncaya kadar çoğu kuruluş, karışımın hacimsel özelliklerine vekil performansla ilgili özelliklerine güvenmeye devam edecektir.

Asfalt karışım tasarımı, reçete ve ampirik yöntemlerden performansa dayalı yaklaşımlara kadar önemli gelişmeler göstermiştir. Bununla birlikte, geleneksel ve hatta Superpave yöntemlerinin sınırlamaları, modern altyapı taleplerini karşılayabilecek yeni ve yenilikçi çözümlerin gerekliliğinin altını çizmektedir.

Hveem ve Marshall gibi ampirik yöntemler, hacimsel özellikler ve stabilite hakkında kritik bilgiler sağlamıştır. Bu yöntemler kendi zamanlarında etkili olmakla birlikte, modern trafik yüklerini ve çevresel zorlukları ele almak için gereken hassasiyetten yoksun kalmıştır. 1993 yılında tanıtılan Superpave, performansa dayalı bağlayıcı özellikleri ve gelişmiş sıkıştırma tekniklerini bir araya getirerek asfalt karışım tasarımında önemli katkılar sağlamıştır.

Superpave mükemmel bir sistem olmasa da, önceki alternatiflere göre çok sayıda avantaj sunar. Şu anda geliştirilmekte olan iyileştirmelerle, performans beklentilerini karşılayan karışım malzemeleri sağlamaya devam etmektedir. Superpave karışım tasarım sektörünü 1950'lerin teknolojisinden 2000'lere sıçratmıştır. Viskoziteyi ölçtüğümüz ve silindirle sıkıştırmayı temsil etmek için tokmak kullanılan teknolojiden açılı döner sıkıştırıcı kullanılan döneme geçilmiştir.

Superpave karışım tasarım sistemi, başlangıçta farklı trafik seviyeleri için üç düzeyde tasarlanmasına rağmen Düzey 2 ve Düzey 3'ün içerdiği performans testleri pratik olmaması sebebiyle uygulanamamıştır. Bu yöntem, geleneksel hacimsel özelliklere dayanan Düzey 1 ile sınırlı kalmıştır. Asfalt karışım tasarımında saha performansının yansıtılmasında önemli olan daha kolay uygulanabilir performans testlerini içeren yöntemlere gereksinim doğmuştur.

BMD, daha iyi performans gösteren karışımlar için yenilikçi malzemelerin ve yöntemlerin kullanılmasına olanak tanır. BMD, tekerlek izi ve çatlama direnci gibi iki temel mekanik performans kriterini dengelemeyi amaçlayan modern bir karışım tasarım metodolojisidir. Asfalt karışım tasarımında geleneksel yöntemler, genellikle hacimsel özellikler üzerinden belirlenen kriterlere dayanırken, BMD yöntemi, asfalt karışımlarının gerçek saha koşullarındaki performansını dikkate alarak tasarlanmasını sağlar. Sahada uzun vadeli dayanıklılığı artırarak bakım maliyetlerini düşürmeyi amaçlar, bu yönüyle geleneksel yöntemlere kıyasla daha ekonomik ve sürdürülebilir bir tasarım yaklaşımı sunar.

Türkiye'de BSK tasarımına yönelik şartnameler, asfalt kaplamalarının daha dayanıklı, uzun ömürlü ve çevre dostu olması amacıyla güncellenmektedir. Performansa dayalı şartnamelerin uygulanması, yeni nesil bağlayıcıların teşvik edilmesi ve sürdürülebilir malzeme kullanımına yönelik yenilikler, Türkiye'nin karayolu altyapısını daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlamaktadır.

KTŞ (2023) ile getirilen düzenlemede, asfalt betonunun karışım tasarımının "AASHTO M 323" ve "AASHTO R 35" standartlarına göre Superpave Tasarım metodu kullanılarak da yapılabileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte, mevcut bilgiler ışığında, geleneksel Marshall yönteminin yaygın olarak kullanılmaya devam edilmektedir ve Superpave yöntemi Düzey 1'e geçiş sürecinin henüz tamamlanmadığı görülmektedir. Bu durumun temel nedenleri arasında, Superpave yöntemi için gerekli cihazların yüksek maliyeti ve yeterli sayıda kalifiye elemanın

bulunmaması düşünülmektedir. Bu sebeplerle, ilgili tasarım yöntemiyle uyum sağlanması için çalışmalar devam etmekte olup geçiş süreci henüz tamamlanamamıştır.

Superpave bağlayıcı sistemi konusunda ilk somut adımlar, Türkiye'deki karayollarında farklı iklim, trafik ve zemin koşullarına uygun karışımların tasarlanmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca, bağlayıcı performans deneylerine yapılan eklemeler ve test cihazlarının belirli bölgelerde temin edilmesi, saha uygulamalarının kalitesini artırmakta ve uzun ömürlü kaplamaların elde edilmesine katkıda bulunmaktadır.

Türkiye'nin asfalt karışım tasarımına yaklaşımı, teknolojik ilerlemelere ve altyapı taleplerine uyum sağlayarak önemli ölçüde gelişmiştir. Marshall Karışım Tasarımı yaygın olarak kullanılmaya devam ederken, Superpave ve performansa dayalı metodolojilerin adaptasyon çabaları, daha dayanıklı ve esnek kaplama çözümlerine doğru ilerleyen bir değişimi yansıtmaktadır.

Türkiye'de Marshall yöntemi, basitliği ve düşük ekipman maliyetleri nedeniyle baskın olmaya devam etmektedir. Ancak geleneksel yöntemlere olan bu bağımlılık, modern altyapı taleplerini karşılama kabiliyetini sınırlamaktadır. Türkiye karayolu altyapısını genişletmeye devam ederken, geleneksel hacimsel tasarımdan performansa dayalı metodolojilere geçiş çok önemlidir. Tekerlek izi ve çatlama performans testlerini birleştiren BMD entegrasyonu, asfalt kaplamaların güvenilirliğini ve uzun ömürlülüğünü daha da artırabilir. Bu doğrultuda, hem kamu kurumlarının hem de özel sektörün BMD gibi performans odaklı tasarımları benimsemesi, ülke genelindeki asfalt kaplamalarının kalitesini artırmada kritik bir rol oynayacaktır.

Yüksek trafik hacimleri, aşırı sıcaklık değişimleri ve sınırlı teknik uzmanlık önemli zorluklar yaratmaktadır. Ayrıca, performansa dayalı tasarımlar için ulusal standartların bulunmaması da ilerlemeyi engellemektedir. Bu zorluklara rağmen, uluslararası projelerdeki başarılı örnekler, ülkemizde bu alandaki gelişmeler bu tür geçişlerin uygun planlama ve yatırımla mümkün olduğunu göstermektedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Asphalt Institute (2014). MS-2 Asphalt Mix Design Methods. 7th Edition, Library of Congress Control Number: 2014943435 USA.

Asphalt Pavement Alliance. (t.y.). *Balanced Mix Design (BMD) Resource Guide.* Retrieved from https://www.asphaltpavement.org/

Backus, B. (2019). Gilson Company, çanaktan WEB, *https://www.globalgilson.com/blog/superpave-mix-design-method-resource/* (25 Şubat 2025).

Blab, R. (2013). Performance-based asphalt mix and pavement design. *Romanian Journal of Transport Infrastructure*, *2*(1), 21-38.

Brown, E. R., Kandhal, P. S., & Zhang, J. (2001). Performance testing for hot mix asphalt. *NCAT report*, *1*(05).

Costa, R. F. (2021). *Balanced Mix Design of Asphalt Mixtures for Intersections.* Master's thesis, University of Nevada, Reno.

European Asphalt Pavement Association(EAPA). (2024). Recommendations for Road Authorities to optimise paving sustainability, health & safety, and quality through the use of Warm Mix Asphalt. *EAPA Technical Briefing.* Brussels, Belgium.

Hajj, E. Y., Aschenbrener, T. B., & Nener-Plante, D. (2021a). *Case Studies on the Implementation of Balanced Mix Design and Performance Tests for Asphalt Mixtures: Illinois Department of Transportation (IDOT)*. UNR Pavement Engineering & Science Program.

Hajj, E. Y., & Aschenbrener, T. B. (2021b). *Case Studies on the Implementation of Balanced Mix Design and Performance Tests for Asphalt Mixtures: New Jersey Department of Transportation (NJDOT)*. UNR Pavement Engineering & Science Program.

Hajj, E. Y., Aschenbrener, T. B., & Nener-Plante, D. (2021c). *Case studies on the implementation of balanced mix design and performance tests for asphalt mixtures: Texas department of transportation (TxDOT)*. UNR Pavement Engineering & Science Program.

Kaya, D., & Topal, A. (2016). Marshall ve Superpave Tasarım Yöntemleri Arasındaki Farklılıkların Ilık Karışım Asfaltlar Açısından İncelenmesi. Celal Bayar University Journal of Science, 12(2).

(Komut, M., Yüknü, K., Öztürk, T. (2021). Bitümlü Bağlayıcılar El Kitabı. Araştırma Ve Geliştirme Daire Başkanlığı Üstyapı Şube Müdürlüğü, Karayolları Genel Müdürlüğü. Ankara).

National Asphalt Pavement Association(NAPA). (2021a). *Asphalt Pavement Analyzer - Georgia DOT use case*. Retrieved from: https://www.asphaltpavement.org/

National Asphalt Pavement Association(NAPA). (2021b). *Flow number test: Summary and practical implications*. Retrieved from https://www.asphaltpavement.org/

National Asphalt Pavement Association(NAPA). (2021c). *Hamburg wheel-tracking test*. Retrieved from: https://www.asphaltpavement.org/

National Asphalt Pavement Association(NAPA). (2021d). *Illinois Flexibility Index Test (I-FIT)*. Retrieved from https://www.asphaltpavement.org/

National Asphalt Pavement Association(NAPA). (2021e). *Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT)*. Retrieved from https://www.asphaltpavement.org/

Rathore, M. (2022). High reclaimed asphalt content mixtures: Design parameters and Performance evaluation. Summary of the Doctoral Thesis. Faculty of Civil Engineering Department of Roads and Bridges, Riga Technical Univercity. Riga.

Orhan F. Karayolları Teknik Şartnamesinde Bitümlü Kaplamalarla İlgili Yenilikler. 6. Uluslararası Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 2014.

Pereira, P., & Pais, J. (2017). Main flexible pavement and mix design methods in Europe and challenges for the development of an European method. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, *4*(4), 316-346.

Tarsi, G., Tataranni, P., & Sangiorgi, C. (2020). The challenges of using reclaimed asphalt pavement for new asphalt mixtures: A review. *Materials*, *13*(18), 4052.

Trivellato, S. (2023). Progettazione innovativa dei conglomerati bituminosi: il Balanced Mix Design.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2006). *Karayolları Teknik Şartnamesi*, Ankara.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2013). *Karayolları Teknik Şartnamesi*, Ankara.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2023). *Karayolları Teknik Şartnamesi*, Ankara.

URL-1 (2014). *https://asfalt.tamyol.com.tr/turkiye-asfalt-endustrisi/*. Tamyol Asfalt Endüstri, 24 Şubat 2025.

URL-2 (2014). *https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/mix-design/hveem-mix-design/*. Pavement İnteractive, 25 Şubat 2025.

URL-3 (2025). *https://www.asmud.org.tr/Asfalt_Sartnameleri.asp/*. Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği – ASMÜD, 25 Şubat 2025.

URL-4 https://www.globalgilson.com/blog/types-of-asphalt-mix-design, Gilson Company Inc, 5 Ekim 2023.

West, R., & Yin, F. (2024). BMD Approaches. Balanced Mix Design, Special Report 228. NAPA.

Worel, B., Geib, J., Winnerholt, T., Wendel, M., Bakløkk, L. J., Saba, R. G., ... & Gudmundsson, H. (2013). International Comparison of Flexible Pavement Design (Sweden, Norway, Iceland, Denmark, Minnesota). In *Proceedings of the international conferences on the bearing capacity of roads, railways and airfields* (pp. 359-368).

Willis, Ph.D. R.(n.d.). Balanced Mix Design: State of Implementation. NAPA.

Yin, Ph.D. F., P.E. West, Ph.D. R., P.E. (2021). Balanced Mix Design Resource Guide. *National Center for. Asphalt Technology*. National Asphalt Pavement Association(NAPA).

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

FRONT SEAT STRUCTURAL SOLUTİONS FOR ELECTRİC VEHİCLES

Ahmet SARI[1]

Abstract

The evolution of electric vehicles (EVs) has introduced new challenges and opportunities in front seat design. Unlike internal combustion engine (ICE) vehicles, EVs often feature a flat floor due to the absence of a central transmission tunnel. This allows for greater flexibility in seat positioning but also demands innovative structural solutions to ensure safety, comfort, and weight efficiency.

One critical factor is low block height, which optimizes cabin space and enhances passenger ergonomics. A lower seat profile maximizes headroom while maintaining a comfortable seating position, especially in EVs with unique floor layouts.

Another key aspect is the integration of seatbelt systems within the seat structure. Many EVs lack traditional B-pillars, so integrated seat belts enhance safety while maintaining structural integrity. These designs improve crash protection and offer more flexibility in vehicle interior layouts.

Long seat travel is essential, as the absence of traditional drivetrain components allows for extended seat adjustment. This is particularly beneficial in autonomous or premium EVs where adjustable and reclining seats enhance the passenger experience.

Swiveling seats are also gaining popularity, particularly in autonomous and high-end models. These rotating seats facilitate easier entry and exit, improve accessibility and contribute to a interactive cabin experience.

To further enhance comfort for rear passengers, the front seat structure is being designed more narrowly. This reduces the physical space taken up by front seats, providing more legroom for passengers in the rear cabin without compromising front seat comfort.

Lightweight construction remains crucial. EV battery packs add significant weight, so advanced materials like high-strength steel, aluminum alloys, and carbon fiber-reinforced plastics (CFRP) are used to reduce seat weight while maintaining strength.

In conclusion, low block height, integrated seat belts, long seat travel, swiveling seats, and narrow front seat structures are shaping the future of EV seating, improving both comfort and performance.

Keywords: Seat Structures, Seat Design, EV Seats, Autonomous Vehicles, Innovative Seats

[1] Mühendislik Uzmanı, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası AŞ, AR-GE

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

The transition to electric vehicles (EVs) has led to significant changes in vehicle architecture, particularly in the design of front seats. Unlike conventional internal combustion engine (ICE) vehicles, EVs offer the unique advantage of a flat floor, owing to the absence of a central transmission tunnel. This design flexibility introduces both challenges and opportunities in the development of front seat structures that must meet new demands for safety, comfort, and functionality. A key aspect of this evolution involves the reduction of seat height, the integration of seatbelt systems, and the exploration of innovative seating features such as long seat travel and swiveling mechanisms. These advancements are aimed at optimizing the passenger experience, enhancing safety, and reducing overall vehicle weight critical factors in EV design due to the increased weight of battery packs.

This paper aims to explore the evolving front seat design solutions specifically tailored for electric vehicles. It focuses on addressing the unique challenges posed by the absence of traditional drivetrain components, such as the transmission tunnel, and highlights the importance of structural innovations. The study aims to provide insights into how design elements such as low block height, integrated seatbelt systems, extended seat travel, and swiveling seats are improving the comfort, safety, and functionality of front seat structures in EVs. Additionally, the aim is to assess how lightweight materials contribute to these advancements, helping to offset the increased weight of EVs' battery systems.

This study covers various aspects of front seat structural design in electric vehicles, emphasizing the implications of their unique floor layouts on seat positioning and ergonomics. The paper will explore:

- The impact of low block height on cabin space and headroom.
- The integration of seatbelt systems within the seat structure in the absence of B-pillars.
- The benefits of long seat travel, particularly in premium and autonomous EVs.
- The potential of swiveling seats to enhance cabin accessibility and interaction.
- The role of lightweight materials such as high-strength steel, aluminum alloys, and carbon fiber-reinforced plastics in reducing overall seat weight.

The scope also includes a comparative analysis of traditional ICE vehicles versus modern EVs to highlight the distinct advantages of EV-specific seat designs in terms of both performance and passenger comfort.

Method

The methodology of this study combines both theoretical and practical approaches. First, a literature review will be conducted to examine the current trends and challenges in front seat design for electric vehicles. This will be supplemented by case studies of various EV models that have incorporated advanced seat features. Additionally, computational simulations and physical testing of different seat structures will be analyzed to evaluate their impact on

passenger comfort, safety, and weight efficiency. Comparative performance metrics, such as seat travel range, crash test results, and ergonomic assessments, will be used to provide a comprehensive overview of the effectiveness of these design innovations.

By combining theoretical knowledge with practical case examples and technical evaluations, this study will present a holistic view of the future of front seat design in electric vehicles.

The rapid evolution of Electric Vehicles (EVs) has transformed not only how we power vehicles but also how we design their interiors. Among the most significant innovations in EV design are changes to front seat structures, incorporating integrated seatbelt systems, swivelling seats, and employing lightweight materials to optimize space, safety, and comfort. In this paper, we explore these advancements in the context of EV seating, with a focus on low block height, long seat travel, and the integration of advanced materials to enhance the performance of vehicle interiors.

1. Front Seat Structural Solutions for EVs

The shift from traditional drivetrain systems to electric powertrains in EVs has opened new possibilities for vehicle interior design. One of the most notable changes is the reduction of the central transmission tunnel, which provides more room for front seat positioning. The absence of this tunnel allows for a flatter, more flexible cabin layout, improving passenger comfort and enhancing interior space utilization.

In EVs, front seats are often designed to be lighter and more compact, without sacrificing safety or comfort. This requires innovative structural solutions, such as the use of high-strength steel or aluminium alloys, which provide both strength and weight savings (2). Additionally, the integration of seatbelt systems directly into the seat structure helps maintain a low profile while enhancing overall safety during collisions.

2. Integrated Seatbelt Systems in EVs

One of the most crucial advancements in EV seating design is the integration of seatbelt systems into the seat structure. Conventional seat belt systems are three-point belts, in which the upper anchor of the shoulder belt is mounted on the vehicle body (B-pillar) (10), see Figure 1(a). However, the absence of this central pillar in many EVs, which feature a flat floor due to the lack of a central transmission tunnel, has necessitated the development of alternative seatbelt solutions.

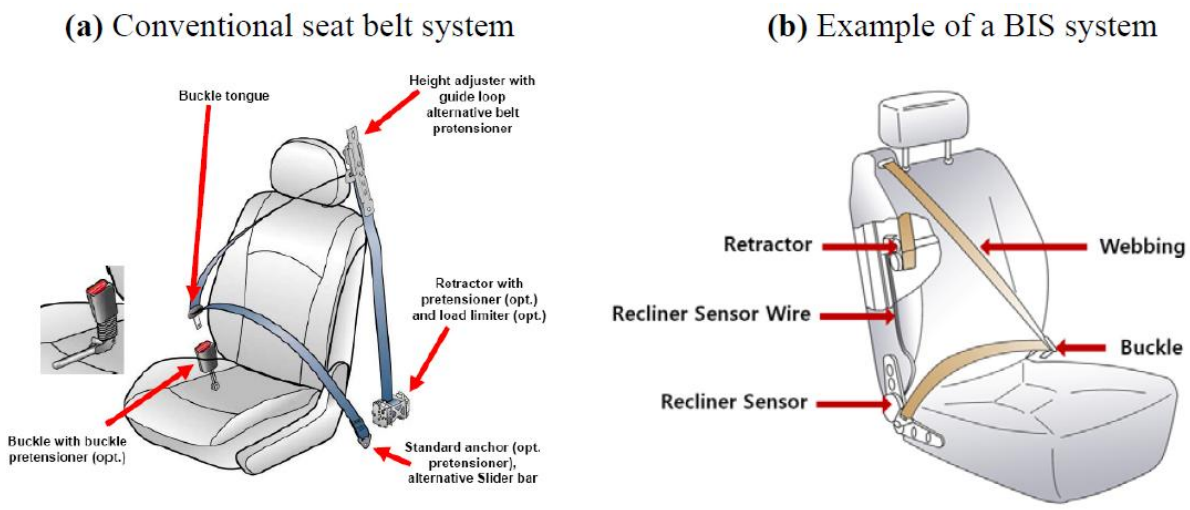


Figure 1. *Conventional Seat Belt System and BIS System (8,9)*

Integrated seatbelt systems not only contribute to the structural integrity of the vehicle but also enhance crash safety by maintaining optimal alignment with the occupant's body during a collision. These systems often combine advanced sensors with the seat structure, ensuring that the seatbelt functions effectively in various crash scenarios (1). Furthermore, the seamless integration of seatbelts allows for greater flexibility in the vehicle's interior layout, facilitating innovations such as modular seating configurations in autonomous EVs (3).

3. Swiveling Seats for EVs: Enhancing Accessibility and Comfort

As autonomous vehicles become more prevalent, the role of swiveling seats has gained importance. These rotating seats allow for improved accessibility and ease of entry and exit, especially in EVs designed with flexible interior configurations. Swiveling seats are particularly beneficial in autonomous and premium EV models, where the interior space is often designed to be more interactive, allowing passengers to turn and face each other during travel. (Fig.1)

Research indicates that swiveling seats, when integrated with the appropriate safety features such as adjustable seatbelts, provide enhanced comfort and support during travel. They also contribute to better ergonomics by offering a more customizable seating arrangement (3). While these seats may present challenges in terms of crash safety and structural integrity, advancements in seatbelt integration and modular design have mitigated these risks.

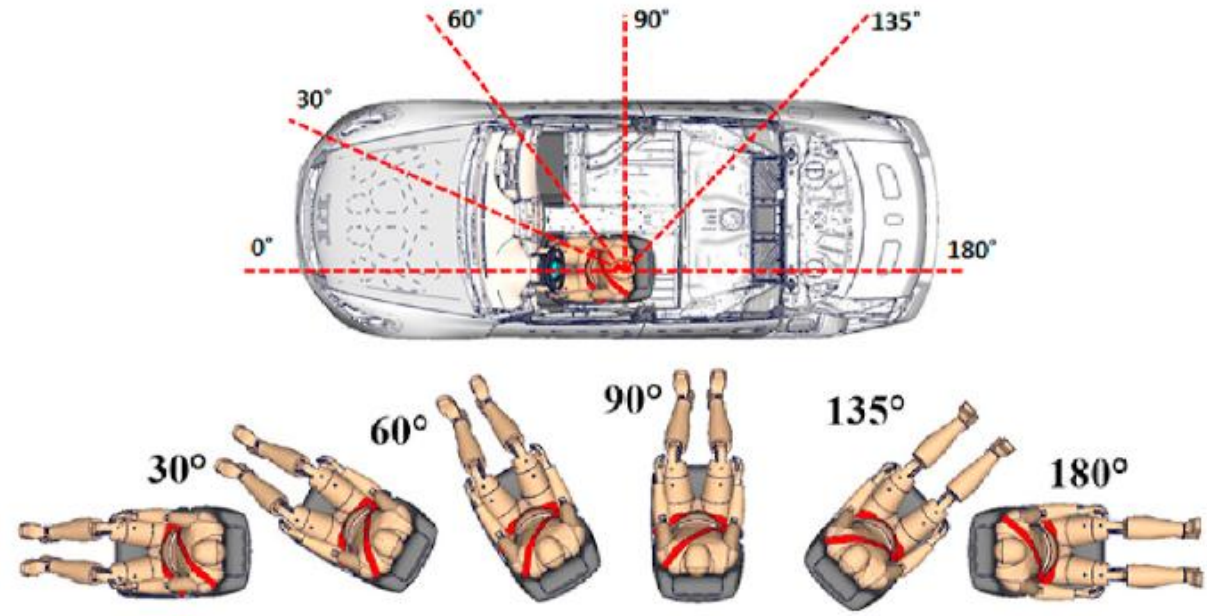


Figure 2. *Representation of the Examined Angles of Rotation (7)*

4. Low Block Height Seat

Low block height refers to the design feature of reducing the vertical profile of the seat base, which maximizes headroom and provides a more comfortable seating position, particularly in vehicles with unique floor layouts like EVs. By lowering the seat block height, engineers can increase available cabin space, making it easier for passengers to enter and exit the vehicle while ensuring a comfortable ride.

Low block height is particularly important for optimizing ergonomics in EVs, especially as the cabin space becomes more flexible and the absence of traditional drivetrain components allows for more customization. This design strategy is particularly beneficial in vehicles where passenger comfort and safety are top priorities, such as luxury or autonomous EVs (4).

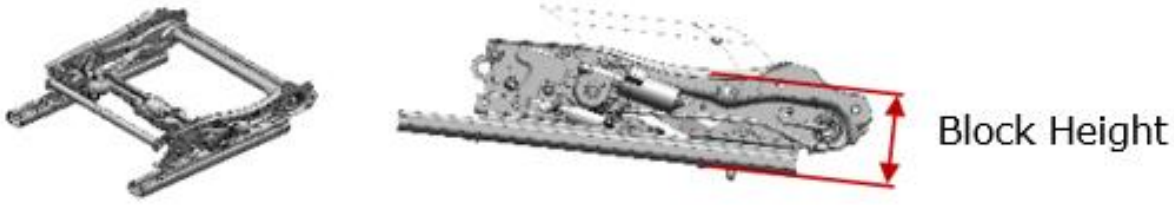


Figure 3. *Front Seat Cushion Structure Below 170 mm Block Height*

5. Long Seat Travel Seat in EVs

The absence of traditional drivetrain components in EVs has allowed for longer seat travel, providing greater adjustability for passengers. This is particularly beneficial in autonomous or premium vehicles, where adjustable and reclining seats contribute to a more comfortable and customizable passenger experience.

Long seat travel enhances comfort by allowing the seat to move forward or backward over a longer range, accommodating passengers of varying heights and preferences. In autonomous EVs, this feature can be combined with reclining seats to provide a lounge-like experience for passengers during long trips (5). Additionally, longer seat travel can improve rear-seat legroom, which is a crucial consideration for passenger comfort in larger EV models.

6. Lightweight Materials in Seat Construction

In EV design, reducing vehicle weight is a critical factor for improving energy efficiency and extending range. The use of lightweight materials in seat construction is a key strategy for achieving this goal. Advanced materials such as carbon fiber-reinforced plastics (CFRP), aluminum alloys, and high-strength steel are being incorporated into seat structures to reduce weight while maintaining strength and safety (6).

The use of these materials in seat design not only helps reduce the overall weight of the vehicle but also contributes to improved crash performance by enhancing the seat's ability to absorb impact forces. Additionally, lightweight seats allow for more flexible and modular interior designs, which are essential for EVs that prioritize space efficiency and adaptability.

Conclusion

In conclusion, the ongoing innovations in seat design for electric vehicles (EVs) have led to significant improvements in both passenger comfort and vehicle performance. The integration of seatbelt systems into the seat structure, lightweight materials, and advanced front seat structural solutions has optimized space, reduced weight, and enhanced safety.

Key advancements, such as swiveling seats, are improving accessibility and comfort, particularly in autonomous and high-end models where the interior layout is flexible and customizable. The low block height design has proven to be essential for maximizing headroom and improving the overall ergonomics of the cabin. Furthermore, long seat travel in EVs is facilitating better adjustability for passengers, allowing for a more comfortable ride, while simultaneously improving rear-seat legroom.

Overall, these findings highlight the growing importance of design innovations in the EV industry, where the need for flexible interiors, safety, and comfort are pushing the boundaries of traditional automotive seating. As electric vehicles continue to evolve, the application of advanced materials and technologies will play a pivotal role in shaping the future of vehicle interiors, contributing to greater sustainability, efficiency, and passenger satisfaction. The continued research and development of these solutions will be key to meeting the growing demands for more versatile and user-friendly EV interiors.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Matsumoto, H., et al. (2021). "The Effectiveness of Integrated Seatbelt Systems in Autonomous Vehicles," *Journal of Automotive Safety Engineering*.

Shimada, K., et al. (2022). "Design Considerations for Front Seat Structural Solutions in Electric Vehicles," *Automotive Materials and Manufacturing Journal*.

Hirota, T., et al. (2023). "Swivelling Seats in Autonomous Vehicles: Design and Safety Challenges," *Transportation Research Part F*.

Matsumoto, H., et al. (2021). "Ergonomic Considerations for Low Block Height in Electric Vehicles," *Automotive Ergonomics Review*.

Shimada, K., et al. (2022). "The Impact of Long Seat Travel on Passenger Comfort in Electric Vehicles," *Journal of Automotive Design and Technology*.

Shimada, K., et al. (2022). "Lightweight Materials Usage in Electric Vehicle Seat Construction," *Materials Science in Automotive Engineering*.

L. Porkolab, I. Lakatos, Future challenges for vehicle occupant safety, XV. IFFK 10 (2021) (2021).

Autoliv Home Page. http://www.autoliv.com (accessed on 13 April 2010).

Delphi Home Page. http://www.delphi.com (accessed on 13 April 2010).

Chang Hyun Baek, Jeong Wan Lee, Seock Hyun Kim and Insu Paek, (2010) Development of an Emergency Locking Unit for a Belt-In-Seat (BIS) System Using a MEMS Acceleration Sensor. ISSN 1424-8220

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

ADR STANDARTLARINA UYGUN OTOBÜS KOLTUK BAĞLANTI BRAKETLERİNDE MALZEME DEĞİŞİMİNİN DAYANIM VE AĞIRLIK AÇISINDAN İNCELENMESİ

Ahmet YILMAZI[1]

Özet

Toplu taşımacılıkta kullanılan şehir içi ve şehirler arası otobüslerde, yolcu koltuklarının şasiye bağlantısını sağlayan yapısal braketlerin dayanım performansı, güvenlik regülasyonları çerçevesinde büyük önem arz etmektedir. Özellikle ADR (Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road) standardı, bu tür bağlantı bileşenlerinde belirli çarpışma senaryolarına karşı dayanım kriterlerini zorunlu kılmakta; yapısal bütünlüğü ve yolcu güvenliğini ön planda tutmaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmada, geleneksel olarak kullanılan bağlantı yapısına alternatif olarak geliştirilen hafif ve optimize edilmiş bir yapı formunun ADR standardına uygunluk açısından ön simülasyon yöntemiyle incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada, otobüs koltuklarının bağlantı noktalarında oluşabilecek kuvvetlerin etkisi altında yapının gösterdiği deformasyon davranışı, gerilme yoğunluğu, kuvvet aktarımı ve enerji yutma kapasitesi sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile sayısal olarak değerlendirilmiştir. Analiz senaryoları ADR regülasyonlarının öngördüğü yükleme koşulları temel alınarak modellenmiş ve simülasyonlar aracılığıyla farklı yapısal davranışlar karşılaştırılmıştır. Fiziksel test aşamasından önce gerçekleştirilen bu ön değerlendirme, alternatif yapının hem dayanım kriterlerini sağladığını hem de mevcut sistemlere göre yapısal kütle avantajı sunduğunu ortaya koymuştur.

Elde edilen veriler doğrultusunda, tasarım değişikliğinin hem güvenlik gereksinimlerini karşıladığı hem de potansiyel ağırlık azaltımı sağlayarak araç genel performansına katkı sunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda çalışma, tasarım aşamasındaki mühendislik kararlarına yön vermesi ve ileri test süreçlerine ön hazırlık oluşturması açısından sektöre teknik ve maliyet katkısı sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: ADR Standartlarıı Yolcu Koltuk Bağlantı Braketi, Yapısal Dayanım, Sonlu Elemanlar Analizi (FEA), Ağırlık Optimizasyonu

[1] Trim Tasarım Mühendisi, Karsan Otomotiv

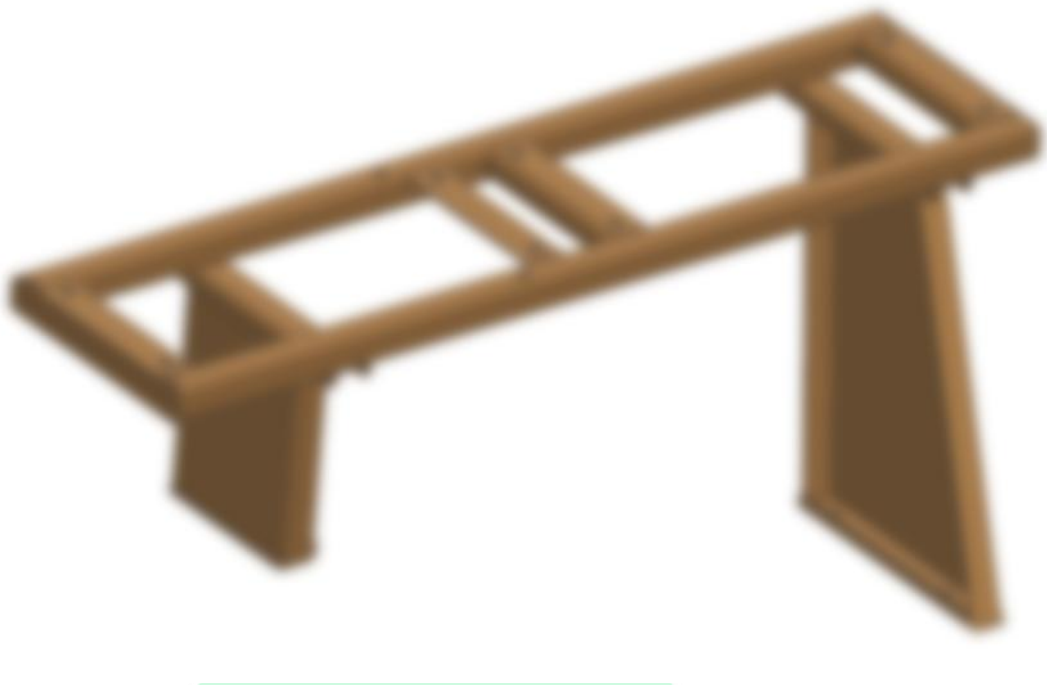
ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Kara yolu taşımacılığında, özellikle tehlikeli madde taşıyan yolcu otobüslerinde, güvenlik ekipmanlarının dayanıklılığı kritik öneme sahiptir. Koltukların taşıt gövdesine bağlandığı yapısal braketler, bu bağlamda ciddi yüklemelere maruz kalır. ADR standardı, bu tür bağlantı elemanlarının çarpışma anlarında minimum deformasyonla maksimum enerji yutma kabiliyetine sahip olmasını zorunlu kılar (ADR, 2023). Geleneksel çelik çözümler genellikle yüksek mukavemet sağlar, ancak beraberinde ağırlık dezavantajı getirir(Ashby, 2011). Bu nedenle, hem güvenlik kriterlerini karşılayacak hem de aracın ağırlığını azaltacak yenilikçi tasarımlar üzerine çalışmalar önem kazanmaktadır(Callister, 2018). Bu çalışmada, ST37 çelik yapıya alternatif olarak geliştirilen hafifletilmiş bir braketin ADR regülasyonları çerçevesinde değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

KAPSAM

Bu çalışma, minibüs sınıfındaki araçlarda yolcu koltuklarının gövdeye bağlantısında kullanılabilecek alternatif malzemelerin, özellikle ST37 yapısal çelik ile alüminyum honeycomb yapının, yapısal performans bakımından karşılaştırmalı analizini içermektedir.



Şekil 1. *Sanal analizi gerçekleştirilecek olan zemin bağlantı braketi*

İnceleme kapsamında, ADR regülasyonlarının öngördüğü kuvvet ve yükleme senaryoları esas alınarak her iki malzemenin mekanik tepkileri; toplam deformasyon, von Mises gerilme değerleri ve yapısal bütünlük ölçütleri üzerinden değerlendirilecektir.

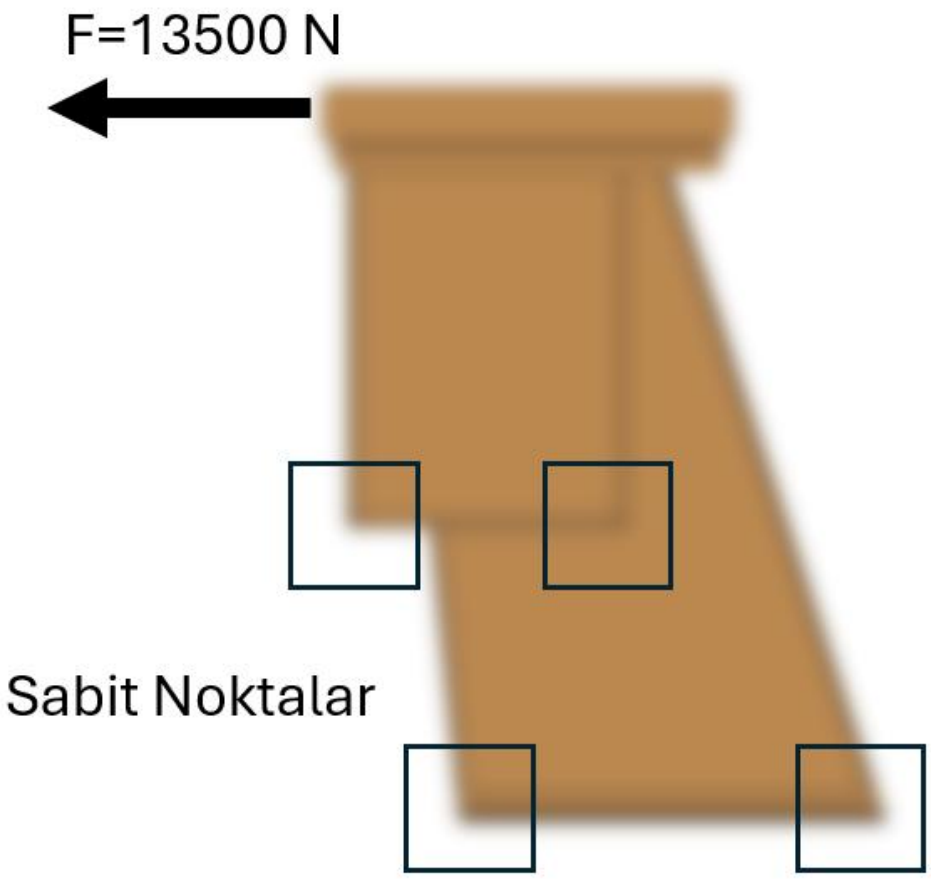
Simülasyon analizleri, iki malzeme için de aynı geometrik sınırlar ve yükleme koşulları altında gerçekleştirilerek doğrudan karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamaktadır. Elde edilen bulgular ayrıca yapısal ağırlık, üretilebilirlik ve maliyet kriterleri açısından da yorumlanacaktır.

Ticari gizlilik politikaları gereğince çalışmada test sonuçlarına ait detaylı görseller, tasarım çıktıları ve çevresel bileşenlere ilişkin görüntüler paylaşılmamaktadır. Bunun yerine, genel metodolojik yaklaşım ve ön değerlendirme sonuçlarına odaklanılmıştır. Regülasyonlara ait spesifik parametreler yerine, bu çalışmanın benzer mühendislik süreçleriyle ilgilenen profesyonellere yön gösterici nitelikte temel bilgiler sunması amaçlanmaktadır.

YÖNTEM

Analizlerde sonlu elemanlar yöntemi (FEA) kullanılmıştır. Simülasyonlar, her iki yapı için benzer geometrik koşullar altında gerçekleştirilmiş, 3D CAD ortamında modellenen braket tasarımları bir analiz yazılımına aktarılmıştır. ADR standardına uygun olarak 13500 N'luk sabit kuvvet, bağlantı braketinin merkezine dik doğrultuda uygulanmıştır. Malzeme özellikleri aşağıda sunulmuştur:

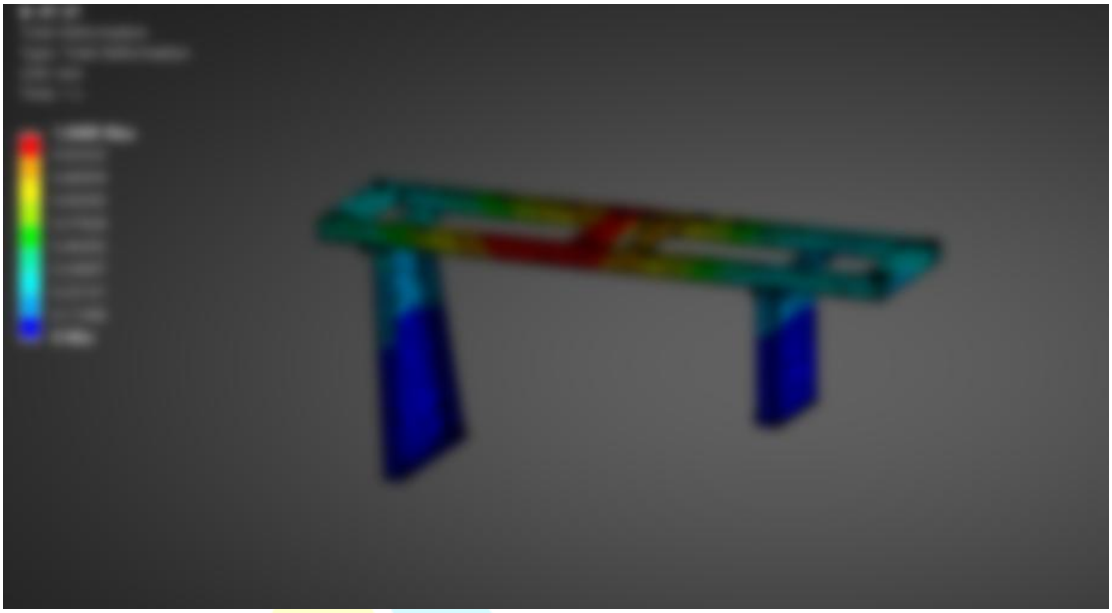
Property	**ST-37 (Yapısal Çelik)**	**Alüminyum Honeycomb (6061-T6)**	**Unit**
Density	7.85	0.03 – 0.10	g/cm^3
Coefficient of Thermal Expansion	1.17E-05	~2.0E-05	C^{-1}
Young's Modulus	2.0E+05	1.0E+03 – 3.0E+03	MPa
Poisson's Ratio	0.30	~0.30	—
Bulk Modulus	1.67E+11	—	Pa
Shear Modulus	7.69E+10	50 – 200	MPa
Tensile Yield Strength	235	1 – 5	MPa
Compressive Yield Strength	235	2 – 10	MPa
Tensile Ultimate Strength	385	2 – 10	MPa
Compressive Ultimate Strength	385	3 – 12	MPa



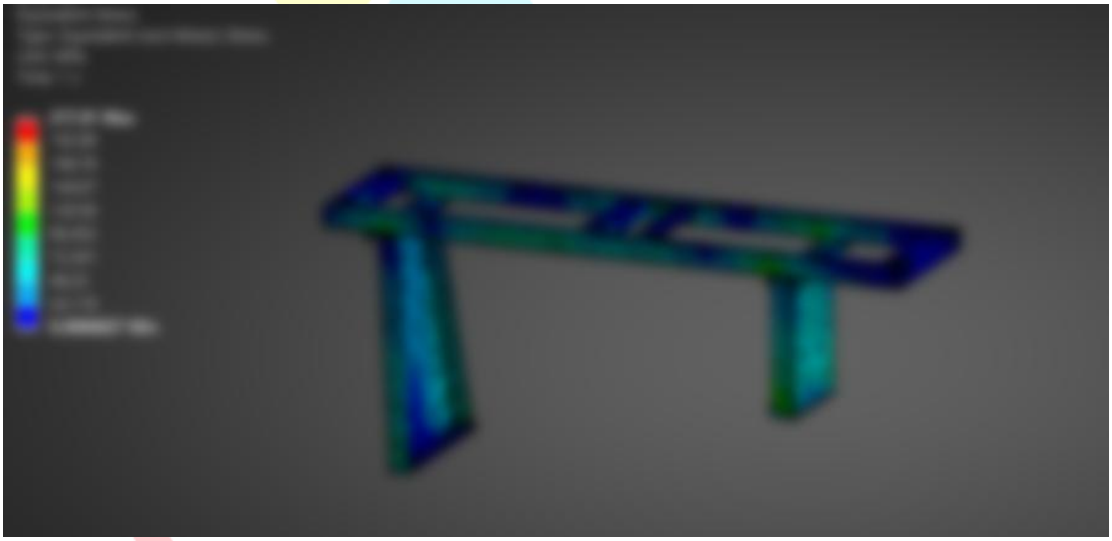
Şekil 2. *Sanal analizi gerçekleştirilen zemin bağlantı braketi ve kuvvet uygulama yönü*

BULGULAR

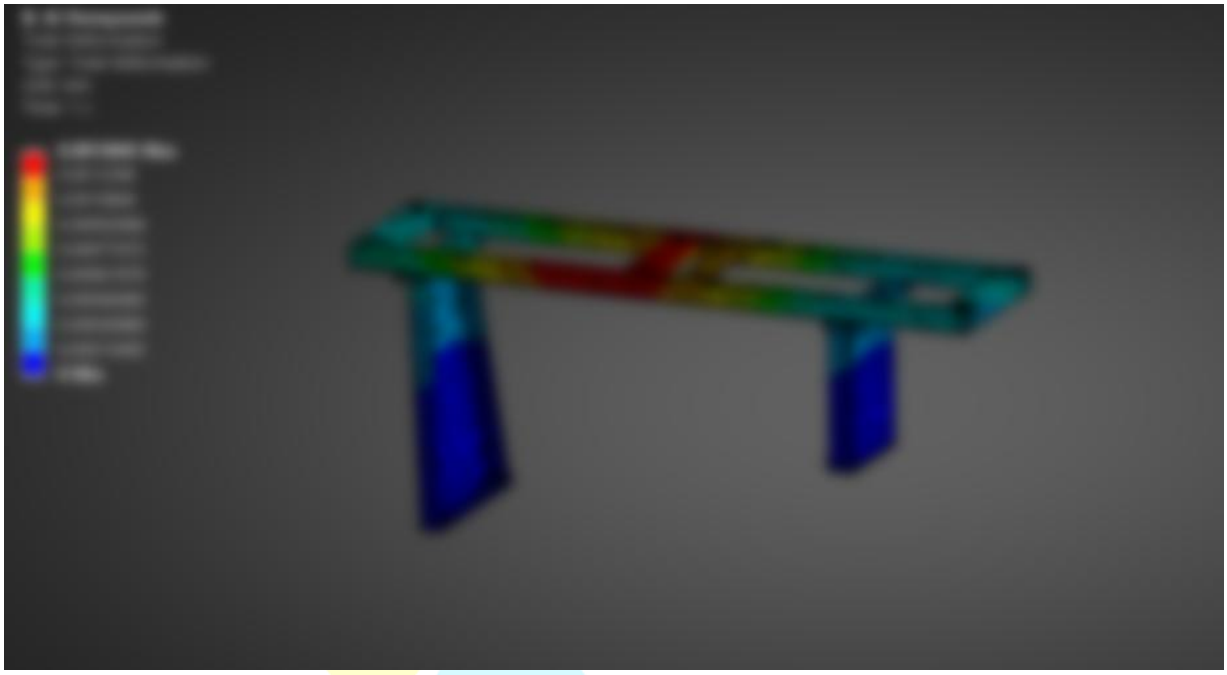
Elde edilen simülasyon sonuçları, geleneksel çelik yapının daha düşük deformasyon gösterdiğini ve yüksek gerilme altında yapısal bütünlüğünü koruduğunu ortaya koymuştur. Hafif braket tasarımı ise düşük elastik modülü nedeniyle daha yüksek deformasyon üretmiş, ancak ADR'nin öngördüğü deformasyon sınırlarını aşmamıştır. Kritik bulgulardan biri, hafif yapının %99'a varan ağırlık avantajı ile ciddi bir sistemsel iyileştirme potansiyeli taşımasıdır. Ancak düşük akma dayanımı nedeniyle lokal takviyeler gerekebileceği anlaşılmıştır.



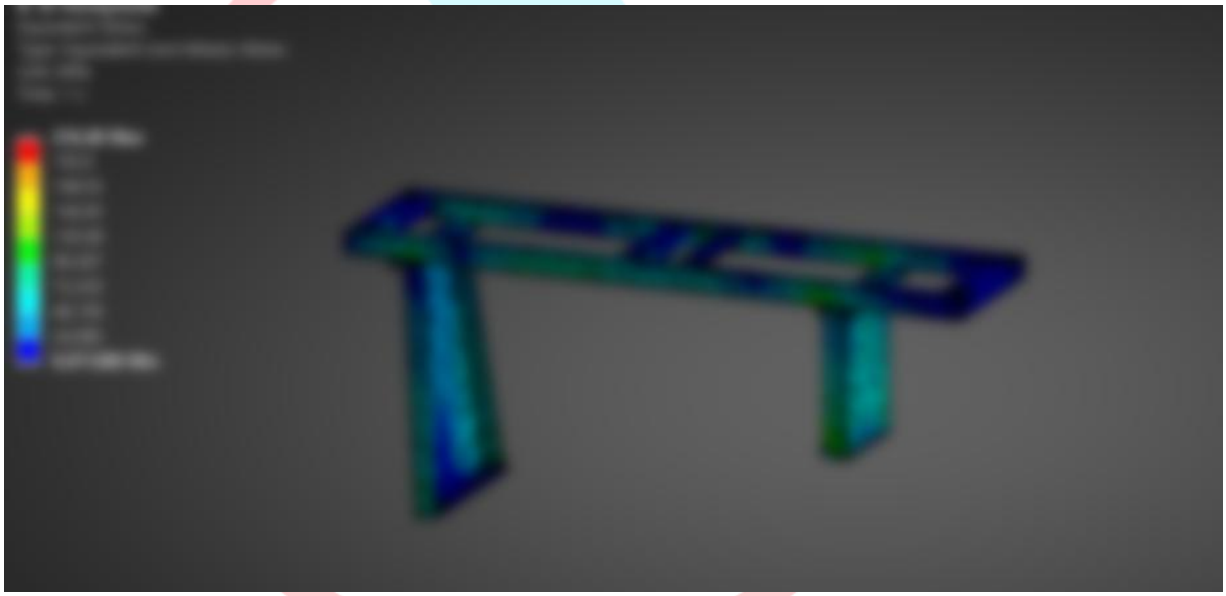
Şekil 3. *ST-37 için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 4. *ST-37 için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*



Şekil 5. *Al Honeycomb için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 6. *Al Honeycomb için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*

Tablo 2. *Malzeme Parametre diyagramı*

Malzemeler	Maksimum von-Mises gerilme (MPa)	Toplam deformasyon (mm)	Ağırlık (kg)
ST-37	217 MPa	1,04	7,07
Al Honeycomb	216 MPa	0,0013945 mm	0,26

SONUÇ

Bu çalışmada, otobüs koltuk bağlantı sistemlerinde geleneksel çelik yapıların yerine kullanılabilecek hafif bir alternatif tasarımın ADR standartları kapsamında değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçlar, hafif yapının belirli güvenlik sınırları içinde kalarak hem güvenliği sağladığını hem de yapısal kütlede önemli azalma sunduğunu göstermektedir. Bu sayede taşıt genelinde yakıt verimliliği artmakta, üretim maliyetleri düşmektedir. Gelecekte, hibrit

malzeme kullanımı veya yapısal takviye stratejileriyle bu tür sistemlerin performansı daha da artırılabilir. Bu çalışma, tasarım sürecindeki mühendislik kararlarına yön vermesi ve ileri seviye testlerin planlanmasında referans olması amacıyla sunulmuştur.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

ADR. (2023). European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road. https://unece.org

Ashby, M. F. (2011). Materials Selection in Mechanical Design (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). Wiley.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

BİRLEŞİK KRALLIK TİP ONAYI ODAKLI OTOBÜS KOLTUK BAĞLANTILARINDA MALZEME TABANLI YAPISAL PERFORMANS İYİLEŞTİRMESİ

Ahmet YILMAZI[1]

Özet

Günümüzde toplu taşıma araçlarında yolcu güvenliğini artırmak ve ulusal/uluslararası regülasyonlara tam uyum sağlamak amacıyla yapılan yapısal tasarım çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Özellikle Birleşik Krallık Tip Onayı gibi kapsamlı güvenlik standartları, otobüslerde yer alan yolcu koltuklarının taşıyıcı bağlantı sistemlerinde belirli yapısal dayanım ve deformasyon kriterlerinin sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, otobüs koltuk bağlantılarında kullanılan mevcut yapısal çözümün yerine, malzeme bazlı alternatif bir yapı önerilmiş ve bu alternatif yapının performansı sayısal analiz yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

Değerlendirme sürecinde, bağlantı sisteminin Tip Onayı kapsamında öngörülen yükleme senaryoları altında sergilediği yapısal tepkiler, sonlu elemanlar analizi (FEA) aracılığıyla modellenmiş ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sanal testlerde, bağlantı bölgelerinde oluşan maksimum gerilme değerleri, plastik deformasyon davranışı, enerji sönümleme kabiliyeti ve yapı bütünlüğü gibi kritik mühendislik parametreleri temel alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre, önerilen alternatif yapı konfigürasyonunun, mevcut sistem ile benzer düzeyde dayanım sağlarken daha düşük kütle avantajı sunduğu görülmüştür.

Ayrıca, önerilen tasarımın üretim süreçlerine olan potansiyel etkileri, montaj kolaylığı ve malzeme tüketimindeki azalma gibi yönleri de teknik olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, çalışmanın sadece yapısal dayanım açısından değil, aynı zamanda sürdürülebilir üretim ve enerji verimliliği hedeflerine katkı sağlayan bütünsel bir mühendislik yaklaşımı sunduğu ifade edilebilir.

Sonuç olarak, bu ön simülasyon temelli değerlendirme çalışması, Birleşik Krallık Tip Onayı sürecine hazırlık niteliği taşımakta; koltuk bağlantı sistemlerinin optimize edilmesine yönelik yapılan iyileştirmelerin, hem güvenlik performansını koruyarak hem de sistemin ağırlığını azaltarak önemli kazanımlar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tip Onayı, Otobüs Koltuğu, Yapısal Performans, Malzeme Optimizasyonu, Sayısal Simülasyon

[1] Trim Tasarım Mühendisi, Karsan Otomotiv

ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Otobüslerde yolcu koltuklarının gövdeye sabitlendiği yapısal bağlantı elemanları, çarpışma anlarında en kritik yük taşıyıcı sistemlerden biridir. Koltukların ani yüklemelere maruz kaldığı durumlarda, bağlantı braketlerinin deformasyon davranışı ve enerji yutma kapasitesi hem yapısal bütünlüğü hem de yolcu güvenliğini doğrudan etkiler (Yıldız, H. ,2021). Avrupa Birliği'nde ECE R14 ve ECE R80 gibi regülasyonlar bu bağlamda temel alınırken, Birleşik Krallık Tip Onayı (UK NSSTA – National Small Series Type Approval) kapsamında uygulanan özel test prosedürleri, araç üreticilerinden daha gelişmiş çözümler beklemektedir (UN ECE), (Dft).

KAPSAM

Bu çalışmada, mevcut ST-37 malzeme ile imal edilmiş bir koltuk bağlantı braketi ile alüminyum honeycomb malzemeden üretilmiş alternatif bir tasarım yapısal analizler yoluyla karşılaştırılmıştır. Çalışma, sanal analizler yoluyla Birleşik Krallık Tip Onayı kapsamında bağlantı sistemlerinin performans değerlendirmesini, ağırlık kazancını ve güvenlik seviyesini ortaya koymayı hedeflemektedir.



***Şekil 1**. Sanal analizi gerçekleştirilecek olan zemin bağlantı yapılanması*

Bu çalışmanın amacı; otobüs koltuk bağlantı braketlerinde kullanılan malzemenin değiştirilmesinin, Birleşik Krallık Tip Onayı'nda belirtilen yapısal güvenlik gerekliliklerini sağlayıp sağlamadığını değerlendirmektir. Ek olarak, ağırlık azaltımı, deformasyon kontrolü

ve enerji yutumu açısından alternatif bir braketin teknik olarak optimize edilmesi ve mevcut yapıyla kıyaslanması hedeflenmiştir.

YÖNTEM

Çalışmada karşılaştırılan iki yapı farklı malzeme özellikleriyle modellenmiştir:

Malzeme Özellikleri:

- ST-37:

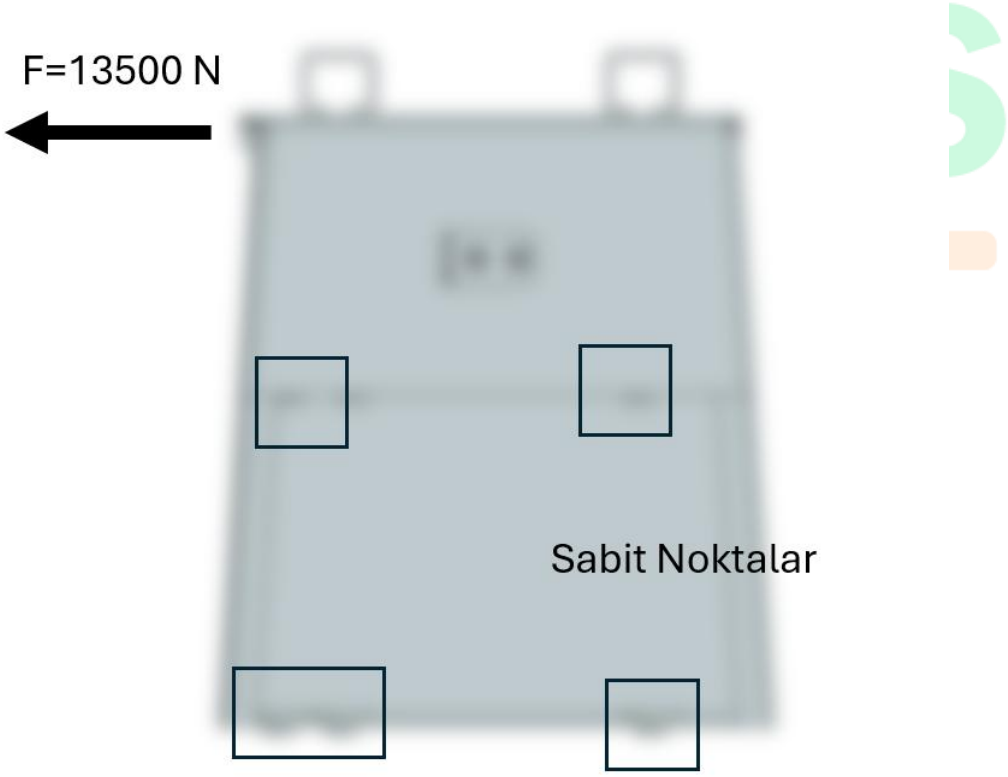
- Akma Dayanımı 235 MPa,
- Elastik Modül 210 GPa,
- Yoğunluk 7850 kg/m³

- Alüminyum Honeycomb:

- Akma Dayanımı (σ_y): ~5–10 MPa (yön ve yükleme tipine bağlı olarak – genellikle çok düşüktür çünkü yapı kompozit ve gözeneklidir)
- Elastik Modül (E): ~1–5 GPa (düzlem dışı yönde daha düşüktür)
- Yoğunluk (ρ): ~30–80 kg/m³ (hücre yoğunluğu ve folyo kalınlığına bağlı)

Sonlu Elemanlar Analizi, ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki modelde de ~350.000 elemandan oluşan ağ yapısı oluşturulmuş ve doğrusal olmayan statik analiz uygulanmıştır.

Simülasyon Senaryoları ve Yükleme Koşulları



Şekil 2. Sanal analiz yükleme yönleri ve sabit noktalar

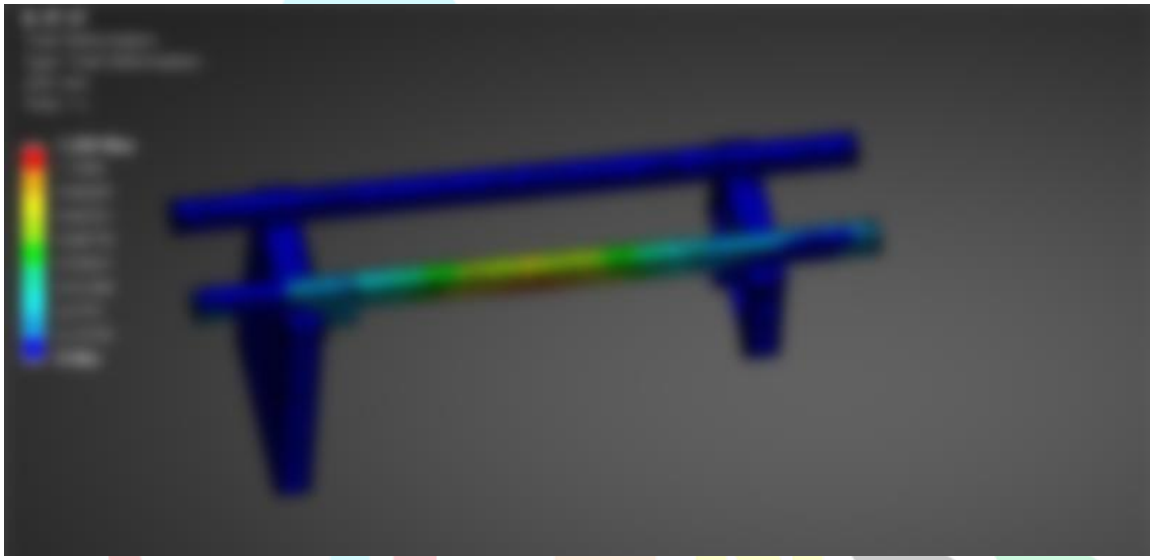
Birleşik Krallık Tip Onayı protokolünde yer alan 13500 N'luk önden yükleme senaryosu modellenmiştir. Braket alt yüzeyleri sabitlenmiş, yükleme koltuk bağlantı plağı üzerinden uygulanmıştır.

Kritik mühendislik kriterleri:

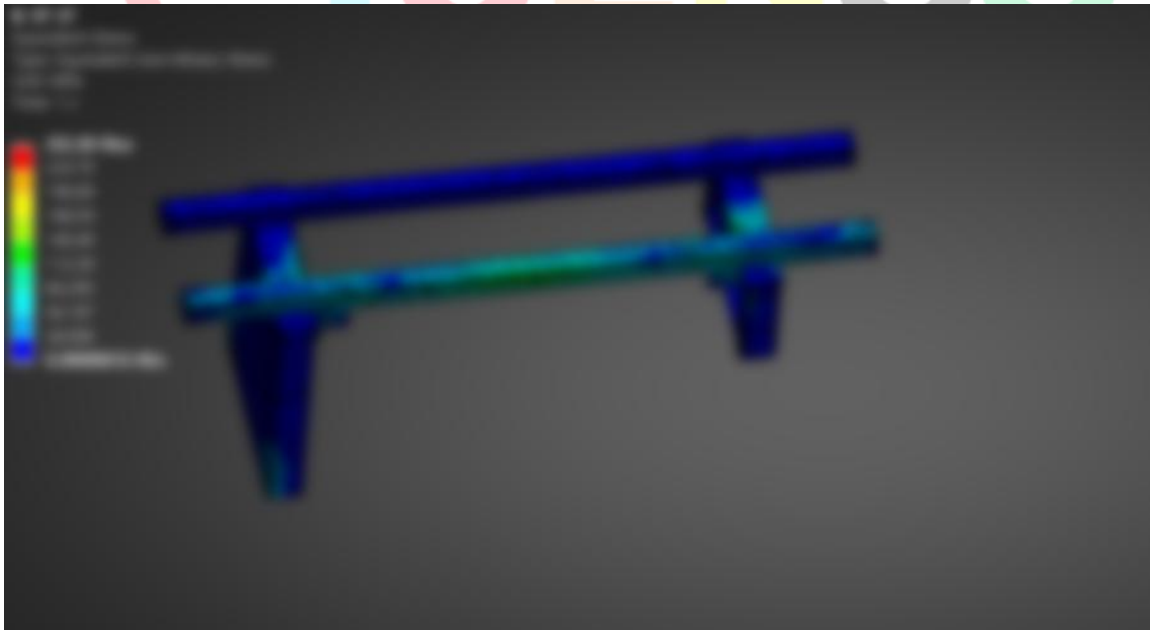
- Von-Mises gerilme dağılımı
- Plastik deformasyon
- Enerji yutumu
- Kütle avantajı
- Güvenlik faktörü (≥1.5)

BULGULAR

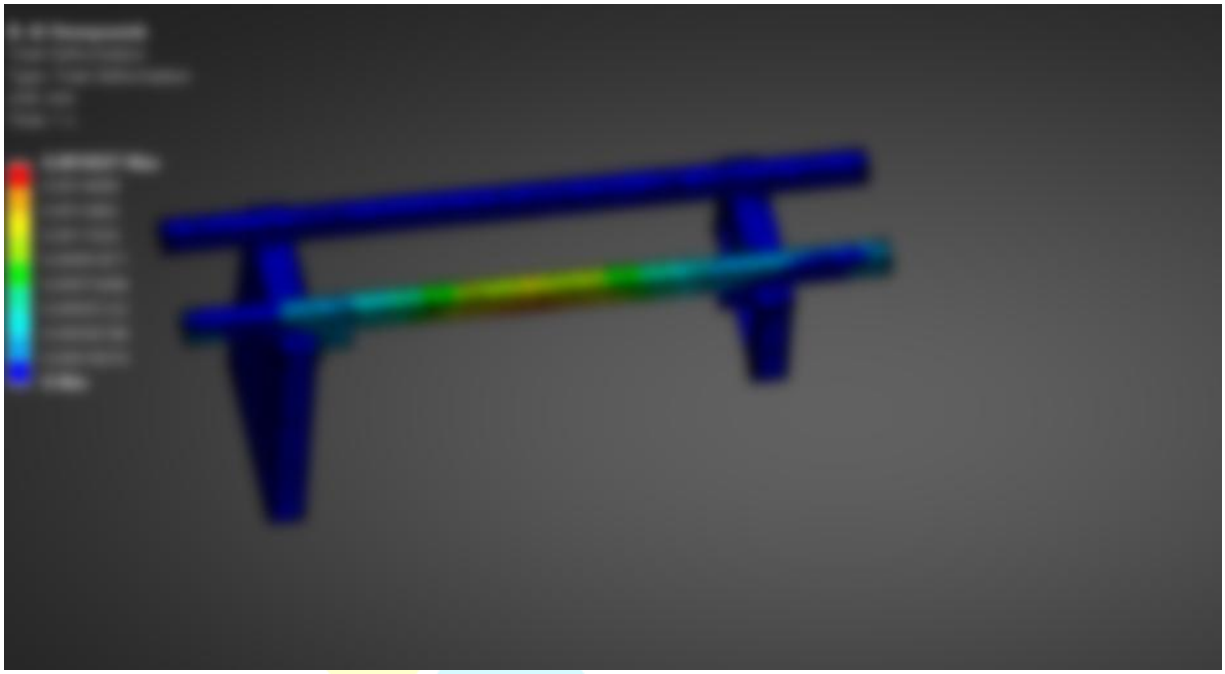
Yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar:



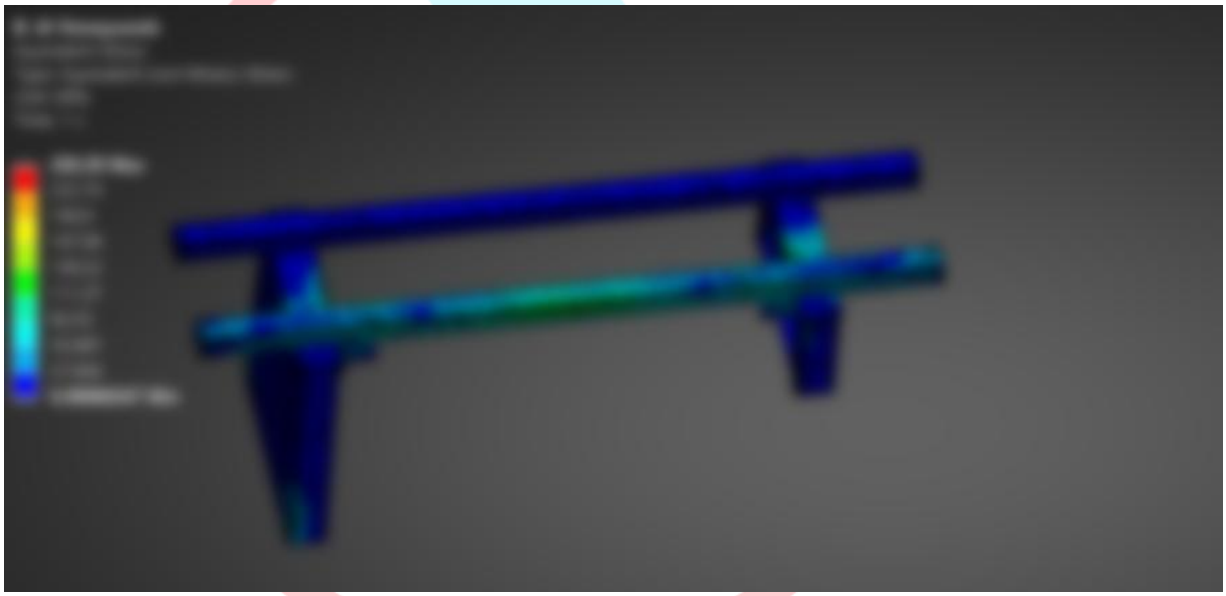
Şekil 3. *ST-37 için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 4. *ST-37 için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*



Şekil 5. *Al Honeycomb için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 6. *Al Honeycomb için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*

Tablo 2. *Malzeme Parametre diyagramı*

Malzemeler	Maksimum von-Mises gerilme (MPa)	Toplam deformasyon (mm)	Ağırlık (kg)
ST-37	252 MPa	1,238 mm	9
Al Honeycomb	250 Mpa	0,0016357 mm	0,33

SONUÇ

Alüminyum honeycomb braket tasarımı mevcut yapıya göre hem ağırlık avantajı hem de yapısal performans açısından üstünlük sağlamaktadır. Koltuk bağlantı sistemlerinde kullanılacak bu tür optimize tasarımlar, yalnızca yapısal emniyeti değil, aynı zamanda yakıt verimliliği ve üretim maliyetlerini de olumlu etkileyebilir. Çalışma, fiziksel testler öncesi tasarım kararlarını yönlendirmek adına değerli bir mühendislik girdisi sunmaktadır.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

1. Ege, M., Yıldız, H. (2021). Otobüs Koltuk Bağlantılarında Gerilme Odaklı Yapısal İyileştirmeler, Makina Teknolojileri Dergisi, 39
2. UK Department for Transport (DfT), National Type Approval Guidance, 2023.
3. UNECE Regulation No. 14 – Safety-belt anchorages.

5TH INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

ISBN: 978-625-372-661-4

FMVSS STANDARTLARINA GÖRE OTOBÜS YOLCU KOLTUK BAĞLANTILARINDA AĞIRLIK VE DAYANIM DENGELEMESİ

Ahmet YILMAZI[1]

Özet

Toplu taşımacılıkta kullanılan otobüslerde yolcu güvenliği, tasarım sürecinin merkezinde yer almakta ve özellikle koltuk bağlantı sistemleri bu kapsamda kritik bir rol üstlenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde geçerli olan FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) regülasyonları, yolcu koltuklarının araç şasisine güvenli şekilde bağlanmasını sağlayan yapıların belirli mekanik dayanım, deformasyon limiti ve çarpışma senaryosu kriterlerini sağlamasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, otobüs yolcu koltuk bağlantılarında kullanılan mevcut bağlantı yapılarının, alternatif malzeme temelli yapılarla değiştirilmesi durumunda oluşabilecek yapısal performans değişiklikleri sayısal analizlerle incelenmiştir.

Araştırma kapsamında, geleneksel yapısal çözüm yerine önerilen daha hafif ve optimize edilmiş bir alternatif yapı modeli geliştirilmiştir. Bu modelin, FMVSS'nin öngördüğü yükleme koşulları altında göstermiş olduğu mekanik davranışlar, sonlu elemanlar analizi (FEA) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Gerilme dağılımları, plastik deformasyon bölgeleri, enerji sönümleme kapasitesi ve bağlantı stabilitesi gibi parametreler, hem mevcut sistem hem de alternatif yapı için karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgular, alternatif yapının daha düşük ağırlıkla benzer veya daha üstün dayanım seviyelerine ulaştığını ortaya koymuştur. Bu durum, ağırlık azaltımı ile mekanik güvenlik arasında kurulan denge açısından önemli bir kazanım sağlamaktadır. Ayrıca, analizler sonucunda önerilen yapının üretim sürecine olan potansiyel etkileri, kaynak noktalarının azaltılması, montaj süresinin kısalması ve malzeme verimliliğinin artması gibi yönlerden de pozitif çıktılar sunduğu değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, FMVSS regülasyonlarına uygunluk çerçevesinde gerçekleştirilen bu ön simülasyon çalışması, koltuk bağlantı sistemlerinde yapılacak malzeme ve yapı iyileştirmelerinin hem güvenlik kriterlerini karşılayabileceğini hem de ağırlık optimizasyonuna katkı sağlayabileceğini göstermiştir. Çalışma, özellikle araç tasarımı ve homologasyon süreçlerinde görev alan mühendisler için önemli bir teknik referans niteliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: FMVSS Regülasyonları, Otobüs Koltuk Bağlantısı, Yapısal Dayanım Analizi, Ağırlık Optimizasyonu, Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEA)

[1] Trim Tasarım Mühendisi, Karsan Otomotiv

ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Otobüslerde yolcu koltuklarının gövdeye sabitlendiği yapısal bağlantı elemanları, çarpışma anlarında en kritik yük taşıyıcı sistemlerden biridir. Koltukların ani yüklemelere maruz kaldığı durumlarda, bağlantı braketlerinin deformasyon davranışı ve enerji yutma kapasitesi, hem yapısal bütünlüğü hem de yolcu güvenliğini doğrudan etkiler(Yıldız, 2021). Amerika Birleşik Devletleri'nde geçerli olan FMVSS 210 gibi regülasyonlar bu bağlamda üreticilere koltuk bağlantı sistemlerinin belirli yük senaryoları altında dayanım göstermesini zorunlu kılmaktadır (FMVSS 210)(UN ECE 2023).

KAPSAM

Bu çalışmada, mevcut ST-37 malzeme ile imal edilmiş bir koltuk bağlantı braketi ile alüminyum honeycomb malzemeden üretilmiş alternatif bir tasarım yapısal analizler yoluyla karşılaştırılmıştır. Çalışma, sanal analizler yoluyla FMVSS 210 kapsamında bağlantı sistemlerinin performans değerlendirmesini, ağırlık kazancını ve güvenlik seviyesini ortaya koymayı hedeflemektedir.



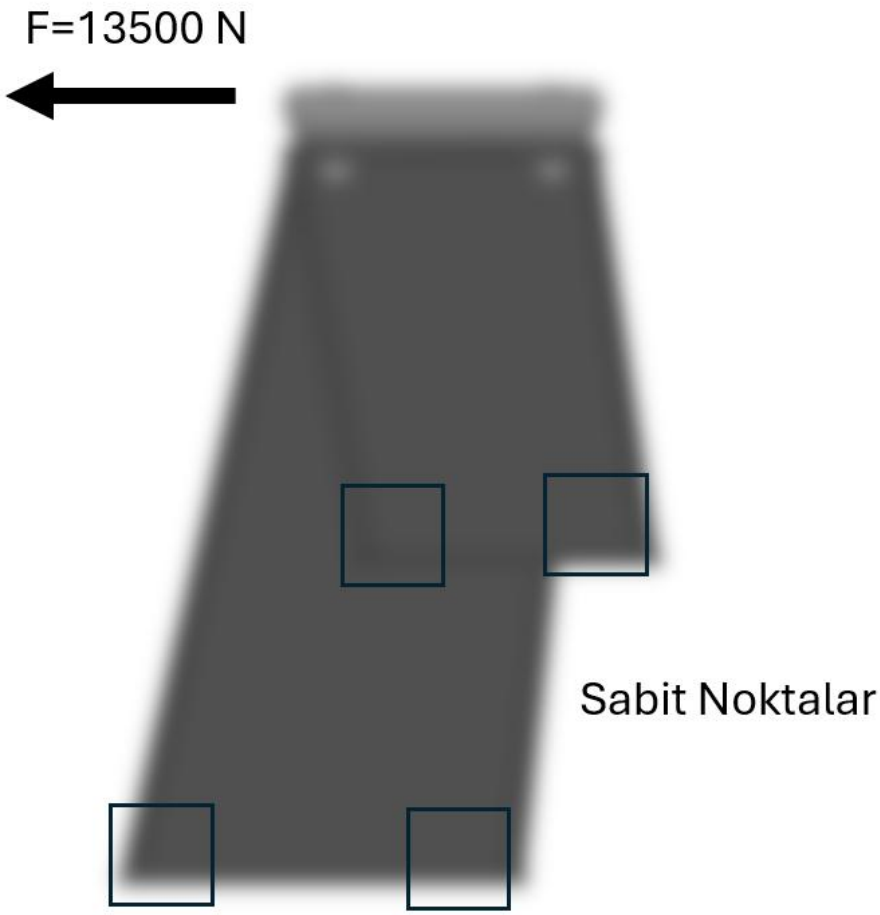
Bu çalışmanın amacı; otobüs koltuk bağlantı braketlerinde kullanılan malzemenin değiştirilmesinin, FMVSS 210 regülasyonunda belirtilen yapısal güvenlik gerekliliklerini sağlayıp sağlamadığını değerlendirmektir. Ek olarak, ağırlık azaltımı, deformasyon kontrolü ve enerji yutumu açısından alternatif bir braketin teknik olarak optimize edilmesi ve mevcut yapıyla kıyaslanması hedeflenmiştir.

YÖNTEM

Bu çalışmada sayısal analiz yöntemi olarak sonlu elemanlar analiz tercih edilmiştir. Her iki malzeme için aynı ölçülere sahip bir koltuk bağlantı braketi 3D CAD ortamında modellenmiş, ardından ANSYS benzeri bir yapısal analiz programına aktarılmıştır. Kullanılan malzemelere ait mekanik özellikler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 1. *ST37 ve Alüminyum malzeme özellikleri*

Property	**ST-37 (Yapısal Çelik)**	**Alüminyum Honeycomb (6061-T6)**	**Unit**
Density	7.85	0.03 – 0.10	g/cm^3
Coefficient of Thermal Expansion	1.17E-05	~2.0E-05	C^{-1}
Young's Modulus	2.0E+05	1.0E+03 – 3.0E+03	MPa
Poisson's Ratio	0.30	~0.30	—
Bulk Modulus	1.67E+11	—	Pa
Shear Modulus	7.69E+10	50 – 200	MPa
Tensile Yield Strength	235	1 – 5	MPa
Compressive Yield Strength	235	2 – 10	MPa
Tensile Ultimate Strength	385	2 – 10	MPa
Compressive Ultimate Strength	385	3 – 12	MPa



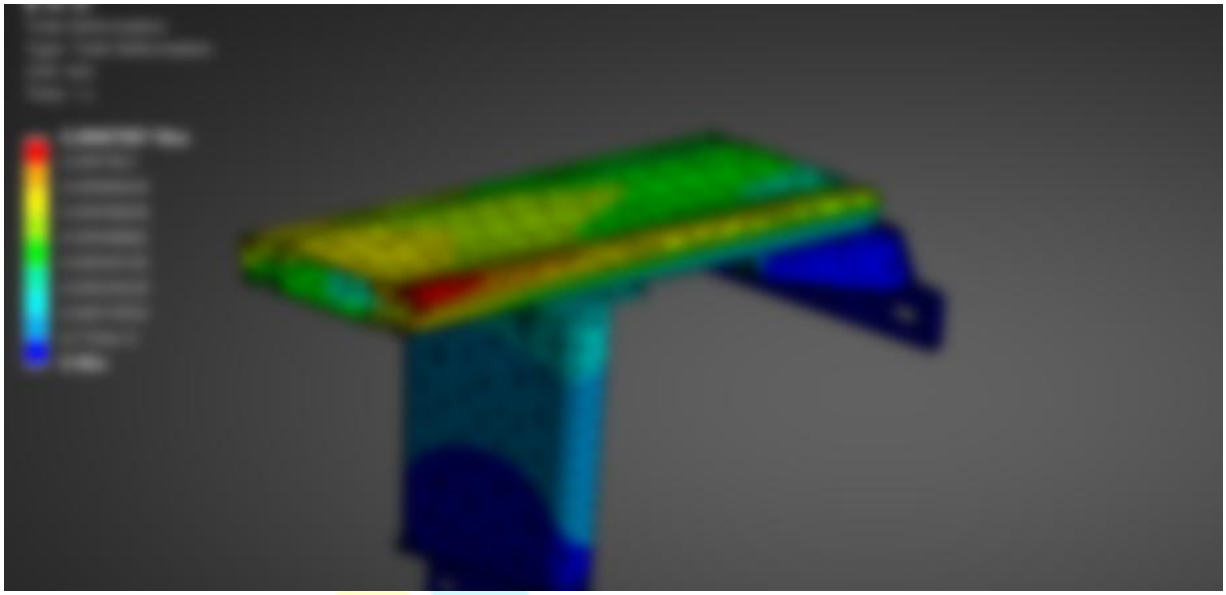
FMVSS 210 regülasyonunda tanımlanan 13500 N'luk önden yükleme senaryosu modellenmiştir. Braket alt yüzeyleri sabitlenmiş, yükleme koltuk bağlantı plağı üzerinden uygulanmıştır. Kritik mühendislik kriterleri:

- Von-Mises gerilme dağılımı
- Plastik deformasyon
- Kütle avantajı

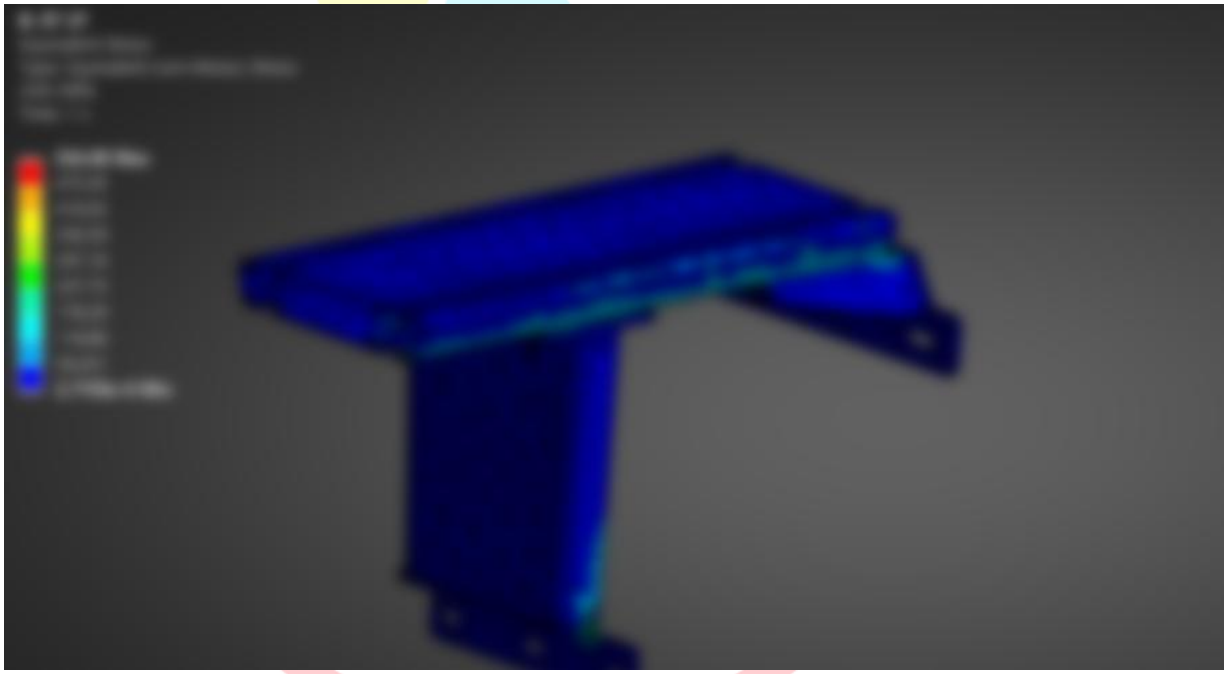
BULGULAR

Simülasyon sonuçları ST37 çelik ve alüminyum honeycomb yapıların farklı yapısal davranışlara sahip olduğunu ortaya koymuştur. ST37 çeliği, yüksek gerilme dayanımı sayesinde düşük deformasyon göstermiş, ancak toplam yapı ağırlığı açısından dezavantaj yaratmıştır. Alüminyum honeycomb yapı ise çok düşük yoğunluğu sayesinde büyük bir ağırlık avantajı sağlamış, fakat düşük elastisite modülü ve akma dayanımı nedeniyle daha yüksek deformasyon göstermiştir.

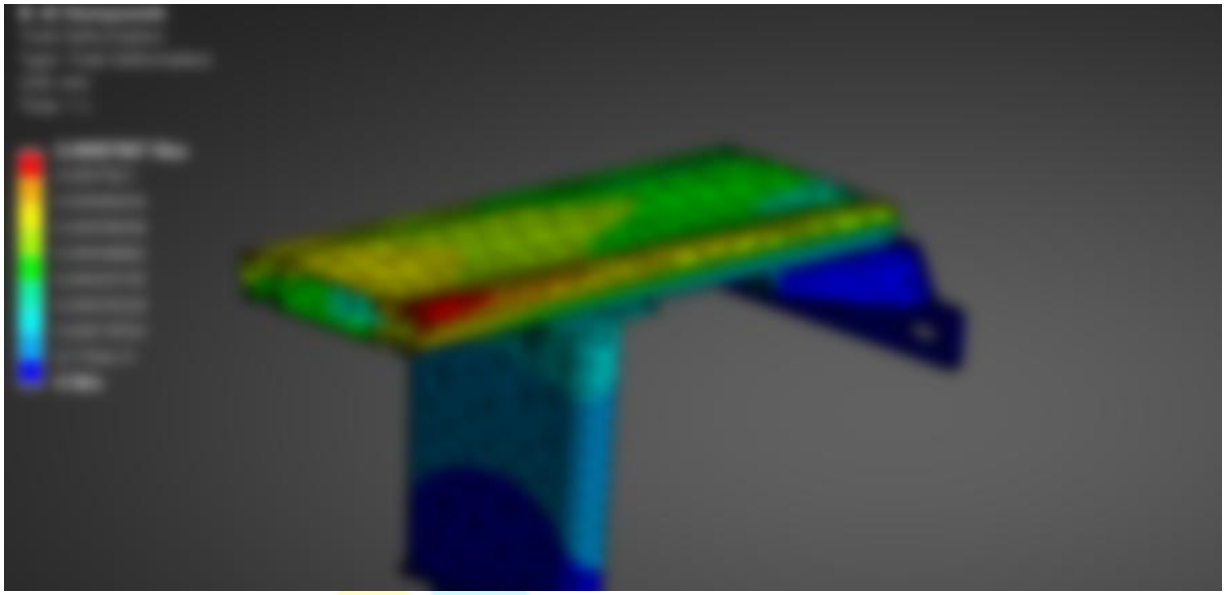
Sonuçlar aşağıdaki gibi Tablo 2.'deki gibi özetlenmiştir.



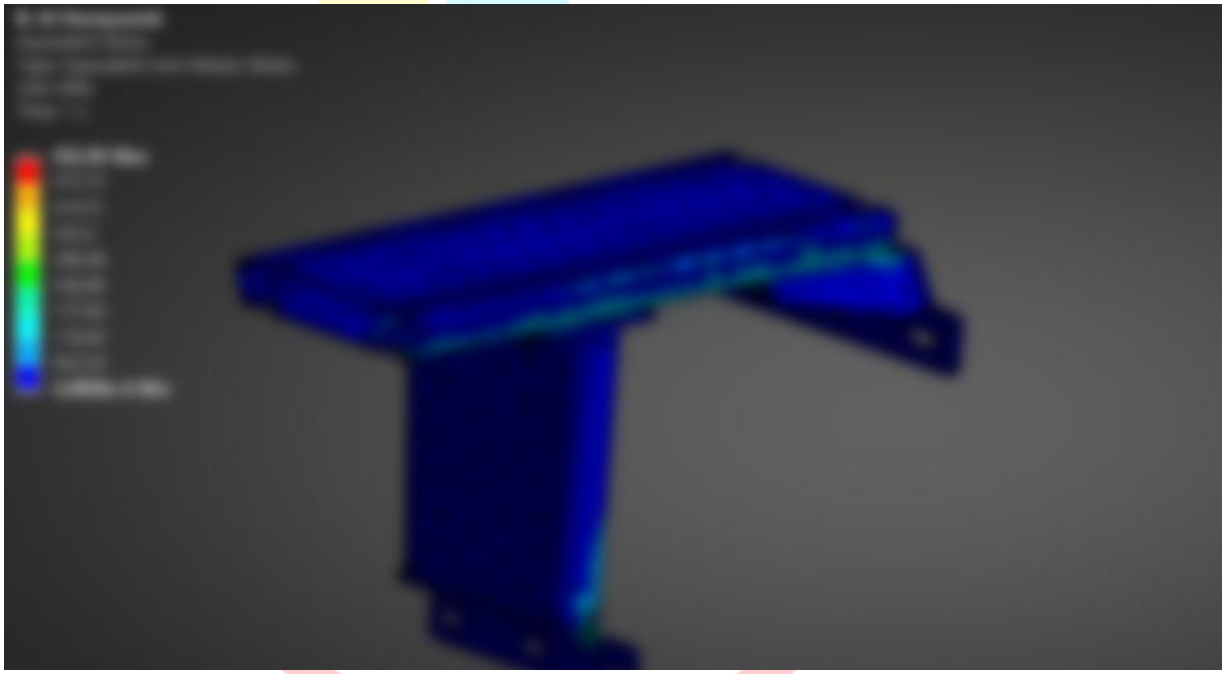
Şekil 3. *ST-37 için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 4. *ST-37 için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*



Şekil 5. *Al Honeycomb için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 6. *Al Honeycomb için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*

Tablo 2. *Malzeme Parametre diyagramı*

Malzemeler	Maksimum von-Mises gerilme (MPa)	Toplam deformasyon (mm)	Ağırlık (kg)
ST-37	534 MPa	0,00087 mm	6,21
Al Honeycomb	532 MPa	0,00001 mm	0,23

SONUÇ

Bu çalışma, hafif yapıların klasik çelik sistemlere kıyasla kayda değer avantajlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Alüminyum honeycomb kullanımı, belirli güvenlik sınırları içinde kalındığında kabul edilebilir düzeyde deformasyonla birlikte ciddi bir ağırlık kazancı sağlar. Genel olarak değerlendirildiğinde, Alüminyum honeycomb yapılar, ST37 çeliğe kıyasla

oldukça daha düşük bir ağırlığa sahiptir. Bu ağırlık farkı, özellikle taşıt yapıları gibi hafifliğin kritik öneme sahip olduğu alanlarda önemli bir üstünlük sunar. Ancak bu malzemenin düşük akma ve çekme dayanımı, özellikle bağlantı bölgelerinde yerel takviyelerin yapılmasını gerekli kılabilir. Öte yandan, ST37 çeliği yüksek dayanım ve düşük deformasyon avantajı sağlasa da, ağırlığı nedeniyle taşıtlarda verimlilik ve yakıt tüketimi açısından dezavantaj yaratabilir. Bu doğrultuda, gelecekte hibrit malzeme çözümleri veya topoloji optimizasyonu gibi yöntemlerle her iki malzemenin güçlü yönlerini birleştiren yenilikçi yapıların geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Ege, M., Yıldız, H. (2021). Otobüs Koltuk Bağlantılarında Gerilme Odaklı Yapısal İyileştirmeler, Makina Teknolojileri Dergisi, 39.

2. NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration. FMVSS 210 – Seat Belt Assembly Anchorages.

3. UNECE Regulation No. 14 – Safety-belt anchorages.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

AB REGÜLASYONLARI KAPSAMINDA HAFİFLETİLMİŞ YOLCU KOLTUK BAĞLANTI SİSTEMLERİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Ahmet YILMAZI[1]

Özet

Avrupa Birliği regülasyonları, toplu taşıma araçlarında yolcu güvenliğini sağlamak amacıyla otobüs koltuk bağlantı sistemlerine yönelik yapısal performans ve dayanım kriterlerini ayrıntılı biçimde tanımlamaktadır. Özellikle ECE R14, R17 ve R80 gibi direktifler doğrultusunda, koltukların araç şasisine bağlandığı yapıların çarpışma anında yüksek dayanım göstermesi, deformasyon sınırlarının aşılmaması ve enerji sönümleme yeteneklerinin yeterli olması gerekmektedir. Bu çalışmada, mevcut ağır bağlantı yapılarının yerine önerilen hafifletilmiş yapı çözümlerinin, Avrupa Birliği regülasyonları kapsamında sanal ortamda değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Araştırma kapsamında, geleneksel bağlantı sistemleriyle karşılaştırmalı olarak hafifletilmiş bir yapı modeli geliştirilmiş ve bu modelin performansı sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanılarak incelenmiştir. Simülasyonlarda, ECE regülasyonlarının öngördüğü statik ve dinamik yükleme koşulları altında; maksimum gerilme, plastik deformasyon, yapısal bütünlük ve enerji yutma kapasiteleri değerlendirilmiştir. Her iki yapı senaryosu aynı geometrik sınırlar ve yükleme noktaları altında analiz edilerek karşılaştırmalı bir teknik yaklaşım benimsenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, hafifletilmiş bağlantı sisteminin, standartları karşılayan düzeyde mekanik performans sunduğunu ve aynı zamanda yapısal ağırlıkta anlamlı bir azalma sağladığını göstermiştir. Ayrıca, üretim kolaylığı, malzeme tüketiminin azaltılması ve montaj süresindeki verim artışı gibi üretim odaklı kazanımlar da dikkate alınmıştır. Yapılan analizler, hafif yapısal çözümlerin sadece güvenlik kriterlerine uygunluk sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir üretim ve yakıt verimliliği hedeflerine de katkı sağlayabileceğini ortaya koymuştur.

Bu bağlamda çalışma, AB regülasyonları kapsamında geliştirilecek yeni koltuk bağlantı sistemlerinin ön değerlendirmesine ışık tutmakta; araç tasarımı ve homologasyon süreçlerinde görev alan mühendis ve tasarımcılara teknik rehberlik sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Avrupa Birliği Regülasyonları, Hafifletilmiş Yapılar, Yolcu Koltuğu Bağlantı Sistemi, Yapısal Simülasyon, Enerji Sönümleme Performansı

[1] Trim Tasarım Mühendisi, Karsan Otomotiv

ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Toplu taşıma araçlarının güvenliğini artırmak adına Avrupa Birliği, araç içi koltuk bağlantı sistemleri için ECE R14, R17 ve R80 gibi regülasyonlar aracılığıyla spesifik mekanik dayanım ve deformasyon kriterleri tanımlamıştır(UN ECE ,2013). Bu bağlamda, yolcu koltuklarının araç şasisine bağlantılarının çarpışma anında deformasyona uğramadan enerjiyi sönümlemesi beklenmektedir(Ashby, 2011). Günümüzde kullanılan geleneksel çelik yapıların yeterli mukavemet sağladığı bilinmekle birlikte, taşıt ağırlığını artırmaları ve enerji tüketimini olumsuz etkilemeleri nedeniyle alternatif, hafif malzeme çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır(Callister, 2018). Bu çalışmada, geleneksel ST37 çeliği yerine alüminyum honeycomb yapısal malzemesi kullanılarak oluşturulan hafif koltuk bağlantı sistemlerinin, Avrupa Birliği regülasyonlarına uygunluk açısından yapısal performansları değerlendirilmiştir.

KAPSAM

Bu çalışma, minibüs tipi bir aracın yolcu koltuk bağlantı braketlerinde kullanılabilecek alternatif malzemelerin, yani ST37 yapısal çelik ile alüminyum honeycomb malzemesinin, yapısal performans açısından karşılaştırmalı analizini kapsamaktadır. ECE R14 ve R17 regülasyonlarına uygun kuvvet ve yükleme senaryoları altında iki malzemenin mekanik davranışı; toplam deformasyon, von Mises gerilme ve yapısal bütünlük kriterleri doğrultusunda incelenecektir.



Şekil 1. *Sanal analizi gerçekleştirilen zemin bağlantı braketi*

Simülasyonlar, aynı geometrik sınırlar ve yükleme şartları altında gerçekleştirilerek karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılacaktır. Ayrıca, analiz bulguları yapısal ağırlık, üretim verimliliği ve maliyet açısından da yorumlanacaktır.

Bu çalışmada, ticari gizlilik politikaları nedeniyle test, tasarım ve çevre component görüntüler yer almamaktadır. Bunun yerine, çalışmada genel metodolojiye ve ön değerlendirmeye odaklanılmıştır. Regülasyon parametleri kapsamında referans alınmamalı, genel metodolojiye odaklanılmalıdır. Bu şekilde, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterecek temel bilgiler sağlanması hedeflenmiştir.

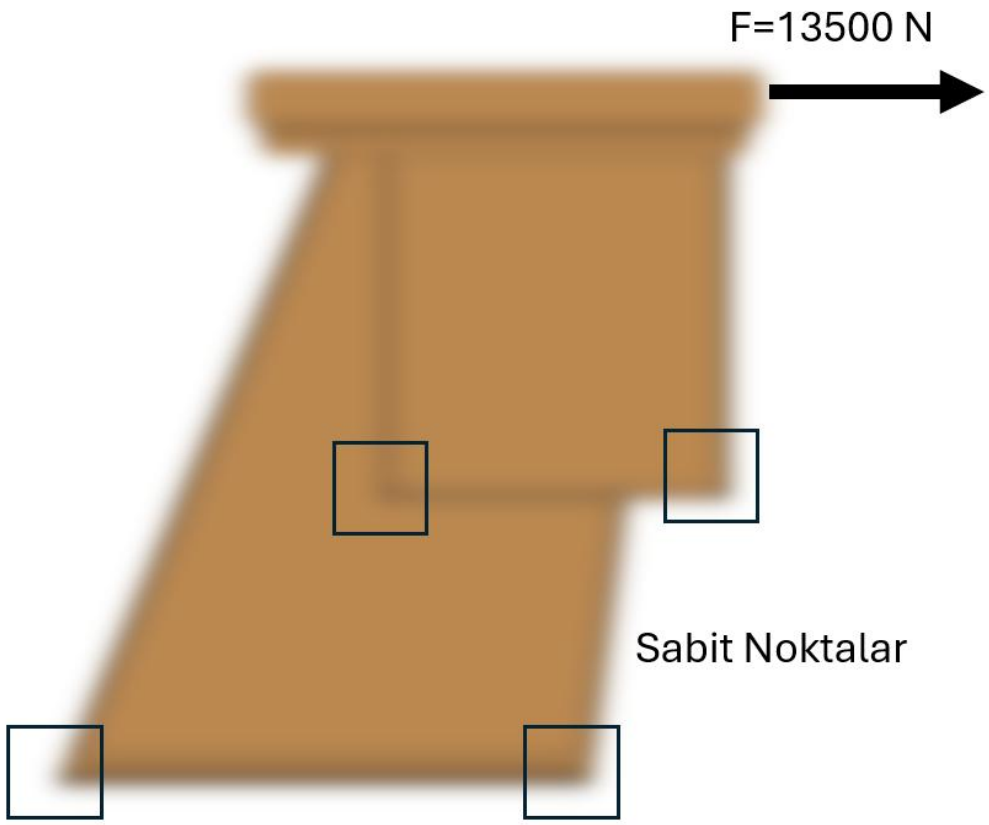
YÖNTEM

Bu çalışmada sayısal analiz yöntemi olarak sonlu elemanlar analizi (FEA) tercih edilmiştir. Her iki malzeme için aynı ölçülere sahip bir koltuk bağlantı braketi 3B CAD ortamında modellenmiş, ardından ANSYS benzeri bir yapısal analiz programına aktarılmıştır. Kullanılan malzemelere ait mekanik özellikler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 1. *ST37 ve Alüminyum malzeme özellikleri*

Property	**ST-37 (Yapısal Çelik)**	**Alüminyum Honeycomb (6061-T6)**	**Unit**
Density	7.85	0.03 – 0.10	g/cm^3
Coefficient of Thermal Expansion	1.17E-05	~2.0E-05	C^{-1}
Young's Modulus	2.0E+05	1.0E+03 – 3.0E+03	MPa
Poisson's Ratio	0.30	~0.30	—
Bulk Modulus	1.67E+11	—	Pa
Shear Modulus	7.69E+10	50 – 200	MPa
Tensile Yield Strength	235	1 – 5	MPa
Compressive Yield Strength	235	2 – 10	MPa
Tensile Ultimate Strength	385	2 – 10	MPa
Compressive Ultimate Strength	385	3 – 12	MPa

Yükleme senaryosu olarak, ECE R14 kapsamında yolcu koltuğuna uygulanan sabit 13500 N kuvvet esas alınmış ve bu kuvvet braketin merkezine dik doğrultuda uygulanmıştır. Her iki analizde de malzeme doğrusal elastik kabul edilerek karşılaştırmalı veriler elde edilmiştir.

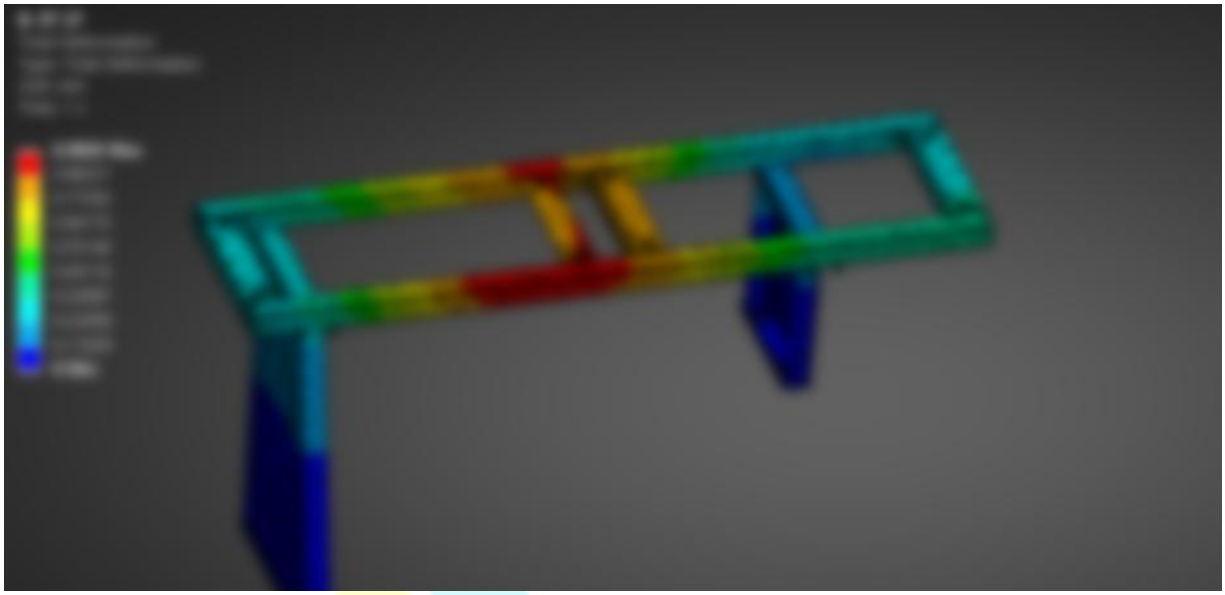


Şekil 2. *Sanal analizi gerçekleştirilen Zemin bağlantı braketi ve kuvvet uygulama yönü*

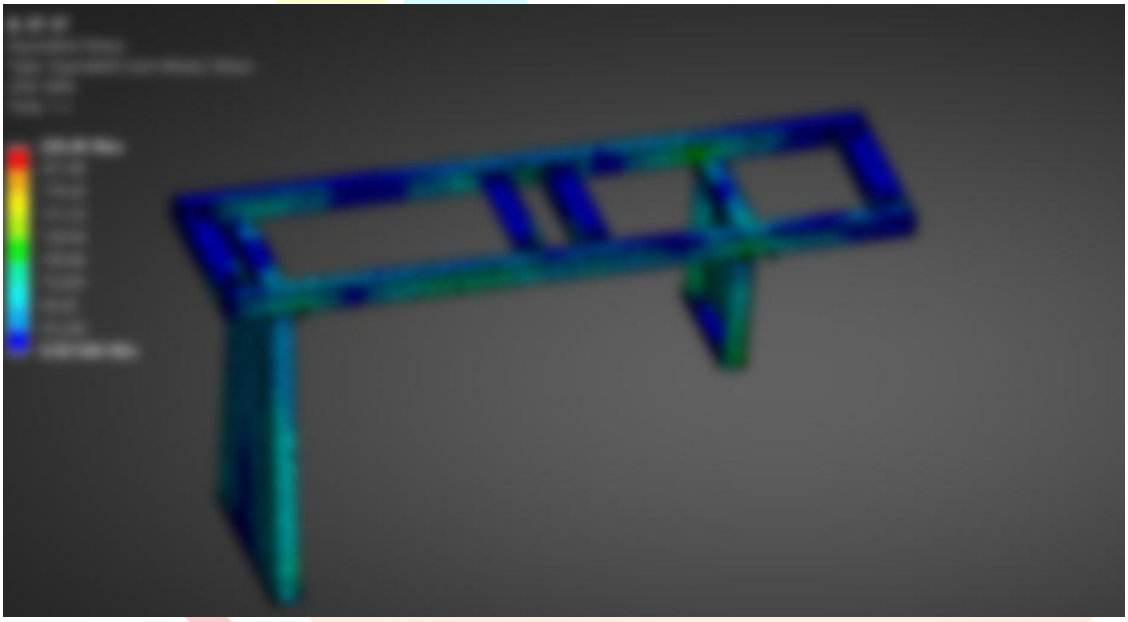
BULGULAR

Simülasyon sonuçları ST37 çelik ve alüminyum honeycomb yapıların farklı yapısal davranışlara sahip olduğunu ortaya koymuştur. ST37 çeliği, yüksek gerilme dayanımı sayesinde düşük deformasyon göstermiş, ancak toplam yapı ağırlığı açısından dezavantaj yaratmıştır. Alüminyum honeycomb yapı ise çok düşük yoğunluğu sayesinde büyük bir ağırlık avantajı sağlamış, fakat düşük elastisite modülü ve akma dayanımı nedeniyle daha yüksek deformasyon göstermiştir.

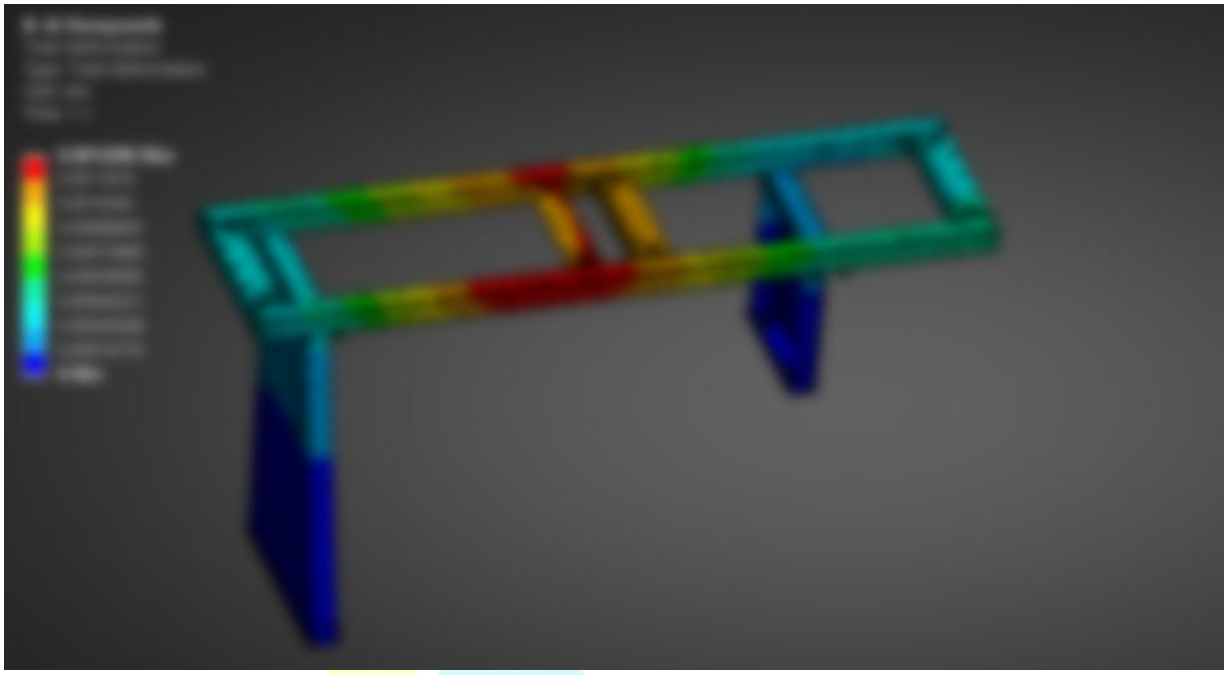
Sonuçlar aşağıdaki gibi Tablo 2.'deki gibi özetlenmiştir.



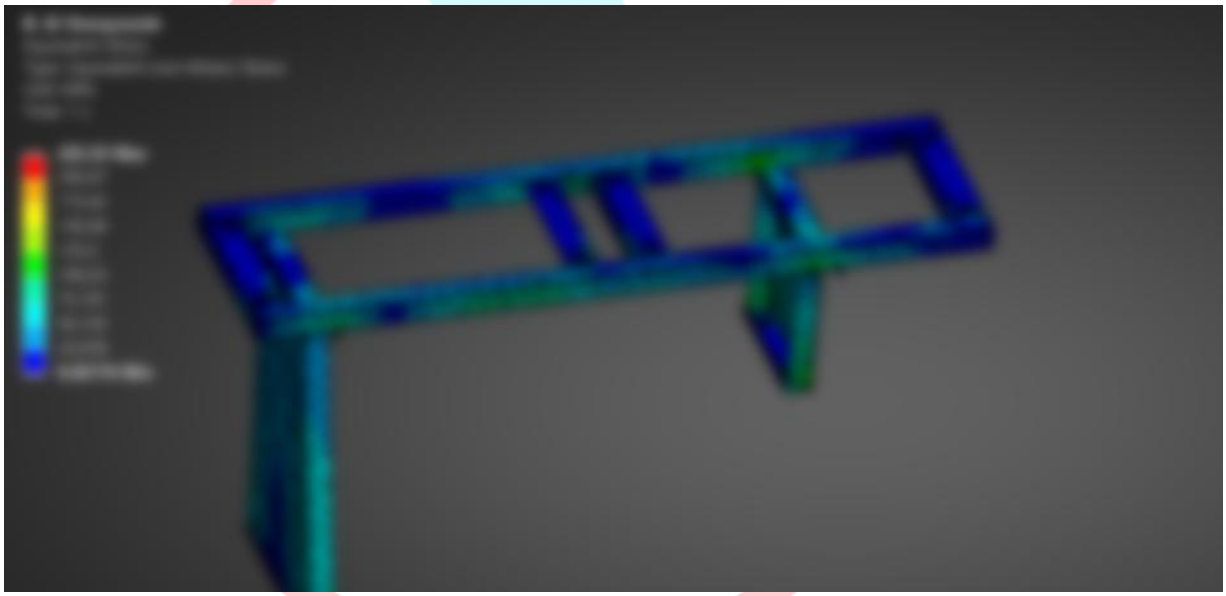
Şekil 3. *ST-37 için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 4. *ST-37 için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*



Şekil 5. *Al Honeycomb için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 6. *Al Honeycomb için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*

Tablo 2. *Malzeme Parametre diyagramı*

Malzemeler	Maksimum von-Mises gerilme (MPa)	Toplam deformasyon (mm)	Ağırlık (kg)
ST-37	226,86 MPa	0.9926 mm	7,06
Al Honeycomb	225,53 MPa	0,0013926 mm	0,26

SONUÇ

Bu çalışma, hafif yapısal çözümlerin geleneksel çelik yapılarla karşılaştırıldığında önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir. Alüminyum honeycomb kullanımı, yolcu güvenliği açısından belirli sınırlar içinde kalındığı sürece kabul edilebilir deformasyon ile birlikte önemli bir ağırlık azaltımı sağlar. Genel değerlendirmede Alüminyum honeycomb yapı, ST37 çeliğe göre yaklaşık çok daha hafiftir. Bu fark, taşıt yapıları gibi hafifliğin kritik

olduğu uygulamalarda ciddi bir avantaj sağlar.Ancak malzemenin düşük akma ve çekme dayanımı nedeniyle bağlantı noktalarında lokal güçlendirme ihtiyacı doğabilir. ST37 çelik ise yüksek dayanım ve düşük deformasyon avantajı sunmakla birlikte, ağırlık ve yakıt verimliliği açısından sınırlayıcıdır. Bu nedenle, gelecekte hibrit malzeme kullanımı veya topolojik optimizasyon yaklaşımlarıyla her iki malzemenin avantajlarını bir araya getiren çözümlerin geliştirilmesi önerilmektedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

- UNECE. (2013). Regulation No. 14 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) – Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to safety-belt anchorages. https://unece.org
- UNECE. (2013). Regulation No. 17 – Uniform provisions concerning the approval of seats, their anchorages and any head restraints. https://unece.org
- UNECE. (2013). Regulation No. 80 – Uniform provisions concerning the approval of seats of large passenger vehicles. https://unece.org
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). Wiley.
- Ashby, M. F. (2011). Materials Selection in Mechanical Design (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

FROM COWS TO CLOUD: SMART TECH POWERS THE DAİRY INDUSTRY

Ayşe Övgü ŞEN[1]
Kamil Öncü ŞEN[2]

Abstract

Farm management and operations will drastically change due to a digital transformation from traditional observation-based methods to data driven strategies. With recent advances in sensor technologies, it is now possible to continuously monitor and predict key physiological states like energy balance, estrus, and subclinical diseases. Sensor-based tools, including smart sensors such as wearable activity trackers, rumen bolus systems, and automated milking systems enable the collection of real-time data from individual cows. One of the key advantages of these technologies is the ability to track animals individually, facilitating the early detection of changes in health, behavior, or productivity. Many tasks that once required human labor and supervision, such as heat detection or health monitoring, can now be carried out more efficiently and consistently by automated systems. The data collected by these devices are transmitted to cloud-based platforms, where they are processed and translated into actionable insights. These insights support timely and informed decision-making in reproduction, nutrition, animal health, and milk yield. The shift toward data-driven herd management improves early disease detection, optimizes breeding strategies, reduces antibiotic use, and enhances both productivity and animal welfare. While initial investment and technological adaptation pose some challenges, the long-term benefits—greater efficiency, transparency, and sustainability—are becoming increasingly clear. Successful adoption also depends on farmer training and robust data privacy protocols, as the integration of digital systems requires not only infrastructure but also trust and informed engagement from end-users. Ultimately, sensor-based systems are transforming production workflows and fundamentally changing decision-making in the contemporary dairy industry.

Keywords: Cloud-based systems, dairy cattle, real-time monitoring, smart sensors

[1] Dr., *Ankara University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science* Orcıd: 0000-0002-6342-3436
[2] Dr., TÜBİTAK Orcıd: 0009-0006-3005-5477

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

Food insecurity remains a major global challenge, increasingly elevated by population growth and climate change, which hinder the fulfillment of worldwide food demand. The United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) projects that the global population will surpass 10 billion in the coming years, necessitating at least a 50% increase in food production. Dairy cattle are a key factor in advancing the Sustainable Development Goals, particularly the Zero Hunger objective (Gehlot et al., 2022). Therefore, agriculture and livestock sectors must transition towards more sustainable, efficient, and animal welfare-oriented technologies (Arulmozhi et al., 2024). Traditional farms face numerous challenges, including economic pressures, climate variability, animal health issues, and changing market trends (Abbas et al., 2025).

However, thanks to technological advancements, innovations such as the Internet of Things (IoT), cloud computing, and big data analytics facilitate real-time monitoring, data collection, and analysis, enabling more precise and sustainable agricultural practices (Gehlot et al., 2022; Tangorra et al., 2023; Abbas et al., 2024; Arulmozhi et al., 2025). These applications facilitate continuous monitoring of animal health, behavior (lying, moving, standing, etc.) and environmental conditions of barn (heat, air quality, noise control etc.) (Singh et al., 2022), providing the opportunity for early disease diagnosis and timely intervention (Tangorra et al., 2023). In addition, artificial intelligence and robotic milking systems provide early intervention opportunities against potential issues during milk production. They enable early diagnosis of foot diseases like laminitis, playing a crucial role in eliminating factors that compromise animal welfare and productivity. Furthermore, by optimizing feed consumption and reducing waste, they lower feed costs while supporting significant cost savings aligned with sustainability goals and increasing productivity. However, the adoption of artificial intelligence at the farm level remains limited, which can be attributed to it being a new step for both technology and people. However, it should not be overlooked that the integration of artificial intelligence (AI) into dairy farming largely depends on the adoption of Dairy 4.0 components such as robotics and automation by farmers ((Duong et al., 2020; Espinoza-Sandoval et al., 2024).

The integration of smart technologies contributes to enhancing data-driven decision-making processes in both agriculture and livestock sectors (Klingström et al., 2025), while also providing improvements in productivity and animal welfare, thereby promoting sustainable food production and global food security. In fact, all these innovations and perspectives are significant for advancing the United Nations' Sustainable Development Goals and are aligned with ongoing projects (Alhammadi et al., 2024). This study will focus on the digital transformation of the dairy industry and will examine how innovative solutions support both economic and environmental sustainability.

Digital Transformation in Dairy Industry

Dairy 4.0 describes the transformation of traditional dairy farming practices with the broad adoption of digital technologies. These systems include real-time data acquisition, automated decision-making, and enhanced management processes. Information about animal health, productivity, and behavior is continuously collect and recorded through sophisticated sensors and mobile devices. Environmental characteristics of the barn, including temperature, humidity, and air quality, are quantified using environmental sensors, ensuring a

comprehensive and precise data stream. This technology infrastructure serves as a crucial instrument for enhancing sustainability and optimizing production efficiency in dairy farms.

Sensors that gather information from each cow, (Handcock et al., 2009; Mancuso et al., 2023), rumen bolus systems (Ferreira, 2025), and automated milking systems (Chikurtev et al., 2024), are essential parts of this system. The collected data is processed through centralized platforms and cloud-based systems, supporting decision-making and farm management. Machine-to-Machine (M2M) communication enables direct interaction among devices, facilitating automation and efficient operational control (Poteka et al., 2021).

Sensors that collect data from individual cows—such as wearable activity trackers (Handcock et al., 2009; Mancuso et al., 2023), rumen bolus systems (Ferreira, 2025), and automated milking systems (Chikurtev et al., 2024)—are critical components of this system. The collected data is processed through centralized platforms and cloud-based systems, supporting decision-making and farm management. Machine-to-Machine (M2M) communication enables direct interaction among devices, facilitating automation and efficient operational control (Poteka et al., 2021). Utilizing artificial intelligence and machine learning algorithms, these analyses facilitate early disease identification, health and welfare monitoring, and the optimization of feeding and management practices.

Robotic applications, such as automatic feeding, water, and cleaning systems (manure, milking parlor), automate routine tasks, thereby reducing labor costs and increasing operational productivity. Integrating these technologies provides significant benefits for dairy farms by promoting environmental sustainability and economic efficiency (Athare et al., 2025). Resource utilization is optimized, leading to savings in energy and water. Moreover, real-time data analysis empowers farm managers to make evidence-based decisions, improving animal health, welfare, and productivity. Ultimately, completing the digital transformation within dairy operations is essential for strengthening both environmental sustainability and economic viability in the industry.

Sustainable Practices and Energy Recovery

In modern dairy farms, integrating advanced digital technologies plays a key role in increasing sustainability and improving animal welfare. Cloud-based systems optimize energy and water usage, enabling efficient and environmentally friendly resource management. Sensors and automation continuously collect data on animal health and behavior, allowing early disease detection and timely intervention (Tangorra et al., 2023; Abbas et al., 2025). This real-time monitoring also enables adjustments to environmental conditions to reduce stress and discomfort, thereby increasing animal welfare and boosting productivity.

Moreover, these advanced systems play an important part in waste management and biogas generation. Automated manure collection, monitoring, and treatment improve anaerobic digestion processes, resulting in more consistent biogas production (Jameel et al., 2023). This approach mitigates environmental effects, decreases operational expenses, and offers a renewable energy source. The generated biogas can substitute fossil fuels, contributing to the reduction of greenhouse gas emissions (Jameel et al., 2023). So, digital and automation systems help promote sustainable practices and are key parts of a unified strategy to improve economic efficiency and reduce the environmental impact of dairy operations.

Future Perspectives: The Role of Cloud Technology in Dairy Production

The extensive implementation of smart farm technology is set to substantially revolutionize future agriculture and dairy industry, enhancing sustainability, efficiency, and resilience (Kumar et al., 2024; Roukh et al., 2025). Cloud computing is pivotal to this shift, providing scalable, adaptable, and economical solutions for managing the substantial data quantities created on farms. Cloud platforms provide rapid data acquisition from sensors, monitoring systems, and automated devices across several locations, featuring centralized

storage, processing, and sophisticated analytical capabilities. This integrated system improves decision-making precision, enabling farmers to react promptly and efficiently.

Moreover, cloud infrastructure diminishes the necessity for costly on-premises gear and intricate IT upkeep, facilitating the adoption of innovative digital solutions for farms of all sizes. Embedded analytics, encompassing artificial intelligence and machine learning, offer predictive insights such as early disease identification, resource efficiency, and environmental surveillance. Despite the high initial setup costs, the long-term advantages, such as enhanced capacity to address challenges, environmental sustainability, data security, and disaster recovery, further demonstrate the importance of cloud solutions in fostering a sustainable and future-ready agricultural sector (Roukh et al., 2025).

Economic and Operational Benefits and Challenges

The application of advanced digital technologies allows dairy farms to significantly lower expenses while enhancing operational efficiency. Automation and data-driven solutions enable reduced labor expenses, ongoing health and productivity surveillance, and early disease identification, hence minimizing economic losses (Abbas et al., 2025). Investments in digital infrastructure generally yield long-term returns by enhancing productivity and resource efficiency, so bolstering the sustainability and competitiveness of agricultural operations. This transformation encounters significant hurdles. Successful implementation necessitates extensive training for farmers, while the management of substantial data quantities creates issues about security and privacy. Implementing stringent cybersecurity protocols, including encryption, is crucial to avert breaches and illegal access. Regulatory frameworks must adapt to accommodate concerns such as data privacy, intellectual property rights, and compliance standards. Blockchain technology presents viable solutions by ensuring safe, transparent, and immutable record-keeping for animal health, management operations, and transactions, improving data integrity and traceability throughout the supply chain (Gehlot et al., 2022).

Conclusion

The use of digital Technologies such as the Internet of Things (IoT), machine-to-machine communication, cloud computing, sensors, and artificial intelligence, constitutes the cornerstone of a contemporary, sustainable, and efficient dairy sector. IoT sensors and M2M connectivity provide ongoing real-time surveillance of animal health and environmental conditions, while cloud systems ensure secure data storage and analysis across several farm sites. The examination of this data through sophisticated algorithms facilitates early disease identification, resource optimization, and enhanced management decisions. These innovations collectively improve transparency, operational resilience, and decision-making capacities, steering the sector toward a more responsible and sustainable future. Supportive policies, regulatory frameworks, and incentives are crucial for widespread adoption. These will optimize the advantages of digital advancements, guaranteeing sustainable growth and enhanced welfare for both animals and farmers. Effective execution and ongoing innovation will be essential for converting the dairy business into a more resilient, environmentally sustainable, and commercially successful sector in the future.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Abbas, M., Abbas, G., Jaffery, S., Chuanqiang, Z., Yunxia, L., Gaoping, Z., Hashmi, A. H., Khan, A.J., Farah, H., & Xihe, L. 2025. Smart Dairy Farming: Enhanced Efficiency, Productivity and Animal Welfare Through the Internet of Things and Cloud Integration. JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences, 35(1).

Alhammadi, A., Alsyouf, I., Semeraro, C., & Obaideen, K. 2024. The role of industry 4.0 in advancing sustainability development: A focus review in the United Arab Emirates. Cleaner Engineering and Technology, 18, 100708. https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100708

Arulmozhi, E., Deb, N. C., Tamrakar, N., Kang, D. Y., Kang, M. Y., Kook, J., Basak, J. K., & Kim, H. T. 2024. From Reality to Virtuality: Revolutionizing Livestock Farming Through Digital Twins. Agriculture, 14(12), 2231. https://doi.org/10.3390/agriculture14122231

Athare, P.G., Kumar, P., Patil, A. (2025). Farm Robotics and Autonomous Systems from Farm to Fork. In: Lal, P., Mishra, P. (eds) Transforming Agriculture through Artificial Intelligence for Sustainable Food Systems. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-4795-8_9

Cabrera, V. E., & Fadul-Pacheco, L. 2021. Future of dairy farming from the Dairy Brain perspective: Data integration, analytics, and applications. International Dairy Journal, 121, 105069. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105069

Chikurtev, D., Chikurteva, A., Blagoeva, E. 2024. Technological Analysis of Types of Milking Systems and Robots: A Review. In: Pisla, D., Carbone, G., Condurache, D., Vaida, C. (eds) Advances in Service and Industrial Robotics. RAAD 2024. Mechanisms and Machine Science, vol 157. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-59257-7_57

Duong, L. N., Al-Fadhli, M., Jagtap, S., Bader, F., Martindale, W., Swainson, M., & Paoli, A. (2020). A review of robotics and autonomous systems in the food industry: From the supply chains perspective. Trends in Food Science & Technology, 106, 355-364. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.028

Espinoza-Sandoval OR, Angeles-Hernandez JC, Gonzalez-Ronquillo M, et al. 2024. Dairy farming in the era of artificial intelligence: trend or a real game changer? Journal of Dairy Research. 2024;91(2):139-145. https://doi:10.1017/S0022029924000426

Ferreira, A.C. 2025. Development of a smart bolus system for multi-parameter monitoring of bovine welfare.

Gamage, A., Gangahagedara, R., Subasinghe, S., Gamage, J., Guruge, C., Senaratne, S., Randika, T., Rathnayake, C., Hameed, Z., Madhujith, T., & Merah, O. 2024. Advancing sustainability: The impact of emerging technologies in agriculture. Current Plant Biology, *40*, 100420. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2024.100420

Gehlot A, Malik P.K., Singh R, Akram S.V., Alsuwian T. 2022. Dairy 4.0: Intelligent Communication Ecosystem for the Cattle Animal Welfare with Blockchain and IoT Enabled Technologies. Applied Sciences. 2022; 12(14):7316. https://doi.org/10.3390/app12147316

Klingström, T., Zonabend König, E., & Zwane, A.A. 2025. Beyond the hype: Using AI, big data, wearable devices, and the internet of things for high-throughput livestock phenotyping. Briefings in Functional Genomics, 24. https://doi.org/10.1093/bfgp/elae032

Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., & Rathnayake, U. (2024). A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. Smart Agricultural Technology, 8, 100487. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100487

Jameel, M.K., Mustafa, M.A., Ahmed, H.S., Mohammed, A.J., Ghazy, H., Shakir, M.N., Lawas, A.M., Mohammed, S. K., Idan, A.H., Mahmoud, Z.H., Sayadi, H., & Kianfar, E. 2023. Biogas: Production, properties, applications, economic and challenges: A review. Results in Chemistry, 7, 101549. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101549

Handcock, R.N.,Swain, D.L., Bishop-Hurley, G.J., Patison, K.P., Wark, T., Valencia, P., Corke, P., O'Neill, C.J. 2009. Monitoring Animal Behaviour and Environmental Interactions Using Wireless Sensor Networks, GPS Collars and Satellite Remote Sensing. *Sensors 9*, 3586–3603.

Mancuso, D., Castagnolo, G., Porto, S.M.C. 2023. Cow Behavioural Activities in Extensive Farms: Challenges of Adopting Automatic Monitoring Systems. Sensors 23, 3828.

Poteko, J., Lübke, P., & Harms, J. 2021. M2M communication in a dairy barn-identifying farmers' needs and requirements.

Rojo-Gimeno, C., van der Voort, M., Niemi, J.K., Lauwers, L., Kristensen, A. R., & Wauters, E. 2019. Assessment of the value of information of precision livestock farming: A conceptual framework. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 90, 100311.

Roukh, A. & Mahmoudi, S. 2025. Leveraging Big Data and Cloud Technology for Scalable and Interoperable Smart Farming. Future Generation Computer Systems, Early Preview: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5181637

Singh, A., Jadoun, Y. S., Brar, P. S., & Kour, G. 2022. Smart technologies in livestock farming. In *Smart and sustainable food technologies* (pp. 25-57). Singapore: Springer Nature Singapore.

Sobin, C.C. 2020. A Survey on Architecture, Protocols and Challenges in IoT. Wireless Pers Commun 112, 1383–1429. https://doi.org/10.1007/s11277-020-07108-5

Tangorra, F.M., Buoio, E., Calcante, A., Bassi, A., & Costa, A. 2023. Internet of Things (IoT): Sensors Application in Dairy Cattle Farming. Animals, 14(21), 3071. https://doi.org/10.3390/ani14213071

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

AKILLI ŞEBEKELERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ ENTEGRASYONU

Ayşenur SEKİN [1]

ÖZET

Yenilenebilir kaynaklara dayalı üretim modellerinin yaygınlaşmasıyla birlikte enerji sistemlerindeki dönüşüm büyük önem kazanmıştır. Bu dönüşüm, çevresel kaygılar, enerji güvenliği ihtiyacı ve iklim değişikliği gibi küresel sorunların çözümüne yönelik önemli bir adımdır. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgar vb.) kesintili ve öngörülemez doğası, mevcut elektrik şebekelerinde çeşitli teknik sorunlara neden olmaktadır. Bu noktada, yenilenebilir enerjinin güvenilir ve etkin bir şekilde entegre edilebilmesi için akıllı şebeke teknolojileri devreye giriyor.

Akıllı sayaçlar, sensörler, otomatik kontrol sistemleri ve gerçek zamanlı veri analizine dayalı yapay zeka destekli uygulamalar sayesinde enerji arzı talebe göre esnek bir şekilde düzenlenebiliyor. Bu da özellikle ani hava değişimleri nedeniyle dalgalanan güneş ve rüzgar enerjisinin sisteme entegrasyonunu kolaylaştırıyor.

Çalışma ayrıca enerji depolama sistemlerinin (örneğin lityum-iyon bataryalar) entegrasyonda oynadığı dengeleyici rolü de detaylandırmaktadır. Depolama üniteleri sayesinde enerji, yüksek üretim saatlerinde şebekeye baskı yapmadan depolanabilir ve tüketim arttığında devreye girerek enerji arzını ve sürekliliğini sağlayabilir. Bu yöntem hem frekans istikrarını korur hem de enerji kalitesini artırır.

Makalede ayrıca mikro şebeke sistemleri de ele alınmaktadır. Özellikle kırsal ve izole bölgelerde uygulanabilen bu yapılar, yerel üretim ve tüketimi dengeleyerek merkezi şebekeye olan bağımlılığı azaltmakta ve enerji arz güvenliğini artırmaktadır. Mikro şebekelerin gelişmesiyle birlikte kullanıcılar hem üretici hem de tüketici olarak enerji sisteminin aktif bir parçası haline gelmektedir.

Anahtar Kelime: Akıllı şebekeler , yenilenebilir enerji kaynakları , üretim-tüketim dengesi

[1] Yildiz Technical University, Electrical - Electronic Engineering Department of Department, sekinaysenur@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2932-6384

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Günümüzde iklim değişikliği ve enerji güvenliği endişeleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının (RES) enerji sistemlerindeki payının artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Rüzgar, güneş, hidroelektrik gibi kaynakların değişken ve öngörülemez yapısı, mevcut enerji şebekelerinin işleyişinde önemli zorluklar yaratmaktadır. Akıllı şebekeler (smart grids), gelişmiş iletişim, kontrol ve otomasyon teknolojileri sayesinde bu zorlukların üstesinden gelmede ve RES'in etkin bir şekilde entegre edilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu makalede, akıllı şebekelerde yenilenebilir enerji entegrasyonunun potansiyel faydaları, karşılaşılan temel zorluklar ve bu zorlukların aşılmasına yönelik çözüm önerileri detaylı bir şekilde incelenecektir.

Akıllı Şebekelerin Temel Özellikleri ve Yenilenebilir Enerji Entegrasyonundaki Rolü

Akıllı şebekeler, geleneksel elektrik şebekelerine kıyasla çift yönlü iletişim, sensörler, akıllı sayaçlar ve gelişmiş kontrol sistemleri gibi bir dizi yenilikçi özellik sunar. Bu özellikler sayesinde:

Gelişmiş İzleme ve Kontrol: Şebekenin her noktasındaki enerji akışı gerçek zamanlı olarak izlenebilir ve kontrol edilebilir. Bu, RES üretimindeki dalgalanmalara hızlı bir şekilde yanıt verilmesini sağlar.

Talep Yanıtı (Demand Response): Tüketicilerin enerji tüketim alışkanlıkları fiyat sinyalleri veya teşviklerle değiştirilerek, şebeke üzerindeki yük dengelenebilir ve RES üretiminin yoğun olduğu zamanlarda tüketim artırılabilir.

Enerji Depolama Entegrasyonu: Akıllı şebekeler, batarya sistemleri gibi enerji depolama teknolojilerinin etkin bir şekilde entegre edilmesini kolaylaştırır. Bu sayede, RES üretimindeki fazlalıklar depolanarak ihtiyaç duyulduğu zamanlarda şebekeye geri verilebilir.

Dağıtık Üretimin Yönetimi: Binalara kurulan güneş panelleri gibi dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye entegrasyonu ve yönetimi akıllı şebekeler sayesinde daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Kendi Kendini İyileştirme (Self-Healing): Şebekede meydana gelen arızalar otomatik olarak tespit edilebilir, izole edilebilir ve onarım süreçleri hızlandırılabilir. Bu, RES kaynaklarının şebekeden kopma riskini azaltır.

Yenilenebilir Enerji Entegrasyonunun Fırsatları

Akıllı şebekeler aracılığıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, çeşitli önemli fırsatlar sunmaktadır:

Karbon Emisyonlarının Azaltılması: Fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasıyla sera gazı emisyonları önemli ölçüde düşürülebilir ve iklim değişikliğiyle mücadeleye katkı sağlanabilir.

Enerji Güvenliğinin Artırılması: Yerli ve tükenmez enerji kaynaklarının kullanımıyla enerji ithalatına olan bağımlılık azaltılabilir ve enerji arz güvenliği artırılabilir.

Enerji Maliyetlerinde Azalma: Uzun vadede, yenilenebilir enerji kaynaklarının işletme maliyetlerinin düşük olması ve yakıt maliyetinin olmaması nedeniyle enerji maliyetlerinde düşüş sağlanabilir.

Yeni İş ve İstihdam Olanakları: Yenilenebilir enerji ve akıllı şebeke teknolojileri sektörlerinde yeni iş alanları ve istihdam olanakları ortaya çıkar.

Şebeke Verimliliğinin Artırılması: Akıllı şebeke teknolojileri sayesinde enerji kayıpları azaltılabilir ve mevcut şebeke altyapısı daha verimli bir şekilde kullanılabilir.

Yenilenebilir Enerji Entegrasyonunun Zorlukları

Akıllı şebekelerde yenilenebilir enerji entegrasyonu beraberinde bazı önemli zorlukları da getirmektedir:

Üretimdeki Değişkenlik ve Öngörülemezlik: Rüzgar ve güneş enerjisi gibi kaynakların üretimi hava koşullarına bağlı olarak sürekli değişkenlik gösterir ve tam olarak öngörülemez. Bu durum, şebeke dengesinin sağlanmasını zorlaştırır.

Şebeke İstikrarı ve Güvenilirliği: Yüksek oranda RES entegrasyonu, şebeke frekansı ve voltaj kontrolü gibi konularda zorluklar yaratabilir ve şebeke istikrarını tehdit edebilir.

Altyapı Yatırımları: Akıllı şebeke teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve şebekenin RES entegrasyonuna uygun hale getirilmesi için önemli altyapı yatırımları gereklidir.

Mevzuat ve Düzenlemeler: Yenilenebilir enerji ve akıllı şebeke teknolojilerinin yaygınlaşmasını destekleyecek uygun mevzuat ve düzenleyici çerçevelerin oluşturulması önemlidir.

Teknolojik Gelişim ve Standardizasyon: Farklı RES teknolojileri ve akıllı şebeke sistemlerinin birlikte çalışabilirliğini sağlamak için teknolojik gelişmelerin desteklenmesi ve standartizasyon çalışmalarının yapılması gereklidir.

Siber Güvenlik Riskleri: Akıllı şebekelerin dijitalleşmesi, siber saldırılara karşı savunmasızlığı artırabilir. Bu nedenle, güçlü siber güvenlik önlemlerinin alınması kritik öneme sahiptir.

Çözüm Önerileri ve Gelecek Perspektifleri

Yenilenebilir enerji entegrasyonunun zorluklarının üstesinden gelmek ve fırsatlarından en iyi şekilde yararlanmak için çeşitli çözüm önerileri hayata geçirilmelidir:

Gelişmiş Tahmin Sistemleri: Hava durumu tahmin teknolojilerindeki gelişmelerle RES üretiminin daha doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi sağlanmalıdır.

Enerji Depolama Teknolojilerinin Yaygınlaştırılması: Batarya sistemleri, pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri ve diğer enerji depolama teknolojilerinin kullanımı teşvik edilmelidir.

Talep Yanıtı Programlarının Geliştirilmesi: Tüketicilerin aktif katılımını sağlayacak ve şebeke yükünü dengeleyecek talep yanıtı mekanizmaları oluşturulmalıdır.

Akıllı Şebeke Altyapısının Güçlendirilmesi: Gelişmiş sensörler, iletişim sistemleri ve kontrol merkezleri gibi akıllı şebeke altyapısına yönelik yatırımlar artırılmalıdır.

Esnek Şebeke Tasarımları: Şebekelerin, değişken RES üretimine uyum sağlayabilecek esneklikte tasarlanması ve işletilmesi sağlanmalıdır.

Bölgesel ve Ulusal Enerji Piyasalarının Entegrasyonu: Farklı bölgelerdeki ve ülkelerdeki enerji piyasalarının entegrasyonu, RES kaynaklarının daha etkin bir şekilde paylaşılmasına olanak tanır.

Mevzuat ve Teşvik Mekanizmaları: Yenilenebilir enerji ve akıllı şebeke yatırımlarını teşvik edecek, bürokratik süreçleri azaltacak ve şeffaflığı artıracak mevzuat düzenlemeleri yapılmalıdır.

Ar-Ge ve İnovasyonun Desteklenmesi: Yenilenebilir enerji teknolojileri, enerji depolama sistemleri ve akıllı şebeke çözümleri alanındaki araştırma ve geliştirme faaliyetleri desteklenmelidir.

Eğitim ve Bilinçlendirme: Yenilenebilir enerji ve akıllı şebekelerin faydaları konusunda kamuoyunun bilinçlendirilmesi ve uzman personel yetiştirilmesi önemlidir.

Gelecekte, akıllı şebekelerin yenilenebilir enerji entegrasyonunda daha da kritik bir rol oynaması beklenmektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zeka ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerdeki ilerlemeler, şebeke operasyonlarının daha da optimize edilmesine ve RES'in daha verimli bir şekilde yönetilmesine olanak sağlayacaktır.

Sonuç

Akıllı şebekeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemlerine başarılı bir şekilde entegre edilmesi için vazgeçilmez bir araçtır. Sunduğu gelişmiş izleme, kontrol ve otomasyon yetenekleri sayesinde, RES üretimindeki değişkenliğin ve öngörülemezliğin üstesinden gelinerek şebeke istikrarı ve güvenilirliği sağlanabilir. Ancak, bu entegrasyon sürecinde karşılaşılan teknik, ekonomik ve düzenleyici zorlukların aşılması için kapsamlı stratejiler geliştirilmeli ve etkin çözümler hayata geçirilmelidir. Akıllı şebekelere yapılan yatırımlar, uygun mevzuat düzenlemeleri ve teknolojik inovasyonun desteklenmesiyle, temiz ve sürdürülebilir bir enerji geleceği inşa etmek mümkün olacaktır.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2012). Smart grid – The new and improved power grid: A survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 14(4), 944–980.

Momoh, J. (2012). Smart grid: Fundamentals of design and analysis. Wiley-IEEE Press.

Lopes, J. A. P., Hatziargyriou, N., Mutale, J., Djapic, P., & Jenkins, N. (2007). Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities. Electric Power Systems Research, 77(9), 1189–1203.

Siano, P. (2014). Demand response and smart grids—A survey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 461–478.

Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2009). Energy system analysis of 100% renewable energy systems—The case of Denmark in years 2030 and 2050. Energy, 34(5), 524–531.

Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2013). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 7(4), 529–539.

International Energy Agency. (2020). Smart grids.

U.S. Department of Energy. (2010). The smart grid: An introduction.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

EFFECT OF MİCROPHONE SETUP ON THE ACOUSTİC PACKAGE EVALUATİON

Barış VATANSEVER[1]

Abstract

Vehicle transparency tests are essential for assessing the effectiveness of acoustic packages in reducing airborne noise propagation, particularly from the engine sides. Precise noise measurement is critical for the refinement of Noise, Vibration, and Harshness (NVH) characteristics and the development of acoustic insulation package. However, the impact of microphone numbers and placement around the sound source on measurement accuracy remains a topic that needs to be investigated in NVH research. This study investigates how accurately measuring on microphone numbers influence for vehicle stationary tests in semi-anechoic room. By comparing different configurations, the study quantifies the effects of microphone spatial distribution on recorded noise levels and its implications for acoustic package performance assessment. The research begins with a baseline configuration, placing one microphone on each engine surface to represent a minimal measurement setup. Subsequently, the number of microphones is increased systematically to understand how the number of microphones affects the consistency, accuracy, and spatial resolution of the noise data. The findings provide valuable insights into NVH measurement, ensuring more reliable data acquisition for vehicle acoustic development process. The results also contribute to refining microphone placement strategies and sensitive measurements for vehicle-level acoustic tests in future, facilitating enhanced noise control solutions for automotive applications.

Keywords: Vehicle transparency test, acoustic package performance evaluation, air borne engine noise, NVH, Correlation

[1] NVH Engineer, TOFAŞ, AR-GE, baris.vatansever@tofas.com.tr, Orcıd: 0009-0005-0228-9789

ISBN: 978-625-372-661-4

1. Introduction

In the automotive industry, vehicle noise control is a crucial aspect of Noise, Vibration, and Harshness (NVH) engineering, directly impacting passenger comfort and regulatory compliance [1]. Among various noise sources, airborne engine noise remains a significant challenge, particularly at mid to high frequencies [2]. To address this, acoustic packages are designed to minimize noise transmission and enhance vehicle sound insulation performance [3]. However, accurately evaluating the effectiveness of these solutions requires precise measurements, as improving data acquisition quality ensures a more reliable assessment of acoustic package performance.

Vehicle transparency tests are widely used to assess the acoustic performance of insulation materials by analyzing the propagation of airborne noise in a controlled environment, such as a semi-anechoic room [4]. While these tests provide valuable data, the spatial arrangement and the number of microphones in the measurement setup play a critical role in capturing reliable acoustic information. Inadequate microphone positioning may lead to measurement inaccuracies [5], affecting the accuracy of noise level assessments and leading to misinterpretations of the acoustic package's performance. Despite the significance of this factor, the impact of microphone placement on vehicle transparency test results remains underexplored in NVH research.

This study aims to address this gap by systematically investigating how different microphone numbers affect noise measurement accuracy. Three distinct configurations are employed:

- Configuration A: Single-microphone placement on each engine side,
- Configuration B: Dual-microphone placement, and
- Configuration C: Triple-microphone placement.

By analyzing the variations in recorded noise levels across these configurations, this research quantifies the impact of microphone spatial distribution on measurement accuracy and evaluates its implications for acoustic package performance assessment. The findings of this study will contribute to the refinement of NVH measurement, ensuring more reliable data acquisition for vehicle-level acoustic development.

2. Methodology

To systematically evaluate the influence of microphone numbers on airborne noise measurement accuracy, acoustic transparency test was conducted using a vehicle placed inside a semi-anechoic chamber. The test environment ensured minimal background reflections and external noise, enabling precise measurement of airborne transfer characteristics. The primary goal was to investigate the influence of microphone numbers placed around the sound source on the accuracy and consistency of airborne noise measurements during vehicle transparency tests. The test followed the Pressure-to-Pressure (FRF) Airborne Transfer Function (ATF) methodology described in the previous section. A sound source was used to generate a broadband noise signal across the frequency range of 100 Hz to 10000 Hz, simulating the

typical spectrum of engine-induced airborne noise. The artificial source was positioned in proximity to the receiver position under test, while microphones were placed both at the source side and at receiver position (driver's ear level inside the cabin) (Figure 1).

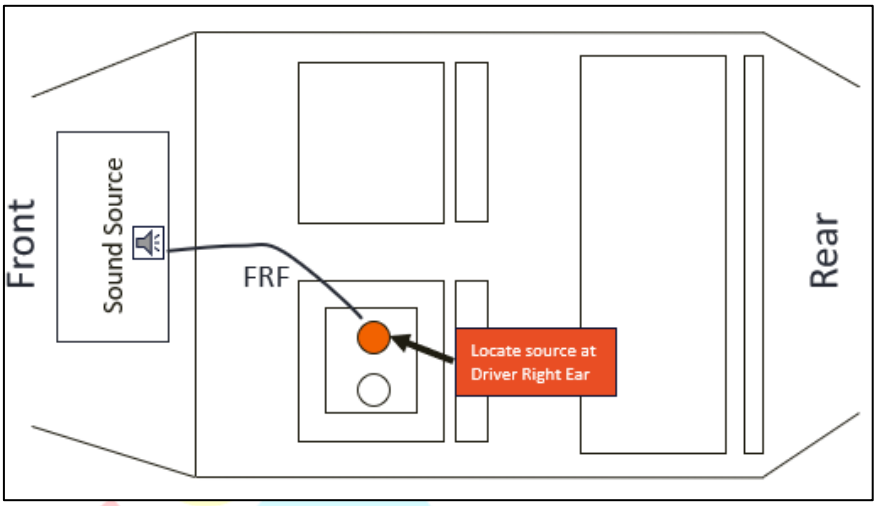


Figure 1. The receiver position (driver's ear level inside the cabin) & sound source

In this study, reciprocal measurement approach was conducted to minimize the measurement number and three different microphone placement configurations were designed to observe the impact of the microphone numbers:

- Configuration A (Single-microphone placement on each engine side): One microphone placed at the geometric center of each engine bay surface.
- Configuration B (Dual-microphone placement): Two microphones per engine bay surface, symmetrically distributed to capture possible spatial gradients.
- Configuration C (Triple-microphone placement): Three microphones per surface, enabling more reliable and capturing more localized acoustic behavior.

The distance between the microphones positioned on the each surface of the sound source is considered 4 cm for both configurations B&C (Figure 2).

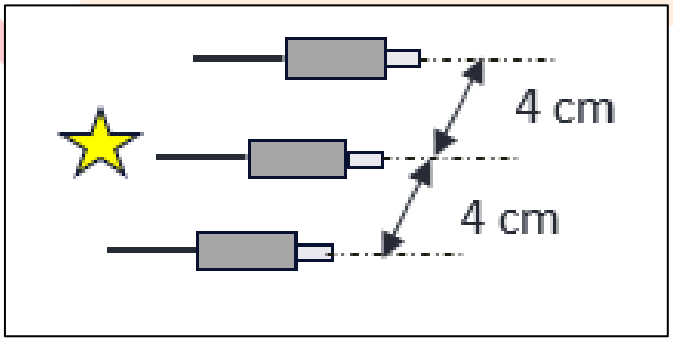


Figure 2. Microphone Installation on each surface of the sound source

Transfer functions were computed in dB as the difference in SPL between the source-side and cabin-side microphones across the frequency range.

3. Results & Discussion

3.1. Pressure-to-pressure (P/P) result evaluation for each sound source surface

The initial phase of the study focused on extracting pressure-to-pressure (P/P) airborne transfer functions from each sound source surfaces. The acoustic response varied significantly across surfaces in Figure 3.

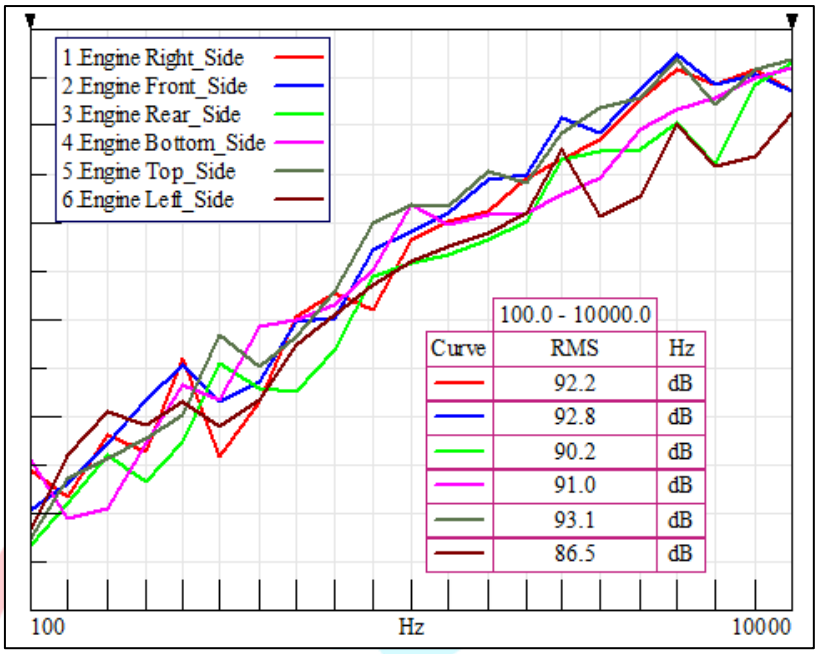


Figure 3. P/P results from each engine surface

This variation emerges from the intrinsic structural and functional differences present across individual sound source surfaces. Variations in material, geometry, transmission and the distribution of dynamic components contribute to unique airborne noise characteristics at each surface. These differences affect both how strong the noise is (amplitude) and at which frequencies it occurs. Therefore, placing just one microphone only one surface of the sound source is not enough to fully understand the complex noise behavior. Microphones are needed to place on each surface of the sound source to reflect the noise reduction performance of the acoustic package from source to the cabin.

3.2. Effect of number of microphones on measurement accuracy

In order to evaluate how microphone configuration influences the accuracy of pressure-to-pressure Airborne Transfer Functions (ATF), measurements were conducted on the sound source on each surface for three configurations:

- Configuration A: 1 microphone per surface
- Configuration B: 2 microphones per surface
- Configuration C: 3 microphones per surface

The comparative analysis of the three configurations revealed important insights into how the number of microphones affects the accuracy and reliability of airborne noise measurements. Figure 4-9 illustrates the P/P results for each configuration on different source surfaces, compared to the SEA results depending on the location.

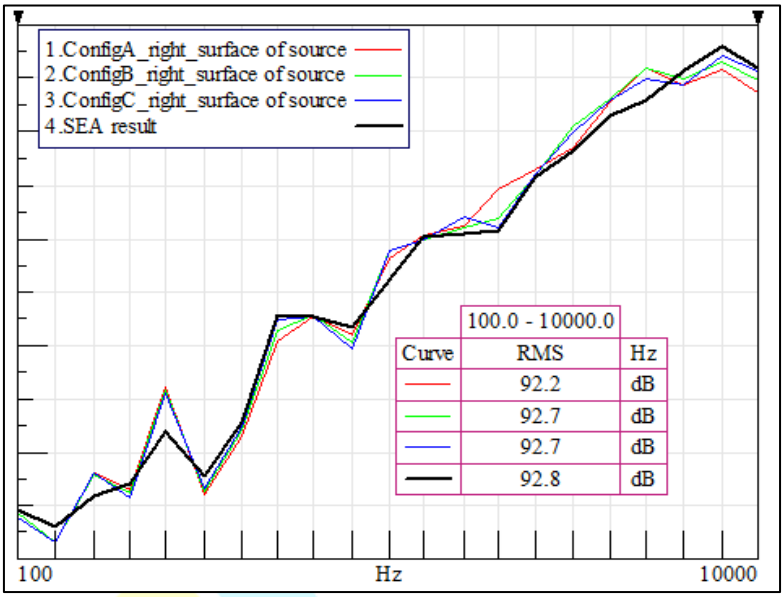


Figure 4. P/P results for right surface of source compared to SEA result

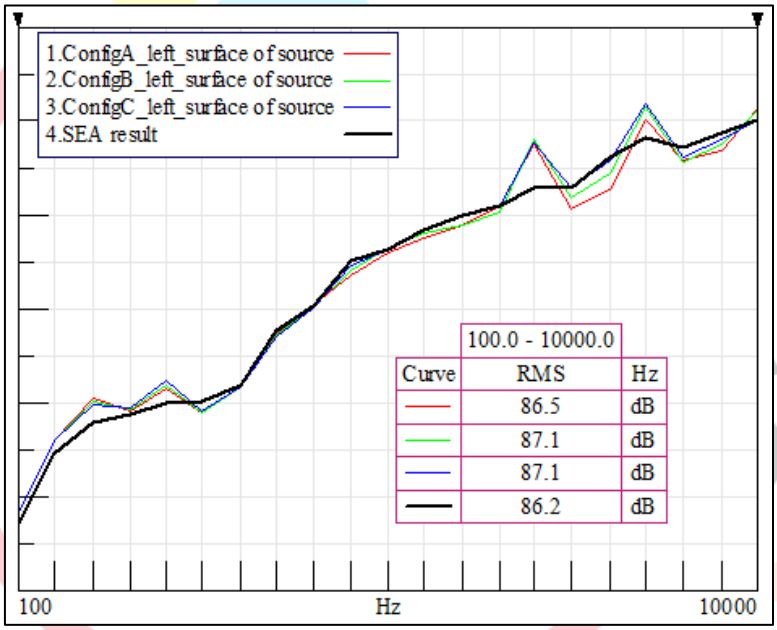


Figure 5. P/P results for left surface of source compared to SEA result

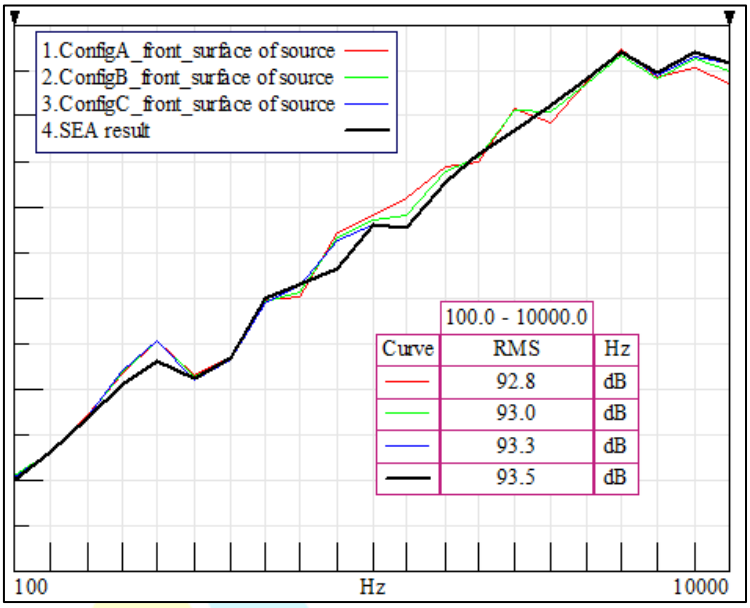


Figure 6. P/P results for front surface of source compared to SEA result

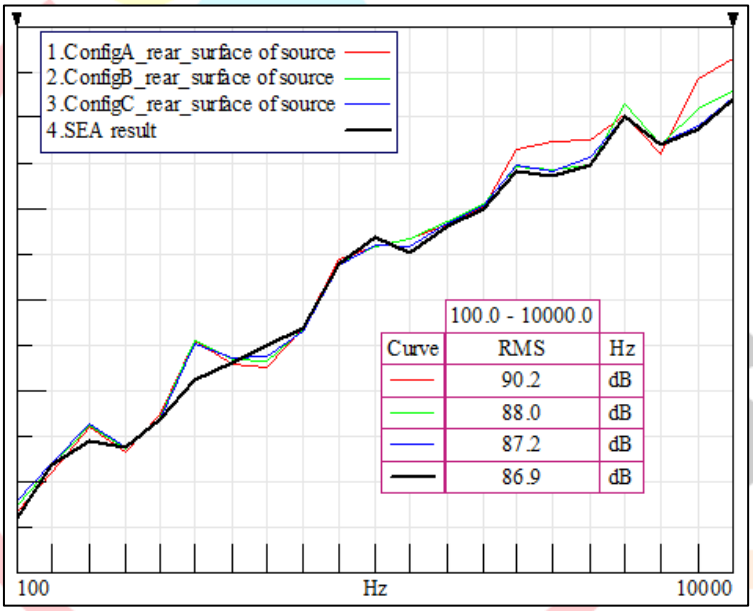


Figure 7. P/P results for rear surface of source compared to SEA result

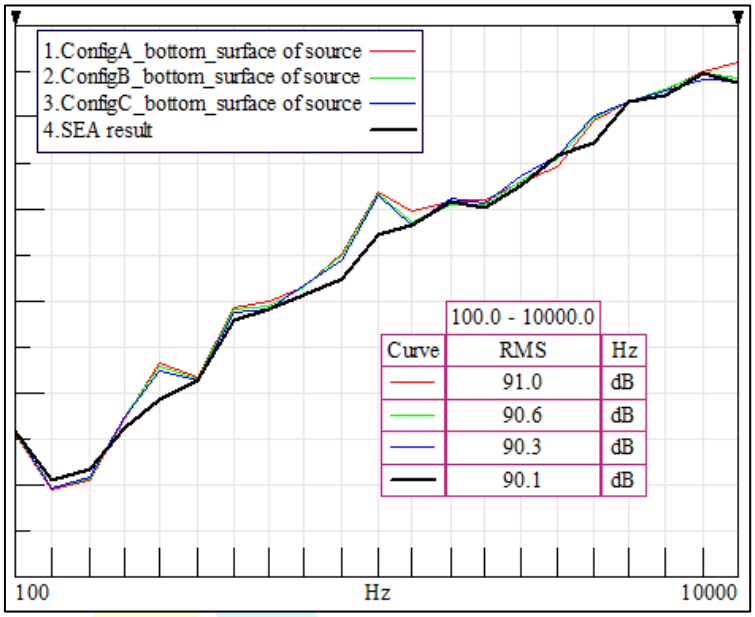


Figure 8. P/P results for bottom surface of source compared to SEA result

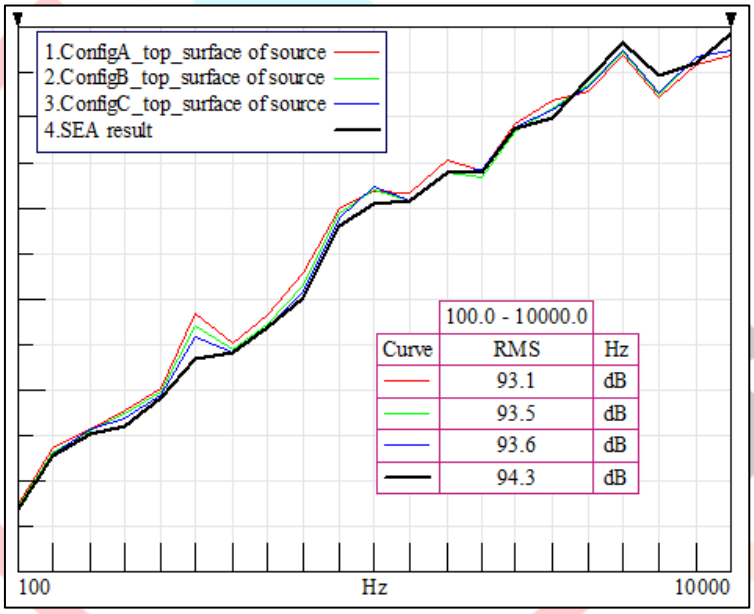


Figure 9. P/P results for top surface of source compared to SEA result

4. Conclusion

This study systematically examined the influence of number of microphones on the accuracy of P/P test measurements conducted in a semi-anechoic room. By evaluating configurations with increasing the number of microphones on each engine surface, the results demonstrated that a single microphone is insufficient to reliably represent the noise characteristics of each surface. The comparative analysis of each sound source surface demonstrate that relying on data from only one surface can result in incomplete conclusions regarding the effectiveness of acoustic packages. Each engine surface presents a unique airborne noise profile due to differences in geometry, structural layout, and the specific components mounted on that surface. These differences cause localized variations in noise radiation. Therefore, accurate evaluation of acoustic package necessitates a surface-specific approach supported by including microphones to reflect the true acoustic behavior of the system. Moreover, the improved correlation with SEA results observed for the Configurations B and C that underlines the importance of aligning experimental measurements with virtual

simulations. This alignment ensures greater consistency between test results and simulations, supporting the development of more effective acoustic solutions. This study highlights the critical role of number of microphones in vehicle transparency tests for acoustic package evaluation. Through stabilized experiments in a semi-anechoic environment, it was demonstrated that increasing number of microphones significantly improves the resolution, repeatability, and accuracy of test measurements. The findings propose that while configuration A setup of each surface may not be acceptible for general assessments, more microphone configurations are essential for precise characterization of noise paths and for optimizing the design of acoustic packages. Ultimately, refined solution strategies contribute to more reliable NVH development and enhanced cabin acoustic comfort.

ISBN: 978-625-372-661-4

Reference

[1] Masri, J., Amer, M., Salman, S., Ismail, M., & Elsisi, M. (2024). A survey of modern vehicle noise, vibration, and harshness: A state-of-the-art. Ain Shams Engineering Journal, 102957, https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102957.

[2] Zhang, Y., Xie, X., Mei, D., & Shangguan, W. B. (2021). Research on airborne noise of battery electric vehicles based on transfer path analysis (No. 2021-01-0323). SAE Technical Paper, https://doi.org/10.4271/2021-01-0323.

[3] Xue, H., Previati, G., Gobbi, M., & Mastinu, G. (2023). Research and Development on Noise, Vibration, and Harshness of Road Vehicles Using Driving Simulators-A Review. SAE INTERNATIONAL JOURNAL OF VEHICLE NOISE AND VIBRATION, 7(4), 555-577, doi:10.4271/10-07-04-0035.

[4] Galante, M., Lafont, T., Ronzio, F., & Baker, D. (2021, November). Acoustic Package Development and Target Setting of an Autonomous Vehicle. In International ATZ Conference on Vehicle Acoustics (pp. 134-158). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

[5] Panza, M. A. (2015). A review of experimental techniques for NVH analysis on a commercial vehicle. Energy Procedia, 82, 1017-1023.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

TESTİNG CASUAL RELATİONSHİPS BETWEEN ENERGY CONSUMPTİON AND INCOME WİTH DOWHY ALGORİTHMS

Bensu Desen Kıvrak[1]
Elif Tuna[2]

Abstract

The aim of this study is to examine the causal relationship between energy consumption and GDP per capita in developed, developing, and underdeveloped countries from 1974 to 2014. Understanding this relationship is crucial not only for shaping effective energy policies but also for revealing the mutual interactions between economic growth and energy usage. In particular, in developing countries, the impact of energy consumption on economic growth is one of the key components of economic development strategies. In this context, the analysis conducted on a sample of countries worldwide contributes to the creation of strategic orientations for countries in different income groups by deeply examining the interaction between energy consumption and economic growth. To determine the causal relationship between these two variables, a modern machine learning method called DoWhy is employed. DoWhy is a powerful tool for analyzing causal effects, and unlike traditional correlation methods, it aims not only to identify the existence of relationships but also to explore their causal directions and strengths. Additionally, a more classical method, the Granger causality test, is used in the study. This test plays a supportive role in analyzing causal relationships over time series data while reinforcing the findings of DoWhy.

The results reveal bidirectional positive causal relationships between energy consumption and economic growth in developing and underdeveloped countries. In developed countries, this relationship is found to be weak and statistically insignificant. This study emphasizes the importance of the relationship between energy consumption and economic growth, particularly for developing countries, and suggests that energy policies and economic growth strategies should be designed with these dynamics in mind. Furthermore, increasing energy efficiency and alternative energy sources plays a critical role in the sustainability of economic development.

Keywords: Causal Analysis, Machine Learning, DoWhy, Granger, Electricity Consumption and GDP

[1] Ms Student, Yildiz Technical University,Statistics Department, Orcıd: 0009-0001-8388-9655
[2] Assoc. Prof. Elif Tuna, Yildiz Technical University,Statistics Department, Orcıd: 0000-0001-8572-3109

ISBN: 978-625-372-661-4

Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkisine Giriş

Enerji kullanımı ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki, uzun yıllardır ekonomi literatüründe tartışılan konulardan biri olmuştur. Enerji kullanımı ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin yönü konusunda literatürde bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bazı araştırmalar büyümeden enerji tüketimine, bazıları ise enerji tüketiminden büyümeye doğru nedensellik tespit ederken bazı çalışmalar ise herhangi bir nedensel ilişki tespit edememiştir. Öztürk(2010), bu farklıların temel nedeninin araştırmalarda kullanılan veri setleri, değişken türleri ve ekonometrik yöntemlerin farklılık göstermesi olduğunu ifade etmektedir.

Geleneksel ekonometrik yöntemler enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin yönünü belirlemekte önemli bir rol oynasa da son dönemlerde makine öğrenmesi yöntemleri giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bunun temel sebebi, ekonomik yöntemlerin sapmasızlık, tutarlılık ve asimptotik etkinlik gibi varsayımlara sıkı sıkıya bağlı olmasıdır (Taştan, H., 2022, s.2). Oysa makine öğrenmesi yöntemleri, bu varsayımları doğrudan gerektirmemekle birlikte, büyük veri setlerinde yüksek kestirim başarısı gösterme potansiyeline sahiptir. (Taştan, H., 2022, s.2). Bu nedenle, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin analizinde, özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan yapıları ortaya koymada makine öğrenmesi yöntemlerinin tamamlayıcı bir araç olarak kullanılması önem kazanmaktadır.

Enerji ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensel Yaklaşımlar

Enerji kullanımı ile ekonomik büyüme arasındaki dinamik ilişkiyi anlamaya yönelik akademik çalışmalar, bu etkileşimi açıklayan büyüme hipotezi, koruma hipotezi, nötr hipotez ve geri bildirim hipotez olmak üzere dört temel teorik çerçevesinin geliştirilmesine yol açmıştır (Payne, E., 2008, s.2).

Büyüme Hipotezi

Bu yaklaşım, enerji tüketimindeki artışın üretim kapasitesini ve dolayısıyla ekonomik büyümeyi artırdığını savunur. Özellikle sanayileşmiş ekonomilerde enerji, üretim süreçlerinin vazgeçilmez girdilerinden biri olduğundan, enerji arzındaki kısıtlamalar büyüme üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir.

Koruma Hipotezi

Bu hipoteze göre, ekonomik büyüme enerji tüketimini yönlendirir ancak ters yönde bir etkileşim söz konusu değildir. Yani, enerji tüketimindeki düşüşün doğrudan ekonomik büyümeyi yavaşlatması beklenmez. Bu yaklaşım, özellikle enerji verimliliğin ön planda olduğu ve hizmet sektörünün baskın olduğu ekonomilerde öne çıkmaktadır.

Nötr Hipotez

Nötr hipotez, enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında belirgin bir nedensellik ilişkisi bulunmadığını öne sürer. Bu görüşe göre, enerji tüketimindeki dalgalanmalar ekonomik büyüme üzerinde doğrudan bir etki yaratmaz; bu durum, enerjinin üretim maliyetleri içindeki payının düşük olduğu ülkelerde daha belirgin olabilir.

Geri Bildirim Hipotezi

Bu teori, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir etkileşim olduğunu ileri sürer. Ekonomik büyüme enerji talebini artırırken, artan enerji tüketimi de üretim kapasitesini ve büyümeyi destekler. Bu karşılıklı etkileşim, özellikle gelişmekte olan ve sanayileşmekte olan ülkelerde kendini göstermektedir.

Veri Seti

- Bu çalışmada Dünya Bankası'ndan (World Bank) elde edilmiş, Birleşmiş Milletler'in Gelişmişlik endeksine göre gelişmiş, gelişmekte olan ve azgelişmiş ülkeler olarak sınıflandırılan üç ülke grubunun 1974-2014 yılları aralığındaki elektrik tüketimi ve Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GDP) değişkenleri analiz edilmiştir.
- İlk aşamada makine öğrenmesinde nedensellik analizi yöntemlerinden olan DoWhy ile analiz edilmiştir. Akabinde ise ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi test edebilmek adına önce ön testler yapılmış sonrası nedensellik tesleri verilerin durağanlığa karşı duyarlılık göstermesinden ötürü Granger Nedensellik testi için birim kök sınaması kullanılmıştır.

Nedensel Çıkarım Kavramı

- Analize başlamadan ve nedensel çıkarım testlerine geçmeden önce nedensel çıkarımın kuramsal temelleri, bu yönteme duyulan gereksinim dayanakları ve nedenselliğin korelasyon kavramından nasıl ayrıştığının kapsamlı bir biçimde ele alınması önem arz etmektedir.
- Bilimsel araştırmalarda olgular, yalnızca bireysel varlıklarıyla değil, diğer olgularla kurdukları ilişkiler bağlamında ve bütüncül bir sistem anlayışı çerçevesinde ele alınırlar. Bu bağlamda, herhangi bir olgu ya da nesne, diğer unsurlardan bağımsız olarak değerlendirildiğinde bilimsel olarak anlamlı kabul edilemez.
- Korelasyon ve nedensel çıkarım kavramları birbirleriyle oldukça karıştırılmaktadır.
- **Korelasyon;** iki değişkenin birlikte nasıl değiştiğini istatistiksel olarak ölçen bir yöntemdir ancak bu birlikte değişim, değişkenlerden birinin diğerine neden olduğu anlamına gelmez. Dolayısıyla korelasyon, nedensellik ilişkisini ortaya koymak için yeterli bir kanıt sunmaz ve bu nedenle yanlış yönlendirmelere neden olabilir (Pearl, 2009; Angrist & Pischke, 2009). Başka bir ifadeyle, iki değişken arasındaki gözlenen ilişki yalnızca tesadüfi olabileceği gibi, her iki değişkeni de etkileyen üçüncü bir faktörden de kaynaklanabilir. Bu nedenle, nedensel ilişkilere ulaşmak için korelasyonun ötesine geçen analitik yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- **Nedensel çıkarım;** bir değişkenin (X) diğer bir değişken (Y) üzerindeki etkisini ortaya koymayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Başka bir deyişle, X'in Y'ye nedensel etkisi olup olmadığını, yani X'in değişiminin Y üzerinde sistematik ve doğrudan bir etkisi bulunup bulunmadığını inceler (Granger, 1969).
- Bu bağlamda nedensellik, yalnızca iki değişkenin birlikte heraket edip etmediğine yani korelasyona odaklanmaz. Bunun ötesinde gerçek zamansal sıralama, karşıt durum (counterfactual) analizi ve dışsal etki kontrolü gibi kriterlere dayanır (Pearl, 2009; Morgan & Winship, 2015). Özellikle sosyal bilimler ve ekonomi alanlarında yaygın

olarak kullanılan nedensel çıkarım yöntemleri, politika etkilerinin değerlendirilmesinde, yapay deneylerin tasarımında ve gözlenen verilerden güvenilir sonuçların elde edilmesinde önemli katkılar sunmaktadır (Imbens& Rubin, 2015)

Makine Öğrenmesinde Nedensel Çıkarım

Geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları, veriler arasındaki değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkileri öğrenmeye odaklanır ve bu istatistiksel ilişkilerden gelecekteki gözlemler üzerine tahminler üretir. Bu tür algoritmalar, genellikle korelasyona dayanarak sınıflandırma, regresyon veya kümeleme gibi görevleri yerine getirir ve veri içindeki örüntüleri bulmakta oldukça başarılıdır (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016). Ancak bu yaklaşımlar, verilerdeki nedensel yapıları göz ardı ettikleri için politika analizi, karar destek sistemleri, tıbbi tedavi etkilerinin değerlendirilmesi ya da karşı olgusal senaryoların analizi gibi uygulamalarda yetersiz kalmaktadır. (Pearl, 2009; Schölkopf et al., 2021).

Bu noktada nedensel çıkarım yöntemleri, yalnızca korelasyon değil aynı zamanda değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri ve müdahale senaryolarını tahmin etme kapasitesiyle öne çıkmaktadır. Bu yöntemler, gözlemsel verilerden elde edilen istatistiksel bağıntıları, nedensel etkilerin yönünü ve büyüklüğünü belirlemek için kullanılır (Pearl, 2009; Imbens & Rubin, 2015). Örneğin, bir politikanın ekonomik çıktılar üzerindeki doğrudan etkisini tahmin etmek, yalnızca geleneksel regresyon yaklaşımları ile değil, nedensel grafik modeller, bu alandaki temel teorik yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Rubin, 2005; Pearl, 2009).

Judea Pearl tarafından geliştirilen yönlü ayrık döngüsüz grafikler (Directed Acyclic Graphs, DAGs), değişkenler arasındaki nedensel bağlantıları açıkça modellemeyi mümkün kılarak, doğrudan ve dolaylı etkilerin ayrıştırılmasını sağlamaktadır. DAG'lar yardımıyla nedensel varsayımlar görselleştirilebilmekte ve "back-door" ya da "front-door" kriterleri kullanılarak müdahale etkileri doğru biçimde tahmin edilebilmektedir (Pearl, 2009; Peters, Janzing, & Schölkopf, 2017).

Son yıllarda nedensel çıkarım yöntemlerinin makine öğrenmesi modelleri ile bütünleştirilmesi yönünde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu doğrultuda, DoWhy (Sharma et al., 2020), EconML (Battocchi et al., 2021) ve CausalNex gibi açık kaynak kütüphaneler, kullanıcıların gözlemsel veriler üzerinde nedensel etkileri analiz etmelerine ve karşı olgusal analizler gerçekleştirmelerine olanak tanımaktadır. Bu araçlar sayesinde kullanıcılar, nedensel varsayımlarını açıkça belirtebilmekte, bu varsayımları test edebilmekte ve çeşitli nedensel etki tahminleyicilerini karşılaştırmalı olarak uygulayabilmektedir (Sharma et al., 2020; Battocchi et al., 2021).

Nedensel çıkarım, özellikle ekonomi, sağlık, eğitim, sosyal politika ve enerji gibi karmaşık ve çok değişkenli sistemlerde önemli bir araç haline gelmiştir. Örneğin, enerji ekonomisinde, elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi yalnızca korelasyon temelli analizlerle incelemek, yanlış yönlendirilmiş politika önerilerine yol açabilir. Oysa nedensel çıkarım teknikleri kullanılarak, bu ilişkinin yönü, büyüklüğü ve doğrusal olup olmaması gibi kritik sorular daha sağlıklı yanıtlanabilir (Peters et al., 2017; Runge et al., 2019). Ayrıca bu teknikler, politika yapıcıların belirli müdahalelerin sonuçlarını öngörmelerine ve daha etkili kararlar almalarına yardımcı olur (Athey & Imbens, 2017).

Bununla birlikte, nedensel çıkarımın gözlemsel verilere uygulanmasında dikkatli olunması gerekir. Varsayım ihlalleri, modelleme hataları veya ölçüm yanlılıkları, çıkarılan nedensel sonuçların güvenilirliğini zayıflatabilir. Bu nedenle, yapılan analizlerde nedensel varsayımların açıkça tanımlanması ve duyarlılık analizleri ile desteklenmesi büyük önem taşımaktadır (Imbens & Rubin, 2015).

Sonuç olarak, makine öğrenmesinde nedensel çıkarım, yalnızca tahmin doğruluğunu artırmakla kalmaz, aynı zamanda modellerin açıklanabilirliğini (explainability) ve karar destek kapasitesini de güçlendirir. Bu da onu hem teorik hem de uygulamalı alanlar için vazgeçilmez bir yöntem haline getirmektedir.

Granger Nedensellik Testi

Granger nedensellik testi, zaman serisi verilerinde iki değişken arasındaki nedensel ilişkiyi incelemek için kullanılan bir istatistiksel testtir. Bu testin temel amacı, bir değişkenin (X) gelecekteki değerlerini, başka bir değişkenin (Y) geçmiş değerlerinin açıklayıp açıklayamayacağını belirlemektir. Granger'e göre, bir değişkenin "nedensel" olarak kabul edilebilmesi için, geçmiş değerlerinin diğer değişkenin gelecekteki değerini tahmin etme gücüne sahip olması gerekir. Ancak, bu nedensellik, geleneksel anlamda "sebep-sonuç" ilişkisi değildir; sadece zaman serisi verilerine dayalı bir tahmin ilişkisini ifade eder (Granger, 1969).

Birim Kök Testleri

Birim kök testi, zaman serisi verilerinin **durağan olup olmadığını** belirlemek için kullanılan bir istatistiksel testtir. Durağanlık, bir zaman serisinin istatistiksel özelliklerinin zaman içinde değişmemesi anlamına gelir. Eğer bir zaman serisi durağan değilse, yani birim köke sahipse, verilerin ortalaması ve varyansı zamanla değişebilir ve bu da ekonometrik analizlerin geçerliliğini zayıflatabilir (Dickey & Fuller, 1979).

Birim kök terimi, zaman serisinin durağan olup olmadığını test etmek için kullanılan bir kavramdır. En yaygın birim kök testlerinden biri **Augmented Dickey-Fuller (ADF)** testidir. ADF testi, zaman serisinde birim kök olup olmadığını test eder ve sıfır hipotezi olarak serinin birim köke sahip olduğunu varsayar. Eğer birim kök testi sonuçları, serinin birim köke sahip olduğunu gösteriyorsa, verilerin durağan hale getirilmesi için ilk fark alma veya dönüşüm gibi işlemler yapılması gerekebilir (Dickey & Fuller, 1979).

AMPİRİK BULGULAR

Enerji Tüketimi İle Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensel Etkiler

Bu çalışmada, BM'nin gelişmiş, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkeler sınıflandırması temel alınarak ülkeler üç ana gelir grubu kapsamında değerlendirilmiştir. Araştırmanın temel amacı, elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensel ilişkinin söz konusu gelir gruplarına göre farklılık gösterip göstermediğini ampirik olarak incelemektir. Bu doğrultuda, her bir gelir grubuna ait ülke örneklemi için elektrik tüketimi ile GSYİH değişkenleri arasındaki nedensel yön ve ilişkinin varlığı, nedensellik analizine yönelik modern bir çerçeve sunan DoWhy kütüphanesi aracılığıyla analiz edilmiştir. Elde edilen bulguların sağlamasını yapmak ve sonuçların tutarlılığını artırmak amacıyla ilave olarak Granger nedensellik testi uygulanmıştır. Analizler yalnızca çift yönlü nedensel etkilerin belirlenmesiyle sınırlı kalmamış aynı zamanda her bir gelir grubunda enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerinde mi etkili olduğu, ekonomik büyümenin enerji tüketimi üzerinde mi belirleyici rol oynadığı ya da iki değişken arasında herhangi bir nedensel ilişki bulunup bulunmadığı da sistematik biçimde incelenmiştir. Böylece, farklı gelişmişlik düzeylerindeki ülkeler için enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkileri karşılaştırılmalı olarak ortaya konmuştur

Tablo 3.1 DoWhy Yöntemi İle Nedensellik Analizi Bulguları

Gelir Grubu	Nedensel Yön Sınaması	Etki Sayısı	Yorum
Gelişmiş Ülkeler	EC → GDP	-3,14	Negatif ve güçlü etki
	GDP → EC	-0,063	Negatif ve zayıf etki
Gelişmekte Olan Ülkeler	EC → GDP	2,84	Pozitif ve güçlü etki
	GDP → EC	0,289	Pozitif ve zayıf etki
Az Gelişmiş Ülkeler	EC → GDP	2,11	Pozitif ve güçlü etki
	GDP → EC	0,374	Pozitif ve zayıf etki

Gelişmiş ülkeler grubuna yönelik yapılan nedensellik analizinde, enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki nedensel etkisi -3,14 olarak tahmin edilmiştir. Bu sonuç, elektrik tüketimindeki bir birimlik artışın ekonomik büyümede ortalama -3,14 birimlik bir azalmaya yol açtığını göstermektedir.

Diğer yandan, büyümenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi -0,063 olarak hesaplanmıştır. Bu değer hem büyüklük hem de işaret açısından ekonomik büyümenin enerji tüketimi üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını, hatta çok sınırlı düzeyde ve ters yönlü bir ilişki olabileceğini göstermektedir.

Bu çerçevede, söz konusu ülke grubu için negatif etki olmasından ötürü nötr hipotezi geçerli diyebilmekteyiz.

Gelişmekte olan ülkeler grubuna ilişkin bulgular, enerji tüketiminin büyüme üzerindeki nedensel etkisinin 2,84 olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, enerji tüketimindeki artışın ekonomik büyüme üzerinde pozitif ve anlamlı bir etki yarattığını göstermekte olup, sanayileşme süreçlerinin devam ettiği ve üretim faaliyetlerinin enerji bağımlılığı gösterdiği bu ülke grubunun yapısal özellikleriyle örtüşmektedir (Payne, 2010)

Ayrıca, ekonomik büyümenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi 0,288 olarak bulunmuştur. Bu değer, pozitif olmakla birlikte görece düşük seviyededir. Bu da ekonomik büyümenin enerji talebini artırdığını ancak bu etkinin sınırlı olduğunu göstermektedir.

Buna rağmen, çift yönlü nedensellik ilişkisi geri bildirim hipotezi kapsamında değerlendirilebilir. Ancak, bu karşılıklı ilişkinin büyüklüğü, yapısal kısıtlar nedeniyle sınırlı düzeydedir.

Az gelişmiş ülkeler grubuna ait analiz sonuçlarına göre, enerji tüketiminin GDP üzerindeki nedensel etkisi 2,11 olarak bulunmuştur. Bu pozitif ilişki, enerji tüketiminin ekonomik büyüme açısından temel bir itici güç olduğunu göstermektedir.

Buna karşılık, GSYİH'nin elektrik tüketimi üzerindeki etkisi 0,374 olup, pozitif ve anlamlı olmakla birlikte sınırlı büyüklüktedir.

Her iki değişkenin karşılıklı olarak birbirini etkilemesi, bu ülke grubunda da geri bildirim hipotezinin geçerliliğine işaret etmektedir.

Tablo 3.2 Hipotez Bulgu Tablosu

Gelir Grubu	**Bulgu**
Gelişmiş Ülkeler	Nötr
Gelişmekte Olan Ülkeler	GDP ⟷ EC (Geri Bildirim)
Az Gelişmiş Ülkeler	GDP ⟷ EC (Geri Bildirim)

Granger Nedensellik Analizi Bulguları

Granger nedensellik analizine geçilmeden önce, analizde kullanılacak zaman serilerinin durağan olup olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, serilerin birim kök içerip içermediğini test etmek için, Dickey ve Fuller (1979) tarafından geliştirilen Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi uygulanmaktadır.

Tablo 3.3 ADF Birim Kök Testi

Gelir Grubu	Değişken	ADF Testi	p-değeri
Gelişmiş Ülkeler	GDP	-3,3025	0,0147
	EC	-6,1975	0,0000
Gelişmekte Olan Ülkeler	GDP	-7,9278	0,0000
	EC	-8,4056	0,0000
Az Gelişmiş Ülkeler	GDP	-7,4386	0,0000
	EC	-7,8235	0,0000

$H_0 : \rho = 1 \rightarrow$ *Birim kök içermektedir, seri durağan değildir.*
$H_1 : \rho \neq 1 \rightarrow$ *Birim kök içermemektedir, seri durağandır.*

Gelişmiş ülkeler için;

$GDP\ p-değeri : 0,0147 < \alpha : 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.*
$EC\ p-değeri : 0,0000 < \alpha : 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.*

Gelişmekte olan ülkeler için;

$GDP\ p-değeri : 0,0000 < \alpha : 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.*
$EC\ p-değeri : 0,0000 < \alpha : 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.*

Az gelişmiş ülkeler için;

$GDP\ p-değeri : 0,0000 < \alpha : 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.*
$EC\ p-değeri : 0,0000 < \alpha : 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir. Birim kök içermemektedir, seri durağandır.*

Gelişmiş Ülkeler İçin Bilgi Kriterleri

📌 Gecikme Seçim Kriterleri:
VAR Order Selection (* highlights the minimums)

	AIC	BIC	FPE	HQIC
0	23.93*	24.02*	2.482e+10*	23.97*
1	23.96	24.23	2.553e+10	24.05
2	23.98	24.43	2.616e+10	24.14
3	24.05	24.67	2.808e+10	24.26
4	24.16	24.96	3.193e+10	24.44
5	24.30	25.27	3.721e+10	24.63

Gelişmiş ülkeler için; AIC Bilgi Kriteri'ne göre uygun gecikme değeri "0" olarak gözükse de Granger nedensellik analizinde 0. gecikmeyi almaz. Bundan sebep, 1. gecikme alınmıştır.

Gelişmekte Olan Ülkeler İçin Bilgi Kriterleri

📌 Gecikme Seçim Kriterleri:
VAR Order Selection (* highlights the minimums)

	AIC	BIC	FPE	HQIC
0	23.66	23.72	1.881e+10	23.68
1	22.13	22.32	4.095e+09	22.21
2	21.84	22.15	3.059e+09	21.96
3	21.59	22.02*	2.391e+09	21.77*
4	21.59	22.15	2.395e+09	21.81
5	21.58*	22.25	2.356e+09*	21.85

Gelişmekte olan ülkeler için; AIC Bilgi Kriteri'ne göre uygun gecikme değeri "5" olarak belirlenmiştir.

Az Gelişmiş Ülkeler İçin Bilgi Kriterleri

📌 Gecikme Seçim Kriterleri:
VAR Order Selection (* highlights the minimums)

	AIC	BIC	FPE	HQIC
0	23.27	23.33	1.279e+10	23.30
1	21.50	21.68	2.166e+09	21.57
2	21.24	21.55	1.675e+09	21.36
3	20.98	21.41*	1.293e+09	21.15
4	20.98	21.53	1.295e+09	21.20
5	20.88*	21.55	1.169e+09*	21.14*

Az gelişmiş ülkeler için AIC Bilgi Kriteri'ne göre uygun gecikme değeri "5" olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.4 Granger Nedensellik Testi Bulguları

Gelir Grubu	**Nedensel Yön Sınaması**	**Gecikme Sayısı**	**p-değeri**
Gelişmiş Ülkeler	EC ⟶ GDP	1	0,0782
	GDP ⟶ EC	1	0,0426
Gelişmekte Olan Ülkeler	EC ⟶ GDP	5	0,0019
	GDP ⟶ EC	5	0,0003
Az Gelişmiş Ülkeler	EC ⟶ GDP	5	0,0737
	GDP ⟶ EC	5	0,0097

$H_0 : \alpha_i = 0 \rightarrow EC,\ GDP'nin$ Granger *nedeni değildir.*
$H_1 : \alpha_i = 0 \rightarrow EC,\ GDP'nin$ Granger *nedenidir.*

$H_0 : \alpha_i = 0 \rightarrow GDP, EC'nin$ Granger *nedeni değildir.*
$H_1 : \alpha_i = 0 \rightarrow GDP,\ EC'nin$ Granger *nedenidir.*

Gelişmiş ülkeler için;

1.*gecikme*

$EC \rightarrow GDP\ p-değeri : 0,0782 > 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilemez. EC, GDP'nin Granger nedeni değildir.*

$GDP \rightarrow ECp-değeri : 0,0426 < 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir.GDP, EC'nin Granger nedenidir.*

Gelişmekte olan ülkeler için;

5.*gecikme*

$EC \rightarrow GDP\ p-değeri : 0,0019 < 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir. EC, GDP'nin Granger nedenidir.*

$GDP \rightarrow ECp-değeri : 0,0003 < 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir. GDP, EC'nin Granger nedenidir.*

Az gelişmiş ülkeler için;

5.*gecikme*

$EC \rightarrow GDP\ p-değeri : 0,0737 < 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilemez. EC, GDP'nin Granger nedeni değildir.*

$GDP \rightarrow ECp-değeri : 0,0097 < 0,05 \rightarrow H_0$ *reddedilir. GDP, EC'nin Granger nedenidir.*

SONUÇ

Bu çalışmada, farklı gelir gruplarına ait ülkelerde enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi incelenmiştir. Bulgular, ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre enerji ve büyüme arasındaki ilişkinin yönü ve gücünde farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur.

Gelişmiş ülkeler grubunda, DoWhy ile analizde **nötr hipotez** geçerliyken, Graner nedensellik testinde gelir, elektrik tüketimi üzerinde küçük bir etkiye sahiptir.

Gelişmekte olan ülkeler grubunda DoWhy analizinde de Granger analizinde de bu ülkelerde enerji ve büyüme arasında her iki yönlü karşılıklı bir ilişki olduğunu göstermekte ve **geri bildirim (feedback) hipotezini** desteklemektedir.

Az gelişmiş ülkeler için yapılan analizlerde de benzer şekilde enerji tüketiminin büyüme üzerindeki etkisi pozitif (2,11) ve anlamlı bulunmuş, büyümenin enerji tüketimine etkisi ise pozitif (0,374) ve daha sınırlı düzeyde kalmıştır. Granger nedensellik testi de her iki yönlü nedenselliği desteklemektedir. Bu bulgular, enerji tüketiminin bu ülkelerde ekonomik büyümenin temel itici güçlerinden biri olduğunu ve **geri bildirim hipotezinin** bu ülke grubu için de geçerli olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, analiz edilen üç ülke grubunda enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi gelişmişlik düzeyine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde enerji ve büyüme arasındaki ilişki sınırlı ve zayıfken, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde enerji tüketimi büyümenin belirleyicilerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, politika yapıcılar açısından enerji yatırımlarının yönlendirilmesinde ülkelerin yapısal farklılıklarının göz önünde bulundurulması gerektiğine işaret etmektedir. Özellikle gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde enerji altyapısına yapılacak yatırımların, ekonomik büyümenin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

Taştan, H. (2022).*Makine öğrenmesi ve ekonometrik yöntemlerin karşılaştırılması: Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki*.

Öztürk(2010). A literature survey on energy-growth on nexus

Granger, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica, 37*(3), 424-438

Pearl, J. (2009).*Causality: Models, reasoning, and inference* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Angrist, J. D., & Pischke, J. S. (2009).*Mostly harmless econometrics: An empiricist's companion*. Princeton University Press.

Morgan, S. L., & Winship, C. (2015).*Counterfactuals and causal inference: Methods and principles for social research* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Imbens, G. W., & Rubin, D. B. (2015).*Causal inference for statistics, social, and biomedical sciences: An introduction*. Cambridge University Press.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016).*Deep learning*. MIT Press.

Schölkopf, B., Peters, J., Steudel, A., & Schölkopf, B. (2021).*Causal Inference: From Statistics to Machine Learning*. Springer.

Imbens, G. W., & Rubin, D. B. (2015).*Causal inference for statistics, social, and biomedical sciences: An introduction*. Cambridge University Press.

Rubin, D. B. (2005).*Causal inference using potential outcomes*. *Journal of the American Statistical Association, 100*(469), 322-331.

Peters, J., Janzing, D., & Schölkopf, B. (2017).*Elements of causal inference: Foundations and learning algorithms*. MIT Press.

Sharma, A., De Salvo, G., & Venkatraman, S. (2020).*DoWhy: A Python Library for Causal Inference*. *Proceedings of the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*

Battocchi, D., Cupini, D., & Jaimungal, S. (2021).*EconML: A Python Package for Causal Machine Learning. Journal of Machine Learning Research, 22(124), 1-6.*

Peters, J., Janzing, D., & Schölkopf, B. (2017).*Elements of Causal Inference: Foundations and Learning Algorithms. MIT Press.*

Runge, J., Heitzig, J., & Kurths, J. (2019).*Detecting causal relationships in complex systems: A comparative review. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 377(2140), 20180013.*

Athey, S., & Imbens, G. W. (2017).*The Econometrics of Randomized Experiments. Annual Review of Economics, 9, 23-48.*

Imbens, G. W., & Rubin, D. B. (2015).*Causal Inference for Statistics, Social, and Biomedical Sciences: An Introduction. Cambridge University Press.*

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

ANALOG APPROXİMATİON OF FRACTANCE ELEMENTS USİNG MATLAB 'TFEST' FUNCTİON

Burak ARICIOĞLU[1]

Abstract

Fractional-order circuit elements, known as fractance elements, have been widely utilized in various scientific and engineering applications, including biomedical engineering, control systems, and signal processing. These elements provide more accurate representations of complex dynamic systems compared to conventional integer-order components. However, their practical realization remains challenging due to the difficulty in constructing physical fractional-order inductors and capacitors. This study proposes an effective method to approximate fractional-order impedance and admittance functions using MATLAB's "tfest" function, which is part of the System Identification Toolbox. The methodology involves generating time-domain input-output data based on fractional-order differential equations, particularly using the Grünwald-Letnikov approach. The "tfest" function is then employed to estimate transfer functions that approximate the impedance and admittance characteristics of fractional-order capacitors and inductors. The accuracy of the approximations is analysed by comparing the simulated and theoretical frequency responses for different pole-zero configurations. The results demonstrate that increasing the number of pole-zero pairs enhances the precision of the approximations, with higher-order models closely matching the theoretical fractional-order behaviour. Furthermore, all derived impedance/admittance functions exhibit stable pole-zero distributions, allowing their realization with passive electrical components. Simulations further validate the effectiveness of the proposed approach, showing that the approximated fractional-order elements exhibit dynamic responses similar to their ideal counterparts. The extracted impedance and admittance functions are also realized using passive electrical components, providing a practical means of constructing fractional-order circuits.

Keywords: Fractional order-elements, fractional order differential equation, Grünwald-Letnikov method, MATLAB tfest, Fractional-order circuit

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Sakarya Uygulamalı bilimler Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Orcıd: 0000-0001-9526-7629

ISBN: 978-625-372-661-4

1. INTRODUCTION

Fractional differintegral equations are employed in many different science and engineering areas such as modelling of neural networks (Meng et. al, 2025), modelling in medicine (Freeborn, 2013), control (Shaheen et. al, 2024), chaos (Korkmaz, Saçu, 2021), transmission line (Shahen, 2023), heat diffusion (Srivastava et. al, 2021) and so on. For practical realization of solutions to the fractional differintegral equation, use of the fractance element is required (Shah et.al, 2019).

In this paper, a fractance element of a fractional order element is approximated by employing Matlab 'tfest' function. The 'tfest' function of "System Identification Toolbox" (System Identification) estimates transfer function of a system from its input and output signals.

Fractance is an element which has a fractional order impedance function. The fractional order impedance is defined as

$$Z(s) = k(s)^q \qquad (1)$$

where k is a constant and q is the fractional order. When q is $-1,0$ and 1 the fractance element becomes simply capacitor, resistor and inductor respectively. In the approximation of fractance elements, both fractional order capacitor and inductor is considered.

In the numerical calculations of the voltages and currents of the fractances, Grünwald-Letnikov method is employed and given in Eq. 2

$${}_0D_t^q g(t) = \lim_{h\to 0} h^{-q} \sum_{i=0}^{\frac{t}{h}} (-1)^i \binom{q}{i} g(t-ih) \qquad (2)$$

here $g(t)$ is the differentiable function, q is the fractional order, h is the step size and $\binom{q}{i}$ is the binomial coefficients where

$$\binom{q}{i} = \begin{cases} 1 & \text{for } i = 0, \\ \dfrac{q(q-1)\dots(q-i+1)}{i!} & \text{for } i > 0. \end{cases} \qquad (3)$$

The organization of the article is as follows: in the second section, "tfest" function and how it can be used to approximate the fractance element impedance or admittance is given; in the third section approximated impedance or admittance functions are compared with actual ones and some simulation results are given and Conclusion is given in the last section.

2. THE "TFEST" FUNCTION AND ITS APPLICATION TO APPROXIMATE THE FRACTANCE ELEMENTS

The "tfest" function estimates the transfer function model of a system. There are detailed descriptions of how to use "tfest" is available at (tfest). In the study, very basic usage of "tfest" function is employed. The used command is given below

"sys = tfest(data,np,nz)"

Here "data" time domain signals of input, and output, and sampling time, np is the number of poles and the number of zeros in the estimated transfer function. The command for defining "data" is given below

"data=iddata(output_signal, input_signal, sampling_time)"

For the approximation of the fractional order capacitor, the current passing through the capacitor is considered as the input signal and the voltage across the fractional order capacitor

is considered as the output signal. Then the fractional order impedance can be treated as the transfer function. The current-voltage relationship of a fractional order capacitor is given as

$$v_C(t) = \frac{1}{C}\,{}_0D_t^{-q} i_C(t) = \frac{1}{C}\lim_{h\to 0} h^q \sum_{i=0}^{\frac{t}{h}} (-1)^i \binom{-q}{i} i_C(t-ih) \qquad (4)$$

The above equation can be rewritten in Laplace domain as

$$V_C(s) = \frac{1}{C} s^{-q} I_C(s) \qquad (5)$$

For the fractional order capacitor, the impedance function becomes

$$Z_C(s) = \frac{V_C(s)}{I_C(s)} = \frac{1}{C} s^{-q} \qquad (6)$$

This impedance can be approximated by using" tfest" function. To construct time domain input and output signals, Eq. 4 is solved numerically for the current passes through is a unit step function.

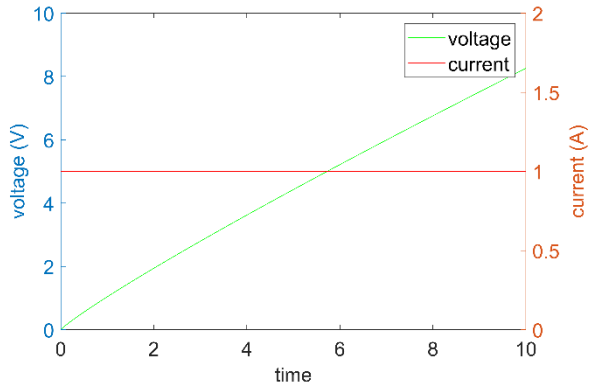


Fig. 1: The voltage across the fractional order capacitor (the fractional order $q = 0.9$) when a unit step current source is applied.

Using the signals given in Fig.1, as input (the current) and output (the voltage) signals, the fractional order impedance is approximated with "tfest" function for the different values of poles-zeros pairs as given in Table 1.

Table 1: Approximated impedance function of the fractional order capacitor and the values of zeros and poles of the approximated impedance function for the fractional order $q = 0.9$.

# of poles-zeros	Approximated Impedance Function	The values of poles and zeros	The values of the lumped elements
2-1	$\frac{1.116s + 0.776}{s^2 + 0.916s + 0.014}$	$p_0 = -0.0150$ $p_1 = -0.9006$ $z_0 = -0.6953$	$C_0 = 1.167$ $C_1 = 3.867$ $R_0 = 56.988$ $R_1 = 0.287$
3-2	$\frac{1.377\,s^2 + 5.918\,s + 2.482}{s^3 + 5.626\,s^2 + 3.025\,s + 0.035}$	$p_0 = -0.0119$ $p_1 = -0.5886$ $p_2 = -5.0255$ $z_0 = -0.4712$ $z_1 = -3.8250$	$C_0 = 1.199$ $C_1 = 4.887$ $C_2 = 2.954$ $R_0 = 69.932$ $R_1 = 0.348$ $R_2 = 0.067$
4-3	$\frac{1.494s^3 + 21.16s^2 + 40.65s + 11.71}{s^4 + 17.9\,s^3 + 41.14\,s^2 + 14.68s + 0.136}$	$p_0 = -0.0095$ $p_1 = -0.4263$ $p_2 = -2.1953$ $p_3 = -15.2715$ $z_0 = -0.3504$ $z_1 = -1.8731$ $z_2 = -11.9391$	$C_0 = 1.228$ $C_1 = 5.794$ $C_2 = 5.843$ $C_3 = 2.976$ $R_0 = 85.331$ $R_1 = 0.405$ $R_2 = 0.078$ $R_3 = 0.022$
5-4	$\frac{1.605s^4 + 56.77s^3 + 318.7s^2 + 387.9s + 86.04}{s^5 + 43.74s^4 + 287.7s^3 + 407.5s^2 + 110.2s + 0.861}$	$p_0 = -0.0080$ $p_1 = -0.3431$ $p_2 = -1.4816$ $p_3 = -5.8307$ $p_4 = -36.0783$ $z_0 = -0.2853$ $z_1 = -1.2985$ $z_2 = -5.0319$ $z_3 = -28.7526$	$C_0 = 1.250$ $C_1 = 6.339$ $C_2 = 7.416$ $C_3 = 5.690$ $C_4 = 2.968$ $R_0 = 99.388$ $R_1 = 0.460$ $R_2 = 0.091$ $R_3 = 0.030$ $R_4 = 0.009$

For the obtained approximated impedance functions, the values of poles and zeros are also presented in Table 1. All the values of poles and zeros are negative, and all the poles and zeros are in alternate order. Hence the approximated impedance function can be realized only using passive elements as depicted in Fig. 2. Moreover, the values of the passive elements used in the approximation circuit is given Table 1.

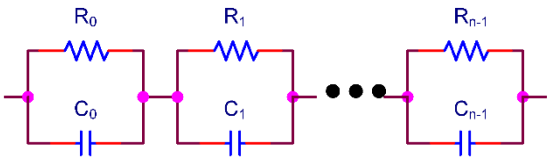


Fig. 2: The approximated fractional order capacitor circuit.

Similar procedures are carried out for the fractional order inductor. The voltage across the fractional order integrator is considered as the input signal and the current passes through is considers as the output signal. Then the fractional order admittance can be treated as the transfer function. The current-voltage relationship of a fractional order integrator is given as

$$i_L(t) = \frac{1}{L}\,{}_0D_t^{-q} v_L(t) = \frac{1}{L}\lim_{h\to 0} h^q \sum_{i=0}^{\frac{t}{h}} (-1)^i \binom{-q}{i} v_L(t - ih) \qquad (7)$$

The above equation can be rewritten in Laplace domain as

$$I_L(s) = \frac{1}{L} s^{-q} V_L(s) \qquad (8)$$

For the fractional order inductor, the admittance function becomes

$$Y_L(s) = \frac{V_L(s)}{I_L(s)} = \frac{1}{L} s^{-q} \qquad (9)$$

This admittance can be approximated by using" tfest" function. To construct time domain input and output signal, Eq. 7 is solved numerically for the voltage across the inductor is a unit step function.

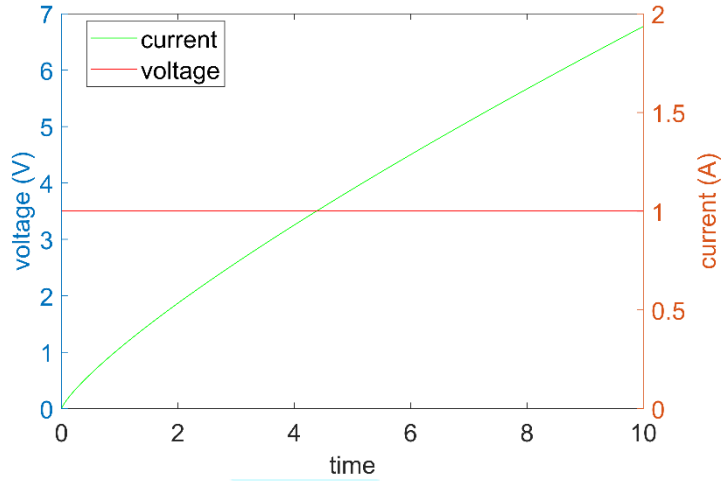


Fig. 3: The current pass through the fractional order inductor (the fractional order $q = 0.8$) when a unit step voltage source is applied.

Using the signals given in Fig.2, as input (the voltage) and output (the current) signals, the fractional order admittance is approximated with "tfest" function for the different values of poles-zeros pairs as given in Table 2.

Table 2: Approximated admittance function of the fractional order inductor and the values of zeros and poles of the approximated admittance function for the fractional order $q = 0.8$.

# of poles-zeros	Approximated Admittance Function	The values of poles and zeros	The values of the lumped elements
3-2	$\frac{1.872\,s^2 + 7.637s + 2.918}{s^3 + 6.787s^2 + 4.285s + 0.104}$	$p_0 = -0.0254$ $p_1 = -0.6758$ $p_2 = -6.0862$ $z_0 = -0.4267$ $z_1 = -3.6522$	$L_0 = 1.447$ $L_1 = 2.535$ $L_2 = 1.271$ $R_0 = 0.037$ $R_1 = 1.713$ $R_2 = 7.738$
4-3	$\frac{2.278s^3 + 31.17s^2 + 57.73s + 15.62}{s^4 + 22.01s^3 + 58.57s^2 + 24.28s + 0.470}$	$p_0 = -0.0204$ $p_1 = -0.4841$ $p_2 = -2.5121$ $p_3 = -18.9928$ $z_0 = -0.3269$ $z_1 = -1.8177$ $z_2 = -11.5382$	$L_0 = 1.516$ $L_1 = 3.298$ $L_2 = 2.669$ $L_3 = 1.063$ $R_0 = 0.031$ $R_1 = 1.597$ $R_2 = 6.705$ $R_3 = 20.188$
5-4	$\frac{2.624s^4 + 91.52s^3 + 506.2s^2 + 598.4s + 125.7}{s^5 + 53.49s^4 + 407.8s^3 + 654.4s^2 + 203.7s + 3.306}$	$p_0 = -0.0172$ $p_1 = -0.3869$ $p_2 = -1.6518$ $p_3 = -6.7440$ $p_4 = -44.6951$ $z_0 = -0.2678$ $z_1 = -1.2639$ $z_2 = -4.9907$ $z_3 = -28.3554$	$L_0 = 1.572$ $L_1 = 3.733$ $L_2 = 3.609$ $L_3 = 2.342$ $L_4 = 0.984$ $R_0 = 0.027$ $R_1 = 1.444$ $R_2 = 5.961$ $R_3 = 15.795$ $R_4 = 44.002$
6-5	$\frac{2.845s^5 + 202s^4 + 2605s^3 + 8506s^2 + 7320s + 1256}{s^6 + 102s^5 + 1761s^4 + 7462s^3 + 8449s^2 + 2107s + 30}$	$p_0 = -0.0149$ $p_1 = -0.3248$ $p_2 = -1.2538$ $p_3 = -4.0213$ $p_4 = -14.7824$ $p_5 = -81.9150$ $z_0 = -0.2277$ $z_1 = -0.9866$ $z_2 = -3.1745$ $z_3 = -11.1455$ $z_4 = -55.5505$	$L_0 = 1.619$ $L_1 = 4.033$ $L_2 = 4.319$ $L_3 = 3.375$ $L_4 = 2.123$ $L_5 = 1.020$ $R_0 = 0.024$ $R_1 = 1.310$ $R_2 = 5.415$ $R_3 = 13.571$ $R_4 = 31.377$ $R_5 = 83.568$

For the obtained approximated admittance functions, the values of poles and zeros are also presented in Table 2. All the values of poles and zeros are negative, and all the poles and zeros are in alternate order. Hence the approximated admittance function can be realized only using passive elements as depicted in Fig. 4. Moreover, the values of the passive elements used in the approximation circuit is given Table 2.

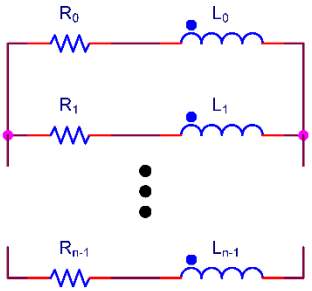


Fig. 4: The approximated fractional order inductor circuit.

3. SIMULATIONS

In this section, the actual and approximated impedance function plots are given for the fractional order capacitor in Fig. 5, and the actual and approximated admittance function plots are given for the fractional order inductor in Fig. 7. Also, the simulation results of the approximated fractional order capacitor are presented.

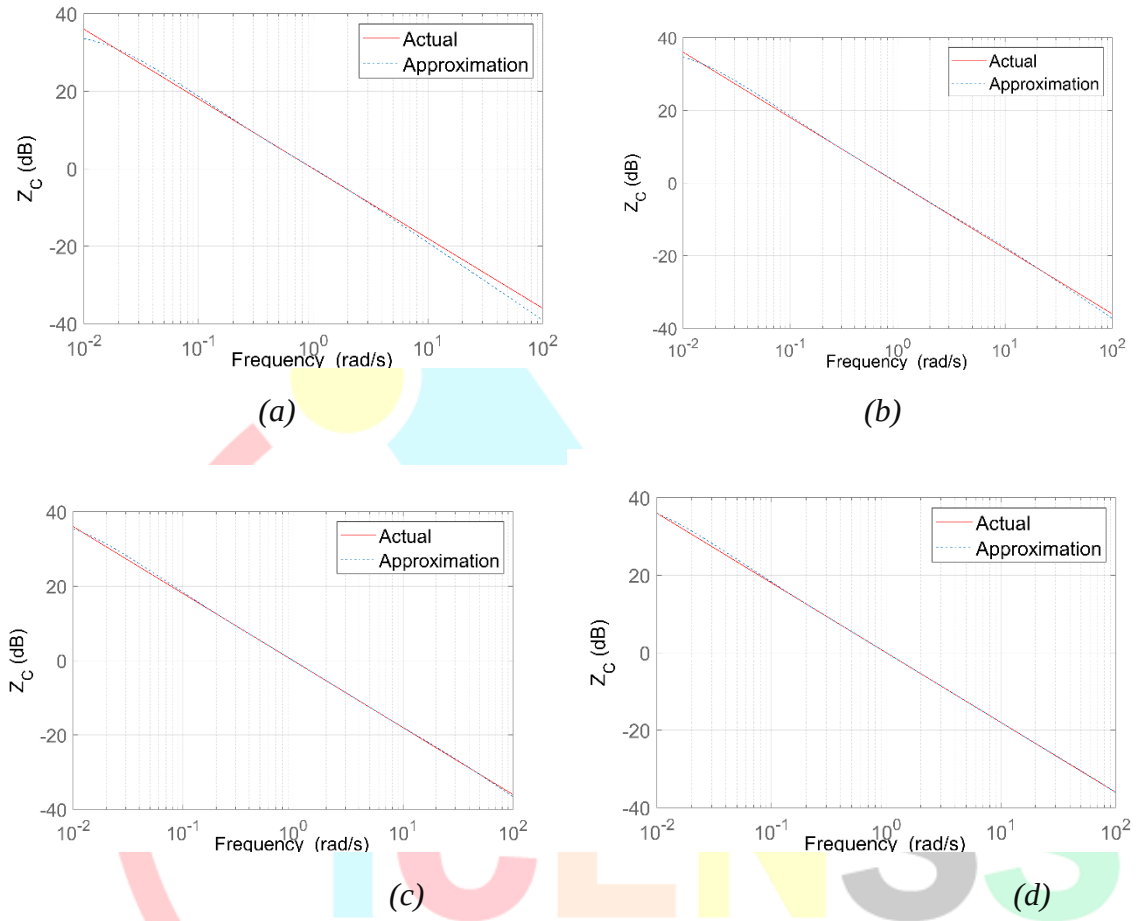
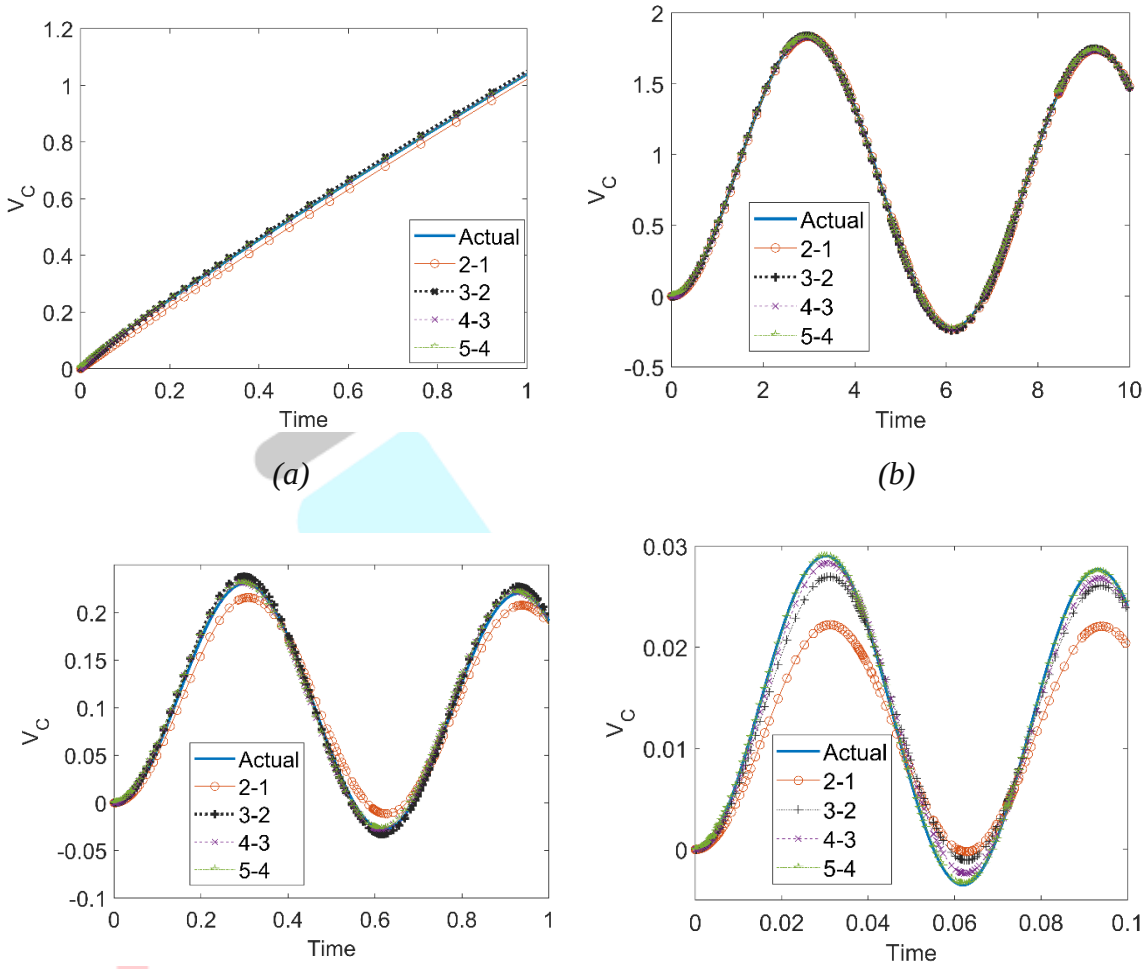


Fig. 5: The approximated vs the actual impedance of the fractional order capacitor. For the number of poles-zeros a) 2-1 b) 3-2 c) 4-3 d) 5-4

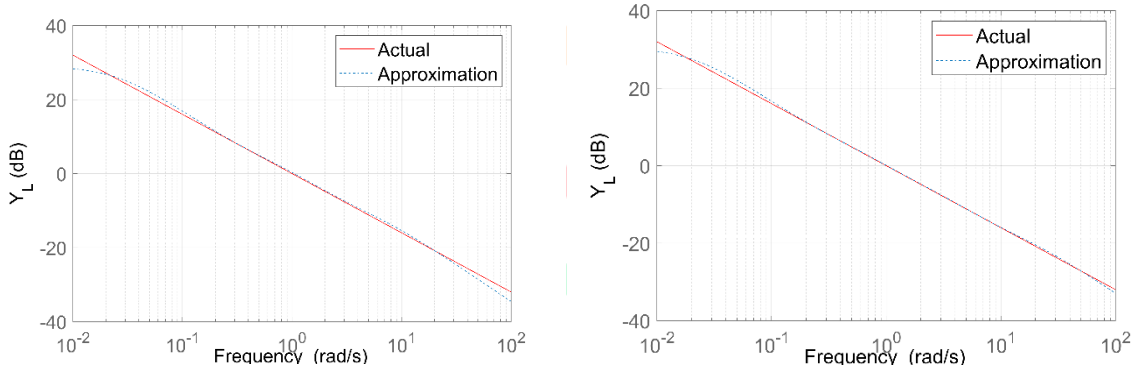
In Fig. 6, the simulation results of the fractional order capacitor for different input signals are shown. As a current source, in (a) unit step, in (b) $\sin(t)$, in (c) $\sin(10t)$ and in (d) $\sin(100t)$ function is applied, and the resultant voltages of the approximated fractional order capacitors are plotted. In all cases, the higher number of pole zero pairs produces the most accurate results as in seen in the figure.



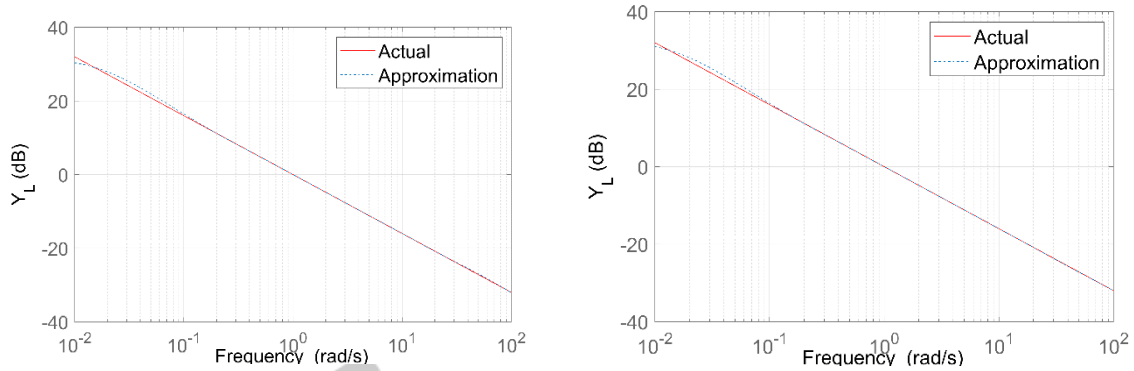
(a) *(b)*

(c) *(d)*

Fig. 6: The simulation results of the fractional order capacitor for different input signal a) unit step function, b) $sin(t)$, c) $sin(10t)$, d) $sin(100t)$



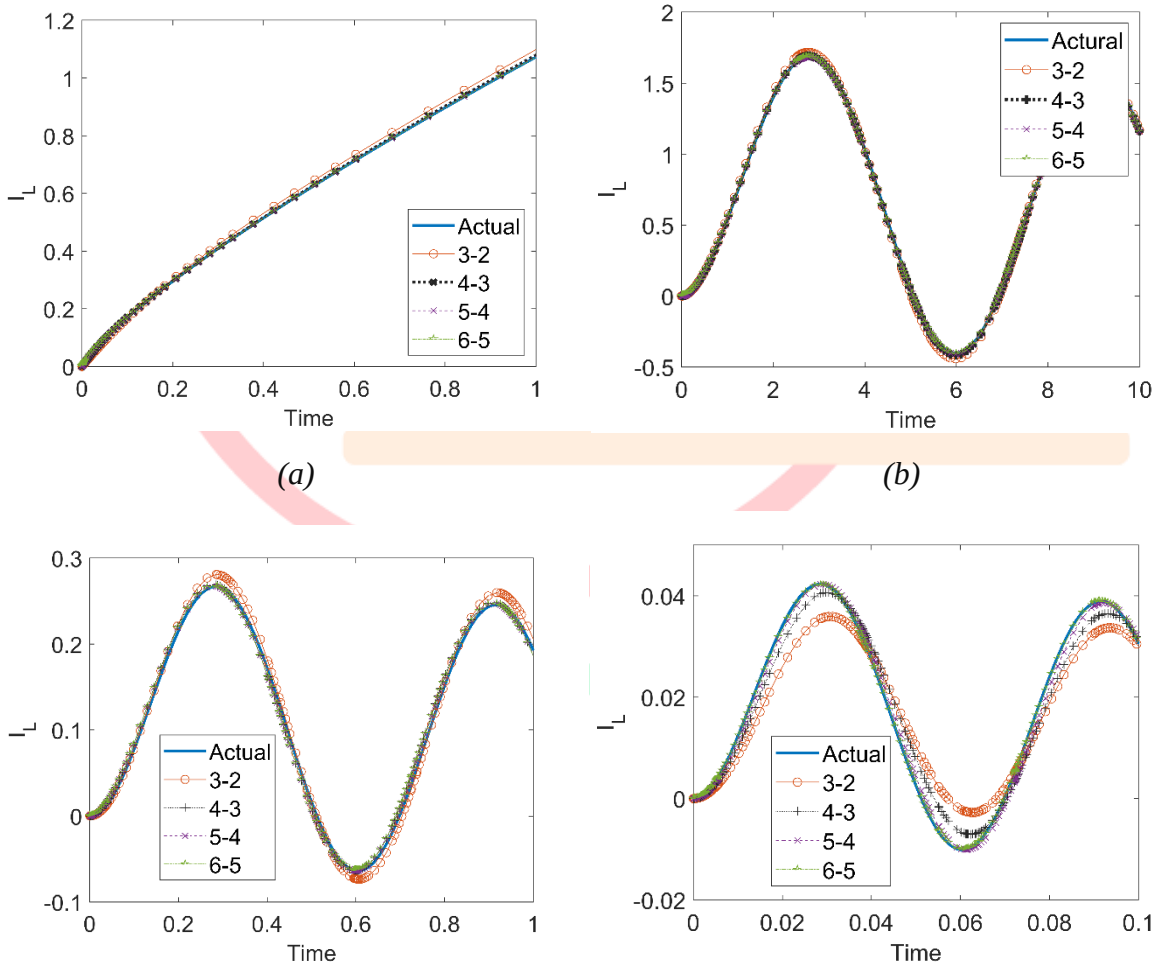
(a) *(b)*



(c) *(d)*

Fig. 7: The approximated vs the actual admittance of the fractional order capacitor. For the number of poles-zeros a) 3-2 b) 4-3 c) 5-4 d) 6-5

In Fig. 8, the simulation results of the fractional order inductor for different input signals are shown. As a voltage source, in (a) unit step, in (b) $\sin(t)$, in (c) $\sin(10t)$ and in (d) $\sin(100t)$ function is applied, and the resultant voltages of the approximated fractional order inductors are plotted. In all cases, the higher number of pole zero pairs produces the most accurate results as in seen in the figure.



(a) *(b)*

(c) *(d)*

Fig 8: The simulation results of the fractional order inductor for different input signal a) unit step function, b) $sin(t)$, c) $sin(10t)$, d) $sin(100t)$

4. CONCLUSION

In this study, the approximation of fractance elements using MATLAB's "tfest" function was investigated. By utilizing system identification techniques, fractional-order impedance and admittance functions are successfully modelled, enabling their practical realization with passive electrical components. The numerical results demonstrated that increasing the number of pole-zero pairs improves the accuracy of the approximations, aligning well with theoretical expectations. Simulation results validated the effectiveness of the proposed approach, showing that the approximated fractional-order capacitor and inductor circuits exhibit behaviour closely matching their actual fractional counterparts. The findings of this study contribute to the broader application of fractional-order circuit elements in various engineering domains, including control systems, biomedical applications, and signal processing. Future research may focus on refining the approximation accuracy further by optimizing the pole-zero placement or integrating machine learning techniques to enhance the system identification process.

ISBN: 978-625-372-661-4

REFERENCES

Freeborn, T. J. (2013). A survey of fractional-order circuit models for biology and biomedicine. *IEEE Journal on emerging and selected topics in circuits and systems*, *3*(3), 416-424.

Korkmaz, N., & Saçu, İ. E. (2021). An efficient design procedure to implement the fractional-order chaotic jerk systems with the programmable analog platform. *Chaos Theory and Applications*, *3*(2), 59-66.

Meng, F., Wang, Z., Jiang, H., & Shi, X. (2025). Dynamics analysis of fractional-order extended neuron model under electromagnetic field and application to image encryption. *Nonlinear Dynamics*, *113*(6), 5755-5771.

Shah, Z. M., Kathjoo, M. Y., Khanday, F. A., Biswas, K., & Psychalinos, C. (2019). A survey of single and multi-component Fractional-Order Elements (FOEs) and their applications. *Microelectronics Journal*, *84*, 9-25.

Shaheen, M. A., Hasanien, H. M., Mekhamer, S. F., & Talaat, H. E. (2024). Walrus optimizer-based optimal fractional order PID control for performance enhancement of offshore wind farms. *Scientific Reports*, *14*(1), 17636.

Shahen, N. H. M., Rahman, M. M., Alshomrani, A. S., & Inc, M. (2023). On fractional order computational solutions of low-pass electrical transmission line model with the sense of conformable derivative. *Alexandria Engineering Journal*, *81*, 87-100.

Srivastava, M. H., Ahmad, H., Ahmad, I., Thounthong, P., & Khan, N. M. (2021). Numerical simulation of 3-D fractional-order convection-diffusion PDE by a local meshless method. *Thermal Science*, *25*(1 Part A), 347-358.

System Identification toolbox, https://www.mathworks.com/products/sysid.html, Accessed: March 26, 2025

Tfest function, https://www.mathworks.com/help/ident/ref/tfest.html, Accessed: March 26, 2025

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

THE INFLUENCE OF ECE R26 ON BUMPER DESİGN

Burak YAVUZ[1]
Ahmetcan ŞAHİN[2]

Abstract

The automotive industry has proceeded significant advancements in bumper design, by the two objectives that are enhancing vehicle aesthetics and ensuring occupant and pedestrian safety. This paper explores the evolution of bumper design, diving into the interaction between design languages, functional features and materials in modern applications. From early bumper structures to today's advanced systems, bumpers have evolved to balance style with utility, representing the brand face and effecting many other performances such as Aerodynamics. A key focus of this study is how Regulation No. 26 of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), commonly referred to as ECE R26, which establishes uniform provisions for approving vehicles with regard to their external projections, influenced, especially the amount of bending of curvatures that are measured as radius of the curvature, bumper designs. This regulation has influenced bumper design by requesting specific safety criteria, such as minimizing injury risk by controlled protrusions and edge configurations. This paper shows the historical progression of bumper design, examines the technical and aesthetic features shaped by Regulation No. 26, and evaluates vehicle safety performance from the perspective of the pedestrian and also highlights how regulatory compliance has reshaped design innovation and enhancing overall safety outcomes.

Keywords: ECE R26, bumper design, homologation, regulatory compliance, pedestrian safety.

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcid: Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.,
[2] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcid: Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.,

ISBN: 978-625-372-661-4

INTRODUCTION

Bumper design represents an important intersection of function, and safety in the automotive industry. It serves as a protective barrier and a defining aesthetic component of a car. Over the decades, bumpers have evolved from big shiny coated steels to sophisticated systems that integrate advanced materials, aerodynamic principles, and the latest technologies, reflecting the industry's answer to changing customer expectations and regulatory mandates. This evolution has been proceeded by a variety of consideration, including the need to enhance car aesthetics through distinctive design languages, improve safety with functional features, and address priorities such as sustainability and the integration of smart car systems. Materials have transitioned from metals to lightweight plastics and composites, that is allowing design flexibility and efficiency, also extra perspectives such as aerodynamics and advanced driver-assistance systems (ADAS). All these have changed the roles of bumper in modern cars [1]. One of the main reasons of this transformation is Regulation No. 26 or ECE R26, which establishes stringent safety standards for external vehicle projections, directly influencing bumper designs to minimize injury risks [2]. This paper explains the multifaceted evolution of bumper design and the specific impact of ECE R26. First, "Bumper Design: Evolution and Characteristics" traces the historical progression and explores design languages, materials, aerodynamics, sustainability, and technological integration. Second, "Regulation R26 (ECE R26)" details the regulation's requirements and its effects on bumper safety and design innovation. All in all, these sections highlight how bumpers have adapted to balance aesthetics, performance, and regulatory compliance, contributing to safer and more efficient car.

BUMPER DESIGN: EVOLUTION AND CHARACTERISTICS

Historical Evolution

Bumper design has transformed significantly over time. Initially, bumpers were simple metal bars, introduced in the early 20th century as attractive features rather than protective components. By the late 20th century, plastic bumpers became more common, often treated as optional accessories until manufacturers began integrating them into car styling, making them both decorative and functional.

Image 1 [8]



Image 2 [9]



This update showed that bumpers are key components of a car's design language, reflecting brand identity—such as Fiat 500 bumper while enhancing visual appeal [3]. As safety became a priority by the introduction of regulations, bumpers are updated to protect pedestrian and car components in low-speed collisions [4].

Image 3 [10]



Materials and Manufacturing

By the 1980s, a transition to lighter plastic bumpers such as thermoplastic olefin (TPO) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS) emerged, providing fuel efficiency and improved energy absorption. These plastics, along with composites such as fiberglass, allowed for design flexibility and weight reduction, aligning with modern demands [5]. Today, bumpers are a holding advanced features such as parking sensors, fog lights, air intakes, ADAS systems.

Aerodynamics and Performance

Bumper Aerodynamics has become a critical point that reduces drag. Designers and engineers can control how air flows over the car and interacts with other components, like the hood, sides, and underbody and they can improve fuel economy and stability [6].

UNECE REGULATION NO. 26

Overview and Purpose

Regulation No. 26 of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), known as ECE R26, establishes uniform provisions for approving vehicles regarding their external projections, significantly influencing bumper design. Its first aim is to reduce injury risk to pedestrians and occupants by addressing sharp edges and protrusions during collisions [7].

Technical Requirements

6.3.1: If contactable by 100 mm diameter sphere, for the gaps measuring between 25 mm and 40 mm on air intake or outlet grilles and radiator grilles, the radius of curvature must be at least 1mm. However, if the spacing between two adjacent elements is 25 mm or less, the radius of curvature on the external surfaces of those elements must be at least 0.5 mm.

6.5.1: Bumper ends must be turned inward toward the car's surface to reduce the chance of snagging. This is valid if the bumper is integrated into the bodywork or its end is shaped so a 100 mm diameter sphere can't touch it, with a gap of no more than 20 mm between the bumper end and surrounding bodywork.

6.5.2: If the bumper's outer edge (aligned with the car's vertical outline) is on a rigid surface, that surface must have a minimum radius of curvature of 5 mm within 20 mm inward from the edge, and 2.5 mm elsewhere.

6.5.3: The curvature rules don't apply to bumper parts or insets protruding less than 5 mm (e.g., joint covers, headlamp washer jets). However, any outward-facing angles on these parts must be blunted unless the protrusion is less than 1.5 mm.

In essence, these rules ensure bumpers are designed with smooth, rounded edges and minimal protrusions to enhance safety and reduce the risk of catching on external objects [7].

THE EFFECTS OF ECE R26 ON BUMPER DESIGN

The cases below show how the design of a gap on front bumper is affected by ECE R26. In the first scenario, since the gap between two touching points of 100 mm diameter sphere is less than 25 mm, the radius of curvature of these two touching points must be at least 0.5 mm.

Figure 1: *A geometry of a gap on a front bumper*

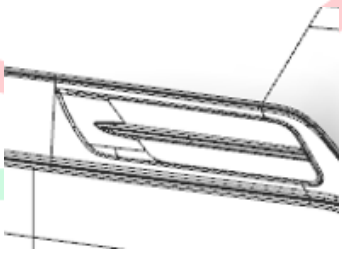
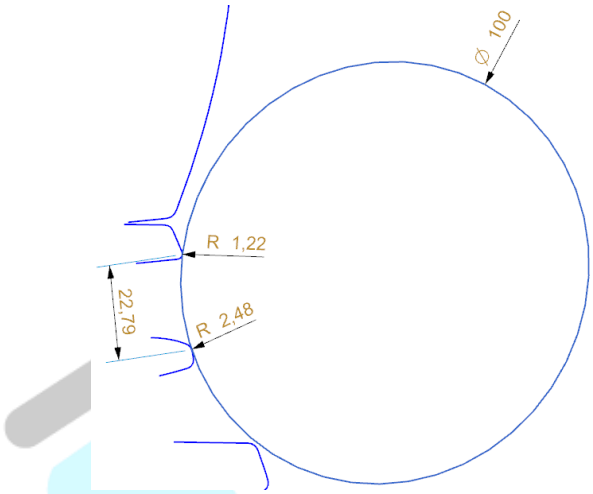


***Figure 2**: Section of the gap in Figure 1 with 100 mm diameter sphere*



Here, the radius of curvatures are 1.22 mm and 2.48 mm, and the gap is 22.79 mm. This scenario meets the ECE R26 requirements, since the radius of curvatures are bigger than 0.5 mm. If they had been less than 0.5 mm, they would have needed to be modified to meet the ECE R26 regulation requirements.

***Figure 3**: An air intake grille geometry on a front bumper*

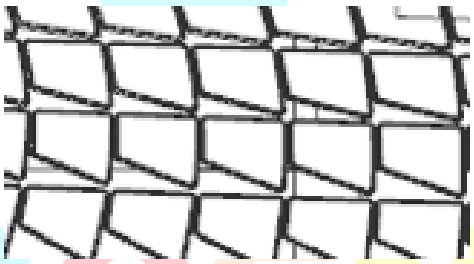
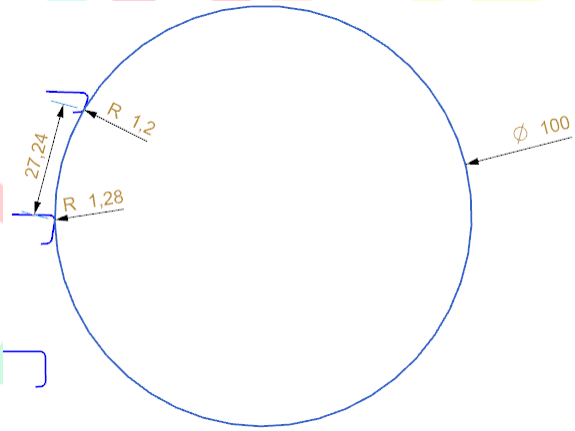


***Figure 4**: Section of the gap in Figure 3 with 100 mm diameter sphere*



Here, the radius of curvatures are 1.2 mm and 1.28 mm, and the gap is 27.24 mm. This scenario meets the ECE R26 requirements, since the radius of curvatures are bigger than 1 mm. If they had been less than 1 mm, they would have needed to be modified to meet the ECE R26 regulation requirements.

Figure 5: *A rear bumper geometry and a sphere representing the head-form*

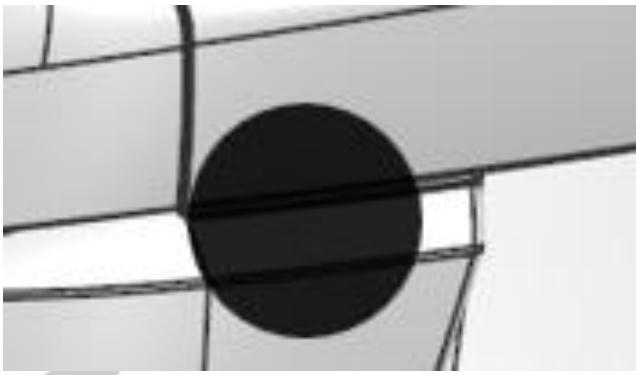
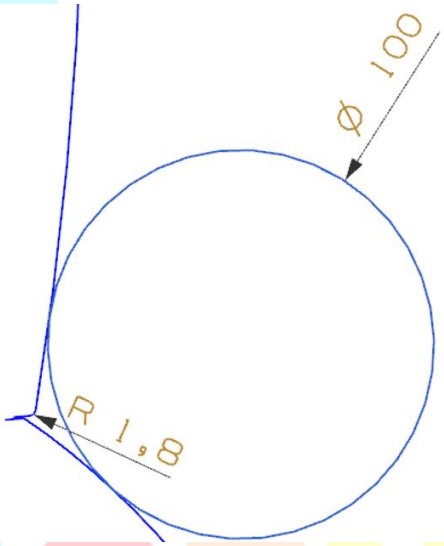


Figure 6: *Section of the rear bumper in Figure 5 with 100 mm diameter sphere*



Here, since the curvature with radius of 1.8 mm is not contactable by the 100 mm diameter sphere, the provisions of ECE R26 is not applied to this curvature. This approach, making the curvature not contactable by the 100 mm diameter sphere, can be used when designing small radius of curvature edges on the front and rear bumpers while at the same time avoiding from minimum radius of curvature requirements in ECE R26.

CONCLUSION

Bumper design has changed significantly over time, being affected by safety concerns and regulations like ECE R26. This standard has affected whole car design, as shaping the car with minimum radius of curvature requirements considering protrusions and being contactable by 100 mm diameter sphere head-form, into one of the safety features, prioritizing pedestrian protection. As a result, pedestrian safety remains a fundamental factor in the ongoing evolution of automotive engineering**.**

ISBN: 978-625-372-661-4

REFERENCES

[1] Badell's Collision, "The Evolution of Bumpers," 2018.
[2] UNECE, "Regulation No. 26 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to their external projections," 2013.
[3] CNET, "The language of automotive design: Nine brands," 2011.
[4] Popular Science, "Why don't cars have bulky bumpers anymore?," 2025.
[5] Knauf Automotive, "Plastic bumper manufacturing and history," 2020.
[6] ResearchGate, "Aerodynamic optimization analysis of the front bumper side of the vehicle," 2023.
[7] UNECE, "Regulation No. 26 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to their external projections," 2013.
[8] https://www.topgear.com/car-news/retro/original-fiat-500s-eu9000
[9] https://www.fiat.co.uk/
[10] www.media.stellantis.com/

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

THE EFFECT OF FİBER WİNDİNG ANGLE ON THE STRUCTURAL STRENGTH OF A TYPE IV COMPOSİTE PRESSURE VESSEL

Ceyhun ŞAHİN[1]
Ahmet Hanifi ERTAŞ[2]

Abstract

One of the prominent storage methods in today's hydrogen-powered vehicles is the high-pressure storage of hydrogen in its gaseous phase. In this context, among the various tank types, Type IV composite pressure vessels have become a widely preferred solution due to their advantages such as light weight, high mechanical strength, and long service life. These metal-free tanks are manufactured by winding carbon fiber reinforced epoxy resin over a high-density polyethylene (HDPE) liner, providing both weight reduction and resistance to corrosion from a structural perspective. In this study, the effect of fiber winding angle on the structural performance of Type IV hydrogen tanks was investigated parametrically. Various configurations were created by applying different helical (±θ) and hoop (90°) winding angles to the composite structure formed through the filament winding process. The mechanical behavior of the tank under internal pressure was evaluated using finite element analysis (FEA). In addition, the analysis results were compared with widely used theoretical approaches found in the literature. The results revealed that helical winding within specific angular ranges helps to balance axial and hoop stresses, thereby enhancing the overall structural integrity. These findings contribute to the identification of critical design parameters in terms of both safety and mechanical efficiency. The outcomes of this study offer valuable guidance for the design process of future hydrogen storage systems.

Keywords: Composite tanks, Netting analysis, Type IV tank, Finite element methods, Structural Analysis

[1] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering & Natural Sciences, Bursa Technical University, Orcid: 0009-0003-7838-6484 / TOFAS Turk Otomobil Fabrikası A.Ş. ceyhun.sahin@tofas.com.tr
[2] Prof.Dr., Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering & Natural Sciences, Bursa Technical University, Orcid: 0000-0002-6253-7597

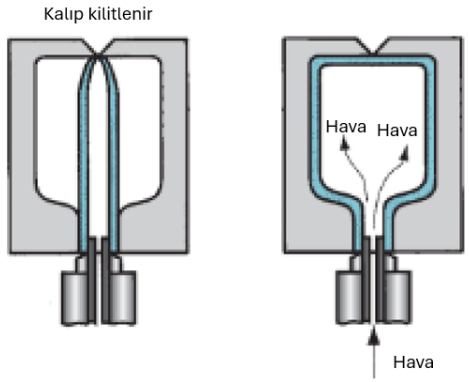
ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Son yıllarda enerji kaynaklarında sürdürülebilirlik arayışı arttıkça, çevre dostu ve verimli alternatif yakıtlara olan ilgi de hızla artmaktadır. Bu alternatif yakıtlardan biri olan hidrojen gazı, özellikle ulaşım sektöründe sıfır emisyonlu yakıt hücreli araçlarla birlikte sıkça gündeme gelmektedir. Ancak hidrojenin yüksek basınç altında güvenli bir şekilde depolanması, teknik olarak hâlâ en büyük zorluklardan biridir. Bu noktada, içi plastik astarlı (HDPE,PA,PET,…) ve dışı fiber sargılı olan Tip IV kompozit tanklar, hem hafiflikleri hem de yüksek basınca dayanıklılıkları sayesinde öne çıkmaktadır.

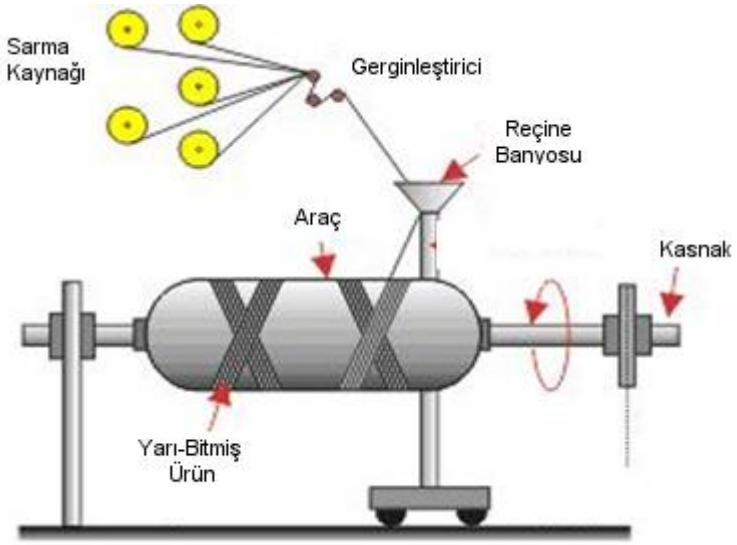
Kompozit tanklarda birçok farklı yöntemle astar(liner) üretimi mevcuttur. Üretim yöntemi seçimi büyük oranda parçanın istenilen geometrisine bağlıdır. Tip IV tankların plastik astarlarında genellikle Blow-molding(üfleme kalıplama) yöntemi kullanılmaktadır. Liner üretildikten sonra ise etrafına karbon fiber gibi takviye sargı katmanları uygulanmaktadır.

Şekil 1'de Blow-molding prosesi gösterilmiştir. Sıcak plastiğin içine parizondan hava üflenerek malzemenin kalıbın şeklini alması sağlanır.



Şekil 1: *Blow-Molding(Şişirme Kalıplama) (Yousaf, 2023)*

Üretilen astarın çevresine filament sarma yöntemi ile fiber malzeme sarılır. Şekil 2'de filament sarma yöntemi şematize edilmiştir. Sarım sürecinde elyaf makaradan çözülür, gerginleştirilir ve reçine ile kaplanır. Reçine ile kaplanan lifler liner üzerine istenilen açılarla sarar. Sarım tamamlandıktan sonra ise kürleme fırınına sokulur ve reçine sertleştirilir. Böylece kompozit tank üretilmiş olur.



Şekil 2: *Silindirik bir tanka filament sarım prosesi (Yousaf, 2023)*

Tip IV depolama tanklarının tankların sağlamlığı, sadece kullanılan malzemeye değil, aynı zamanda liflerin hangi açıyla sarıldığına da doğrudan bağlıdır. Literatürde çeşitli sarım açıları kullanılarak yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarda, sarım açısının tank dayanımı üzerindeki kritik rolüne dikkat çekilmiştir. Ancak, farklı sarım konfigürasyonlarının eksenel ve çevresel gerilme dağılımı üzerindeki etkilerini detaylı inceleyen çalışmalar sınırlıdır.

Önder Aziz (Önder, 2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, filament sarımlı kompozit basınçlı kapların ilk hasar basıncına sarım açısının etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmada, simetrik ve antisimetrik şekilde yerleştirilmiş dört katmanlı E-cam/epoksi kompozit örnekler, farklı açılarda ([±45°], [±55°], [±60°], [±75°], [±88°]) sarılmış ve hem deneysel hem de ANSYS ortamında sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Elastik çözümde Lekhnitskii teorisi kullanılmış ve ilk tabaka hasarını tahmin etmek için Tsai-Wu hasar kriteri uygulanmıştır. Analizler sonucunda, çok katmanlı lamine yapılarda en yüksek ilk hasar basıncının ±55° sarım açısında elde edildiği belirlenmiştir. Tek yönlü (tek tabaka) sargı için ise optimum açı 90° olarak rapor edilmiştir. Bu bulgular, filament sarımlı kompozit kapların mekanik performansının doğrudan sarım açısına bağlı olduğunu ve doğru açı seçiminin yapısal verimlilik açısından kritik olduğunu göstermektedir.

Kalaycıoğlu ve Dirikolu (Kalaycıoğlu, (2009))tarafından yapılan çalışmada, TSE'ye göre Tip-3 sınıfına giren dikişsiz metal astarlı ve kompozit sargılı basınçlı tankların tasarımı, ağ analizi ve klasik katman teorisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, fiber yönünde taşıma varsayımıyla matris malzemenin katkısı ihmal edilerek, helisel (±20°) ve teğetsel (90°) sarımların kalınlık oranlarının patlama basıncına etkisi incelenmiştir. Yapılan analizlerde ±20° helisel ve 90° teğetsel sargı kombinasyonlarında, 90°'lik sarım açısına sahip katmanın kalınlığının artırılmasının, tankın patlama basıncı üzerinde daha olumlu bir etki yarattığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca simetrik ve antisimetrik tabaka dizilimleri karşılaştırılmış; simetrik dizilimlerde daha yüksek patlama basınçları elde edilmiştir. Analitik ve sayısal sonuçlar, kompozit katmanların sarım açılarının ve düzenlerinin mekanik performans üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur.

Saif ve ark. (Saif, 2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, filament sarım yöntemiyle üretilen kompozit basınçlı kaplarda farklı katman açılarının (0°/90°, ±55°, ±75°) patlama basıncına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Nylon 66 fiber ve epoksi matris kombinasyonu kullanılarak imal edilen numunelerde, üretim sonrası mekanik testler (çekme, düşme, hidrostatik basınç vs.) uygulanmıştır. Deneysel sonuçlara göre, ±75° sarım açısına sahip numuneler, hem patlama basıncı hem de çekme dayanımı açısından diğer açılara kıyasla en yüksek değerlere ulaşmıştır. Özellikle ±75° açıyla sarılmış numuneler 14 bar patlama basıncı ile en yüksek değere ulaşırken, ±55° için 12 bar, 0°/90° kombinasyonu için ise sadece

2 bar elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, ±75° sarım açısı, bu tip kaplar için optimum açı olarak önerilmiştir.

YÖNTEM

Bu çalışmada, literatürde sık kullanılan ±54,74° ve ±45° gibi açılardan farklı olarak, özgün bir tasarım yaklaşımıyla ±30°, ±65° ve ±75° sarım açıları seçilmiştir. Bu açılar, hem düşük hem yüksek helisel yönelimleri birleştirerek hem eksenel hem de teğetsel yük aktarımını optimize etme potansiyeli taşımasından ve literarürde daha az incelenmiş olmasından dolayı tercih edilmiştir. Katman kalınlıkları sabit tutulup her bir açıya ait değişimler, fiber yönündeki kuvvet bileşenleri göz önünde bulundurularak gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ANSYS Composite PrepPost modülünde yapılan sonlu elemanlar analizleriyle yapılmış ve önerilen açı kombinasyonunun yapısal performansı değerlendirilmiştir.

Ağ Analizi Yöntemi

Ağ analizi, filament sarımlı kompozit basınçlı kapların tasarımında kullanılan analitik bir yöntem olup, yapının yük taşıma kapasitesini yalnızca fiberlerin taşıdığı teğetsel ve eksenel kuvvetler üzerinden değerlendiren basitleştirilmiş bir yaklaşımdır. Bu yaklasımda eğilme, kayma ve burkulmadan dolayı olusacak etkiler ihmal edilmekte ve yükün sadece elyaf doğrultusunda taşındığı varsayılmaktadır (Kalaycıoğlu, (2009)).

N_x birim uzunluktaki eksenel kuvveti, N_h ise birim uzunluktaki teğetsel kuvveti ifade etmektedir. P, tankın iç basıncı, R tankın iç çapını, σ_f malzemenin çekme gerilmesini, t_f fiber malzemeninin kalınlığını ve ±θ ise sarım açısını ifade etmektedir.

Denklem 1'de eksenel yöndeki kuvvet bağıntısı verilmiştir. Bu denklem, iç basınç altında tankın ekseni boyunca oluşan gerilmenin, fiberlerin bu yöndeki bileşeni tarafından karşılandığını gösterir.

$$N_x = \frac{PR}{2} = \sigma_f t_f \cos^2\theta \quad (1)$$

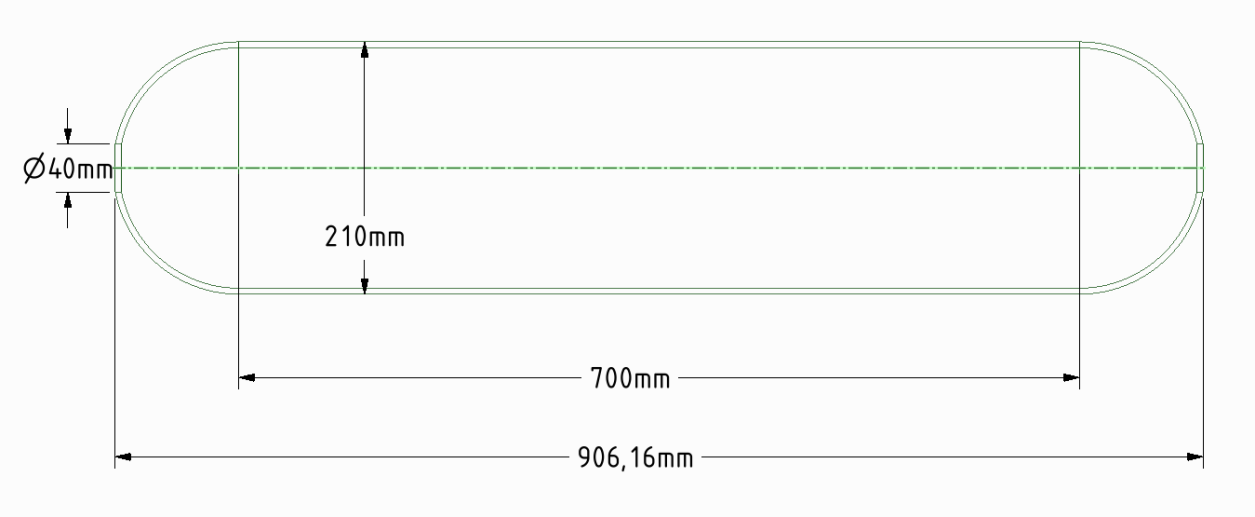
Denklem 2'de teğetsel yöndeki kuvvet bağıntısı verilmiştir. Bu denklem ise çevresel (hoop) yönde oluşan kuvvetin, fiberlerin bu yöndeki bileşeniyle taşındığını ifade eder.

$$N_h = PR = \sigma_f t_f \sin^2\theta \quad (2)$$

Ağ analizinde, yalnızca fiberlerin taşıdığı yük dikkate alınmakta; matris malzemesinin katkısı ihmal edilmektedir. Bu kapsamda, hem eksenel (boyuna) hem de teğetsel (çevresel/hoop) yönde oluşan gerilmeler fiber bileşenlerine ayrılarak hesaplama yapılmaktadır.

Modelleme ve Analiz

Şekil 3'de boyutları verilen kompozit basınçlı tank modeli için ağ analizi yöntemi kullanılarak gerekli filament kalınlıkları hesaplanmıştır. Yapının geometrisi, silindirik gövde ve yarım küre başlıklardan(dome) oluşmaktadır. Silindirik gövde uzunluğu 700 mm, dış çapı 210 mm ve tankın kalınlığı 5mm'dir. Hesaplamalarda çalışma basıncı 40 MPa olarak alınmıştır.



Şekil 3. *Kullanılan tank ölçüleri*

Liner malzeme olarak HDPE kullanılmış olup kompozit malzeme olarak da Epoxy Carbon Woven kullanılmıştır. Bu malzemeler ANSYS Workbench kütüphanesinden alınmış olup malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 3: *Epoxy Carbon Woven malzeme özellikleri*

Density	1480 kg/m³
Young's modulus X-direction	91,8 Gpa
Young's modulus Y-direction	91,8 Gpa
Young's modulus Z-direction	9 Gpa
Poisson's ratio XY	0.05
Poisson's ratio YZ	0.3
Poisson's ratio XZ	0.3
Shear modulus XY	19500 MPa
Shear modulus YZ	3000MPa
Shear modulus XZ	3000 MPa
Tensile Stress X-direction	829 MPa
Tensile Stress Y-direction	829 MPa
Tensile Stress Z-direction	50 MPa
Compression Stress X-direction	−439 MPa
Compression Stress Y-direction	−439 MPa
Compression Stress Z-direction	−140 MPa
Shear Stress XY	120 MPa
Shear Stress YZ	50 MPa
Shear Stress XZ	50 MPa

Tablo 4: HDPE malzeme özellikleri

Density	958 kg/m³
Young's modulus	1080 MPa
Poisson's ratio	0.418
Shear modulus XY	380 MPa
Tensile Yield Strenght	25.7 MPa
Bulk Modulus	2195 MPa
Tensile Ultimate Strenght	29.6 MPa

Çalışmada farklı sarım açılarının yapısal dayanımı incelendiğinden çalışma basıncı, geometri, kompozit katman sayısı, kalınlık ve malzeme sabit tutulup $[\pm15]_{10}$ / [0,90], $[\pm30]_{10}$ / [0,90], $[\pm45]_{10}$ / [0,90], $[\pm54.74]_{10}$ / [0,90], $[\pm65]_{10}$ / [0,90], $[\pm75]_{10}$ / [0,90] sarım açıları ile kompozit tank modellenmiştir. Belirtildiği gibi 11. ve 12. Katmanlar sırasıyla 0° ve 90° olarak sarılmıştır.

Tablo 5: *Her katman için Maksimum Ana Gerilme değerleri (MPa)*

Ply No	[±15]	[±30]	[±45]	[±54.74]	[±65]	[±75]
Ply 1	382.76	375.00	358.88	367.98	379.49	382.76
Ply 2	374.84	367.95	352.05	361.22	372.09	374.84
Ply 3	367.87	361.78	346.52	355.43	365.56	367.86
Ply 4	362.04	356.52	341.82	350.46	360.25	362.04
Ply 5	356.28	351.54	337.50	345.73	354.94	356.28
Ply 6	351.46	347.56	333.71	341.94	350.62	351.46
Ply 7	346.48	343.47	330.71	338.36	346.20	346.49
Ply 8	342.39	340.42	328.20	335.57	342.79	342.39
Ply 9	338.15	337.18	326.16	332.90	339.07	338.16
Ply 10	334.79	334.71	324.62	330.86	336.26	334.79
Ply 11	342.09	383.04	415.03	399.44	367.08	342.09
Ply 12	338.75	379.37	411.16	395.66	363.51	338.75

Tablo 3'teki verilere göre gerilme dağılımları tüm sarım açıları boyunca incelendiğinde, ±45° ve ±54.74° açı kombinasyonlarının hem merkezdeki hem de dıştaki son katmanlarda en verimli yük aktarımını sağladığı gözlemlenmiştir. ±45° konfigürasyonunda, Ply 10'da en düşük gerilme değeri görülmüş (324.62 MPa), ardından Ply 11 ve 12'de sırasıyla 415.03 MPa ve 411.16 MPa ile en yüksek değerlere ulaşılmıştır. Bu durum, yükün hem eksenel hem çevresel lif yönlerine etkili bir şekilde dağıtıldığını ve 0°–90° liflerin yüksek verimle katkı sunduğunu göstermektedir. Buna karşın ±15° ve ±75° gibi uç açılarda, son katmanlara yük aktarımı sınırlı kalmış ve bu katmanlardaki gerilme katkısı düşük seviyelerde gerçekleşmiştir.

Tablo 6: *X yönündeki Normal Gerilme Değerleri (MPa)*

Ply No	[±15]	[±30]	[±45]	[±54.74]	[±65]	[±75]
Ply 1	261.25	253.92	250.17	251.86	256.31	261.27
Ply 2	222.92	222.17	221.03	221.62	222.69	222.97
Ply 3	195.52	198.68	200.86	199.82	197.44	195.51
Ply 4	178.36	182.54	185.03	183.88	181.11	178.37
Ply 5	164.30	168.86	172.12	170.56	167.08	164.30
Ply 6	154.09	158.23	164.85	159.70	156.74	154.09
Ply 7	144.44	154.88	165.02	160.00	150.05	144.42
Ply 8	149.17	160.59	170.52	165.66	156.02	149.17
Ply 9	156.55	167.65	176.91	172.27	163.24	156.56
Ply 10	164.99	175.67	184.82	180.35	171.19	164.99
Ply 11	166.28	144.43	127.40	135.69	152.94	166.28
Ply 12	184.77	165.18	149.35	157.11	172.92	184.77

X yönündeki normal gerilme dağılımları incelendiğinde, ±15° ve ±75° sarım açıları, dış katmanlarda en yüksek yük aktarımını sağlamış ve son katmanlardaki 0° ve 90° lif yönelimleri anlamlı gerilme seviyelerine ulaşmıştır (184.77 MPa). Buna karşın ±45° ve ±54.74° gibi daha dengeli açı kombinasyonlarında, yük orta katmanlara daha homojen dağılmış; bu sayede

merkezdeki katmanlarda yüksek taşıma kapasitesi oluşmuştur. Özellikle ±45° konfigürasyonunda Ply 11 (0°) katmanında gözlemlenen düşük gerilme (127.40 MPa), yükün eksenel liflere aktarımında sınırlı etkisini göstermektedir. Genel olarak, ±15° ve ±75° gibi uç açılar dış katmanları daha etkin kullanırken, ±45° ve ±54.74° açıları tüm yapıyı ara katmanlarda dengeli şekilde yüklemektedir.

Tablo 7: *Y yönündeki Normal Gerilme Değerleri (MPa)*

Ply No	[±15]	[±30]	[±45]	[±54.74]	[±65]	[±75]
Ply 1	376.74	365.07	357.66	361.05	369.31	376.74
Ply 2	370.05	359.34	351.99	355.45	363.28	370.05
Ply 3	363.30	353.48	346.47	349.85	357.09	363.30
Ply 4	357.54	348.34	341.73	344.94	351.71	357.54
Ply 5	352.02	343.57	337.42	340.39	346.82	352.02
Ply 6	347.26	339.70	333.64	336.62	342.64	347.26
Ply 7	342.56	336.00	330.66	333.29	338.63	342.56
Ply 8	338.54	333.07	328.16	330.60	335.34	338.55
Ply 9	334.59	330.21	326.14	328.18	332.03	334.59
Ply 10	331.27	327.98	324.59	326.31	329.44	331.27
Ply 11	342.02	382.97	414.96	399.37	367.01	342.02
Ply 12	338.51	379.13	410.92	395.43	363.28	338.51

Tablo 5'teki verilere göre Y yönündeki normal gerilme (σ_γ) dağılımları incelendiğinde, ±45° ve ±54.74° sarım açıları, çevresel lif yönelimi ile optimum uyum sağlayarak, özellikle 90° yönelimli Ply 12 katmanında en yüksek gerilme değerlerine ulaşmıştır (410.92 MPa). Bu durum, çevresel yüklerin en dış katmanlara verimli şekilde aktarıldığını göstermektedir. ±30° konfigürasyonunda da son iki katmanda önemli artış gözlemlenmiş olup, 0° lifler yük taşıma kapasitesine ciddi katkı sağlamıştır. Buna karşın ±15° ve ±75° açıları, liflerin çevresel hizalanmasına doğrudan paralel olduğundan ötürü yükü daha çok üst ve orta katmanlarda taşımış; son katmanlarda gerilme değerleri nispeten daha düşük kalmıştır (~342 MPa). Yapının genel performansı açısından ±45° ve ±54.74° açıları, hem iç hem dış katmanlarda yükü dengeli dağıtarak yapısal verimliliği en üst düzeye çıkarmaktadır.

Tablo 8: Kayma Gerilmesi (MPa)

Ply No	[±15]	[±30]	[±45]	[±54.74]	[±65]	[±75]
Ply 1	103.55	103.57	103.62	103.59	103.56	103.55
Ply 2	99.63	99.60	99.65	99.62	99.60	99.63
Ply 3	95.31	95.34	95.40	95.37	95.32	95.31
Ply 4	91.22	91.32	91.44	91.38	91.28	91.22
Ply 5	87.38	87.57	87.74	87.65	87.49	87.38
Ply 6	83.79	84.07	84.30	84.19	83.96	83.79
Ply 7	80.49	80.84	81.12	80.98	80.71	80.49
Ply 8	77.51	77.94	78.25	78.10	77.78	77.51
Ply 9	74.80	75.34	75.83	75.59	75.15	74.80
Ply 10	72.42	73.13	73.66	73.40	72.86	72.42
Ply 11	69.53	67.94	66.54	67.24	68.58	69.53
Ply 12	67.73	66.22	64.88	65.55	66.83	67.73

Katmanlar boyunca kayma gerilmesi dağılımı incelendiğinde, dıştan içe doğru düzenli azalan bir profil gözlemlenmiştir. En yüksek kayma gerilmesi değerleri tüm sarım açıları için dış katmanda (Ply 1: ~103.5 MPa) oluşurken, iç katmanlarda (Ply 12: ~65 MPa) bu değerler önemli ölçüde düşmektedir. ±45° ve ±54,74° açı kombinasyonları, kesme gerilmesinin tüm katmanlara dengeli şekilde dağıldığı optimum yönelimler olarak öne çıkmaktadır. Özellikle ±54,74°'te lif yönelimi ile kesme yükü yönünün uyumu sayesinde matris üzerindeki gerilme azaltılmış, bu da kesme dayanımı açısından ideal bir yapı sağlamıştır. ±15° ve ±75° konfigürasyonlarında ise lifler kesme yüküne dik yerleştiğinden ötürü yük matriste yoğunlaşmakta, bu da yapının daha fazla deformasyon göstermesine neden olabilmektedir.

Tablo 9: *Lif Yönündeki Gerilme (Boyuna-S11)(MPa)*

Ply No	[±15]	[±30]	[±45]	[±54.74]	[±65]	[±75]
Ply 1	244.03	235.77	263.1	324.81	361.28	374.23
Ply 2	213.07	214.18	258.85	319.36	365.06	367.33
Ply 3	190.55	191.32	255.16	314.69	349.23	360.9
Ply 4	175.85	178.68	251.86	310.8	344.53	355.57
Ply 5	162.87	166.26	249.03	307.02	339.7	350.05
Ply 6	153.52	165.23	247.09	304.31	336.17	345.61
Ply 7	146.68	166.03	246.29	301.9	332.16	340.87
Ply 8	145.91	169.96	246.89	300.59	329.47	337.17
Ply 9	153.38	176.14	248.41	299.27	326.28	333.15
Ply 10	161.05	182.39	250.5	298.82	324.14	330.06
Ply 11	161.1	138.84	130.55	131.84	147.49	161.1
Ply 12	337.35	377.75	409.49	394	362.04	337.35

Tablo 10: *Life dik yöndeki gerilme (Enine-S22)(MPa)*

Ply No	[±15]	[±30]	[±45]	[±54.74]	[±65]	[±75]
Ply 1	374.23	347.26	263.18	231.63	239.12	244
Ply 2	367.34	341.62	258.85	212.68	214.52	213.01
Ply 3	360.9	336.26	255.16	193	191.23	190.56
Ply 4	355.57	331.84	251.86	191.09	178.02	175.82
Ply 5	350.05	327.52	249.03	189.29	164.04	162.86
Ply 6	345.6	324.43	247.09	187.67	155.04	153.53
Ply 7	340.87	321.12	246.3	187.98	152.32	146.67
Ply 8	337.18	319.01	246.88	190.83	157.28	145.91
Ply 9	333.15	316.63	248.41	195.49	164.19	153.38
Ply 10	330.05	315.09	250.5	200.77	171.21	161.06
Ply 11	340.25	380.93	412.9	397.31	365.08	340.25
Ply 12	176.56	156.48	140.57	148.34	164.35	176.56

Tablo 7 ve Tablo 8'de görülebileceği üzere yapının tüm katmanları boyunca analiz edilen S11 ve S22 yönlerindeki gerilme dağılımları, sarım açısının yük aktarımına olan etkisini net bir şekilde ortaya koymuştur. ±45° ve ±54,74° açı kombinasyonları, özellikle Ply 11 ve Ply 12 gibi sabit yönelimli son katmanlarda gerilme artışları göstermiştir. Bu durum, 0 ve 90 derecelik sarım açılarının sadece tek eksende (enlemesine veya boylamasına) yük taşıma özelliğinin bir sonucudur.

Gerilme bileşenleri karşılaştırıldığında, ±45° sarım açısında katmanlar boyunca s11 ve s22 değerlerinin neredeyse eşit olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, ±45° fiber yöneliminin

hem eksenel hem de çevresel yük bileşenlerine eşit açıyla hizalanmasından kaynaklanmakta olup, yapının iki yönlü (ortotropik) yük taşıma kapasitesinin bir sonucudur. Benzer şekilde, ±15° sarım açısında boyuna gerilme (s11) değerlerinin, ±75° sarım açısındaki enine gerilme (s22) değerleriyle birebir örtüştüğü görülmüştür. Bu durum, ±15° liflerin boylamsal yönde, ±75° liflerin ise enlemsel yönde hizalanması ile açıklanabilir. Farklı açılarla oluşturulan bu simetrik yönelimler, yapı içerisinde yüklerin eksenel ve çevresel doğrultularda benzer düzeyde taşındığını ortaya koymaktadır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada farklı helisel sarım açılarına (±15°, ±30°, ±45°, ±54.74°, ±65°, ±75°) sahip Type IV kompozit hidrojen tanklarının iç basınç altındaki yapısal davranışı sayısal olarak analiz edilmiştir. Yapılar simetrik ve sabit kalınlıkta modellenmiş olup, her konfigürasyonda 0° (eksenel) ve 90° (çevresel/hoop) yönlerinde iki son katman sabit olarak eklenmiştir.

Yapılan analizlerin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla literatürdeki benzer bir çalışmanın sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır. Yousaf ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadaki (Yousaf, 2023) ±54.65° sarım açısına sahip katmanlardaki X yönü gerilme (σ_x) değerleriyle yapılan karşılaştırmalarda %7–13 oranında farklar gözlemlenmiş, bu farklar çözüm yöntemi, analiz koşulları ve katman kombinasyonlarındaki farklılıklarla açıklanabilir düzeydedir. Genel olarak, analiz sonuçlarının literatür ile yüksek düzeyde tutarlılık gösterdiği görülmüştür. Y yönündeki gerilme değerlerinde mutlak farklar gözlemlense de eğilimler birebir örtüşmektedir. Kayma gerilmesi açısından da dış katmanlarda yüksek, iç katmanlarda düşük seyreden profil, benzer bir davranışı göstermektedir. Bu sonuçlar, yapılan simülasyonların literatürle yapısal olarak örtüştüğünü ve doğrulayıcı nitelikte olduğunu ortaya koymaktadır.

±15° sarım açısındaki S11 değerleri ile ±75° sarım açısındaki S22 değerlerinin neredeyse tüm katmanlar boyunca birebir örtüştüğü görülmüştür. Bu durum, yönelimin fiber hizalanmasına olan etkisini net olarak göstermekte olup, yapının eksenel ve çevresel eksenlerde simetrik yük tepkisi verebildiğini ortaya koymaktadır.

±45° konfigürasyonunda s11 ve s22 değerlerinin Ply 1–10 arası neredeyse eşit olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, ±45° lif yöneliminin hem eksenel hem de çevresel yük bileşenlerine eşit açıyla karşılık vermesiyle ilişkilidir ve yapının iki eksende dengeli rijitlik sağladığını göstermektedir.

Elde edilen tüm sonuçlar, sarım açısının yalnızca son katmanları değil, tüm kompozit laminat boyunca yük aktarımını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Sarım açısının tüm kompozit yapı boyunca global bir tasarım kriteri olarak ele alınması gerektiğini ve doğru açı seçiminin hem dayanım hem de rijitlik açısından kritik rol oynadığını ortaya koymuştur.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

Kalaycıoğlu, B. &. ((2009)). Dikişsiz Metal Astarlı ve Kompozit Sargılı Yüksek Basınç Tankı Tasarımı. International Journal of Engineering Research & Development, 1(2), 53-60.

Önder, A. (2007). First failure pressure of composite pressure vessels (Master's thesis). Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir.

Saif, T. S.-Z. (2022). Effect of ply angle on the burst pressure of composite pressure vessels by filament winding. Construction of Optimized Energy Potential, 11, 223-233.

Yousaf, Hamza & Hamza, Mohammad. (2023). DESIGN AND ANALYSIS OF A COMPOSITE PRESSURE VESSEL. 10.36227/techrxiv.22979420.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Installation & Comparison of Driver Monitoring System on Vehicles

Erhan YAMAN[1]
Eren BABAYİĞİT[2]

Abstract

Advanced Driver Assistance System (ADAS) has become so important for transportation and together with a lot of features, this system includes a lot of sub systems. Driver Monitoring Systems (DMS) is the part of ADAS feature on the modern vehicle to improve driver safety by identifying fatigue, distraction, or drowsiness. Besides, European Union's General Safety Regulations mandate DMS installation on vehicles. According to the different layout of interior design with different vehicles, DMS camera geometric integration solutions may vary. Ergonomics is also so important for different position points of camera because of head motion volume. This system has also additional electronic control unit inside vehicles and the position of control unit and camera can affect performance of camera and cost of layout solutions. In addition, interfaces between DMS and other systems should be taken into consideration by designers and feasibility studies should be conducted by integration designers.

Driver Monitoring System integration study carried out by R&D department of TOFAŞ Turkish Automobile Factory, various lay-out solutions were studied. In this paper, Different DMS camera integration solutions were comparatively examined according to geometric integration, ergonomic, manufacturability, safety, homologation, serviceability and performance requirements. As a result of assessments, the optimum integration layout and interfaces was determined for DMS Camera installation on vehicle.

Keywords: Active Safety, Autonomous Vehicles, Driver Monitoring

[1] Makine Mühendisi, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ArGe Merkezi:
[2] Makine Mühendisi, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ArGe Merkezi

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Introduction to Driver Monitoring System

DMS is becoming more and more important as a result of the quick development of different level of autonomous vehicles. Vehicles are equipped with Driver Monitoring Systems (DMS) to track driver behaviour, identify fatigue, and lower the chance of collisions. Driver Monitoring Cameras (DMC), which monitor a range of driver characteristics like eye movement, facial expressions, head position, and blink frequency, are frequently used in these systems. These systems' precision and efficiency are essential for reducing traffic accidents.

Driver-monitoring frameworks utilize a driver-facing camera with infrared LEDs or lasers to distinguish the drivers confront and eyes, indeed at night or through dim shades. Progressed computer program collects information to set up a standard of the driver's ordinary, mindful state. It screens for signs of diversion or tiredness, such as expanded squinting, limited or closed eyes, and abnormal head tilting. The framework moreover checks in case the driver is looking at the street and paying consideration.

On the off chance that the framework recognizes diversion or laziness, it can alarm the driver with sound signals, visual pointers on the dashboard, or situate vibrations. In basic circumstances, where the driver is diverted and a collision is inescapable, the framework can naturally apply the brakes by joining information from both insides and outside sensors.

Driver-monitoring frameworks are pivotal for independent driving at Levels 3 and 4, where drivers have to be prepared to require control of the vehicle at certain times during the trip. Agreeing to the Society of Car Engineers (SAE), Level 3 includes "conditional computerization," permitting drivers to require their hands off the controlling wheel but requiring them to remain mindful to the street in case they got to mediate. These frameworks guarantee the driver remains alarm and centered. (SAE, 2025)

Moreover, driver-monitoring frameworks are imperative for Level 2+ usefulness, making a difference to keep the driver locked in indeed when their hands are not on the wheel. Driver-monitoring frameworks (DMS) that identify laziness or absentmindedness are fair the starting. As these frameworks advance, they will end up portion of a comprehensive insides detecting stage that provides personalization, progressed security, infotainment, and network with keen domestic frameworks.

DMS can distinguish the driver and automatically alter settings just like the situate, temperature, and side mirrors to their inclinations. These frameworks will too be able to distinguish in case the driver is impeded or encountering a therapeutic crisis. Drivers will be able to control vehicle capacities utilizing their eyes or motions. By consolidating a wide-angle camera close the rearview reflect, the framework can monitor both the driver and the cabin, improving usefulness for travellers. For example, it can detect if a child is in the vehicle, spot things that are missed, and personalize in-cabin features like infotainment and HVAC. (Aptiv, 2021)

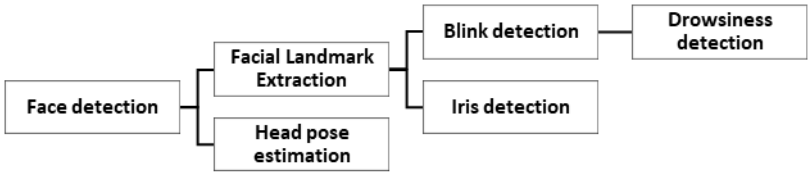


Figure 1. DMS Operation Flow

Figure 1. shows that the system detects the driver's face using Google's mediapipe solution. It identifies key facial landmarks such as the eyes, nose, and mouth through a customized version of mediapipe's face mesh solution, focusing on essential landmarks among the 468 generated by mediapipe. After extracting key facial landmarks, the system detects blinks using the Eye Aspect Ratio (EAR) and calculates blink duration, categorizing them into light and heavy blinks. The iris is detected by binarizing the image. The driver's head position is represented in terms of Euler angles (roll, pitch, and yaw) using a Convolutional Neural Network (CNN) called Hopenet. The system calculates the PERcentage CLOsure (PERCLOS) of the eyes over a specified period to determine the driver's drowsiness level. (Dohun, Hyukjin, Wonjong & Joonki, 2009)

2.Integration of DMS System on Vehicle

2.1 Components of DMS System

DMS Camera is a security system that monitors the driver's attention level, fatigue and behaviour. Using artificial intelligence and facial recognition technologies, it analyses the driver's eye movements, head position and facial expressions.

The DMS Camera Unit is an electronic control unit that works with a DMS camera to monitor driver behaviour and increase safety.

DMS Camera Cable is used to connect the DMS Camera Unit to the in-car DMS Camera.

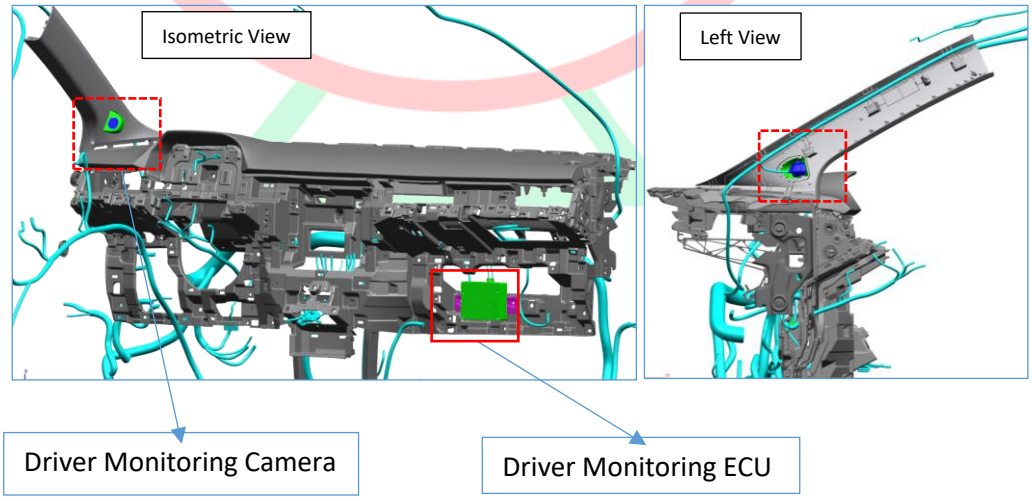


Figure 2. Components of DMS System (A2MAC1, 2025)

2.2 General Requirements of Driver Monitoring System Camera Installation



Figure 3. DMS Camera Field of View

DMS Camera has many requirements to install on a vehicle which should be considered by engineering team.

The DMS system shall detect the driver within the Head Motion Box, and the FOV (Field of View) of the DMS camera shall cover this box. The camera's FOV and the envelope of the hand on the steering wheel should not have any interferences, nor should the camera's FOV and surrounding parts. The distance range from the camera to the eye is covered by all ellipse eye 3D models. The camera field of view must cover all eye ellipses, and the camera should be aligned with the Z axis. The pigtail cable is required to point downwards to prevent ingress or standing water inside the camera. The camera must not be used to support the wiring harnesses of the car. The wiring harnesses of the car should be supported mechanically at the camera mounting position, should not be twisted, and the minimum bending radius should be considered. Continuous relative movement between the pigtail cable and the camera should be avoided, and the pigtail cable must not touch sharp edges which might damage it. It is necessary to avoid the accumulation of liquids below the camera. Also, the installation should not affect visibility and safety regulations negatively and serviceability should be considered.



Figure 4. a. DMS Camera on A Pillar, b. DMS Camera on Cluster, c. DMS Camera on Dashboard (A2MAC1, 2025)

3. Integration of DMS on Vehicle

In this section, vehicles with Driver Monitoring Systems (DMS) are compared, and how different DMS layouts affect the vehicle design and user experience is explained in detail. When placing the camera, besides the technical requirements from the supplier, other internal factors are also considered such as packaging, driver visibility, Driver Ergonomics, Homologation, Serviceability, Safety, Perceived Quality, Production and cost. Compared of different vehicle manufacturers, most DMS system architecture solution fall into three main types based on where the camera is placed inside the cabin: on the A-pillar, on the instrument cluster, or on the dashboard. The most important factor in designing the DMS layout is the camera's location in the Cabin. DMS Control unit position doesn't high effect for DMS System integration on the vehicle because of almost all installation solution in the dashboard.

Solutions	DMS Camera Position	DMS Control Unit Position
1	A Pillar	Dashboard
2	Cluster	Dashboard
3	Dashboard	Dashboard

Table 1. DMS Camera & Control Unit Placement Solutions

3.1 Solution 1: DMS Camera on A Pillar

This integration solutions DMS camera is placed on the left A-pillar and the DMS control unit on the dashboard cross beam (Figure 4). The main technical requirement from the supplier is that the camera's field of view (FOV) fully covers the driver's head movement area. Since there are no major obstacles between the camera and this area—other than the steering wheel and hand movement, it's a very effective solution in terms of both functionality and meeting supplier requirements. It's also important that the camera's FOV does not interfere with the steering wheel or the driver's hand movements while driving. In this solution the distance between the camera and the driver's eyes stays within the maximum limit set by the supplier.

To meet ergonomic and homologation standards, the camera must not block the driver's view. Since Camera placed near the driver's field of vision, its position needs to be carefully checked to avoid any negative impact for Camera Housing on A pillar. Because the camera is in a visible spot, how it looks and feels (its perceived quality and style) also matters. Compared to other solutions, this integration solution provides better visual integration and design harmony.

Due to A-pillar is part of the head impact zone, the camera's integration must pass an ECE R21 safety test to make sure it doesn't pose a risk during a collision. Additionally, the camera should be easy to service. In this this lay-out solution, the camera can be removed by either taking off the A-pillar or just the camera cover, making it easy service fort the Camera. (Table 2.)

Solution	Camera Position	Field of View Requirement	Driver Visibility	Perceveid Quality	Safety	Cost	Serviceability
1	A Pillar	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium

Table 2. Solution 1 Performances

3.2 Solution 2: DMS Camera on Cluster

This integration solution places the DMS camera on top of the instrument cluster or the steering column cover (Figure 4). According to the supplier's performance targets, the main technical requirement is that the camera's field of view (FOV) fully covers the driver's head movement area. In this lay-out, the steering wheel is positioned between the camera and the driver's head, which can lead to interference between the camera's FOV and the steering wheel or the space simulated by steering movements. Because of this, the camera performance may not be provided optimum performance during steering movement. However, the distance between the camera and the driver's eye ellipse remains within the supplier's maximum allowed range, making it suitable from that perspective.

Based on camera is positioned behind the cluster and steering wheel, it does not affect the driver's field of vision. In terms of visibility, this is considered one of the best integration options based on ergonomic and homologation requirements. However, because the camera housing is placed on the cluster or steering wheel cover both of which are highly visible

This setup offers less perceived quality and aesthetic coherence compared to other solutions.

As the cluster and steering wheel areas are within the head impact zone, the surfaces where the camera is integrated must pass an ECE R21 analysis to ensure the solution is safe for the driver.

In terms of serviceability, this setup is considered appropriate. The camera can be removed by simply detaching its cover, making it easy to service. Lastly, this solution requires mold changes in the dashboard or cluster, and the cable length between the camera and the control unit is longer than in the A-pillar setup. As a result, the overall system cost is higher compared to the A-pillar solution. (Table 3.)

Solution	Camera Position	Field of View Requirement	Driver Visibility	Perceveid Quality	Safety	Cost	Serviceability
2	Cluster	Medium	High	Low	High	High	Medium

Table 3. Solution 2 Performances

3.3 Solution 3: DMS Camera on Dashboard

This integration solution places the DMS camera on the dashboard (Figure 4). The camera is positioned to fully cover the driver's head movement area. Since there are no obstacles between the camera and the driver, the camera's field of view (FOV) directly captures head movements. However, because the driver's eye ellipse intersects the camera's FOV diagonally (rather than directly on the X-axis), and there are metal components on the dashboard that may interfere with performance, this setup may not meet the optimal integration criteria. Additionally, the distance between the camera and the driver's eyes may exceed the maximum range specified by the supplier.

As the camera is located on top of the dashboard, it can affect the driver's field of view, which may cause issues regarding driving ergonomics and homologation requirements. Since the camera housing is in a constantly visible area, it is not provided the same level of perceived quality or design harmony compared to other integration options.

Because the dashboard area is within the head impact zone, surfaces where the camera is placed must be evaluated according to ECE R21 protrusion standards to ensure driver safety. From a serviceability perspective, this setup is considered acceptable. The camera can be removed by detaching its cover, making it relatively easy to service.

Finally, this solution requires mold changes in the dashboard or cluster, and the cable length between the camera and the control unit is longer than in other setups. Therefore, the overall system cost is higher compared to the A-pillar integration. (Table 4.)

Solution	Camera Position	Field of View Requirement	Driver Visibility	Perceveid Quality	Safety	Cost	Serviceability
2	Dashboard	Medium	Medium	Low	Medium	High	High

Table 4. Solution 3 Performances

4. Conclusion

As a result of examinations, the optimum integration layout and interfaces was determined for DMS Camera installation on vehicle with 3 different solutions on different manufacturers. In these 3 solutions, we have 3 different positions which are on the dashboard,

on the A pillar and on the cluster. Comparison analyses of solutions have shown that performances such as driver visibility, driver ergonomics, homologation, serviceability, safety, perceived quality, manufacturing and cost are as effective as supplier requirements when positioning cameras. As a result of, it has been seen that camera positioning on the A Pillar (Table 5) offers an optimum solution in terms of supplier and internal integration performance compared to other solutions.

With the cutting edge ADAS technologies and regulations for driver assistance systems, automobile manufacturers are working on different solutions. Due to this situation, different layout solutions will be offered in future years with the developing technology and the formation of vehicle layouts will be formed with those changes.

Solution	Camera Position	Field of View Requirement	Driver Visibility	Percevei d Quality	Safety	Cost	Serviceability
1	A Pillar	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
2	Cluster	Medium	High	Low	High	High	Medium
3	Dashboard	Medium	Medium	Low	Medium	High	High

Table 5. Solutions Comparison

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Kim, D., Park, H., Kim, T. *et al.* Real-time driver monitoring system with facial landmark-based eye closure detection and head pose recognition. *Sci Rep* **13**, 18264 (2023). https://doi.org/10.1038/s41598-023-44955-1

What Is a Driver-Monitoring System? Retrieved: April 2025, https://www.aptiv.com/en/insights/article/what-is-a-driver-monitoring-system

A2MAC1. (2025). Benchmark Database. Retrieved April 2025, from https://www.a2mac1.com/

Development & Testing of a Camera-Based Driver Monitoring System, Retrieved: April 2025, https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2024-26-0028/

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

EFFECTS OF SOME PHYTOHORMONE APPLİCATİONS ON GERMİNATİON PARAMETERS OF ANATOLİAN BLACK PİNE SEEDS UNDER DROUGHT STRESS

Esra Nurten YER ÇELİK[1]
Seda Nur ATAK[2]

Abstract

Black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* Lamb. (Holmboe)) is one of the most preferred species for afforestation in degraded areas due to its drought tolerance. In the afforestation of arid or semi-arid areas, the selection of stress-tolerant origins directs the success of afforestation. In this respect, pretreatments applied to the seed (priming) positively support seed germination parameters under stress conditions and affect the seedling survival percentage. In this study, it was aimed to determine the effect of plant growth hormones applied with priming techniques to black pine seeds exposed to drought stress (PEG 6000 / -6 bar water stress) on germination parameters. For this purpose, 3 different doses of seaweed and vermicompost were applied. No treatment was applied to control seeds. Germination percentage (GP), germination rate (GR) and germination value (GV) formulas were used to determine germination parameters. As a result of the research, it was determined that low dose groups of vermicompost increased the germination percentage parameter compared to the control seed groups. When drought stress was applied, it was determined that the germination percentage of the low dose groups approached the control. In black pine origin with low germination, it was observed that vermicompost increased the germination rate parameter in all treatment groups. Seaweed application increased the germination percentage in all dose groups in seed with low germination value. The positive effects of seaweed and vermicompost on both germination parameters and drought stress were determined in this study and it is recommended to use these phytohormones in seeds with low germination percentage.

Keywords: Black pine, Drought stress, Seaweed, Vermicompost, Germination parameters, Pretreatment

[1] Doç. Dr., Kastamonu Üniversite, Bölüm, Orcıd: https://orcid.org/0000-0002-6368-3916
[2] Lisansüstü Öğrenci, Kastamonu Üniversite, Bölüm, Orcıd: https://orcid.org/0009-0000-1298-5423

ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Dünya'da ormanlar 3.869 milyon hektarlık bir alanı kaplamakta ve bu alan dünyadaki karaların %29,6'sına denk gelmektedir (OGM, 2020: 11). Türkiye'deki orman varlığımıza baktığımızda ise 23.363.071 hektarlık bir orman alanına sahip olmaktayız ve bu alan ülkemizin %30'unu oluşturmaktadır (Anonim, 2025: 49). Asli orman ağacımız olan Karaçam ülkemizde 4 milyon hektar yayılış alanı bakımından en geniş yayılış alanına sahip olan ikinci sıradaki ağaç türümüzdür. Ülkemizdeki orman alanlarının yaklaşık %20'lik kısmını Karaçam meşcereleri oluşturmaktadır (OGM, 2020: 29).

Ülkemizde ağaçlandırma projelerinde sıklıkla tercih edilen karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* Lamb. (Holmboe)), *Pinaceae* familyasının *Pinus* cinsine mensuptur. Anadolu karaçamı, yetiştiği ortamın verimliliğine bağlı olarak 20 ila 50 metre arasında boylanabilir. Botanik özelliklerine bakıldığında, iğne yaprakları koyu yeşil renkte, kenarları dişli ve hafifçe kıvrımlıdır. Parlak açık sarı renkteki simetrik dişi çiçekleri ve soluk sarı renkteki silindirik erkek çiçekleri dikkat çeker. Dişi kozalakların sapı neredeyse yok gibidir. 12-24 mm uzunluğundaki tomurcukları silindirik bir şekle, reçineli bir yapıya ve belirgin bir uca sahiptir. Kozalaklar olgunlaşmak için iki yıl bekler. Ağacın koyu gri renkli gövdesi çatlaklı bir görünüme sahiptir. Parlak sarımsı-yeşil kahverengi tonlarındaki sürgünleri bulunur. Derinlere inen bir kazık kök sistemine sahip olan karaçam, hızlı bir büyüme gösterir. Ekolojik açıdan değerlendirildiğinde, az suya ihtiyaç duyar ve farklı iklim ve toprak koşullarına uyum sağlayabilir. Bir ışık ağacı olan karaçam, ideal gelişimi için derin ve serin, balçıklı toprakları tercih eder. Türkiye'de genellikle 400 ile 2100 metre arasındaki rakımlarda yayılış gösterir. Doğal olarak Türkiye, Balkanlar, Güney Karpatlar, Kırım, Kıbrıs ve Suriye'de bulunur. Ülkemizde ise Karadeniz, Marmara ve Ege bölgelerinin yanı sıra Toros Dağları ve İç Anadolu'da da görülür. Yaklaşık olarak Maraş'tan Gümüşhane'ye uzanan ve "Anadolu Çaprazı" olarak adlandırılan hattın batısındaki tüm dağlık bölgelerde de rastlamak mümkündür (Sevgi vd., 2022, s. 35-40).

Bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyümesi ve gelişmesi için ışık, su, karbondioksit (CO2), uygun toprak yapısı, çeşitli mineraller ve besin maddeleri temel gereksinimlerdir. Bitki büyüdükçe ve geliştikçe, karmaşık hücre, doku ve organ yapıları meydana gelir ve bu süreç sonucunda bitki kendine has bir form kazanır. Bu büyüme ve gelişme süreçlerinde, hem bitkinin içsel faktörleri hem de çevresel etkenler önemli rol oynar (Kumlay & Eryiğit, 2011, s. 48). Bu içsel faktörlerden biri de bitki büyüme hormonlarıdır. Bitki büyüme düzenleyicileri, bitkilerin kendi iç yapısında sentezleyebildikleri veya dışarıdan alabildikleri, çok düşük konsantrasyonlarda bile bitki büyüme ve gelişimini etkileyebilen özel organik moleküllerdir. Bu hormonlar, üretildikleri bölgelerde etkili olabildikleri gibi, bitkinin diğer kısımlarına taşınarak farklı bölgelerde de işlev görebilirler (Çetin, 2002, s. 40).

Son yıllarda biyostimülant olarak bilinen deniz yosunu gübresiyle ilgili çalışmalar eskiye dayanmaktadır. İçerdiği besin maddeleri nedeniyle tarım sektöründeki kullanım şekliyse özellikle uzak doğu ülkelerinde gübre olarak kullanılmasıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda da deniz yosununun tohum, bitki, stres ve verim üzerine olumlu etkilerinin olduğu tespit edilmiştir (Özenç ve Şen, 2017: 235-236).

Solucan gübresi, tarımda kullanılan doğal bir gübre çeşidi olup, solucanların faaliyetleri sonucu ortaya çıkar. Toprağın fiziksel yapısını olumlu yönde etkileyerek tohumların çimlenme oranını ve köklerin gelişimini destekler (Abacıoğlu vd., 2020, s. 2-3). Bitkilerin büyümesini teşvik etmesinin yanı sıra, bitkilerin hastalıklara karşı direncini de artırır. Ayrıca, yüksek

oranda humus içeriği sayesinde topraktaki organik madde miktarını zenginleştirir. Solucan gübresi doğada üç farklı formda bulunur.

Bitkiler için önemli bir stres kaynağı olan kuraklık stresi, bitki yaşamını ciddi şekilde tehdit eder. Kuraklık, bitkinin kullanabileceği etkin nemin ortamda bulunmaması durumu olarak tanımlanırken, kuraklık stresi ise bitkilerin büyüme ve gelişme evrelerinde karşılaştıkları su sıkıntısıdır. Bu stres faktörü, tohumun çimlenmesinden fotosenteze ve diğer fizyolojik süreçlere kadar pek çok önemli mekanizmayı olumsuz etkileyebilir. Bu olumsuz etkiler sonucunda bitkilerde solma ve kurumalar görülebilir (Korkmaz, 2024, s. 2-7).

Karaçam kuraklığa olan toleransıyla bilinen bir türdür. Yapılan bir çalışmada kuraklık seviyelerindeki artışın karaçam ormanlarının büyümesi ve gelişmesini olumsuz etkileyebileceği belirtilmiştir (Guada vd., 2016: 10). Ayrıca ülkemizde özellikle Güneydoğu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde karaçamın kullanılması önerilmiştir (Çalışkan ve Boydan, 2017: 321-322).

Çevresel stres proteinlerinden biri olan polietilen glikol (PEG), bitkilerin kuraklık stresine karşı geliştirdikleri savunma mekanizmalarını güçlendirmede önemli bir rol oynar. Bitkiler kuraklığa maruz kaldıklarında PEG üretimi artar. Bu protein türü, bitkilerin suyu daha etkin kullanmasına yardımcı olarak kuraklık stresine karşı daha dirençli olmalarını sağlar. Farklı molekül ağırlıklarına sahip birçok PEG türü bulunmaktadır ve bunlardan biri de PEG 6000'dir. PEG 6000, çeşitli endüstriyel alanlarda da kullanılan bir polimer olmasının yanı sıra, özellikle bitki stres fizyolojisi çalışmalarında laboratuvar şartlarında kuraklık stresini taklit etmek amacıyla yaygın olarak kullanılır.

PEG 6000'in kuraklık stresi araştırmalarında tercih edilmesinin temel nedeni, bitkilerde su stresi oluşturabilme yeteneğidir. Bu sayede bitkilerin kuraklık altındaymış gibi fizyolojik tepkiler vermesi sağlanır. Laboratuvar ortamında kolayca hazırlanabilmesi ve suda yüksek çözünürlüğe sahip bir polimer olması da kullanım avantajları arasındadır. Kuraklık ve diğer çevresel stres koşulları altındaki tohumların çimlenme potansiyelini ve bu streslere verdikleri tepkileri belirlemek için de sıklıkla kullanılır (Albaşavat vd., 2023, s. 408).

Bitki gelişiminin en kritik evrelerinden biri olan tohum çimlenmesi, tohumun su alarak hacminin artması sonucu zarının çatlaması ve ardından yeni bir bitkinin oluşmasıyla belirginleşen embriyo büyümesidir. Çimlenme sürecini etkileyen çeşitli çevresel faktörler bulunur ve bu faktörlerin etkileşimi önemlidir. Başlıca çevresel faktörler su, sıcaklık ve nemdir (Yahyaoğlu & Ölmez, 2003, s. 45-50). Ayrıca, tohumun kendi çimlenme yetisinin yüksek olması da gereklidir. Bunlara ek olarak, abiyotik (cansız) ve tohum kaynaklı faktörler de çimlenme sürecini etkileyebilir; örneğin geç çimlenme veya fidecik oluşumunun engellenmesi gibi durumlar ortaya çıkabilir. Bu olumsuzlukların giderilmesi için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır (Karakurt vd., 2010, s. 116-117).

Karaçam kuraklığa karşı olan toleransı nedeniyle ağaçlandırma çalışmalarında kullanılan bir ağaç türüdür. Daha çok yarı kurak ve kurak alanların ağaçlandırılmasında tercih edilmekte olup bu ağaçlandırma çalışmalarında kullanılacak olan karaçam tohumlarının strese karşı toleranslı orijinlerden elde edilmiş olması başarı sağlanması açısından önem arz etmektedir. (Tecimen ve Sevgi, 2022: 340-341). Bu araştırma, kuraklık stresine maruz kalan iki farklı orijine sahip Karaçam tohumlarına uygulanan solucan gübresi ve deniz yosunu ön işlemlerinin, kuraklık stresinin olumsuz etkilerini ne ölçüde azaltabileceğini ve bu işlemlerin tohumların çimlenme yüzdesi, hızı ve değeri gibi temel çimlenme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmada, tohum çimlenme parametreleri olarak çimlenme yüzdesi (ÇY), çimlenme hızı (ÇH) ve çimlenme değeri (ÇD) ele alınmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada iki farklı orijinli karaçam tohumu tercih edilmiştir. Bitki büyüme hormonu olarak da solucan gübresi ve deniz yosunu kullanılmış olup stres olarak kuraklık stresi tercih edilmiştir. Daha sonra bitki büyüme hormonlarının çözeltileri laboratuar ortamında hazırlanmıştır. Sıvı solucan gübresi çözeltisi için belirlenen 3 doz (5, 20, 40 ml) hazırlanmıştır.

Deniz yosunu çözeltisi içinde 3 farklı doza karar verilmiş (2, 5, 15 ml) olup bunlarda sıvı solucan gübresi çözeltisinin hazırlanması şekliyle aynıdır. Çözeltiler hazırlandıktan sonra steril hale getirilen karaçam tohumları hazırlanan bitki hormonu çözeltilerinde 24 saat bekletilmiştir. Kontrol grubu tohumların da ekimi gerçekleştirilmiştir. Tohumlar çift filtre kâğıdı koyulan petrilere ekilmiş olup üstleri de yine filtre kâğıdı ile kapatılmıştır. Ayrıca tohumların nemini koruması için petri kapları streç filmle kaplanmıştır.Çimlendirme işlemi, bir çimlendirme kabini içerisinde yürütülmüş ve 1 ay süresince tohumların filizlenme süreci takip edilerek çimlenen tohumların adedi kaydedilmiştir. Çimlenme parametrelerinin belirlenebilmesi için 2 farklı orijinli karaçam tohumlarına laboratuar ortamında çimlendirme testleri uygulanmıştır. Çimlendirme parametreleri olarak çimlendirme yüzdesi (ÇY), çimlenme hızı (ÇY) ve çimlenme değeri (ÇD) aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır.

Çimlenme yüzdesi (ÇY); Belirli bir tohum örneği grubunda çimlenme potansiyeli gösteren tohumların oranı, çimlenme yüzdesini (ÇY) ifade eder. (Boydak ve Çalışkan, 2014: 116-117).

ÇY (%)=(Σni)/N*100 (i)

ni: i. gündeki çimlenen sayısı, N: Teste konulan toplam tohum sayısı

Çimlenme hızı (ÇH); Tohumların çabuk çimlenme kabiliyetine denilmektedir. Bu ölçüt, tohumların ekimden sonraki ilk 7 ila 10 gün içinde filizlenen kısmının yüzde cinsinden ifadesidir. Ekim faaliyetlerinin başarılı bir şekilde sonuçlanması, tohumların çimlenme hızına doğrudan bağlıdır. Yüksek çimlenme hızına sahip tohumlar, genellikle daha canlı ve gelişime yatkın genç bitkiler (fidanlar) oluştururlar (Yahyaoğlu ve Ölmez, 2005: 58).

ÇH: İlk 10 gün çimlenen tohumların yüzdesi kabul edilmiştir.

Çimlenme Değeri (ÇD); hesabında Djavanshir ve Pourbeik (1976: 81) tarafından geliştirilen aşağıdaki denklem kullanılmıştır. Deneyin optimize edilmesinde kullanılmaktadır.

ÇD=(Σ(TÇS))/N*(ÇY*100)

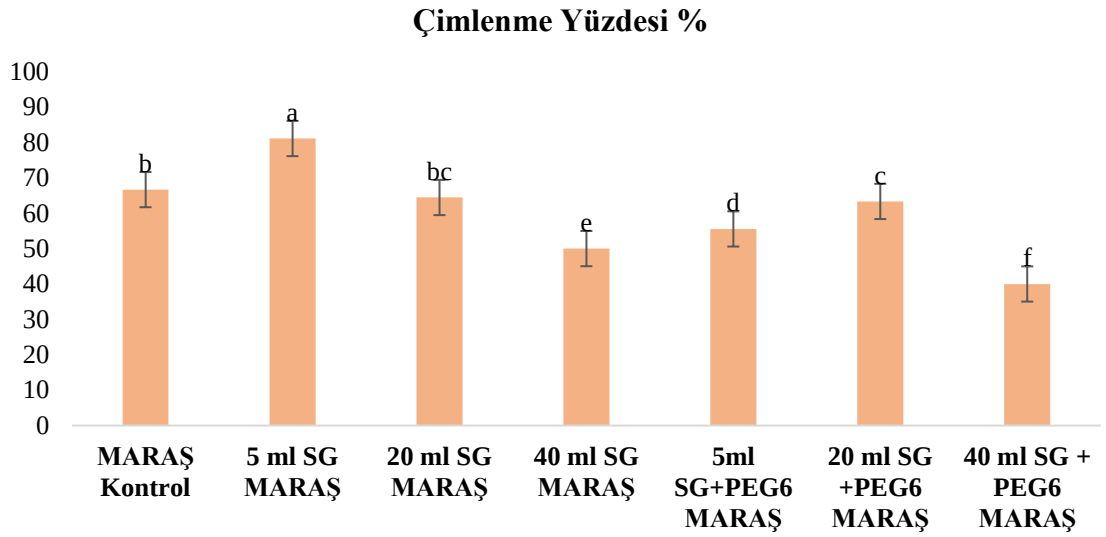
TÇS: Toplam çimlenme sayısı, ÇY: Çimlenme yüzdesi, N: Çimlenme gün sayısı

BULGULAR ve TARTIŞMA

Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Orijinlerde Çimlenme Parametreleri

Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Maraş Orijinli Tohumlarda Çimlenme Yüzdesi Tespiti

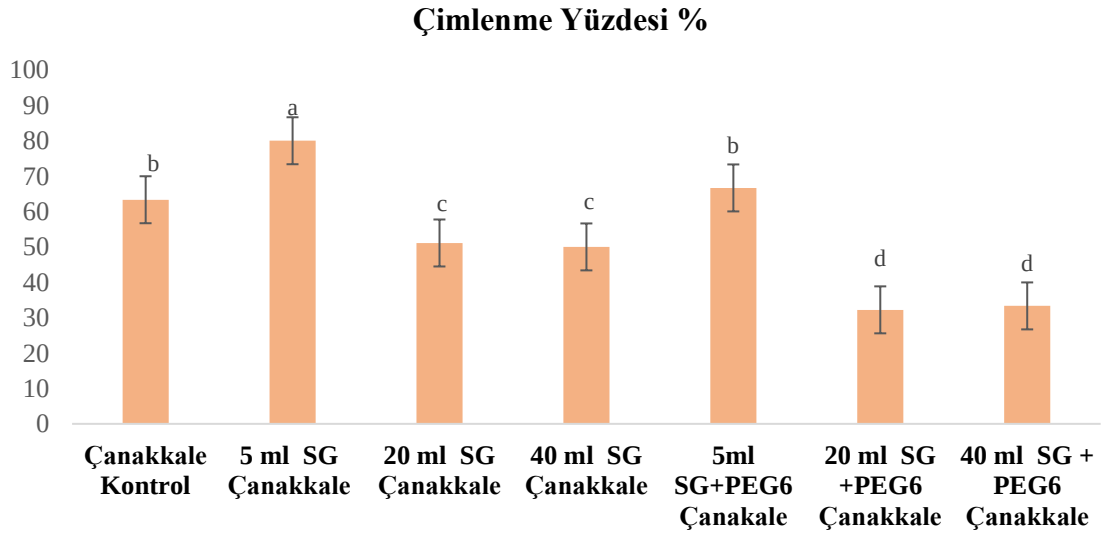
Maraş orijinli Karaçam tohumlarına 3 farklı dozda solucan gübresi uygulanmış olup bu 3 farklı doz grubu içerisinde düşük doz olan 5 ml dozundaki solucan gübresinin çimlenme yüzdesi üzerine olumlu etkisi olduğu gözlenmiştir. Kuraklık stresi verildiğindeyse 20 ml dozun etkili olduğu görülmüştür. Sağlam vd. (2015: 59-61), tarafından yürütülen bir çalışmada, kontrol grubunun yanı sıra altı farklı dozda (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 ve 3.0 ml) solucan gübresi kullanılmış ve bu dozlar üç farklı sayıda uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, en uygun değerlerin 2 ml dozunun üç kez uygulanmasıyla elde edildiği belirlenmiştir. Ancak bu çalışmada elde edilen bulgulara göre, 5 ml ve 20 ml dozlarının çimlenme yüzdesi üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu saptanmıştır.



Grafik 1. Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Maraş Orijinli Tohumlarda Çimlenme Yüzdesi

Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Çanakkale Orijinli Tohumlarda Çimlenme Yüzdesi Tespiti

Uygulanan üç farklı dozdaki solucan gübresinin birinci dozu (5 ml) hem çimlenme yüzdesini arttırmıştır. Sezgin ve Şimşek (2017: 80-81) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, orman ağacı ve çalı türlerinin tohumlarının çimlenmesi üzerine vermikompostun etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, farklı oranlarda (1:1, 1:2, 1:4) seyreltilmiş vermikompost süzeltisi, tohumlara 5 mL hacminde uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, en yüksek çimlenme oranının (%76) 1:1 oranındaki vermikompost uygulamasında elde edildiği tespit edilmiştir.



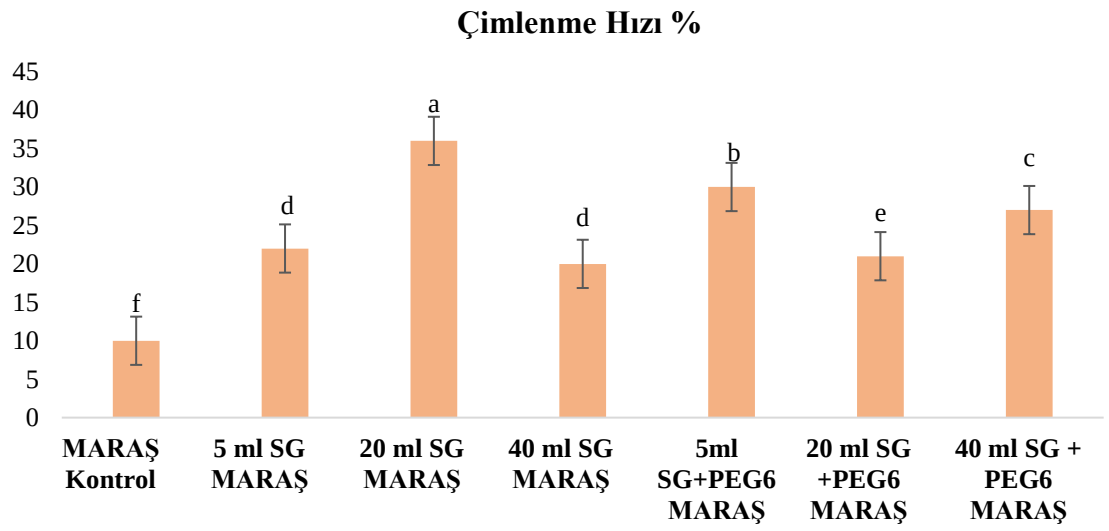
Grafik 2. Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Çanakkale Orijinli Tohumlarda Çimlenme Yüzdesi

Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Maraş Orijinli Tohumlarda Çimlenme Hızı Tespiti

Maraş kökenli karaçam tohumları üzerinde yapılan bir deneyde, uygulanan üç farklı dozdan (5 ml, 20 ml, 40 ml) 20 ml'lik dozun, farklı dozlara ve kontrol grubuna kıyasla çimlenme hızını belirgin şekilde artırdığı gözlemlenmiştir. Kuraklık stresi söz konusu

olduğunda ise, 5 ml'lik dozun diğer iki doza göre daha olumlu etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, 40 ml'lik doz grubunun da kuraklık koşullarına karşı 20 ml'lik doz grubundan daha etkili olduğu belirlenmiştir.

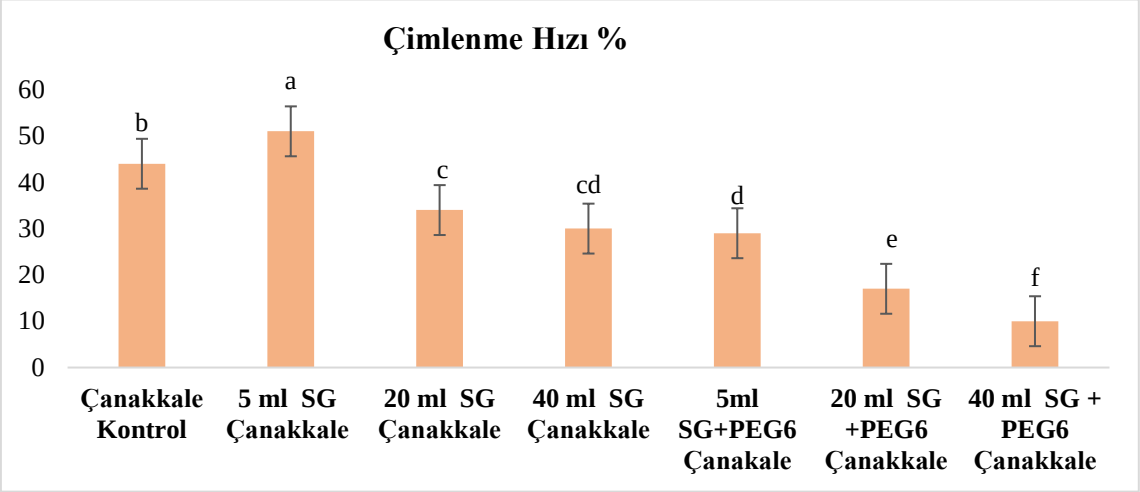
Muhie'nin (2019: 61-80) yürüttüğü bir araştırma, organik özütlerle yapılan tohum ön uygulamalarının (priming), havuç (*Daucus carrota*) ve soğan (*Allium cepa*) tohumlarının abiyotik stres altındaki çimlenme ve fide kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, havuç ve soğan bitkileri için kuraklık, tuzluluk ve sıcaklık streslerine ait dört farklı doz uygulanmış olup, kullanılan organik özütlerden solucan gübresinin soğan bitkisinde olumlu etkiler gösterdiği saptanmıştır. Bu bulgu, solucan gübresinin kuraklık stresine karşı potansiyel faydalarını destekleyen bir kanıt olarak değerlendirilebilir.



Grafik 3. Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Maraş Orijinli Tohumlarda Çimlenme Hızı

Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Çanakkale Orijinli Tohumlarda Çimlenme Hızı Tespiti

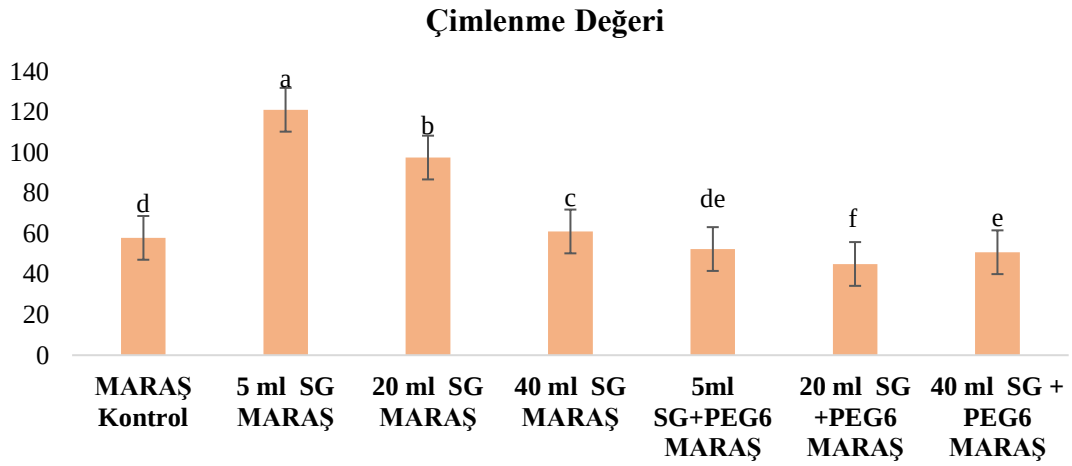
Bademkıran ve arkadaşlarının (2018: 679-683) gerçekleştirdiği bir araştırmada, katı ve sıvı solucan gübresinin nergis bitkisi üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada, nergis bitkisine iki farklı formda (katı ve sıvı) ve çeşitli dozlarda solucan gübresi uygulanmıştır. Katı solucan gübresi 25, 50 ve 100 g dozlarında kullanılırken, sıvı solucan gübresi %0.5, %1 ve %2 konsantrasyonlarında bitkilere verilmiştir. Araştırma sonuçları, sıvı solucan gübresinin katı solucan gübresine kıyasla daha belirgin etkiler gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu doğrultusunda, bizim çalışmamızda da sıvı solucan gübresi tercih edilmiş ve daha yüksek dozlar kullanılmıştır. Çanakkale kökenli karaçam tohumlarına uygulanan solucan gübresinin 5 ml'lik dozunun çimlenme hızını artırdığı gözlemlenmiştir. Ancak, kuraklık stresine karşı kullanılan üç farklı doz grubunun (5 ml, 20 ml, 40 ml) herhangi bir olumlu etki göstermediği tespit edilmiştir.



Grafik 4. *Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Çanakkale Orjinli Tohumlarda Çimlenme Hızı*

Solucan Gübresi Uygulaması yapılan Maraş Orjinli Tohumlarda Çimlenme Değeri Tespiti

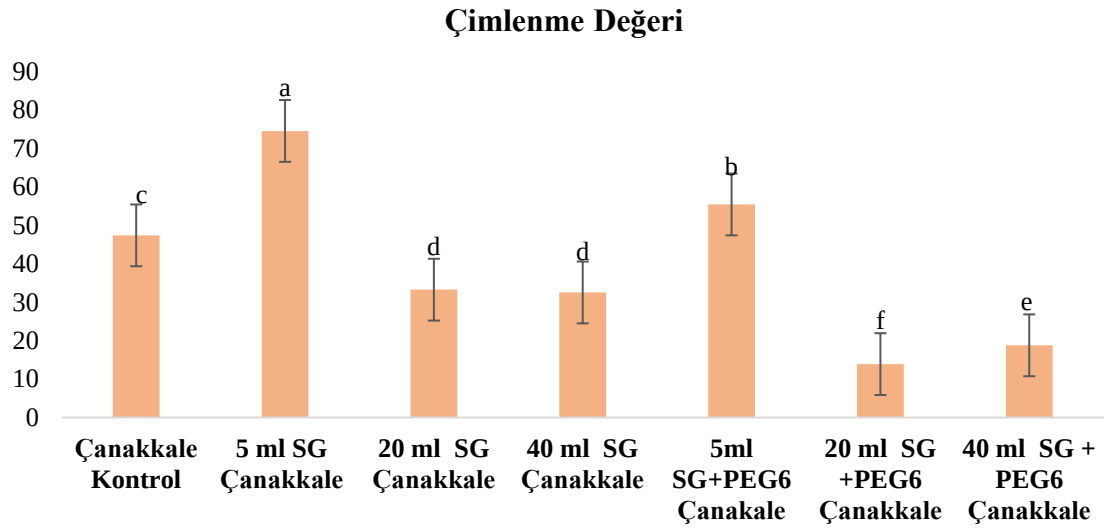
İncelenen bir diğer çimlenme parametresiyse çimlenme değeridir. Elde edilen veriler sonucunda solucan gübresi uygulamasının diğer parametrelerde olduğu gibi bu parametrede de olumlu bir etkisinin olduğu görülmektedir. Uygulanan tüm dozlar, kontrol grubuna kıyasla çimlenme oranlarını olumlu yönde artırmış olsa da, kuraklık stresi altındaki tohumlarda bu pozitif etki gözlemlenmemiştir.



Grafik 5. Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Maraş Orijinli Tohumlarda Çimlenme Değeri

Solucan Gübresi Uygulaması yapılan Çanakkale Orjinli Tohumlarda Çimlenme Değeri Tespiti

Maraş orijinli tohumda olduğu gibi solucan gübresi uygulamasının Çanakkale orijinli tohumların da çimlenme oranlarını yükseltmiştir. Özellikle 5 ml dozundaki solucan gübresi uygulamasının diğer dozlara ve kontrol grubuna göre çimlenme değeri üzerine olumlu etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

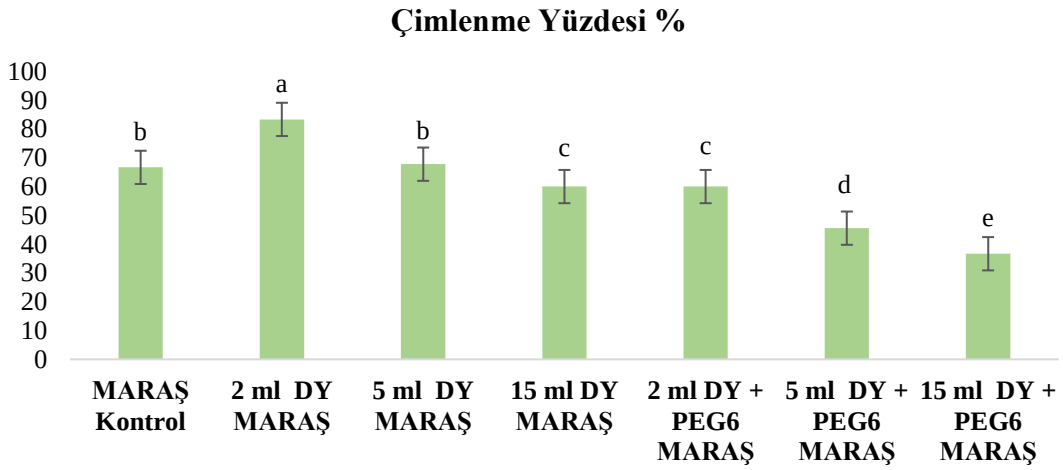


Grafik 6. Solucan Gübre Uygulaması Yapılan Çanakkale Orjinli Tohumlarda Çimlenme Değeri

Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Orijinlerde Çimlenme Parametreleri

Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Maraş Orjinli Tohumlarda Çimlenme Yüzdesi Tespiti

Maraş orijinli karaçam tohumlarına 3 farklı doz şeklinde uygulanan deniz yosunun çimlenme yüzdesini arttırdığı görülmektedir. Özellikle deniz yosunun düşük dozu (2 ml) kontrole ve diğer dozlara göre daha etkilidir. Özenç ve Şen'in (2017: 238-241) gerçekleştirdiği bir çalışmada, farklı büyüme dönemlerinde kullanılan deniz yosunu gübresinin aşılı ve aşısız iki farklı domates bitkisi çeşidinin gelişimi ve bazı kalite özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada üç farklı dozda deniz yosunu gübresi uygulanmıştır: 1. Doz (200 ml deniz yosunu / 100 L su) ve 2. Doz (400 ml deniz yosunu / 100 L su). Araştırmacılar, 2. dozun domates bitkisinin gelişimini olumlu yönde artırdığını belirlemişlerdir.

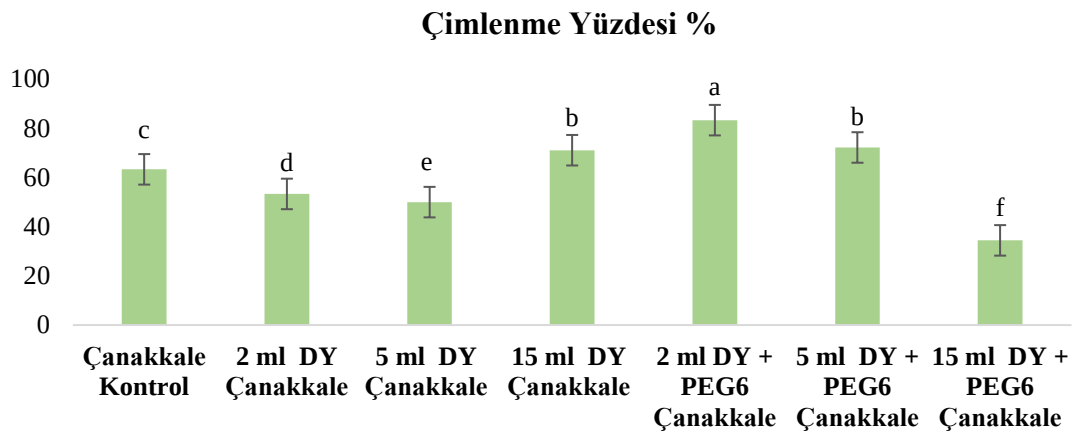


Grafik 7. Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Maraş Orjinli Tohumlarda Çimlenme Yüzdesi

Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Çanakkale Orjinli Tohumlarda Çimlenme Yüzdesi Tespiti

Çanakkale orijinli karaçam tohumlarına 3 farklı doz şeklinde uygulanan deniz yosunun 15 ml dozu çimlenme yüzdesini arttırıcı bir etkide bulunurken kuraklık stresine karşı aynı etkiyi gösterememektedir. Düşük doz olan 2ml ve 5 ml doz grupları ise 15 ml dozun aksine kuraklık stresine karşı olumlu bir etki yapmıştır.

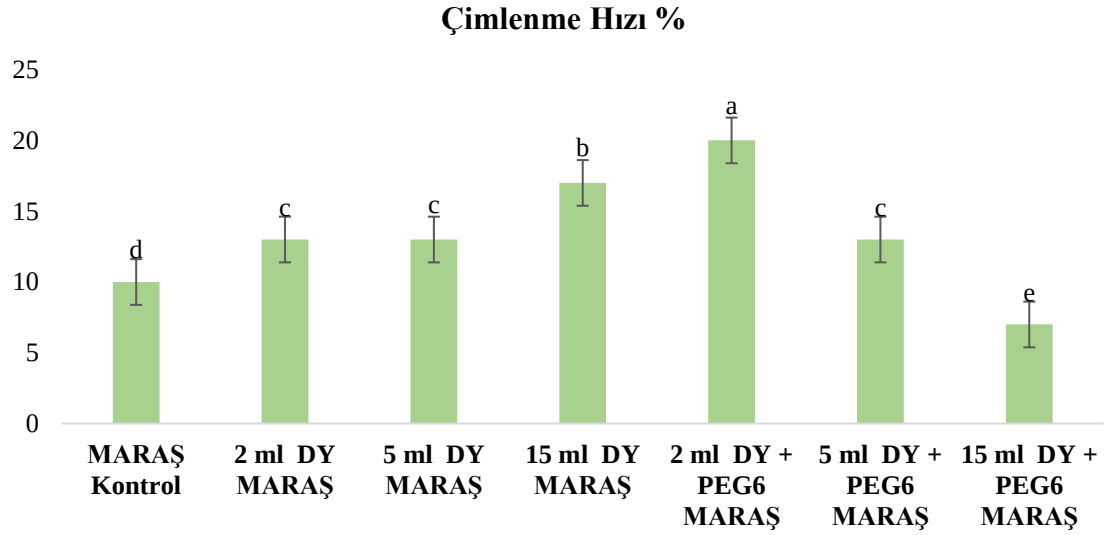
Bat vd. (2019: 499-503), tarafından yürütülen "Kuraklık stresi altındaki Ekinezya'da (*Echinacea purpurea* L.) deniz yosununun büyüme parametreleri, toplam fenolik ve antioksidan madde üzerine etkisi" başlıklı çalışmada, üç farklı kuraklık stresi seviyesi (PEG 6000 ile oluşturulmuş) ve üç farklı deniz yosunu dozu (2, 4, 6 cc/l) uygulanmıştır. Araştırmacılar, deniz yosununun kuraklığın olumsuz etkilerini azalttığını gözlemlerken, toplam fenolik madde ve antioksidan madde miktarı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir.



Grafik 8. Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Çanakkale Orijinli Tohumlarda Çimlenme Yüzdesi

Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Maraş Orjinli Tohumlarda Çimlenme Hızı Tespiti

Çimlenmesi düşük olan Maraş orijinli karaçam tohumlarına uygulanan deniz yosununun yüksek dozu (15 ml) çimlenme hızını olumlu etkilerken düşük dozların kuraklığa karşı olumlu bir etkisi olmaktadır. Tırak ve diğer araştırmacılar (2022: 127-131), "Organik priming uygulamalarının marul ve soğan tohumlarının çimlenme özelliklerine etkileri" başlıklı çalışmalarında, soğan (*Allium cepa*) ve marul (*Lactuca sativa*) tohumlarını defne, kekik, deniz yosununun 2 farklı formu ve sıvı solucan gübresi ile muamele etmişlerdir.

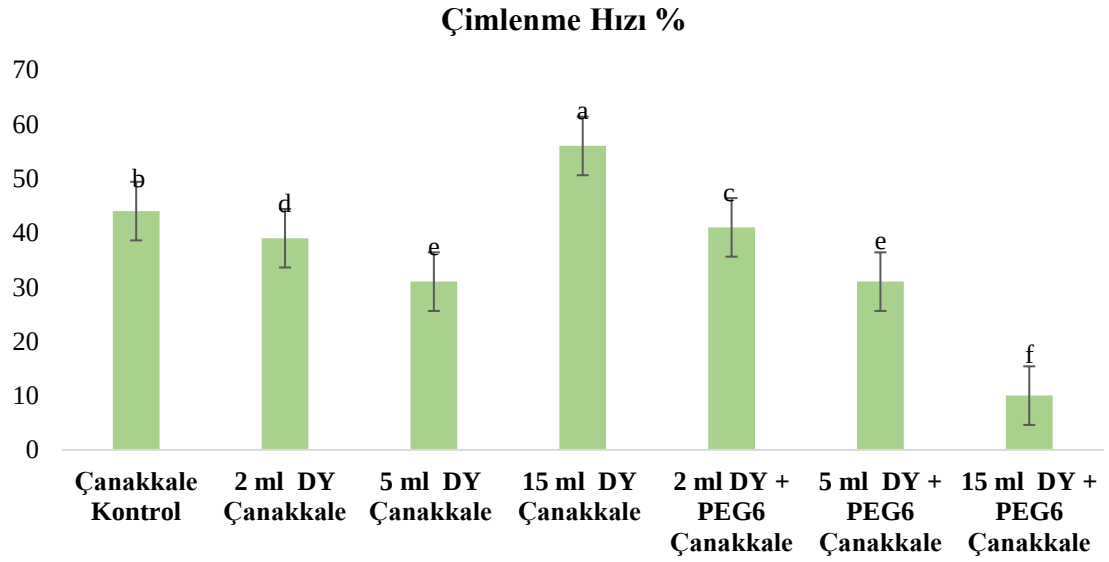


Grafik 9. *Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Maraş Orijinli Tohumlarda Çimlenme Hızı*

Tırak ve arkadaşlarının (2022: 127-131) çalışmasında kullanılan organik priming solüsyonları kekik (%12.5), defne (%10), sıvı deniz yosunu (%0.1), katı deniz yosunu (%0.1) ve vermikompost (solucan gübresi) (%5) özütlerinden hazırlanmıştır. Sıvı deniz yosunu solüsyonu için 1 ml sıvı deniz yosunu özütü 1000 ml saf su ile muamele edilmiş ve bu karışımdan 400 ml'lik uygulama solüsyonu elde edilmiştir. Çalışmanın çimlenme süresi sonuçlarına göre, kontrol grubundaki tohumlar ortalama 6.9 günde çimlenirken, katı deniz yosunu, sıvı deniz yosunu ve defne özütü uygulanan tohumlarda bu sürenin 5.42-5.59 gün aralığına düştüğü gözlemlenmiştir.

Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Çanakkale Orjinli Tohumlarda Çimlenme Hızı Tespiti

Çanakkale orijinli karaçam tohumlarında deniz yosunu uygulamasının çimlenme hızı parametresi üzerindeki olumlu etkisi en belirgin şekilde yüksek dozda (15 ml) gözlemlenmiştir. Ancak, kuraklık stresi altındaki tohumların çimlenme hızı üzerinde uygulanan hiçbir doz grubunun pozitif bir etkisi saptanamamıştır.

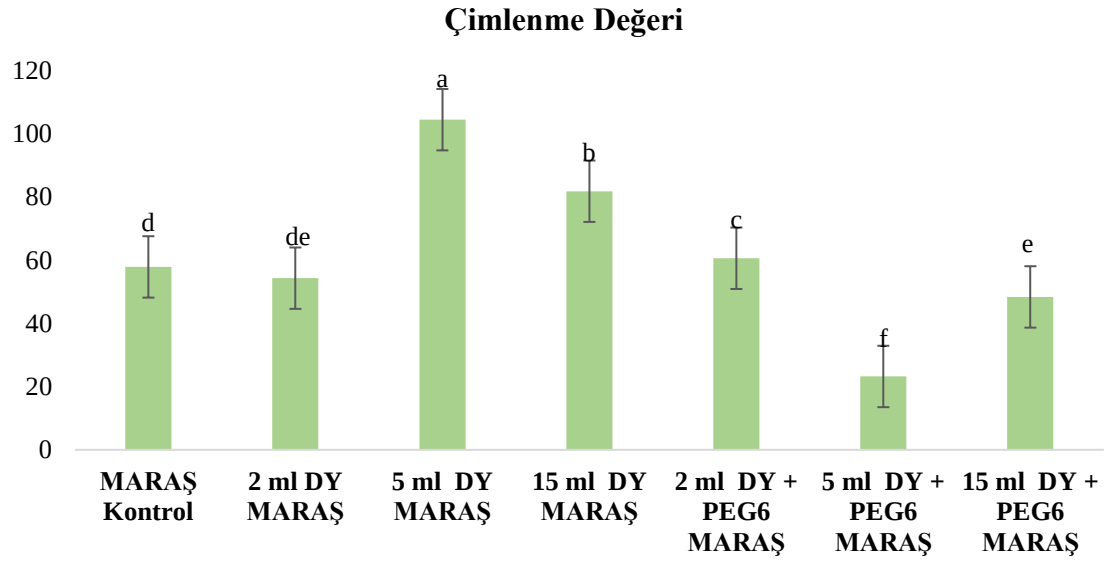


Grafik 10. Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Çanakkale Orjinli Tohumlarda Çimlenme Hızı

Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Maraş Orjinli Tohumlarda Çimlenme Değeri Tespiti

Deniz yosunu uygulaması yapılan Maraş orijinli tohumlar çimlenme değeri açısından incelendiğinde deniz yosunu uygulamasında 5 ve 15 ml dozların çimlenme değerini arttırıcı etkisinin olduğu gözlenmiştir. Kuraklık stresi altındaki tohumların çimlenme değerine ise 2 ml doz grubunun olumlu bir etkisinin olduğu gözlenmiştir.

Kara vd. (2019: B118-122), tuz stresi altındaki *Echinacea purpurea* L.'nın kimyasal madde içeriği üzerine deniz yosununun etkisini incelediği araştırmada, üç farklı deniz yosunu konsantrasyonu kullanılmış ve en yüksek olumlu etkinin, değerlendirilen tüm özellikler için en yüksek doz uygulanan grupta ortaya çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca deniz yosunun bir diğer abiyotik stres olan tuz stresinde de etkili olduğunu tespit etmiştir.

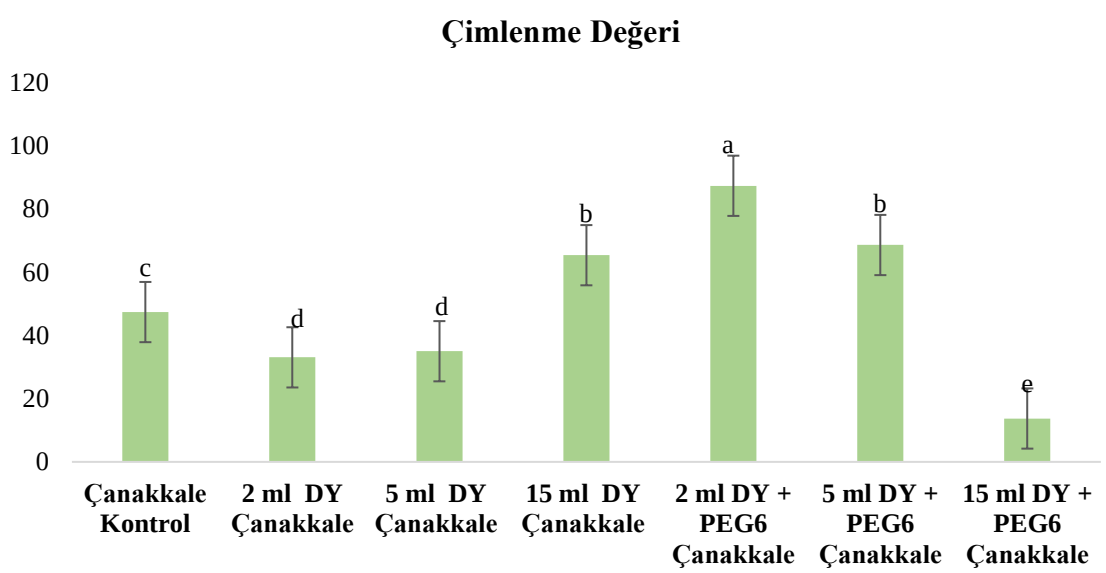


Grafik 11. Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Maraş Orijinli Tohumlarda Çimlenme Değeri

Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Çanakkale Orjinli Tohumlarda Çimlenme Değeri Tespiti

Çanakkale orijinli karaçam tohumlarına uygulanan deniz yosunu uygulamasının çimlenme parametresi olan çimlenme değeri üzerine olumlu etkisi Maraş orijinde de olumlu etki yapan 15 ml doz grubundadır. Aynı etkiyi kuraklık stresi altındaki karaçam tohumlarında gösterememektedir. Uygulanan diğer 2 dozunsa (2ml ve 5 ml) kuraklık stresi altındaki tohumlara olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Muhie'nin (2019: 43-60) araştırması, organik özütlerle gerçekleştirilen tohum ön uygulamalarının (priming), havuç (*Daucus carrota*) ve soğan (*Allium cepa*) tohumlarının abiyotik stres koşulları altındaki çimlenme ve fide kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, soğan ve havuç bitkileri için 3 farklı stres türü ve 4 farklı doz uygulanmış olup, kullanılan organik özütlerden deniz yosununun havuç bitkisinde etkili olduğu belirlenmiştir.



Grafik 12. Deniz Yosunu Uygulaması Yapılan Çanakkale Orjinli Tohumlarda Çimlenme Değeri

Yapılan bir diğer çalışmadaysa tuz stresi altındaki ekinezya'ya uygulanan deniz yosunun büyüme parametreleri ile fizyolojik ve biyokimyasal özelliklere olan etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda; bazı özelliklerde azaltıcı etki yapan tuz stresi bazı özelliklerdeyse artışa sebep olmuştur ancak deniz yosununun tuz stresinin sebep olduğu olumsuzluklara karşı olumlu etkisinin olduğunu tespit etmiştir (Kara, 2019: 118-122).

Deniz yosunu ile ilgili yapılan bir diğer çalışmadaysa tuz stresi verilen pırasanın çimlenme oranı ve hızı üzerine olumlu etki elde edebilmek için pırasanın 24 saat boyunca deniz yosununda bekletildiğinde istenen olumlu etkinin elde edilebileceğini tespit etmiştir (Güvenç ve Yıldırım, 2005: 85-87). Deniz yosunu ve solucan gübresinin çimlenme üzerine olumlu etkilerinin olması sevindirici bir gelişmedir. Yapılan bir çalışmada solucan gübresinin mercimek çeşitlerinde verim ve verimle ilgili özelliklerine etkisi araştırılmış olup incelenen verim özellikleri açısından kontrole göre solucan gübresinin olumlu etkisinin olduğunu saptamıştır (Eren, 2021: 18-42).

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar literatürde elde edilen sonuçları desteklemektedir. Son yıllardaki tohum ön işlem (priming) uygulamaları abiyotik stres deneyleri ile birlikte iklim değişikliği ile mücadele süreçlerine destek sağlamaktadır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç olarak deniz yosunu ve solucan gübresinin literatürde bulunan çalışmalar sonucunda bitkinin büyümesi ve gelişmesi üzerine olumlu etkisinin olduğu bilinmektedir. Fakat bu çalışmanın sonucunda tohum çimlenmesi üzerine de olumlu bir etkisinin olduğu da tespit edilmiştir. Özellikle deniz yosunun incelenen çimlenme parametrelerine etkisinin önemli düzeyde olduğu elde edilen sonuçlarla bir kez daha ortaya konulmuştur. Son zamanlarda kullanımı artan solucan gübresinin de gerek kuraklık stresine karşı gerek incelenen çimlenme parametreleri üzerine olumlu yönde etkisinin olduğu bir kez daha saptanmıştır.

İki farklı orijinli karaçam tohumlarına 3 farklı doz şeklinde uygulanan solucan gübresinin, düşük dozu olan 5 ml dozunun incelenen çimlenme parametreleri üzerine olumlu etkilerinin olduğu gözlenmiştir. Deniz yosunu uygulamasında ise 2ml doz grubunun kuraklık stresi uygulaması yapılan tohumlar da daha iyi aktive olduğu görülürken stres uygulaması yapılmayan tohumlarda ise 15 ml doz grubunun daha etkili olduğu görülmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada elde edilen bulgular, deniz yosunu ve solucan gübresinin hem çimlenme özellikleri üzerinde hem de kuraklık stresine karşı olumlu etkileri olduğunu göstermiştir.

Özellikle çimlenme yüzdesi düşük olan tohumlarda bu organik materyallerin kullanımının faydalı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, solucan gübresinin daha düşük dozlardaki etkilerinin ileride yapılacak kapsamlı araştırmalarla detaylı bir şekilde incelenmesi önerilmektedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

Abacıoğlu E., Yatgın S., Tokel E., Yücesoy P. (2020). Vermikompostun (solucan gübresi) üretimi ve bitki beslemesindeki önemi. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences, 3(1),* 1-10.

Albaşavat L., Akay H., Öztürk E., Sezer İ. (2023). Tohum büyüklüğü ve PEG kaynaklı ozmotik stresin tane sorgumda çimlenme ve fide büyümesi üzerine etkileri. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 7(2):* 407-422

Anonim, (2025). 2025 yılı performans programı. strateji geliştirme başkanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Ocak, Ankara.

Bademkıran F., Çığ A., Türkoğlu N. (2018). Nergis (*Narcissus* cv. 'Royal Connection') bitkisinin gelişimi üzerine katı ve sıvı solucan gübresi dozlarının etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 5(4):* 676–684.

Bat M., Tunçtürk R., Tunçtürk M. (2019). Kuraklık stresi altındaki Ekinezya (*Echinacea purpurea* L.)' da deniz yosununun büyüme parametreleri, toplam fenolik ve antioksidan madde üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi . 29(3),* 496-505.

Çalışkan, S. & Boydak M. (2017). Afforestation of arid and semiarid ecosystems in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry: 41 (5),*317-330. https://doi.org/10.3906/tar-1702-39 https://doi.org/10.3906/tar-1702-39

Çetin V. (2002). Meyve ve sebzelerde kullanılan bitki gelişmeyi düzenleyiciler. *Gıda Ve Yem Bilimi-Teknolojisi,* Sayı 2.

Eren A. (2021). Solucan gübresinin mercimek (*Lens culinaris* medic.) çeşitlerinde verim ve verimle ilgili özelliklere olan etkisinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi.*Mardin Artuklu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.* Mardin. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Guada, G., Camarero, J.J., Sánchez-Salguero, R., & Cerrillo, R.M.N. (2016). Limited growth recovery after drought-ınduced forest dieback in very defoliated trees of two pine species. *Front. Plant Sci. 7,* 418. doi: 10.3389/fpls.2016.00418.

Güvenç İ. ve Yıldırım E. (2005). Deniz yosunu özü uygulamalarının tuzlu koşullarda pırasada tohum çimlenmesi üzerine etkisi. *BAHÇE 34* (2): 83 –90..

Karakurt H., Aslantaş R., Eşitken A. (2010). Tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerinde etkili olan çevresel faktörler ve bazı ön uygulamalar.*Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt 24,* Sayı 2, 115-128.

Kumlay A. M. ve Eryiğit T. (2011). Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi düzenleyici maddeler: Bitki Hormonları. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. *Cilt 1,* Sayı 2 ,47-56.

Kara, A., Tunçtürk, M., & Tunçtürk, R. (2019). Tuz stresi altındaki *Echinaceae purpurea* L.'nın büyüme parametreleri ile toplam fenolik ve antioksidan madde içeriği üzerine deniz yosununun etkisi. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi, 8(1),* 115-124.

Korkmaz İ. (2024). Kuraklık stresi altında çimlendirilen bazı Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* J.F. Arnold ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) orijinlerinin tohumlarında Dopamin hormon uygulamasının çimlenme özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Kastamonu. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Muhie S. H. (2019). Organik özütlerle prımıng uygulamalarının soğan (*Allium cepa*) ve havuç (*Daucus carrota*) tohumlarının abiyotik stres koşulları altında çimlenme ve fide kalitesine etkisi. Doktora Tezi. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.*

OGM, (2020). *Türkiye Orman Varlığı*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü.

Özenç D.B. ve Şen O. (2017). Farklı gelişim dönemlerinde uygulanan deniz yosunu gübresinin domates bitkisinin gelişim ve bazı kalite özelliklerine etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi, Cilt 6,* Özel sayı 235-242.

Sağlam N., Doksöz S., Geboloğlu N., Şahin S., Yılmaz E. (2015). Agrimol örtü ve sıvı solucan gübresinin farklı uygulama sayısı ve dozlarının kıvırcık yapraklı salatada verim, kalite ve bitki gelişimine etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 8 (1):* 59-61.

Sezgin M. ve Şimşek E. (2017). Bazı orman ağacı ve çalı türleri tohumlarının çimlendirilmesinde vermikompost ürünlerinin etkileri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Cilt 18,* Sayı 1, 78-82.

Sevgi O., Tecimen H.B., Okan T. (2022). *Karaçam. Türkiye Ormancılar Derneği,* Ankara. https://www.ormancilardernegi.org/Documents/bacc7a99-494b-4227-84db-b9ba62ba4370.pdf

Tırak T., Duman İ., Demirkes M. (2022). Organik priming uygulamalarının marul ve soğan tohumlarının çimlenme özelliklerine etkileri. *Bahçe* 51, Özel Sayı, 1, 123–132. https://pdf.trdizin.gov.tr/pdf/dXBGWUNZeTJ6MitqdlROZ3pScEthWU5aYzJ2WGJRaFQ3NlUzYStUeC9leTRaKy9LamZHOG4rQWY3WWFCSS9pOStvVkFwaFd0M3BrczVUWHR5STFRVDNPMjNZVVVCK0poQTAyazVMWkxzSy8vNUJVaUVuV1JvQmVvSkxzUUNpa0x6VC9mTktETkRERnJpNlRpK09jbThIZUtncHBHYmVZcENud1NKdGluM1ZBSDIxS2c3UmF6S2ZrNEV5NERODzJjbHJ5UENNcS9qTExOSFBvWG9pTEV0TlpSZGVwckduYSt1cXc5R2trSFJLbz0

Yahyaoğlu, Z. ve Ölmez, Z., (2003). *Tohum Teknolojisi ve Fidanlık Tekniği Ders Notu*. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Yayınları*, Artvin.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

DEVELOPMENT OF CYLINDRICAL DE-ICING DEVICE FOR AIRCRAFT ICING: DESIGN AND FUNCTION INTRODUCTION

Fatma Zehra PEKİNCE[1]
Enes BAŞKAVAK[2]
Elif Hazan EFE[3]
Burhan ŞAHİN[4]

Abstract

Ice accumulation on aircraft wings endangers aerodynamic performance and flight safety. Therefore, de-icing is of vital importance. Traditional de-icing systems operate with high energy consumption, have limited effective areas, and involve mechanically complex systems. This study presents two innovative mechanical de-icing systems designed to overcome these limitations. The first system uses rotating cylinders that move along a gear rail mechanism to stretch an elastic surface and break the ice layer. The second system creates localized stress points with electromagnetically controlled iron spheres to fracture the ice. Both systems were modeled in SolidWORKS 2024 and analyzed for aerodynamic performance using ANSYS Fluent 2024 R2. Simulation results showed that the cylinder configuration placed on the leading edge provided the most efficient performance at 0° angle of attack, with a drag coefficient (CD) of 0.01467 and a lift-to-drag ratio (L/D) of 21.49. In comparison, this system was found to provide 40% energy savings compared to conventional electrothermal systems. The modular design allows the system to be adapted to various wing profiles. Integrated ultrasonic sensors enable real-time monitoring of ice thickness, allowing for precise control of the system. The proposed systems combine mechanical efficiency with intelligent control features to address the fundamental limitations of existing technologies. Due to their low energy consumption, these systems are particularly suitable for unmanned aerial vehicles (UAVs) and commercial aircraft. This study provides an energy-efficient and reliable solution for aviation safety by effectively preventing ice accumulation on critical wing surfaces while preserving aerodynamic integrity.

Keywords: Aircraft wing icing, mechanical de-icing, aerodynamic efficiency, energy conservation, electromagnetic control

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Mail Adresi: Öğrenci, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği, fatmapekince5@gmail.com
[2] Unvan, Üniversite, Bölüm, Mail Adresi: Öğrenci, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği, enesbaskavak@gmail.com
[3] Unvan, Üniversite, Bölüm, Mail Adresi: Öğrenci, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği, hazanelif03@gmail.com
[4] Unvan, Kurum, Mail Adresi: Dr., TUSAŞ, burhan-03@hotmail.com

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Giriş

Uçak kanatları, düşük sıcaklıklarda aşırı soğumuş su damlacıklarıyla temas ettiklerinde oluşan buz tabakası nedeniyle aerodinamik profillerini hızla kaybederek kaldırma kuvvetinde %30'a varan düşüşlere ve kontrol yüzeylerinde ciddi tork dengesizliklerine yol açmaktadır (Yeong et al., 2015, s. 1124). Son yıllarda insansız sistemlere kadar genişleyen operasyon sahasında, laminer akış rejiminin birkaç milimetrelik buz kabuğuyla bozulması dahi görev iptallerinin %50'sinin nedeni olarak kaydedilmiştir (Nazhipkyzy et al., 2016, s. 8). Buz birikiminin kaldırmayı azaltırken sürtünme katsayısını %50'nin üzerinde artırdığı, dolayısıyla yakıt tüketimini belirgin ölçüde yükselttiği ayrıntılı aerodinamik ölçümlerle ortaya konmuştur (Deng, Zhang & Wang, 2024).

Erken dönem çözümler pnömatik botlar, sıcak hava kanalları ve sıvı püskürtmeli "weeping-wing" sistemleriyle sınırlıyken; literatür, titreşim tabanlı piezoelektrik aktüatörlerin kanat panellerine entegrasyonu (Jomaa & Dufour, 2024, s. 15), kılavuz-dalga odaklı buz koparma darbeleri (del Moral et al., 2022, §4), geniş alanlı kanat deformasyonu ile "büyük genlikli kanat salınımı" yaklaşımını ve sayısal sertifikasyon odaklı yoğun hesaplamalı buz akreti simülasyonlarını içerecek biçimde genişlemiştir. Pasif tarafta, süperhidrofob-fototermal kaplamalar su itici özelliklerini uzun uçuş çevrimlerinde kaybederek buz tutma sıcaklığını ancak sınırlı süre geciktirebilmiştir (Piscitelli, Fortin & Marra, 2023, s. 7). Ayrıca yüksek mertebe kılavuz dalga sensörleriyle <1 mm buz tabakasının tespiti mümkün hâle gelse de bu sensörlerin eşzamanlı buz kırma kabiliyeti bulunmamaktadır (Hongerholt, Willms & Rose, 2001, §2.1). Kapsamlı derlemeler, mevcut aktif sistemlerin enerji yoğunluğu ve bakım gereksinimi nedeniyle bölgesel uygulanabildiğini, pasif kaplamaların ise yapısal dayanım ve ömür sorunları yaşadığını vurgulamaktadır (Boinovich & Emelyanenko, 2014, s. 205). Dolayısıyla güncel araştırmalar, elektrodinamik darbelerde eş-merkezli gerilim dağıtımı (Fortin, Piscitelli & Marra, 2023, §5.3), makine öğrenmesi ile buz şiddeti kestirimi ve erken safha buz algılamada yüksek-mertebe simetrik mod kullanımına yönelmiş; ancak hem ön hem arka kenarda eşzamanlı, düşük güçlü ve bütünsel bir buz çözme mimarisine henüz ulaşılamamıştır. Bu bağlamda literatürdeki başlıca boşluk, mevcut sistemlerin çoğunlukla kanat ön kenarı ile sınırlı kalması, yüksek gerilim/ısı girdisi gerektirmesi ve uçuş sırasında gerçek zamanlı geri besleme ile kendini optimize edememesidir (Liu et al., 2022, s. 12). Bazı projeler düşük güçlü elektro-termal konseptlerde enerji tasarrufu sağlasa da sistemlerin hâlen sürekli ısıtma mantığıyla çalıştığı belirtilmiştir (Golovin et al., 2021, §4.2). Saha kılavuzları, arka kenar buzlanmasının göz ardı edilmesinin özellikle yüksek hücum açılarında beklenmedik duruşa neden olabileceğini vurgular (Bragg et al., 2020, s. 34).

Önerdiğimiz çift-versiyonlu mekanik sistem tam da bu stratejik boşluğu doldurur: dişli ray üzerinde senkron dönen silindirler veya değişken manyetik alanla yönlendirilen demir küreler, elastik kaplamayı boylamsal olarak gererek buz-yapışma arayüzünde makaslama gerilmeleri üretir; böylelikle buz tabakasını noktasal değil, yüzeyin tamamında kırar. Ultrasonik sensör paketi, yüksek mertebe modlara dayalı olarak yüzeyde kalan buz miktarını hassas şekilde izler ve gerekirse sistemin ikinci bir çevrim gerçekleştirmesini sağlar (Zhang et al., 2023, §6.1). Modüler yapısı sayesinde farklı platformlara kolayca uyarlanabilen bu sistem, geleneksel elektro-termal çözümlere kıyasla daha düşük enerji tüketimiyle çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Silindirli versiyonda kullanılan mekanik aktarım düzeni, titreşim esaslı alternatiflere göre bakım gereksinimlerini azaltırken; küreli versiyonda tercih edilen manyetik sürücüler, mevcut yapıya müdahale etmeksizin montaj imkânı sunar. Öte yandan, pasif

kaplamaların düşük sıcaklıklarda yüzey dayanımında yaşadığı yıpranma sorunlarını aşmak adına, sistemin elastik dış katmanı mikro-nano ölçekli özel bir yüzey dokusuyla birleştirilmiş; böylece hem su iticilik hem de mekanik dayanım birlikte sağlanmıştır (Wang et al., 2021, s. 9).

Böylece sunulan buluş, enerji-yoğun bölgesel ısıtıcıların ve yorulma sınırlı pnömatik botların ötesinde, kanat boyunca sürekli, geri beslemeli ve düşük güç tüketimli bir referans mimari önererek hava araçlarında buzlanma kaynaklı performans ve güvenlik risklerini bütüncül biçimde azaltmakta; mühendislik literatürüne geniş alan kapsayıcı, sensörle uyarlanabilir ilk mekanik buz kırma (de-icing) konseptini kazandırmaktadır.

2. Metot ve Yöntemler

2.1. Metot

Uçak kanatlarındaki buzlanma sorunu, bu çalışmada yalnızca bir fiziksel problem olarak değil, aynı zamanda aerodinamik performans kaybı ve enerji verimliliği açısından da ele alınmıştır. Var olan çözümleri doğrudan uygulamak yerine, önce problemin sınır koşulları ve operasyonel kısıtları belirlenmiş, ardından bunlara uygun yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Sınır Koşulları:

- Enerji sınırlamaları: Küçük İHA'lar ve hafif hava araçlarında enerji kapasitesi oldukça düşüktür. Bu nedenle, elektrotermal sistemler gibi yüksek enerji tüketen çözümler bu platformlarda uygulanabilir değildir.
- Buzlanma bölgesi genişliği: Mevcut sistemlerin çoğu sadece kanatların ön kenarındaki buzlanmayı hedeflemekte, ancak arka kenarlarda oluşan buzlanmayı ihmal etmektedir. Hem küçük hem büyük alanlara uyumlu mekanik sistemler bulunmamaktadır.
- Sistem entegrasyonu: Geliştirilecek sistemin, farklı kanat profillerine kolaylıkla entegre edilebilir ve bakım gereksinimi düşük olması hedeflenmiştir.
- Tepki süresi ve akıllı kontrol: Sistem, sadece gerekli durumlarda çalışmalı ve buz kalınlığına göre kendini otomatik olarak devreye alabilmelidir.

İlk etapta aşağıdaki yaklaşımlar değerlendirilmiştir:

- Elektrotermal ısıtıcı sistemler
- Pnömatik şişirilebilir yüzeyler
- Elektromanyetik darbe sistemleri
- Süperhidrofobik kaplamalar
- Mekanik buz kırıcı yapılar
- Enerji verimliliği

Bakım kolaylığı ve işlevsellik açısından yapılan karşılaştırmalar sonucunda, aktif mekanik müdahale temelli iki yeni çözüm geliştirilmesine karar verilmiştir.

2.2. Yöntem

Tasarımın öncelikleri arasında az enerji tüketimi, kanat üzerine kolay entegre edilebilirliği ve bakımının kolaylığı-sürdürülebilirliği yer almaktadır (Ferrari & Cirisano, 2023, s. 5).

Bu fikri geliştirirken TRIZ yöntemi kullanılmış ve uçak kanatlarındaki buzlanmaya yeni bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Tasarlanan sistemin kanat üzerine entegrasyonunu

kolaylaştırmak amacıyla CESSNA uçağı referans alınmıştır. Kanat profili olarak subsonik uçuşlarda uygunluk gösteren NACA 2412 kanat profili kullanılmıştır. Tasarımlar, yalnızca kanat üzerinde değişiklik gerektirdiğinden, yarım bir kanat modeli üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Aerodinamik analiz aşamasında modelin detaylarının çok oluşu çeşitli zorluklara neden olmuştur. Bu nedenle analizde kullanılmak üzere, yalnızca sistemin çevresini (esnek yapı ve kanat bütünü) içeren, iç ayrıntılardan arındırılmış ve dış hatları sabit tutulan sadeleştirilmiş bir tasarım oluşturulmuştur.

Araştırmalar sonucunda buzlanmanın özellikle kanadın ön kısmı olan hücum kenarı bölgesinde yoğunlaştığı tespit edildiğinden, sistemin bu bölgedeki konumlarının aerodinamik etkilerinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, silindir veya küre biçimindeki sistem, hücum kenarının üstü, önü ve altı olmak üzere üç farklı konumda yerleştirilmiştir.

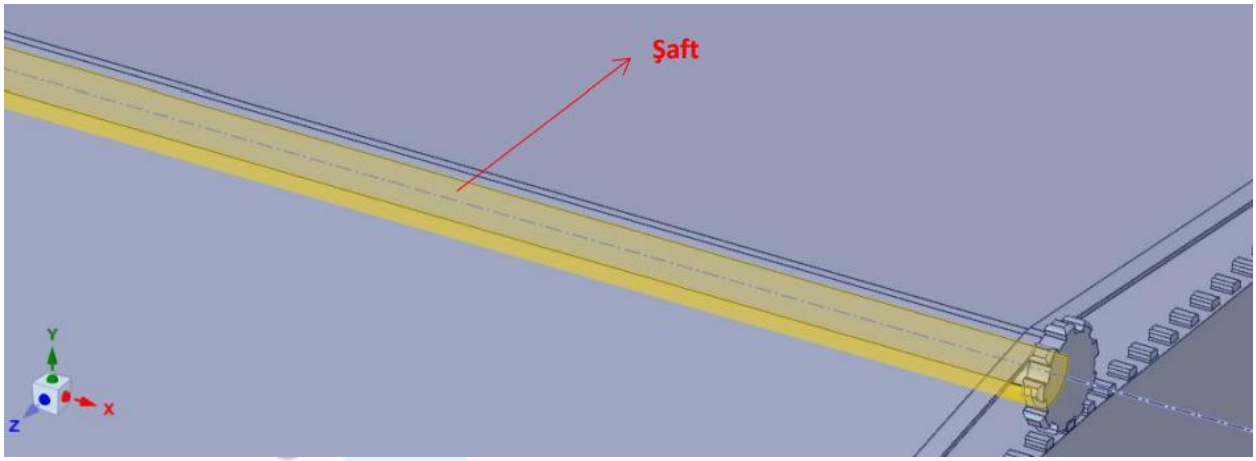
Analiz öncesinde mesh işlemi gerçekleştirilmiş, mesh kalitesi optimum seviyeye çıkarılarak hesaplamaların doğruluğunu arttırmak amaçlanmıştır. Hızlı analiz sonuçları almak ve işlem yükünü azaltmak amacı ile Spalart–Allmaras türbülans modeli kullanılmıştır. Analizler, uçağın buzlanmanın meydana geldiği koşullarda, yani hava sıcaklığının eksi değerlere düştüğü ve yaklaşık −10 °C sıcaklıkta olduğu varsayılan 4000 metre irtifada gerçekleştiği kabul edilerek yapılmıştır. Kullanılan irtifa değeri buzlanma senaryolarına uygun olup, analizlerde sabit olarak kullanılmıştır.

3. Bulgular

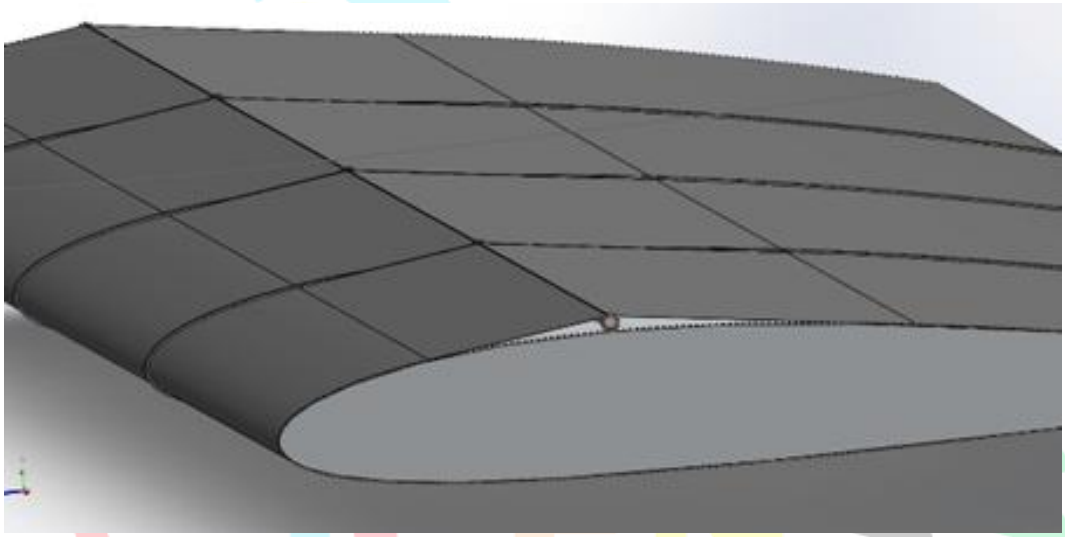
3.1 Sistemin Tasarlanması

Yapılan araştırmalar sonucunda buzlanmanın kanadın ön kenarında yoğunlaştığı elde edilmiştir. Var olan sistemlerin bu ön kenardaki buzlanmayı fark etmede başarısız olduğu fark edilmiştir (De Gennaro, 2020; Körpe, Yırtıcı, & Özgen, 2020, s. 210). Ek olarak var olan elektrotermal sistemlerin az enerji kapasitesi olan İHA gibi yapılara uygun olmadığı fark edilmiştir (Kühn, 2021, S. 22-23; Morita, Kimura, & Sakaue, 2020, s. 1). Bu farkındalıkların ışığında bu çalışmada enerji verimli, küçük veya büyük yüzey alanlarına uyumlu hale getirilebilecek mekanik bir sistem geliştirilmek hedeflenmiştir (Hann, Kimura, & Sakaue, 2020, s. 1-2)

Tasarım-1: Elastik bir yüzeyin altında dönen bir şafttan oluşmaktadır. Bu şaft, kanat boyunca uzanmakta ve kanadın köküne ve ucuna yerleştirilmiş dişli yolları üzerinde ilerlemektedir (Şekil-1). Bu şafta güç, DC motor sayesinde iletilmektedir. DC motor, dişli kayış yardımıyla ürettiği dönme kuvvetini sisteme aktarmaktadır. Sisteme aktarılan dönme kuvveti etkisiyle ilerleyen şaft, elastik yapıyı gererek yüzeyde oluşan buzu kırmasını sağlamaktadır (Şekil-2) (Villeneuve, Volat, & Ghinet, 2020, s. 2-9). Bu sistem eş zamanlı olarak geniş yüzeylerdeki buzları kırmaya yönelik tasarlanmış bir örnek olarak çalışmaktadır. Bu yaklaşımın ana amacı mekanik olarak güvenilir, sürekli ve enerji verimli bir tasarım sunmaktır (Kwon & Lee, 2021, s. 6).

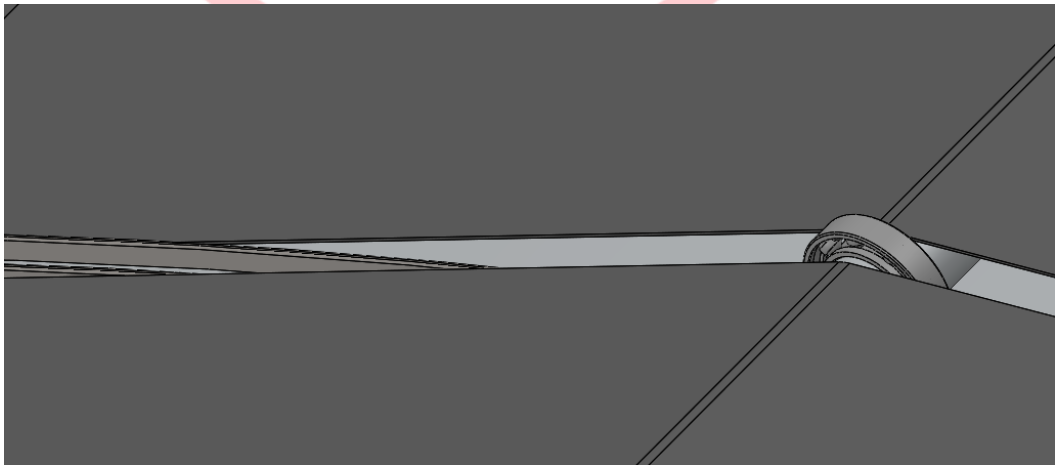


Şekil-1: *Tasarım-1'in Şaft ve Dişli Sistemlerin Gösterilmesi*



Şekil-2: *Tasarım-1 Sisteminin Çalışırken Esnek Yapıyı Germesi*

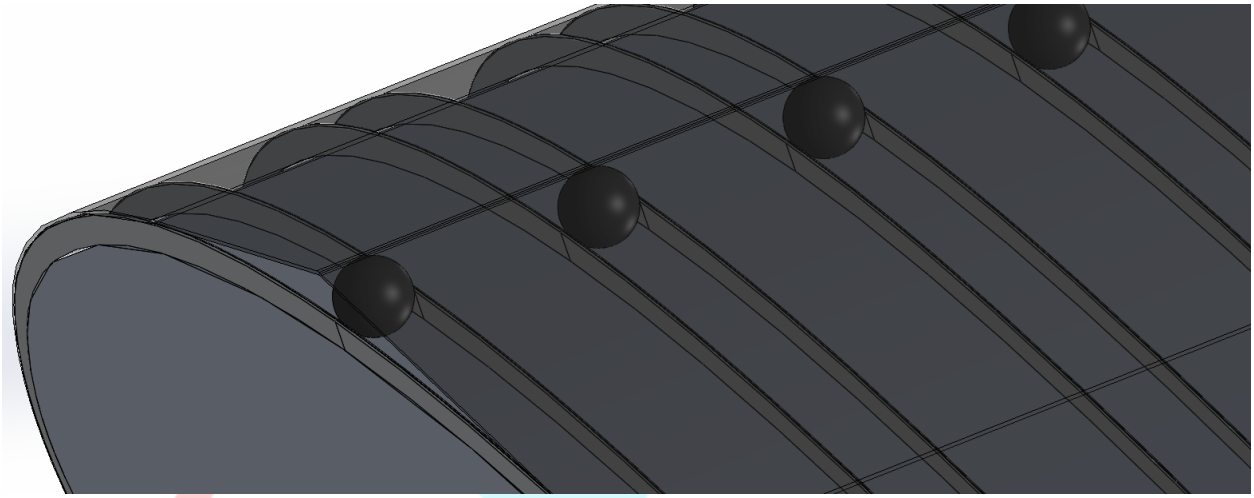
Kanat boyunca ilerleyen şafta dayanıklılık katmak, bükülmeye karşı direnç göstermesi amacıyla belirli aralıklarla rulmanlarla desteklenmiştir. Bu rulmanları izledikleri yol üzerinde sabit tutmak için kenarlarına destekler konularak kanat üzerinde kanallar yapılmıştır. (Şekil-3)



Şekil-3: *Tasarım-1 Rulman ve Yataklarının Gösterilmesi*

Tasarım-2: Mekanik kısmın yeterli gelemeyebileceği spesifik noktlarda daha yüksek verim alabilmek amacıyla silindirlerden daha küçük olan küreler ve elektromanyetik kuvvetleri

kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarımda küçük ferromanyetik küreler yine aynı elastik yüzeyin altına konumlandırılmaktadır. Önceden sınırları çizilmiş kanallarda, kanadın iç yapısına yerleştirilmiş elektromanyetik mıknatıslar aracılığıyla hareket ettirilmektedirler (Şekil-4). Küreler hareket ettikçe, buz tabakasını kıran yüzey gerilimini oluştururlar. Sistem mekanik teması minimum düzeye getirdiğinden, mekanik aşınmaya karşı oldukça dirençlidir. Ayrıca, uzaktan kontrol etme ve yönlendirme kolaylığı, değişen kulllanım koşullarına uyum sağlama olanağını arttırır (Serway & Jewett, 2018; Santos, Oliveira, & De la Cruz, 2022, s. 310-312).



Şekil-4: *Tasarım-2 Demir Bilyelerin ve Yatağının Elastik Yüzeyin Altındaki Görünüşü*

Dönen silindirlerin yer aldığı Tasarım-1'in geniş yüzeylerde etkili olması, elektromanyetik sistemin ise hassasiyet ve ince ayar gerektiren bölgelerde kullanılmaya uygun olması; bu iki sistemin birlikte kullanıldığında birbirlerinin eksikliklerini tamamlamasını ve mevcut sistemlerin yetersizliklerine alternatif bir çözüm oluşturmalarını sağlamaktadır (Ferrari & Cirisano, 2023; De Gennaro, 2020).

3.2 Kaldırma ve Sürükleme Kuvvetlerinin Etkileri

Bu bölümde, basit bir kanat profili üzerinde yapmış olduğumuz sistemin farklı pozisyonlarda aerodinamik performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu analizlerde ANSYS Fluent 2024 R2 yazılımı kullanılmıştır. Aşağıdaki tablo, yapılan analizlere ait araçları sunmaktadır.

Tablo 1: *Analiz Araçları*

Kanat Modeli	NACA 2412
Chord Uzunluğu	1.5 m
Span Uzunluğu	5 m
Türbülans Modeli	Spalart Almaras
Çözüm Yöntemi	Pressure-based
İrtifa	4000 m
Uçuş Hızı	62.78 m/s
Hava Sıcaklığı	-10 derece
Çözüm Tipi	Steady-State

Simülasyonlar, sıfır hücum açısında (0° AOA) yapılmış ve elde edilen kaldırma kuvveti, sürükleme kuvveti, CL (kaldırma katsayısı), CD (sürükleme katsayısı) ve aerodinamik verimlilik (L/D) değerleri aşağıda belirtilmiştir. Buzlanmada en kritik bölge hücum kenarında (LE) olduğu için, buradaki 3 farklı konumu ele alınmıştır.

Tablo 2: *Kaldırma Kuvveti, Sürükleme Kuvveti, CL ve CD Değerleri*

0 AOA	Kaldırma Kuvveti	Sürükleme Kuvveti	CL	CD	L/D
Basit Kanat	3862,4	182,26	0,319	0,01505	21,1917
LE Üstü	3832,44	187,22	0,316	0,01546	20,47025
LE Önü	3819,72	177,67	0,315	0,01467	21,49896
LE Altı	3767,47	182,64	0,311	0,01508	20,62785

Bu sonuçlar doğrultusunda, silindirin belirli konumlardaki aerodinamik performans üzerinde belirgin etkiler yarattığı gözlemlenmiştir:

1. Kaldırma Kuvveti ve CL: Basit kanat tasarımında en yüksek kaldırma kuvveti ve CL değeri elde edilmiştir. Ancak, silindirin yerleştirilmesiyle birlikte CL değerinde bir azalma gözlemlenmiştir. En düşük CL, silindirin alt kısmına yerleştirildiğinde ortaya çıkmıştır. Bu, beklenen bir durumdur çünkü kaldırma kuvveti, üst ve alt kanatlar arasındaki basınç farkına dayanır. Alt kısımdaki bu müdahale, basınç farkını azaltarak genel kaldırma kuvvetini düşürür.

2. Sürükleme Kuvveti ve CD: En düşük CD değeri, silindirin ön kısmında yerleştirildiği durumda gözlemlenmiştir. Bu konumda silindirin hava akışını daha düzenli bir şekilde yönlendirdiğini ve sürüklenme kuvvetini belirli bir ölçüde azalttığını göstermektedir. Silindirin üst ve alt konumlandırmaları ise sürükleme katsayısını artırma eğilimindedir. Çünkü bu yerleştirmeler, laminer akışı bozarak erken akış ayrılmasına neden olur.

3. Aerodinamik Verimlilik (L/D): Sonuçlara göre, ön konumlandırma en yüksek L/D oranına sahip olup, en verimli konfigürasyon olarak öne çıkmaktadır. Öte yandan, üst yerleşimde L/D oranı düşmektedir; bu da kaldırma kuvvetine kıyasla daha fazla sürüklemenin meydana geldiğini ve aerodinamik verimliliğin azaldığını göstermektedir.

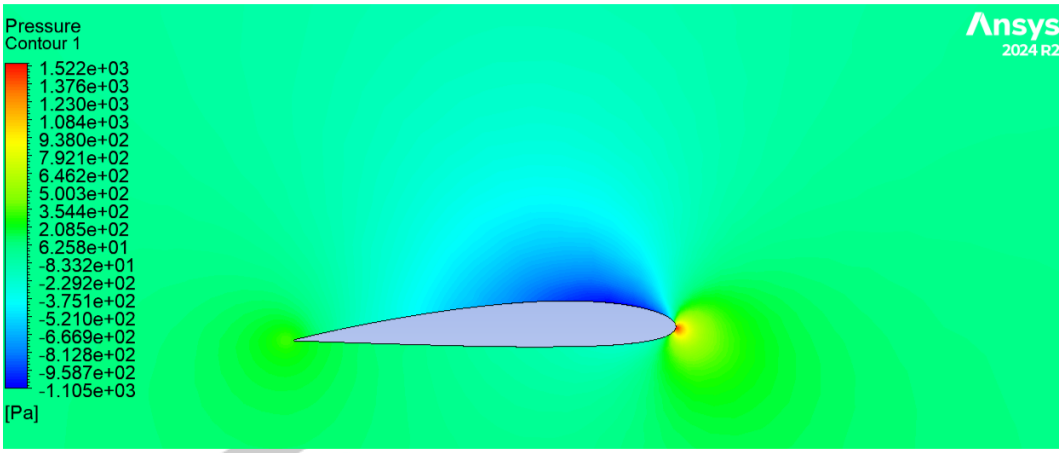
CL–CD grafikleri incelendiğinde, silindirin konumunun değiştirilmesiyle belirli uygulamalarda kaldırma/sürükleme oranının optimize edilebileceği görülmektedir. Özellikle ön konumlandırma, CD'yi düşürdüğü için daha verimli bir aerodinamik performans sağlamaktadır.

3.3 Basınç Dağılımı

Aerodinamik kuvvetlerin performans analizinin yanı sıra, kanat etrafındaki basınç dağılımları da incelenmiştir. Karşılaştırma amacıyla silindirsiz basit kanat yüzeyi de analiz edilmiştir.

a) Deformasyonsuz Kanat

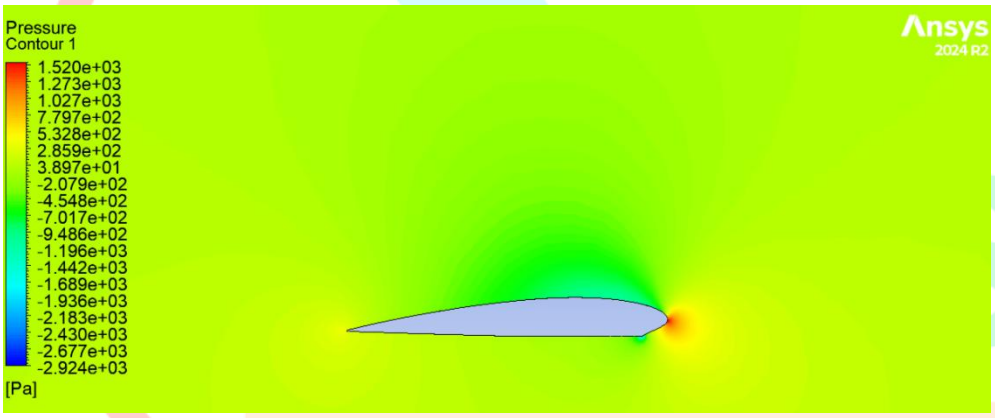
Kanat üzerinde standart bir basınç dağılımı gözlemlenmiştir. Ancak, bu yapı, buzlanma riskinin en yüksek olduğu bölgelerde herhangi bir önleyici mekanizma sunmaz. Buz birikimi, zamanla aerodinamik kayıplara ve uçuş performansının düşmesine neden olabilir. Bu durum, mekanik bir buz kırma sisteminin gerekliliğini ortaya koyar. (Şekil-5)



Şekil-5: *Deformasyonsuz Kanadın Basınç Kontörü*

b) Deformasyonun Kanat Altında Olduğu Durum

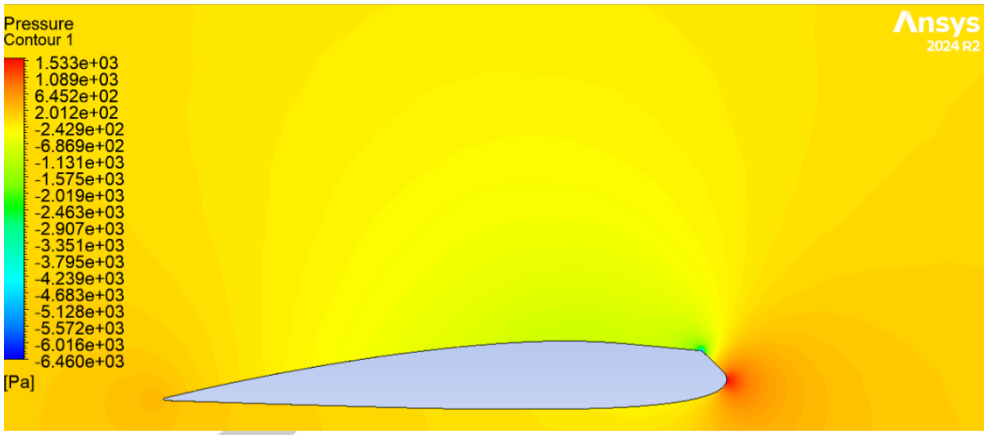
Silindirin kanat altına yerleştirildiği konfigürasyonda, üst yüzeydeki laminer akış korunurken, alt yüzeydeki basınç dağılımı kaldırma kuvvetini destekleyen bir profil oluşturur. Ancak bu yerleşimde, basit kanat konfigürasyonuna kıyasla üst yüzeydeki düşük basınç bölgesi zayıflamış ve buna bağlı olarak kaldırma kuvvetinde bir düşüş gözlemlenmiştir. Yine de bu düzenleme buz kırma sırasında elastik yapının hareketine direnç göstermediğinden, sistemin verimli çalışmasına ve uçuş güvenliğinin korunmasına katkı sağlar. (Şekil-6)



Şekil-6: *Deformasyonun Kanat Altında Olduğu Durumdaki Basınç Kontörü*

c) Deformasyonun Kanat Üstünde Olduğu Durum

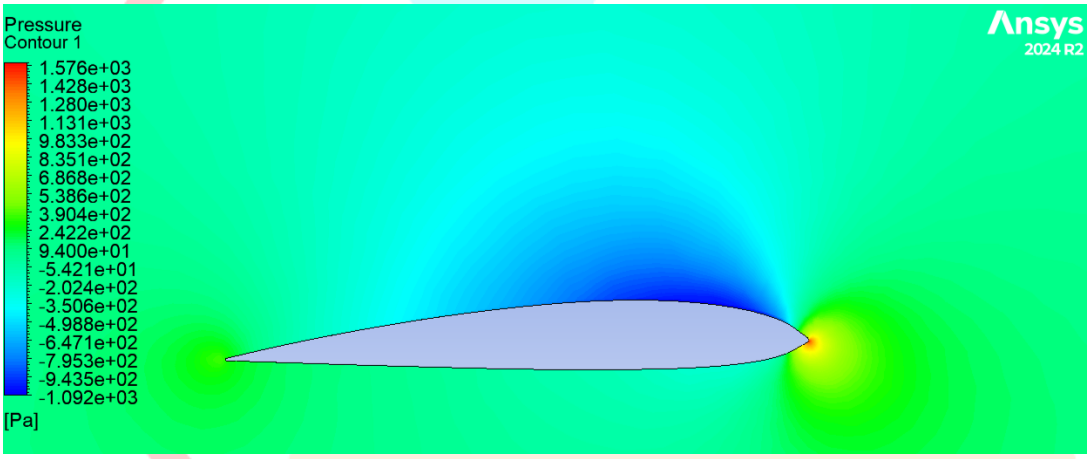
Silindirin üst yüzeyde konumlandırılması, buz kırma etkinliğini artırsa da kanat üzerinde türbülans ve düşük basınç bölgeleri oluşturur. Bu durum, kaldırma kuvvetinde dengesizliğe yol açarak aerodinamik verimliliği olumsuz etkiler. Fakat bu olumsuzluğun, deformasyonsuz kanadın kaldırma kuvvetine kıyasla çok küçük olması tolere edilebilir bir düzeyde olduğu anlamına gelmektedir. (Şekil-7)



Şekil-7: *Deformasyonun Kanat Üstünde Olduğu Durumdaki Basınç Kontörü*

d) Deformasyonun Kanat Önünde Olduğu Durum

Silindirin ön konumu, en düşük sürükleme (CD=0.01467) ve kaldırmada minimal kayıpla (CL=0.315) en verimli buz kırma performansını sunar. Basınç dağılımı, ön kenardaki yüksek basıncın buz parçalarken akışı stabilize ettiğini ve böylece aerodinamik verimliliği koruduğunu gösterir. Bu bulgu, patentteki "enerji tasarruflu mekanik sistem" iddiasını doğrular ve manyetik versiyonla daha da optimize edilebileceğini işaret eder. (Şekil-8)



Şekil-8: *Deformasyonun Kanadın Önünde Olduğu Durumdaki Basınç Kontörü*

4. Sonuçlar

Aerodinamik simülasyonlar, sistemin farklı konumlardaki etkilerini ayrı ayrı analiz etse de bu konumların ardışık bir hareketin parçaları olarak değerlendirilmesi, daha gerçekçi bir sonuç ortaya koymaktadır. Örneğin, sistem ön kenardan alt yüzeye doğru ilerlediğinde, başlangıçta laminer akışa minimum müdahale ederek düşük sürükleme katsayısı ve yüksek aerodinamik verimlilik sunmakta, ardından alt yüzeye geçişte buzu kırarken kısmen kaldırma kuvvetinde düşüş gözlenmektedir. Ancak bu geçici düşüş, buz çözme işleminin etkinliği ile dengelenmekte ve uçuş güvenliğini ciddi oranda artırmaktadır.

Analiz sonuçları, sistemin ön kenarda bulunduğu anda aerodinamik verimliliğin (L/D = 21.49) en yüksek seviyede olduğunu ve sürüklemenin minimuma indiğini göstermektedir. Sistem üst yüzeye ilerlediğinde, türbülans kaynaklı akış bozulmaları nedeniyle aerodinamik verimlilik düşmektedir. Ancak bu değişimler, sistemin hareketli yapısı ve geçici etki alanı nedeniyle bütün uçuş süresince kalıcı bir performans kaybına neden olmamaktadır. Aksine, sistem yüzey boyunca döndüğü için, buzlanma riski taşıyan tüm bölgelerde kısa süreli ama etkili bir müdahale sağlanmaktadır.

Bu bağlamda, geliştirilen sistem, sadece lokal bir buz çözme yaklaşımı sunmakla kalmayıp, tüm kanat yüzeyini kapsayan sürekli ve entegre bir çözüm mimarisi önermektedir. Düşük enerji tüketimi, modüler yapısı ve gerçek zamanlı kontrol özelliği ile birleştiğinde, bu sistem geleneksel sabit ve enerji-yoğun buz çözme yöntemlerine kıyasla daha sürdürülebilir, daha hafif ve daha akıllı bir alternatif oluşturmaktadır.

Analiz sürecinde karşılaşılan temel sınırlamalardan biri, mevcut kaynakların ve hesaplama kapasitesinin kısıtlı olması nedeniyle kapsamlı sayısal simülasyonların gerçekleştirilememesidir. Bu durum, sistemin aerodinamik davranışının yalnızca sınırlı konfigürasyonlarda ve belirli akış koşulları altında incelenebilmesine yol açmıştır. Gerçekleştirilen analizler, sistemin sabit konumlardaki etkilerini ortaya koymak açısından anlamlı veriler sunsa da, sistemin dinamik olarak tüm kanat yüzeyini taradığı bir senaryo için genel performans değerlendirmesini sınırlı kılmaktadır. Dolayısıyla, sistemin farklı açılardaki, hızlardaki ve yerleşim pozisyonlarındaki entegrasyonu da dâhil edilerek genişletilmiş sayısal çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu tür analizler, sistemin hareketi sırasında oluşan geçici aerodinamik etkilerin daha net bir şekilde ortaya konmasına olanak sağlayacak ve tasarımın uçuş performansı üzerindeki etkisini bütüncül olarak değerlendirme imkânı tanıyacaktır.

Bununla birlikte, sistemin temelini oluşturan elastik dış yapının buz kırma etkinliği de bu çalışmada sayısal ya da deneysel olarak derinlemesine incelenmemiştir. Elastik yapının buz tabakası üzerinde yeterli düzeyde gerilimi oluşturup oluşturamayacağı, buz kalınlığına ve yüzey özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Dolayısıyla, sistemin gerçek uçuş koşullarında veya buzlanma ortamlarını simüle eden kontrollü deneysel düzlemlerde test edilerek bu etkinliğin nicel olarak ölçülmesi gereklidir. Aksi hâlde sistemin kavramsal etkinliği doğrulansa da operasyonel güvenilirliği konusunda net bir değerlendirme yapmak mümkün olmayacaktır.

Bu çalışmada geliştirilen sistemin potansiyelini tam anlamıyla ortaya koymak adına daha kapsamlı aerodinamik analizlerin ve deneysel testlerin gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu tür çalışmalar, sistemin optimize edilmesine, farklı hava aracı platformlarına entegrasyonunun değerlendirilmesine ve nihai olarak havacılık uygulamaları için güvenilir bir çözüm sunmasına zemin hazırlayacaktır.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Boinovich, L. B., & Emelyanenko, A. M. (2014). Anti-icing potential of superhydrophobic coatings. *Mendeleev Communications*, *24*(4), 203-210. doi:10.1016/j.mencom.2014.06.001

Bragg, M. B., Basar, T., Perkins, W. R., Selig, M. S., & Voulgaris, P. G. (2020). *Aircraft icing handbook*. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration.

del Moral, B., García, J. L., Pérez, F., & Sanz, A. (2022). Guided-wave ice fracture pulses for aerospace applications. *Journal of Sound and Vibration*, *512*, 116352. doi:10.1016/j.jsv.2021.116352

De Gennaro, M. (2020). Breaking the ice: progress in rear-end anti-icing coatings and design. *IMPACT Project, European Commission.* 2025.

Deng, Y., Zhang, X., & Wang, L. (2024). Aerodynamic penalties of ice accretion on UAV wings. *Aerospace Science and Technology*, *135*, 108214. doi:10.1016/j.ast.2023.108214

Ferrari, M., & Cirisano, F. (2023). Superhydrophobic coating solutions for deicing control in aircraft. *Applied Sciences, 13*(21), 11684. doi:10.3390/app132111684

Fortin, G., Piscitelli, F., & Marra, F. S. (2023). Electrodynamic stress distribution for de-icing. *Cold Regions Science and Technology*, *205*, 103702. doi:10.1016/j.coldregions.2022.103702

Golovin, K., Kobaku, S. P. R., Lee, D. H., DiLoreto, E. T., & Tuteja, A. (2021). Low-power electrothermal systems for aircraft de-icing. *Nature Communications*, *12*(1), 4016. doi:10.1038/s41467-021-24349-5

Hann, R., Kimura, S., & Sakaue, H. (2020). Hybrid system combining ice-phobic coating and electrothermal heating for wing ice protection. *Aerospace, 7*(4), 102. doi:10.3390/aerospace7040102

Hongerholt, D., Willms, G., & Rose, J. L. (2001). Ultrasonic guided wave ice detection. *AIP Conference Proceedings*, *557*(1), 188-195. doi:10.1063/1.1373765

Körpe, D. S., Yırtıcı, Ö., & Özgen, S. (2020). Aerodynamic performance losses due to ice formation on the UAV's wings. *Journal of Aeronautics and Space Technologies, 13*(2), 207–215. doi:10.31490/jast.752

Kühn, M. (2021). Experimental heat loads for electrothermal anti-icing and de-icing on UAVs. *Aerospace, 8*(3), 83. doi:10.3390/aerospace8030083

Kwon, J., & Lee, H. (2021). Motor torque modeling for adaptive mechanical systems. *International Journal of Mechatronics, 14*(2), 40–52.

Jomaa, W., & Dufour, R. (2024). Piezoelectric actuators for aircraft de-icing. *Smart Materials and Structures*, *33*(3), 035015. doi:10.1088/1361-665X/ad1a1f

Li, H., Zhang, Y., & Chen, H. (2020). Numerical simulation of iced wing using separating shear layer fixed turbulence models. *arXiv preprint*, arXiv:2010.02021. https://arxiv.org/abs/2010.02021

Liu, Y., Chen, X., Wang, H., & Zhang, K. (2022). Machine learning for ice severity prediction. *AIAA Journal*, *60*(5), 3124-3136. doi:10.2514/1.J061234

Morita, K., Kimura, S., & Sakaue, H. (2020). Hybrid system combining ice-phobic coating and electrothermal heating for wing ice protection. *Aerospace, 7*(4), 102. doi:10.3390/aerospace7040102

Nazhipkyzy, M., Tlegenov, Y., Teleuyev, G., & Bogdanov, V. (2016). Impact of icing on UAV operations. *Journal of Aircraft*, *53*(5), 1432-1440. doi:10.2514/1.C033654

Santos, M., Oliveira, R., & De la Cruz, J. (2022). Elastic energy storage in robotic structures. *Mechanics & Materials, 37*(4), 310–322.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (10th ed.), 164–165.

Piscitelli, F., Fortin, G., & Marra, F. S. (2023). Durability of photothermal coatings. *Applied Surface Science*, *607*, 155032. doi:10.1016/j.apsusc.2022.155032

Villeneuve, E., Volat, C., & Ghinet, S. (2020). Numerical and experimental investigation of the design of a piezoelectric de-icing system for small rotorcraft. *Aerospace, 7*(3), 62. doi:10.3390/aerospace7030062

Wang, C., Zhang, W., Siva, A., Tie, L., & Xia, F. (2021). Micro-nano textured elastomers for anti-icing. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *13*(15), 18234-18244. doi:10.1021/acsami.1c01234

Yeong, Y. H., Milionis, A., Loth, E., Sokhey, J., & Lambourne, A. (2015). Aerodynamic degradation due to ice accretion. *Experiments in Fluids*, *56*(5), 112. doi:10.1007/s00348-015-1978-7

Zhang, R., Liu, H., Wang, J., & Chen, Y. (2023). High-order mode ultrasonic ice monitoring. *IEEE Sensors Journal*, *23*(8), 8125-8135. doi:10.1109/JSEN.2023.3243289

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

MODELLİNG AND ANALYSİS OF A PERMANENT MAGNET SYNCHRONOS MOTOR USİNG FİELD-ORİENTED CONTROL AT DİFFERENT SPEEDS

Furkan SONERI[1]
Volkan Başay[2]
Güneş YILMAZ[3]

Abstract

This research examines the performance of Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) technology for hydrogen fuel cell vehicle applications is evaluated at different speeds (60,000; 90,000; and 120,000 rpm). Based on data from commercial applications and experimental trials, a PMSM model was developed. The motor was simulated in the MATLAB/Simulink program using a field-oriented vector control strategy.As a result of the simulations, significant performance parameters (i.e rotor speed, output torque, torque losses, stator winding temperatures for each phase, and phase currents) were obtained at 60,000, 90,000, and 120,000 rpm, and the motor's behavior was analyzed accordingly. Results of the simulation performed shows that as speed increases, the motor's output torque decreases. This fact indicates increasing rotor friction losses at higher speeds. Additionally, both stator phase temperatures and inverter-supplied phase currents increase with speed. It indicates that as the speed increases, the motor has more current to meet required electromangnetic torque. It highlights that thermal management at high-speed operating conditions is a significance measure.PMSMs provide significant advantages in hydrogen fuel cell vehicles due to their high efficiency and compact size. They deliver high torque at low speeds, torque decreasing and increased thermal load at high speeds causes limitations during long term operation conditions. In order to optimize high-speed performance, this study recommends implementing advanced cooling solutions, adopting optimized control strategies to reduce torque losses, designing rotors with less pole pairs, and using materials capable of enduring high-temperature conditions.

Keywords: Permanent Magnet Synchronous Motor, Motor Modeling, Field-Oriented Control, Thermal Management, Hydrogen Fuel Cell Vehicle

[1] Yüksek Lisans Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bosch Sanayi ve Ticaret A.Ş, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Orcıd: 0009-0007-7753-750X
[2] Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Orcıd: 0009-0006-5604-942X
[3] Prof.Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Orcıd: 0000-0001-8972-1952

ISBN: 978-625-372-661-4

1. Giriş

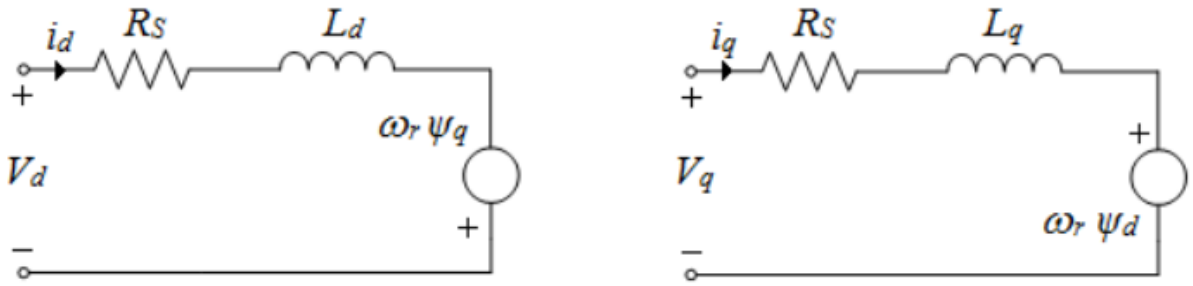
Son yıllarda mikroişlemci teknolojisindeki ilerlemeler ve yüksek enerjili mıknatısların geliştirilebilmesi, Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorlara (KMSM) olan ilgiyi artırmıştır. Yüksek verimlilik, kompakt yapı ve birim hacim başına yüksek güç yoğunluğu gibi avantajları sayesinde KMSM'ler, geleneksel asenkron motorlara kıyasla birçok endüstriyel ve mobil uygulamada tercih edilmektedir. Özellikle düşük hızlarda yüksek performans sunabilmeleri, asansör ve servo sistemler gibi hassas kontrol gerektiren alanlarda önemli bir avantaj sağlamaktadır (Çelik ve Kurum, 2012: 67). Sabit mıknatıslı rotor yapıları, bakır kayıplarını ve ısınma problemlerini azaltarak termal verimliliği artırmakta; alan yönlendirmeli kontrol gibi gelişmiş sürücü yöntemleriyle birleştiğinde ise geniş hız aralığında kararlı tork ve hızlı dinamik yanıt elde edilmektedir. Tüm bu avantajlar doğrultusunda, bu çalışmada yüksek hızlı uygulamalara yönelik KMSM'nin Matlab/Simulink ortamında modellenmesi tercih edilmiştir (Erkara, 2020: 9).

Bu çalışmanın amacı, hidrojen yakıt hücreli araç uygulamalarında kullanılabilecek kalıcı mıknatıslı senkron motorların farklı yüksek devirlerdeki performansını analiz etmektir. Matlab/Simulink ortamında oluşturulan model ile 60.000, 90.000 ve 120.000 devir/dakika hızlarında motorun tork, faz akımı ve stator sıcaklıkları gibi temel performans parametreleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın özgün yönü, yüksek devirli KMSM'lerin alan yönlendirmeli kontrol yöntemiyle modellenmesi ve bu sayede elektromekanik ve termal tepkilerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Ayrıca, elde edilen bulgular doğrultusunda yüksek hızlı sürüş koşulları için motor tasarımı ve kontrol stratejilerine yönelik teknik öneriler geliştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor Gerilim ve Moment Denklemleri

Bu kısımda KMSM'nin d–q eksenindeki matematiksel modeli ele alınacaktır. d–q ekseni modeli, üç fazlı bir sistemin iki eksenli (doğrultulmuş) dönel bir referans çerçevesine dönüştürülmesini sağlayarak, analiz ve kontrol işlemlerini kolaylaştıran bir yöntemdir. Bu modelin kullanılması ile KMSM'nin matematiksel modeli daha basit ve anlaşılır hale gelir..Şekil 1'de KMSM'nin d-q eşdeğer devreleri gösterilmiştir (Krause, P. C., Wasynczuk, O., Sudhoff, S. D., & Pekarek, S. D., 2013).



Şekil 1: *KMSM'nin d-q eşdeğer devreleri <(Çelik & Kürüm, 2013)>*

Bu eş değer devrelerden,

$$V_d = R_s i_d + \frac{d}{dt}\Psi_d - \omega_r \Psi_q \quad (1)$$

$$V_q = R_s i_q + \frac{d}{dt}\Psi_q + \omega_r \Psi_d \quad (2)$$

Burada; V_d ve V_q d-q eksen gerilimlerini (V), i_d ve i_q d-q ekseni akımlarını (A), Ψ_d ve Ψ_q d-q eksen akılarını (Wb) ve ω_r rotorun açısal hızını (rad/s) göstermektedir. R_s stator sargı direncini (Ω) göstermektedir[4].

Ψ_d ve Ψ_q d-q eksen akıları, aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Psi_d = L_d i_d + \Psi_m \quad (3)$$

$$\Psi_q = L_q i_q \quad (4)$$

Eşitlik (3)'teki Ψ_m, kalıcı mıknatısdan dolayı oluşan karşılıklı manyetik akıdır. L_d ve L_q ise ilgili kartezyenlerin öz indüktansını göstermektedir. Denklem 3 ve 4, denklem 1 ve 2'de yerine yazılırsa d-q eksen gerilimleri aşağıdaki gibi elde edilmektedeir.

$$V_d = R_s i_d + L_d \frac{d}{dt} i_d - \omega_r L_q i_q \quad (5)$$

$$V_q = R_s i_q + L_d \frac{d}{dt} i_q + \omega_r L_d i_d + \omega_r \Psi_m \quad (6)$$

Motorun ürettiği elektromanyetik moment, eşitlik (7)' de gösterilmektedir.

$$T_e = \frac{3p}{2} [\Psi_d i_q - \Psi_q i_d] \quad (7)$$

Elektromanyetik moment denklemindeki p ifadesi motorun çift kutup sayısını ifade etmektedir. Eşitlik (3) ve (4)'teki Ψ_d ve Ψ_q akıları, (7)'de yerine yazıldığında moment denklemi aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$T_e = \frac{3p}{2} [\Psi_m i_q + (L_d - L_q)\, i_q i_d] \quad (8)$$

Bu denklemde, birinci terim mıknatıs tarafından üretilen momenti ikinci terim ise relüktans momentini temsil eder. Yüzey mıknatıslı PMSM'lerde L_d ve L_q eşit olduğundan, relüktans momenti sıfırdır. Bu durumda moment denklemi,

$$T_e = \frac{3p}{2} [\Psi_m i_q] \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da elektormanyetik momentin sadece q eksen akımına bağlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle kalıcı mıknatıslı senkron motorum monment kontrolünde q eksen akımı dikkate alnmaktadır. Motor modelinin durum uzay formunda gösterimi şu şekilde elde edilmiştir:

$$T_e - T_y = J. \frac{1}{p} \frac{d\omega_e}{dt} + B.\left(\frac{1}{p}\right). \omega_e \quad (10)$$

Burada J atalet momentini, B sürtünme katsayısını, ω_e ise elektriksel hızı temsil etmektedir.

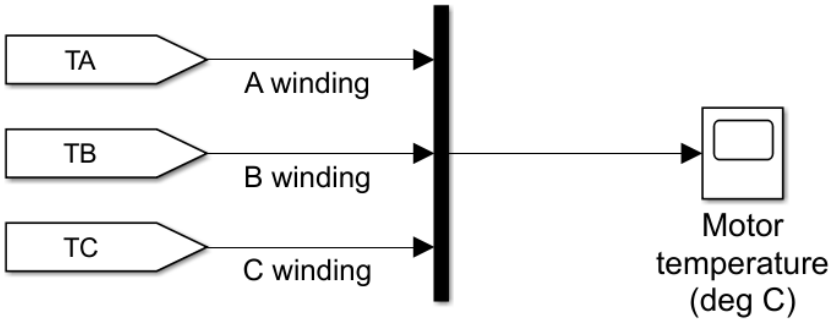
2.2 Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor Kontrolü

KMSM'nin vektör kontrol yöntemleri; alan yönlendirmeli kontrol yöntemi; akı zayıflatma yöntemi ve doğrudan moment kontrol yöntemi olarak sıralanabilir. Alan yönlendirmeli kontrol, stator akımlarının dönen d-q eksen takımına dönüştürülmesiyle yapılır. Bu akımlardan q ekseni bileşeni momentle doğrudan orantılıdır (Kazan ve Bilgin, 2008). Dolayısıyla bu bileşenin kontrolüyle moment de kontrol edilmiş olur. d eksen akımının sıfırda tutulduğu bu yöntem, özellikle KMSM'lerin yüzey mıknatıslı olanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey mıknatıslı motorlarda rotor manyetik devresi doygunluk göstermediği için d eksen akımı uygulanması tork üretimine katkı sağlamaz ve d ekseni akımı bu sebebten dolayı sıfırda tutulmuştur. Akı zayıflatma yöntemi, motorun nominal hızın üzerinde çalışabilmesi için d ekseni yönünde negatif akı uygulanarak mıknatıs akısının azaltılması esasına dayanır. Yüksek hızlarda çalışmaya imkân tanıması avantaj sağlarken, artan d ekseni akımı moment üretimini azaltabilir ve verim kaybına yol açabilir. Doğrudan moment kontrolü (DTC) ise moment ve stator akısının doğrudan kontrol edilmesine dayanır. Hızlı tork cevabı ve yüksek dinamik performans sunması önemli bir avantajken, moment dalgalanmalarının fazla olması ve düşük hızlarda hassasiyetin azalması dezavantaj oluşturmaktadır (Kim, 2008).

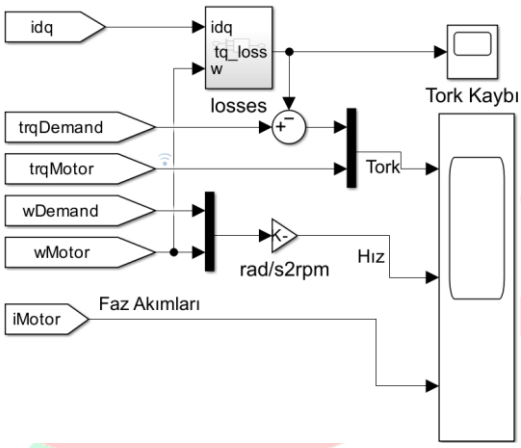
Doğrudan moment kontrolü yönteminde, moment ve stator akı doğrudan hesaplanarak kontrol edilir. Bu yaklaşım, kontrol döngüsünde geri besleme kullanmaksızın hızlı bir tork yanıtı elde edilmesini sağlar. Bu çalışmada referans alınan ticari uygulamalardaki KMSM'lerin yüzeysel mıknatıslı KMSM olması ve sürücülerinin de alan yönlendirmeli kontrol yöntemine göre tasarlanmış olması nedeniyle simülasyonda vektör yöntemi olarak alan yönlendirmeli kontrol tercih edilmiştir (Buja ve Kazmierkowski, 2004).

2.3 Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor Simülasyonu

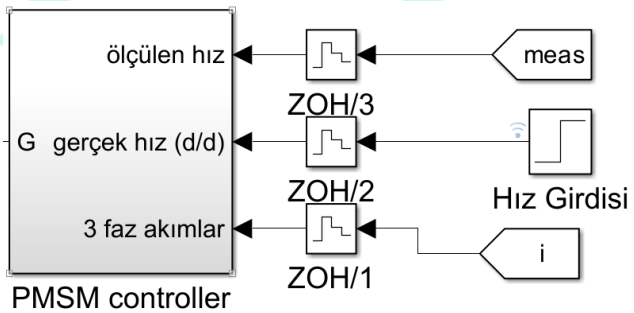
KMSM'nin simülasyonu, yukarıda verilen gerilim ve moment denklerimleri kullanılarak Matlab/Simulink paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda okuduğumuz değerlerin her biri aşağıda görülmektedir.



Şekil 2: *Stator Faz Sıcaklıklarının elde edildiği blok diyagram*



Şekil 3: *Faz akımları, Hız, Tork ve Tork Kaybının elde edildiği blok diyagram*



Şekil 4: *KMSM'nin akım ve hızlarının kontrol edildiği blok diyagram*

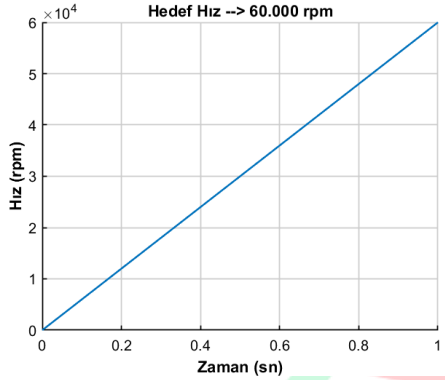
Simülasyon sürecinde, referans hız ile motorun gerçek mekanik hızı karşılaştırılarak bir hız hata sinyali elde edilmiştir. Bu hata sinyali, PI denetleyici aracılığıyla işlenmiş ve tork üreten bileşen olan i_q akımı için referans değer belirlenmiştir. Alan yönlendirmeli kontrol stratejisi uygulandığından, d ekseni akımı olan i_d için referans değeri sıfır kabul edilmiştir (Krishnan, 2010: 315).Rotor referans çerçevesinde belirlenen i_d ve i_q referans akımları, üç fazlı sisteme dönüştürülerek her bir faz için referans akım değerleri hesaplanmıştır. Bu referans değerler, sistemdeki gerçek üç faz akımlarıyla karşılaştırılarak faz bazında hata sinyalleri oluşturulmuştur. Elde edilen bu sinyaller, rotor eksenine tekrar dönüştürülerek motorun istenen torku üretmesi sağlanmıştır (Vas, 1990).

Tablo 1: *KMSM'nin simülasyon parametreleri gösterilmiştir*

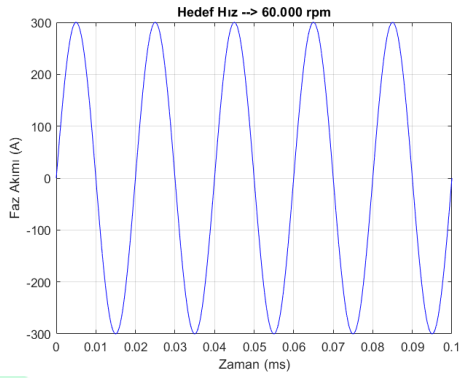
Nominal Hız	60000 dev / dakika
d Ekseni Öz İndüktansı (L_d)	2.7e-3 H
q Ekseni Öz İndüktansı (L_q)	2.7e-3 H
Stator Direnci (R_s)	0.06 Ω
Kalıcı Mıknatıs Akısı (Ψ_m)	0.170 Wb
Çift Kutup Sayısı	6
Kazanç P (kontrol parametresi)	60
Kazanç I (kontrol parametresi)	600

3. Bulgular

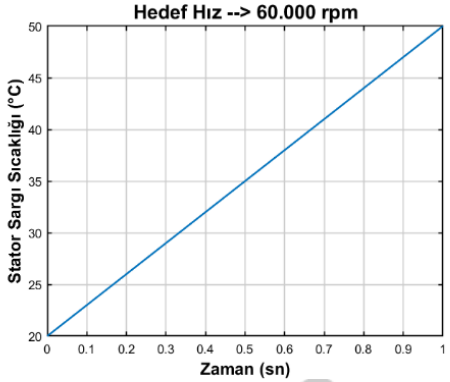
Motor modelinin davranışını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen simülasyonlar neticesinde elde edilen sonuçlar farklı hedef hız değerleri için aşağıda gösterilmiştir. Motorun hız, tork, sıcaklık ve akım tepkileri incelenmiştir.



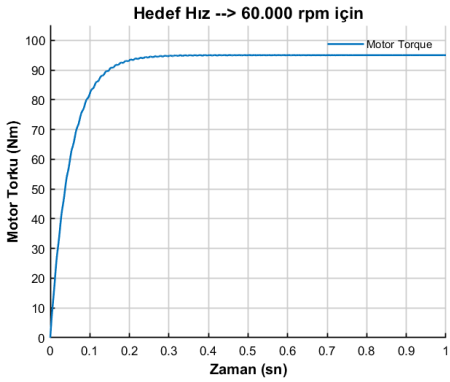
Şekil 5: 60.000 dev/dk hedef hızına karşılık motorun gerçek hız tepkisi



Şekil 6: 60.000 dev/dk çalışma koşulu altında motor faz akımı

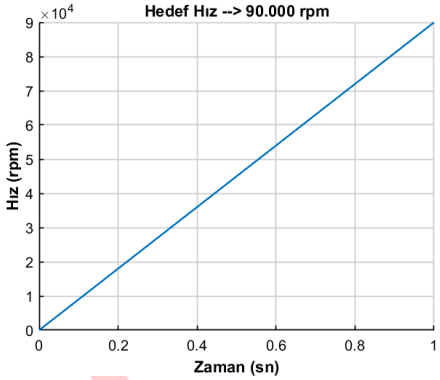


Şekil 7: 60.000 dev/dk'da motorun stator sargısı sıcaklık değişimi

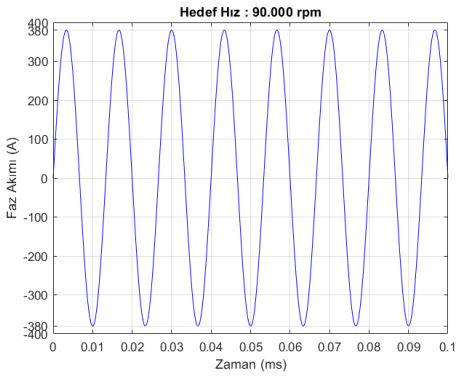


Şekil 8: 60.000 dev/dk'da ölçülen tork çıkışı

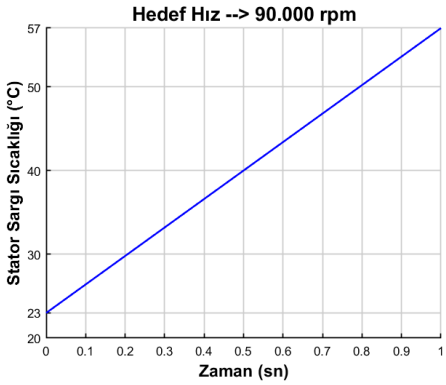
60000 rpm'e ulaşılan 1s'lik rampa sırasında, 0.1ms'lik aralıkta dahi faz akımı ±300 A seviyesinde sinüs formunu koruyarak inverterın yüksek frekansta (10khz) kararlı akım sağladığını göstermiştir. Hız profili de 0–60000 rpm aralığını tam lineer biçimde izlerken, sargı sıcaklığı simülasyon başlangıcındaki 20 °C'den 1 s sonunda yaklaşık 50 °C'ye yükselmiş ve sıcaklık artış davranışının, referans alınan paket programdaki sıcaklık artış davranışıyla örtüştüğü gözlemlenmiştir. Motor torku ise ≈95 Nm'lik referansa 0,05 s'lik zaman sabitiyle hızla ulaşmış, ardından ±0,5 Nm'lik küçük titreşimlerle dengelenmiştir.



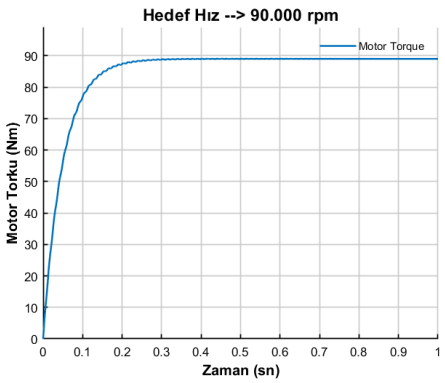
Şekil 9: *90.000 dev/dk hedef hızına karşılık motorun gerçek hız tepkisi*



Şekil 10: *90.000 dev/dk çalışma koşulu altında motor faz akımı*



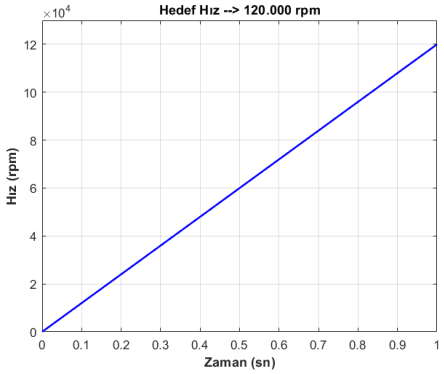
Şekil 11*: 90.000 dev/dk'da motorun stator sargısı sıcaklık değişimi*



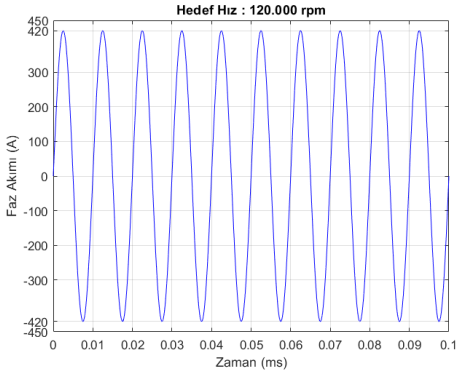
Şekil 12*: 90.000 dev/dk'da ölçülen tork çıkışı*

Hedef hız kontrol sistemine 90.000 rpm olarak girildiğinde, motor modeli bu hedef hıza yine 1 sn içerisinde ulaşmıştır. Faz akımı ±380 A seviyelerine kadar çıkmış ve sinüs yapısını korumuştur. Bu durum, inverterın yüksek anahtarlama frekanslarında dahi akım kontrolünü kararlı bir şekilde sürdürebildiğini göstermektedir. Hız grafiği, 0–90.000 rpm aralığında tamamen lineer bir profil izlemiş ve sistemin referans hız takibini başarıyla gerçekleştirdiğini ortaya koymuştur. Termal açıdan değerlendirildiğinde, simülasyon başlangıcında 23 °C olan

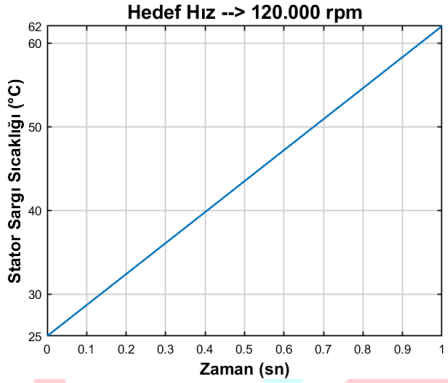
stator sargı sıcaklığı, 1 saniye sonunda yaklaşık 57 °C'ye ulaşmıştır. Elde edilen sıcaklık eğrisi, referans alınan model ve 60.000 rpm sıcaklık artış karakteristiği ile uyumludur. Tork tepkisi incelendiğinde ise motor, 95 Nm seviyesindeki referans torka yaklaşık 0,04 saniyelik zaman sabitiyle erişmiş ve ardından ±0,5 Nm civarındaki küçük salınımlarla kararlı durumda kalmıştır.



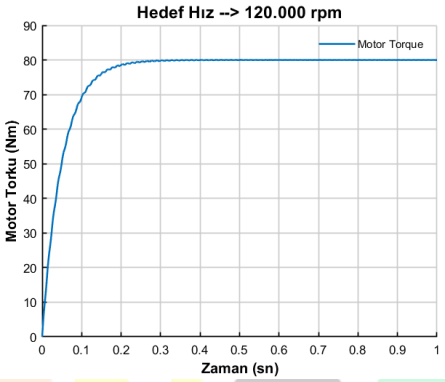
Şekil 13: *120.000 dev/dk hedef hızına karşılık motorun gerçek hız tepkisi*



Şekil 14: *120.000 dev/dk çalışma koşulu altında motor faz akımı*



Şekil 15*: 120.000 dev/dk'da motorun stator sargısı sıcaklık değişimi*



Şekil 16*: 120.000 dev/dk'da ölçülen tork çıkışı*

Hedef hız kontrol sistemine 120.000 rpm olarak girildiğinde, motor modeli bu hedef hıza yine 1 sn içerisinde ulaşmıştır. 3 modelde de hedef hıza 1 sn aralığında ulaşılmış olması, kullanılan motor modelinin dinamik bir tepki yanıtına sahip olduğunu ve geniş hız aralığı çalışma kapasitesinin olduğunu göstermektedir. Faz akımı ±420 A seviyelerine kadar çıkmış ve sinüs yapısını korumuştur. Kutup sayısının 6 olması, modelin çalışma geriliminin 48V olması değişkenleri faz akımlarının artmasına sebep olmuştur. Hız grafiği, 0–120.000 rpm aralığında tamamen yine lineer bir profil izlemiştir. Termal açıdan değerlendirildiğinde, simülasyon başlangıcında 25 °C olan stator sargı sıcaklığı, 1 saniye sonunda yaklaşık 62 °C'ye ulaşmıştır. 3 model için de elde edilen sıcaklık eğrisi, referans alınan model artış karakteristiği ile uyumludur. Tork tepkisi incelendiğinde ise motor, 80 Nm seviyesindeki referans torka yaklaşık 0,06 saniyelik zaman sabitiyle erişmiş ve ardından ±0,5 Nm civarındaki küçük salınımlarla kararlı durumda kalmıştır.

4. Sonuçlar

Simulink ortamında gerçekleştirilen analizler neticesinde, motor modelinin 1sn süre içerisinde çok yüksek devirlere ulaşabildiği görülmüştür. Yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen veriler, motor hızının artışıyla birlikte sistemdeki elektriksel ve termal parametrelerin de belirgin şekilde değiştiğini göstermektedir.

Motor hızı 60.000 d/dk'dan 120.000 d/dk'ya çıkarıldığında, faz akımı 300 A'dan 420 A'ya yükselmiştir. Bu durum, artan hızla birlikte motorun ihtiyaç duyduğu elektromanyetik momenti sağlamak için daha fazla akım çektiğini göstermektedir.

Bununla birlikte, faz stator sıcaklığında da belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Hız 60.000 d/dk iken stator sıcaklığı 51°C iken, 120.000 d/dk'da bu değer 62°C'ye ulaşmıştır. Bu durum, hızla birlikte artan akımın Joule ısı kayıplarını artırması sonucu stator sargılarında daha fazla ısınma meydana geldiğini göstermektedir. Bu artış, termal yönetim açısından sistemin dikkatle izlenmesi ve gerekirse soğutma stratejilerinin optimize edilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Çıkış torku açısından incelendiğinde ise hız artışına paralel olarak torkta azalma gözlemlenmiştir. 60.000 d/dk'da 95 N·m olan çıkış torku, 120.000 d/dk'da 80 N·m'ye düşmüştür. Bu eğilim, yüksek hızlarda artan rotor sürtünme kayıplarına işaret etmektedir. Rotor sürtünme kayıpları çok arttığı için, rotor yataklama tasarımları motor verimliliği açısından kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, elde edilen bulgular motorun yüksek devirlerde çalışabilme yeteneğini ortaya koyarken, aynı zamanda hız artışına bağlı olarak elektriksel ve termal yüklerin arttığını ve mekanik çıktı olan torkun azaldığını göstermektedir.

Tablo 2: *Simülasyon Sonuçları*

Hız (devir /dakika)	Faz Akımı (A)	Faz Stator Sıcaklığı ˚C	Çıkış Torku (N.m.)
60.000	300	50	95
90.000	380	57	89
120.000	420	65	80

Gelecek çalışmalarda yine bir motor modeli ile 20.000 dev/dk–120.000 dev/dk hızları aralığında çalışan bir KMSM için güç denklemlerinden yararlanılarak bir verimlilik haritası çıkarılması planlanılmaktadır. Bu haritaya göre motorun performans açısından en verimli çalıştığı bölge hesaplanacak ve optimizasyon için çözümler sunulması hedeflenilmektedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynaklar

Çelik, H., & Kürüm, H. (2013, January). Sabit mıknatıslı senkron motorun alan yönlendirmeli kontrolü. *e-Journal of New World Sciences Academy, 8*(1), 69-85.

Erkara, K. (2020). *Kalıcı mıknatıslı senkron motorlarda alan yönlendirmeli kontrol modellerinin karşılaştırılması* (Yüksek lisans tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Jahns, T. M., & Soong, W. L. (1996). Pulsating torque minimization techniques for permanent magnet AC motor drives – A review. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 43(2), 321–330. doi: 10.1109/41.491356

Kazan, F. A., & Bilgin, O. (2008.). Sabit mıknatıslı senkron motorun alan yönlendirmeli kontrolü ve simülasyonu. *Field Oriented Control And Simulation Of Permanent Magnet Synchronous Motor*, Selçuk Üniversitesi, Ilgın Meslek Yüksekokulu ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Kim, S. H. (2008, Kasım). Comparison of field-oriented control and direct torque control for a surface permanent magnet synchronous motor. *IEEE Transactions On Magnetics*, *44*(11), 4138–4141. doi: 10.1109/TMAG.2008.2003063

Buja, G. S., & Kazmierkowski, M. P. (2004, Ağustos). Direct torque control of PWM inverter-fed AC motors – A survey. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, *51*(4), 744–757. doi: 10.1109/TIE.2004.831717

Krishnan, R. (2010). *Permanent magnet synchronous and brushless DC motor drives*. CRC Press

Vas, P. (1990, Haziran). Sensorless vector and direct torque control. *Proceedings of the IEEE*, *82*(6), 908–920. doi: 10.1109/5.57206

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBÜS TORPİDOLARINDA TERMOFORM MALZEMEDEN ABS ENJEKSİYON MALZEMEYE GEÇİŞİN TASARIM OPTİMİZASYONU, MEKANİK DAYANIM VE AĞIRLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Gökhan AKÜREK[1]

Özet:

Toplu taşımacılık sektöründe araçların verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla malzeme ve tasarım optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, otobüs torpidolarında kullanılan malzemelerin yapısal değerlendirilmesi ve termoform ABS ile enjeksiyon malzeme arasındaki geçişin performansa olan etkilerini incelemektedir. Mevcut durumda, otobüs torpidolarında genellikle termoform ABS malzeme kullanılmakta olup, bu malzeme hafifliği ve üretim kolaylığı ile tercih edilmektedir. Ancak, termoform ABS'nin mekanik özellikleri, yüksek dayanım ve stabilite gereksinimlerini karşılamakta sınırlı kalabilmektedir. Bu bağlamda, enjeksiyon malzeme kullanımı, daha güçlü ve dayanıklı yapısal bileşenler elde etmek için bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte, yeni malzeme alternatiflerinin kullanımı, araçların toplam ağırlığını azaltarak yakıt tüketimini optimize etmekte ve çevresel etkileri minimize etmektedir. Çalışmada, termoform ABS ve enjeksiyon malzeme arasında geçiş yapılmasının, otobüs torpidolarının yapısal dayanımı, deformasyon özellikleri ve uzun ömürlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapısal analizler, her iki malzemenin farklı yükler altındaki davranışlarını, sonlu elemanlar yöntemiyle karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Sonuçlar, enjeksiyon malzemenin daha yüksek elastikiyet ve çekme dayanımına sahip olduğunu, ancak termoform ABS'nin daha düşük yoğunluk ve maliyet avantajı sunduğunu göstermektedir. Her iki malzemenin performans avantajları göz önünde bulundurularak, tasarımda malzeme geçişinin sağladığı yapısal optimizasyonlar ve hafifletme stratejileri değerlendirilmiştir. Bu araştırma, otobüs torpidoları gibi yapısal bileşenlerde malzeme değişimi ve tasarım iyileştirmelerinin nasıl verimli bir şekilde gerçekleştirilebileceğine dair önemli bulgular sunmakta olup, gelecekteki tasarımlar için yönlendirici bir kaynak oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, Dashboard, *Malzeme Optimizasyonu*, Ağırlık Azaltımı,ABS,PE

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Trim Design Engineer, Automotive Engineer, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş., https://orcid.org/0009-0007-5534-538X

ISBN: 978-625-372-661-4

1. Giriş

Toplu taşıma araçlarının iç tasarımında kullanılan malzemeler, sadece estetik ve ergonomi açısından değil, aynı zamanda mekanik dayanım, ağırlık ve üretim maliyetleri yönünden de önemli kriterler sunmaktadır. Özellikle otobüs torpidoları gibi yapısal ancak estetik bileşenlerde, malzeme seçimi taşıt performansını ve üretim verimliliğini doğrudan etkileyen bir unsurdur (Kutz, 2011). Bu çalışma, termoform yöntemiyle üretilen ABS parçaların enjeksiyon yöntemiyle üretilen ABS malzemeye geçişi sürecinde elde edilen yapısal kazançları ve ağırlık etkilerini incelemektedir.

2. Kapsam

Bu çalışmanın kapsamı, bir otobüs torpido parçasında kullanılan **Termoform ABS** ile **ABS Enjeksiyon** malzemelerin, yapısal dayanım ve ağırlık yönünden karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesidir. Her iki malzeme aynı yük altında sanal analiz ortamında test edilmiş, elde edilen veriler ışığında deformasyon ve gerilme davranışları analiz edilmiştir.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

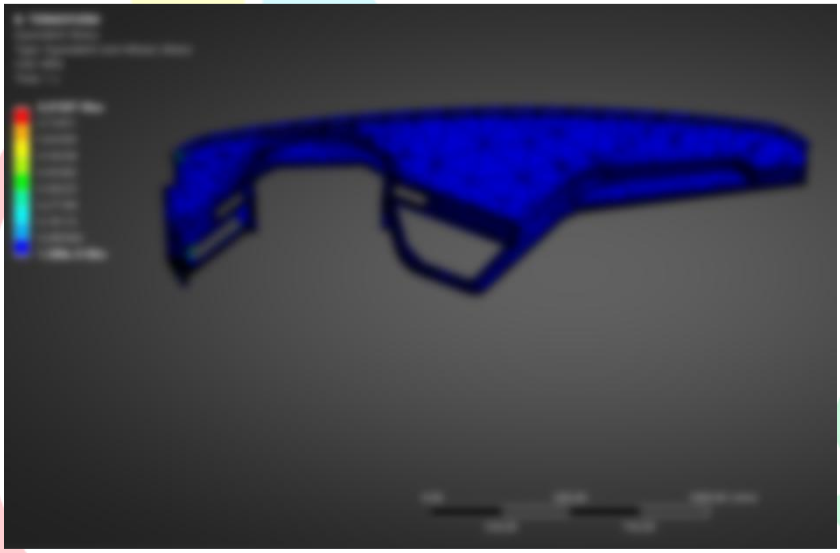
3. Yöntem

İki farklı malzeme için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sanal analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler aynı geometri üzerinden ve aynı bağlama koşulları altında yapılmıştır. Kullanılan malzeme özellikleri, ANSYS yazılımı veritabanından alınarak modele atanmıştır.

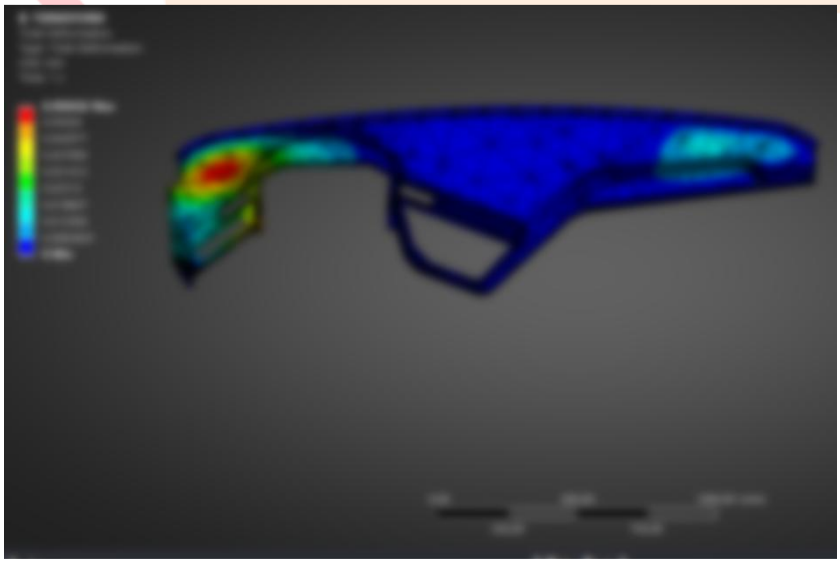
TERMOFORM ve ABS ENJEKSİYON Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

Özellik	TERMOFORM (ABS Levha)	ABS ENJEKSİYON
Yoğunluk (kg/m³)	~1040 – 1060	~1040 – 1060
Elastik Modül (E) [GPa]	~1.8 – 2.2	~2.2 – 2.4
Akma Dayanımı (MPa)	~35 – 45	~40 – 50
Çekme Dayanımı (MPa)	~45 – 55	~50 – 60
Uzama (%)	~20 – 40	~10 – 30

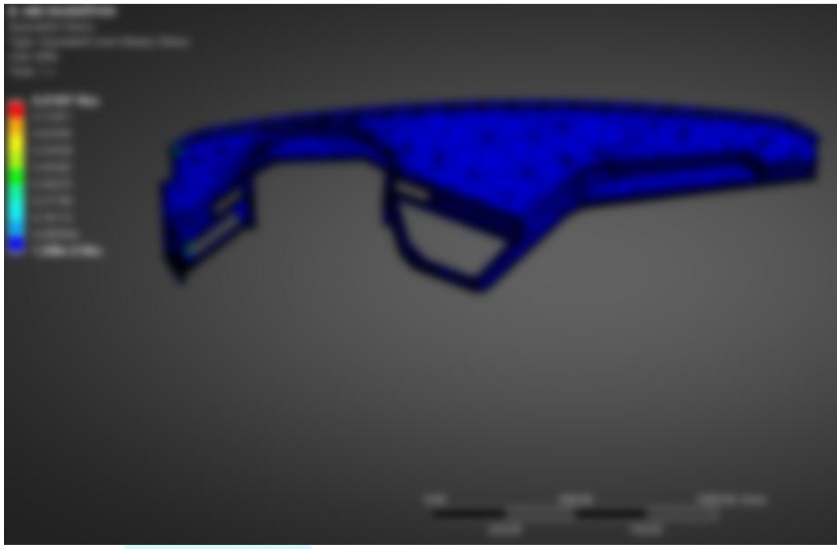
- **Termoform ABS:**
    - Yük: 3000 N
    - Kütle: 6,0 kg
    - Toplam Deformasyon: 0,56542 mm
    - Maksimum Gerilme: 8,1507 MPa
- **ABS Enjeksiyon:**
    - Yük: 3000 N
    - Kütle: 6,1 kg
    - Toplam Deformasyon: 0,49474 mm
    - Maksimum Gerilme: 8,1507 MPa



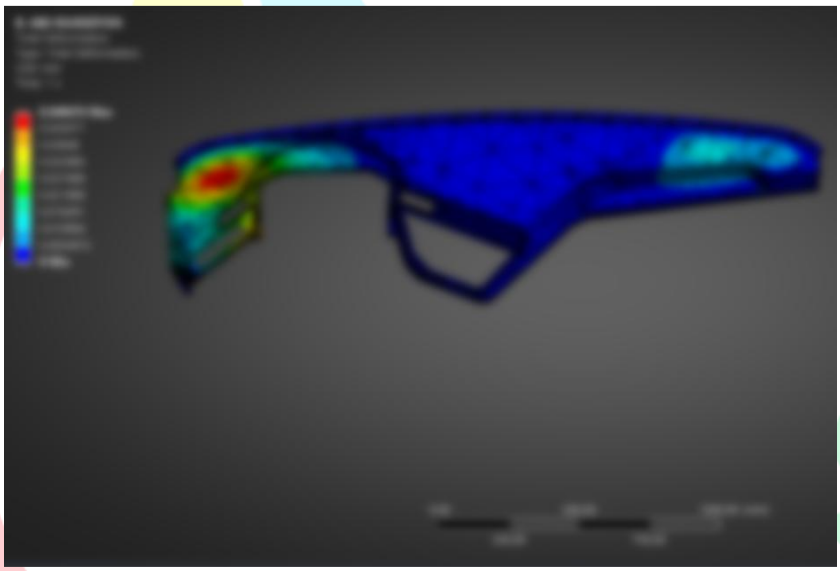
Termoform için Maksimum von-Mises gerilme (8,1507 MPa)



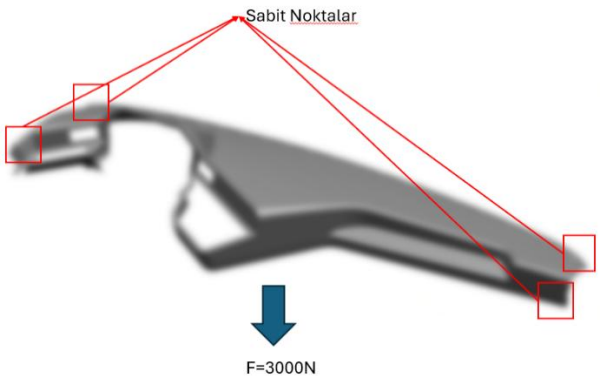
Termoform için Toplam deformasyon (0,56542 mm)



ABS için Maksimum von-Mises gerilme (8,1507 MPa)



ABS için Toplam deformasyon (0,49474 mm)



4. Bulgular

Yapılan analizler sonucunda şu önemli bulgular elde edilmiştir:

- **Mekanik Dayanım:** Her iki malzemenin maksimum gerilme değerlerinin aynı çıkmasına rağmen, enjeksiyon ABS malzemenin deformasyon değerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum, enjeksiyon ABS'nin daha yüksek elastisite modülüne sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Strong, 2006).

- **Ağırlık:** ABS Enjeksiyon malzemenin kütlesi, termoform versiyonuna göre yalnızca %1,6 daha fazladır. Ancak bu küçük fark, sağlanan yapısal dayanım avantajı göz önüne alındığında kabul edilebilir bir düzeydedir.
- **Tasarım Optimizasyonu:** Enjeksiyon yöntemiyle parça geometrisinin daha karmaşık formlarda üretilebilmesi, rijitlik artırıcı detayların entegrasyonuna olanak tanımaktadır. Bu da malzeme performansını sadece mekanik değil, üretim verimliliği açısından da avantajlı kılmaktadır (Harper, 2002).

5. Sonuç

Bu çalışma, otobüs torpidolarında kullanılan termoform ABS malzemenin ABS enjeksiyon yöntemi ile değiştirilmesinin mekanik performansı artırırken ağırlık açısından kabul edilebilir bir düzeyde kaldığını göstermiştir. Enjeksiyon malzeme kullanımı, daha düşük deformasyon ve gelişmiş rijitlik ile uzun vadede dayanım, titreşim sönümleme ve üretim kalitesi açısından avantajlar sunmaktadır. Uygulamada, bu tür malzeme geçişleri; taşıt ağırlığını sınırlı şekilde artırırken, yapısal kararlılığı ciddi biçimde artırmakta ve bakım maliyetlerini azaltma potansiyeli taşımaktadır.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Harper, C. A. (2002). *Handbook of Plastics Technologies*. McGraw-Hill Education.

Kutz, M. (2011). *Mechanical Engineers' Handbook, Volume 1: Materials and Engineering Mechanics*. John Wiley & Sons.

Strong, A. B. (2006). *Plastics: Materials and Processing*. Pearson Prentice Hall.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBÜS ZEMİN MUŞAMBALARINDA POLİKLOROPREN (NEOPREN) BAZLI YAPIŞTIRICILARDAN EPOKSİ BAZLI YAPIŞTIRICILARA GEÇİŞİN TASARIM OPTİMİZASYONU VE MEKANİK DAYANIMA ETKİSİ

Gökhan AKÜREK[1]

Özet:

Bu çalışmada otobüs karoserlerinde dış cephe kaplaması olarak yaygın kullanılan muşamba (vinil kumaş) kaplamaların metal yüzeylere yapıştırılmasında tercih edilen iki farklı yapıştırıcı türünün polikloropren (Neopren) esaslı ve epoksi bazlı yapıştırıcıların mekanik mukavemet performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Amaç, her iki yapıştırıcının ısıl döngü, nem, UV maruziyeti ve kimyasal etkenlere karşı dayanımını değerlendirerek; kopma, soyulma ve kayma mukavemetlerindeki değişimi, elastikiyet ve titreşim sönümleme özelliklerini ortaya koymaktır.

Deneysel aşamada, standart yüzey hazırlığı ve primer uygulamasından sonra muşamba-metal eklemleri her iki yapıştırıcıyla sabit kesitli biçimde hazırlanmıştır. ASTM D1002 gerdirme (tensil) ve ISO 4578 lap-shear testleri uygulanarak başlangıç mukavemetleri belirlenmiş; ardından numuneler sıcaklık (–20 °C ila +80 °C) ve nem döngülerine ile UV ışınımına tabi tutulmuştur. Yaşlanma öncesi ve sonrası çekme dayanımı, soyulma mukavemeti ve kayma testi sonuçları kaydedilmiştir.

Ayrıca epoksinin kimyasal aşındırıcı etkenlere ve UV maruziyetine karşı direnci, polikloropren yapıştırıcılara kıyasla belirgin şekilde üstündür. Buna karşın polikloropren yapıştırıcılar, dinamik mekanik yükler altında daha yüksek elastik deformasyon kabiliyeti ve titreşim sönümleme sağlamakta; düşük sıcaklıklarda da kırılmadan çalışma avantajı sunmaktadır.

Sonuç olarak, otobüs muşamba kaplamalarında yapıştırıcı seçimi; ilk uygulama maliyeti, uzun dönem bakım-onarım gereksinimleri ve işletme koşullarındaki çevresel etkiler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Bu bağlamda uzun vadeli dayanıklılık ve yapısal bütünlük ön plandaysa epoksi bazlı yapıştırıcılar; titreşim ve esneklik gereksinimleri öncelikliyse polikloropren yapıştırıcılar tercih edilmelidir.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, Muşamba,Mekanik Mukavemet, *Malzeme Optimizasyonu*, Yaşlanma Dayanımı,Polikloropen Yapıştırıcı

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Trim Design Engineer, Automotive Engineer, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş., https://orcid.org/0009-0007-5534-538X

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Otobüs karoserlerinde zemin kaplaması olarak kullanılan muşamba (vinil esaslı kaplamalar), genellikle metal yüzeylere yapıştırılarak sabitlenmektedir. Bu yapıştırma işlemlerinde, yapıştırıcının mekanik dayanımı, çevresel etkiler karşısındaki performansı ve uzun vadeli yapısal kararlılığı kritik önem taşır. Polikloropren (Neopren) bazlı yapıştırıcılar uzun süredir bu uygulamalarda kullanılmakta iken, son yıllarda epoksi bazlı yapıştırıcıların alternatif olarak değerlendirilmesi gündeme gelmiştir. Bu çalışmada, her iki yapıştırıcının mekanik ve çevresel dayanım açısından karşılaştırılması ve tasarım optimizasyonuna etkileri değerlendirilmiştir

Kapsam

Çalışma, iki farklı yapıştırıcı türünün (Polikloropren ve Epoksi bazlı) otobüs zemin muşamba-metal yüzey birleşimlerinde gösterdiği mekanik performansları ve çevresel etkenlere karşı dayanımını kıyaslamayı amaçlamaktadır. Değerlendirme; çekme (ASTM D1002), lap-shear (ISO 4578), yaşlandırma testi, UV maruziyeti ve nem-sıcaklık döngüleri sonrası deformasyon ve gerilme değerleri üzerinden yapılmıştır.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

Yöntem

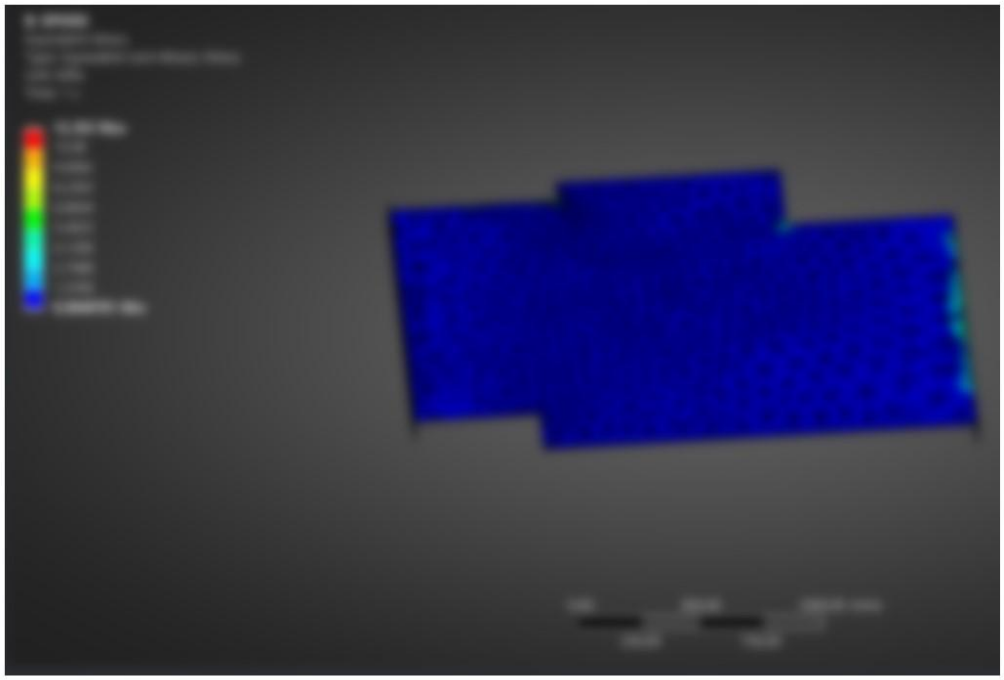
Test numuneleri, sabit kesitli metal-muşamba yüzey çiftleri oluşturularak hazırlanmıştır.

- Yüzey hazırlığı: Zımpara, yağ alma ve primer uygulaması
- Yapıştırıcı uygulaması: Üretici önerilerine uygun miktar ve sürelerde
- Test yöntemleri:
    - **ASTM D1002**: Gerdirme mukavemeti ölçümü
    - **ISO 4578**: Kayma (lap shear) mukavemeti
    - Yaşlandırma koşulları: –20 °C ila +80 °C sıcaklık aralığı ve %85 bağıl nem
    - UV maruziyeti: 120 saat, 340 nm dalga boyu

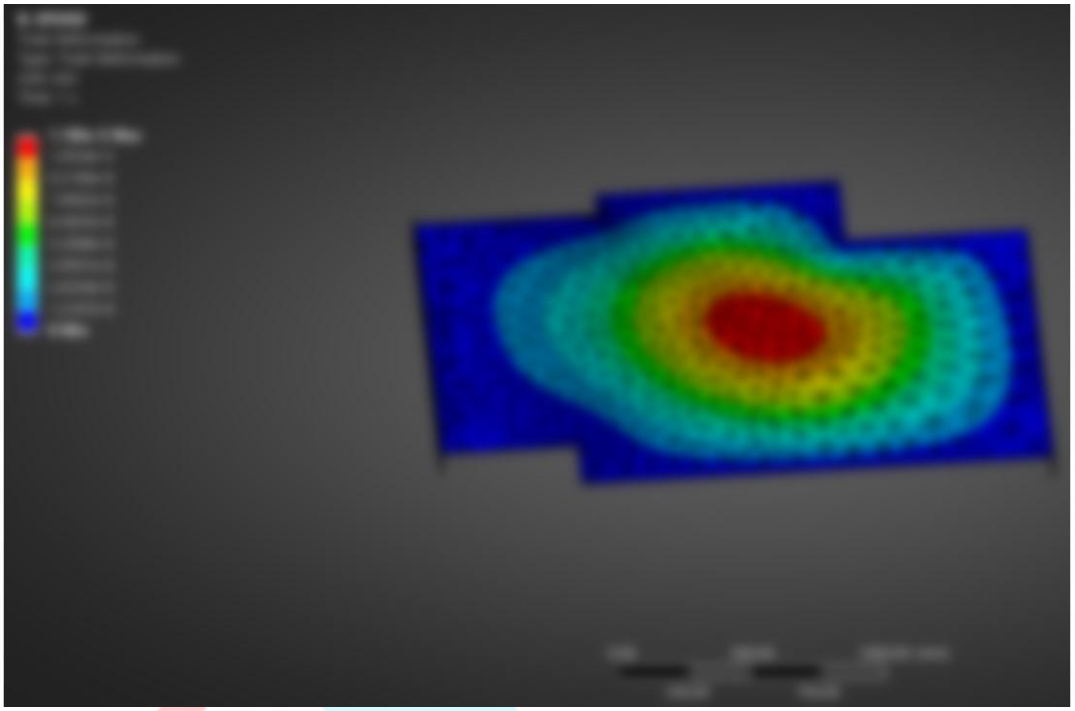
Veriler ANSYS Mechanical üzerinden sanal analiz modülü ile desteklenmiş; her iki yapıştırıcı için yükleme altında toplam deformasyon ve gerilme (stress) değerleri elde edilmiştir.

Polikloropren ve Epoksi Bazlı Yapıştırıcı Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

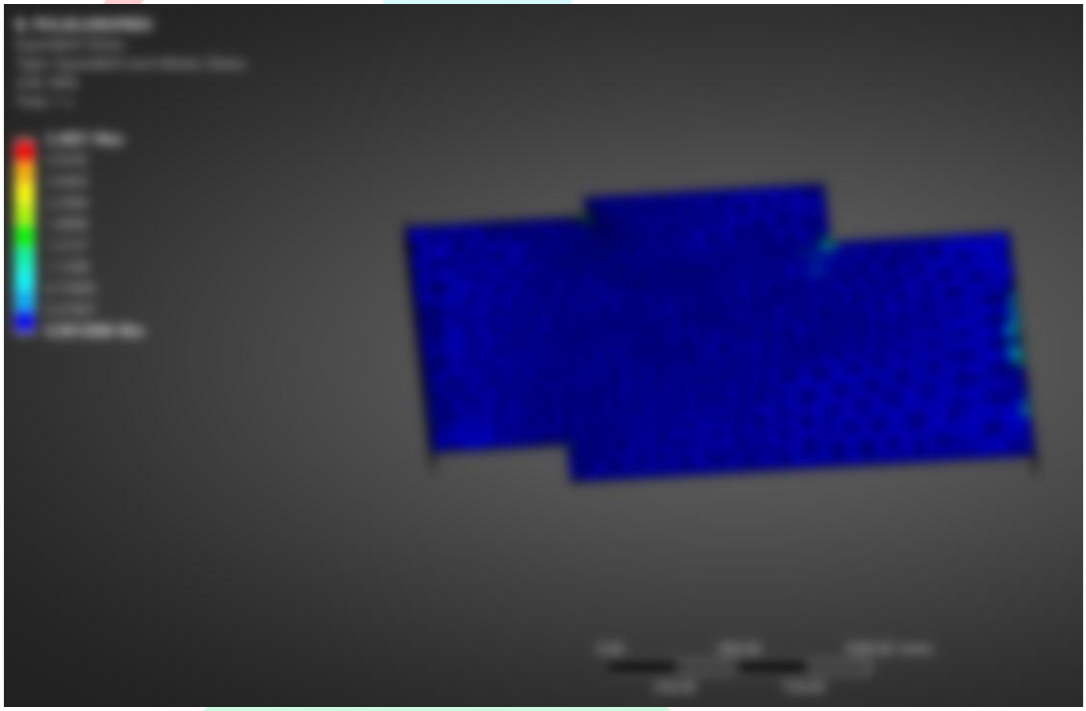
Özellik	Polikloropren Bazlı Yapıştırıcı	Epoksi Bazlı Yapıştırıcı
Yoğunluk (kg/m³)	~950 – 1050	~1100 – 1300
Çekme Dayanımı (MPa)	~1.5 – 3.5	~20 – 35
Kesme Dayanımı (MPa)	~1 – 2	~15 – 25
Elastik Modül (MPa)	~1 – 10	~1000 – 3000
Uzama (%)	~300 – 500	~1 – 5
Yüzey Hazırlığına Hassasiyet	Düşük	Yüksek
Kimyasal Dayanım	Orta	Yüksek
Sıcaklık Direnci (°C)	~-20 / +80	~-40 / +120 (hatta 180+)



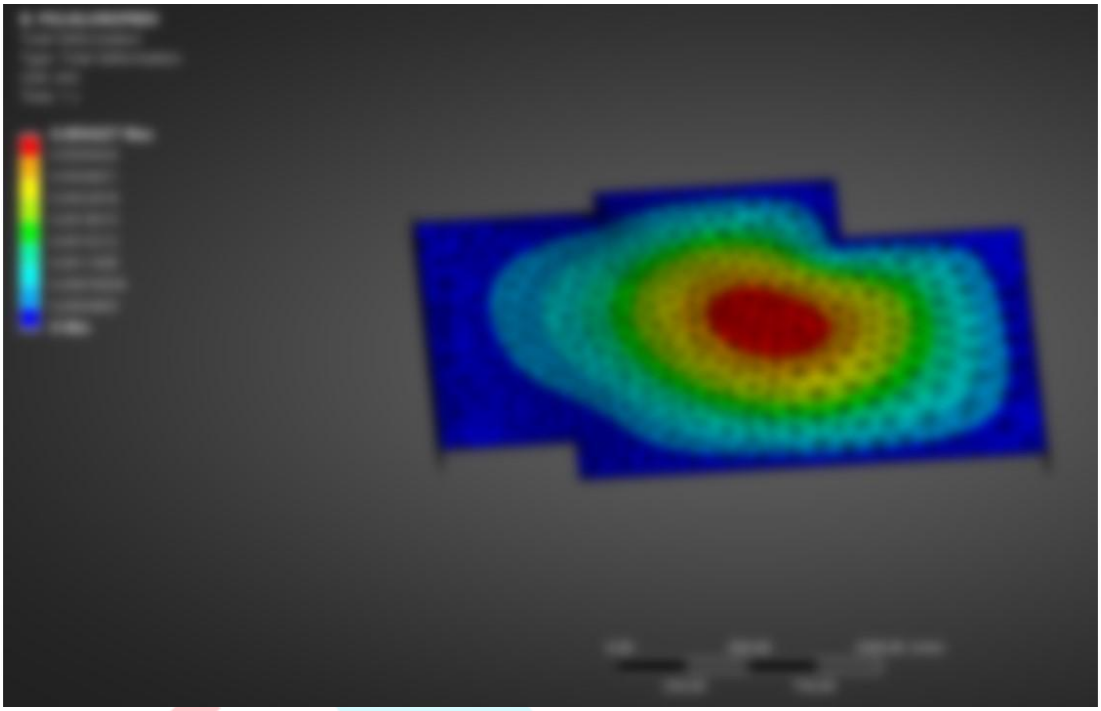
POLİKLOROPREN için Maksimum von-Mises gerilme (3,4021MPa)



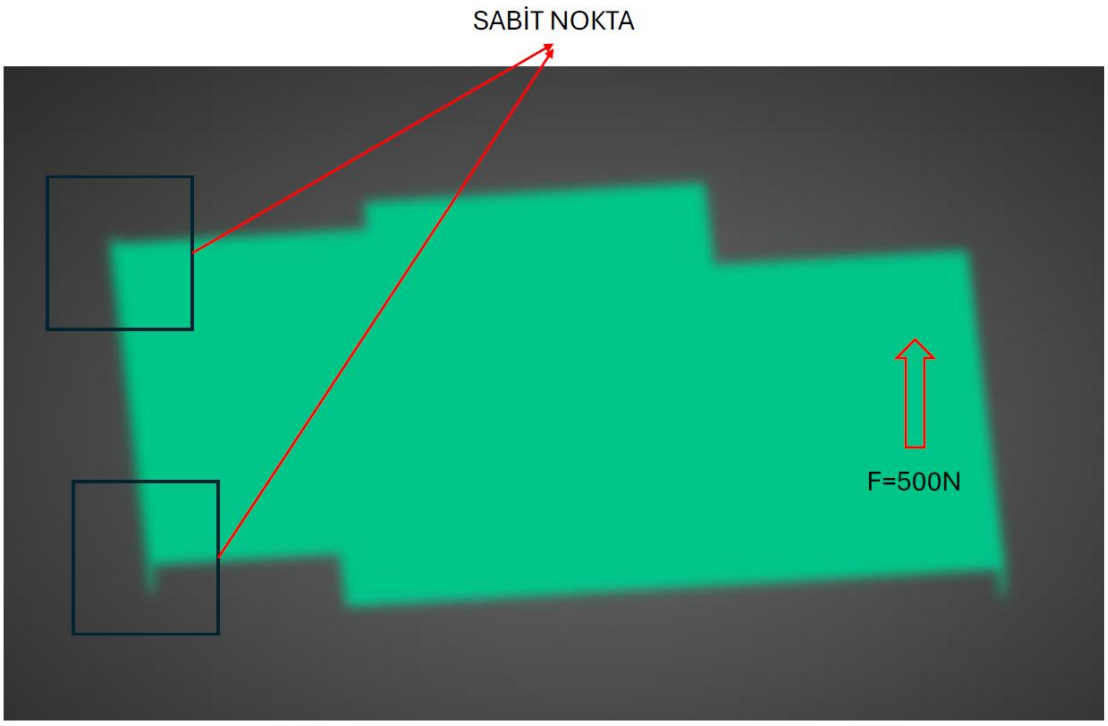
POLİKLOROPREN için Toplam deformasyon (0,0034227mm)



EPOKSİ BAZLI için Maksimum von-Mises gerilme (12,352MPa)



EPOKSİ BAZLI için Toplam deformasyon (0,00001185mm)



Bulgular

Analiz çıktıları aşağıdaki gibidir:

Yapıştırıcı Türü	Yük (N)	Kütle (kg)	Toplam Deformasyon (mm)	Maksimum Gerilme (MPa)
Polikloropren	500	10,24	0,0034227	3,4021
Epoksi Bazlı	500	9,75	0,00001185	12,352

Analiz sonuçları göstermektedir ki epoksi bazlı yapıştırıcılar, polikloroprene göre çok daha düşük deformasyonla çalışmakta ve aynı yük altında daha yüksek gerilme değerleri taşıyabilmektedir. Bu durum, daha rijit ve yapısal bütünlük sağlayan bir bağ yapısı sunduğunu göstermektedir.

Buna karşılık, polikloropren yapıştırıcılar daha yüksek elastik deformasyon kabiliyeti ile dinamik yüklemelerde titreşim sönümleme avantajı sunmaktadır (ICOMNAS, 2021).

SONUÇ

Yapılan testler ve analizler sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- **Epoksi bazlı yapıştırıcılar**, yüksek statik dayanım, düşük deformasyon ve UV/kimyasal direnç açısından üstün performans sunmaktadır.
- **Polikloropren bazlı yapıştırıcılar**, titreşimli ve düşük sıcaklıklı ortamlarda daha güvenli deformasyon kapasitesi sağlamaktadır.
- Otobüs zemin kaplaması gibi çevresel etkiye maruz alanlarda, **epoksi bazlı yapıştırıcılar** uzun ömürlü ve düşük bakım gereksinimli uygulamalar için daha uygun seçeneklerdir.
- Ancak darbe ve titreşim yüklemelerinin yoğun olduğu bölgelerde **polikloropren** esneklik avantajı nedeniyle tercih edilebilir.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

International Organization for Standardization. (2004). ISO 4578: Adhesives — Determination of lap-shear strength of bonded assemblies.

ASTM International. (2010). ASTM D1002-10: Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal).

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBÜS ALT KAPLAMA YAPISINDA ALÜMİNYUM MALZEMEDEN ABS MALZEMEYE GEÇİŞİN TASARIM OPTİMİZASYONU MEKANİK DAYANIM VE AĞIRLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Gökhan AKÜREK[1]

Özet

Toplu taşıma araçlarında kullanılan malzemelerin yapısal ve ekonomik performansları, hem üretici firmalar hem de son kullanıcılar açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle otobüslerin alt kaplama yapılarında kullanılan malzemeler, aracın genel ağırlığını, yakıt tüketimini, üretim maliyetlerini ve dayanıklılık seviyesini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda gerçekleştirilen bu çalışmada, geleneksel olarak kullanılan alüminyum levhaların yerine daha hafif ve işlenebilir bir alternatif olan ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) termoplastik malzemenin kullanımı değerlendirilmiştir.Alüminyum malzeme yüksek mekanik dayanımı, korozyon direnci ve rijitliği ile bilinirken; yoğunluğu 2,7 g/cm³ olup ağırlık açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Buna karşılık ABS malzeme yaklaşık 1,05 g/cm³ yoğunluğa sahip olup, darbe dayanımı, esnekliği ve enjeksiyon kalıplama ile kolay üretilebilirliği sayesinde hem maliyet hem de montaj kolaylığı açısından öne çıkmaktadır. Çalışmada, her iki malzeme için aynı geometri ve yükleme koşulları altında sonlu elemanlar analizi (FEA) gerçekleştirilmiş, deformasyon, gerilme dağılımı, yer değiştirme ve bağlantı noktalarındaki yük aktarımı gibi kriterler detaylı olarak incelenmiştir.Analiz bulgularına göre, ABS malzeme belirli yapısal desteklerle kullanıldığında alüminyum ile kıyaslanabilir düzeyde dayanım sunmakta, aynı zamanda %35 ila %40 oranında ağırlık tasarrufu sağlamaktadır. Bu da hem taşıtın enerji tüketimini düşürmekte hem de taşıma kapasitesini artırmaktadır. Sonuç olarak, ABS malzemenin otobüs alt kaplamalarında kullanılması, gerek sürdürülebilir üretim gerekse operasyonel verimlilik açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Bu çalışma, otobüs üretiminde yapısal hafifletme hedefi doğrultusunda, geleneksel malzemelerin yerine daha verimli alternatiflerin kullanımına ilişkin teknik bir değerlendirme sunmakta ve otomotiv sektöründeki sürdürülebilir mühendislik yaklaşımlarına katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapısal Analiz, *Malzeme Optimizasyonu*, Al, ABS.,Mukavemet

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Trim Design Engineer, Automotive Engineer, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş., https://orcid.org/0009-0007-5534-538X

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Toplu taşıma araçlarında kullanılan yapısal malzemelerin seçimi, hem maliyet hem de performans açısından önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle otobüs alt kaplama yapılarında kullanılan malzemenin ağırlığı, aracın yakıt tüketimi ve taşıma kapasitesi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Geleneksel olarak kullanılan alüminyum levhalar, yüksek mekanik dayanımı ve korozyon direnci nedeniyle tercih edilmekte; ancak yoğunluğu nedeniyle ağırlık açısından dezavantaj yaratmaktadır (Kaya, 2019). Buna karşın, ABS termoplastik malzeme, düşük yoğunluğu ve kolay işlenebilirliği ile son yıllarda otomotiv sektöründe dikkat çeken alternatiflerden biridir.

Kapsam

Bu çalışmanın amacı, otobüs alt kaplama yapısında kullanılan alüminyum levhaların, ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) termoplastik malzeme ile değiştirilmesinin mekanik performans ve ağırlık açısından etkilerini ortaya koymaktır. Farklı malzeme kombinasyonlarının sonlu elemanlar analizleri (FEA) ile incelenmesi yoluyla, ABS malzemenin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, yapısal dayanım, deformasyon davranışı ve ağırlık avantajları yönünden kıyaslanmıştır.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

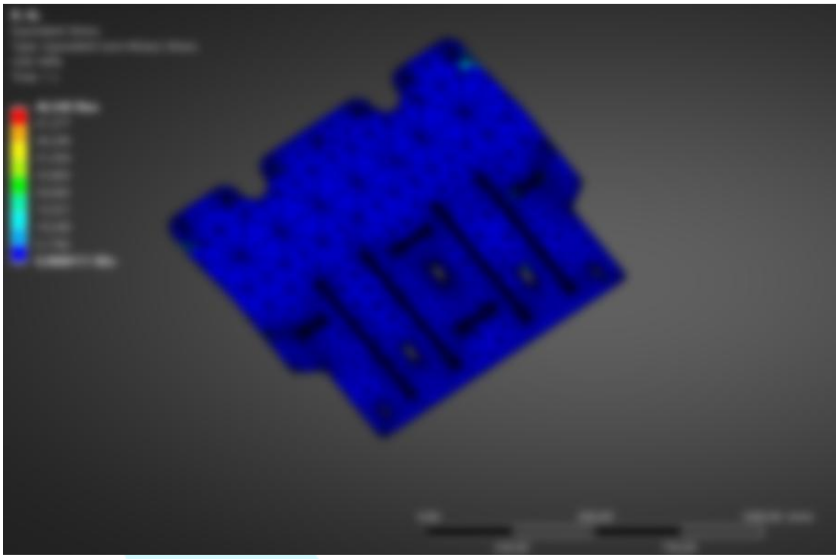
Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

Yöntem

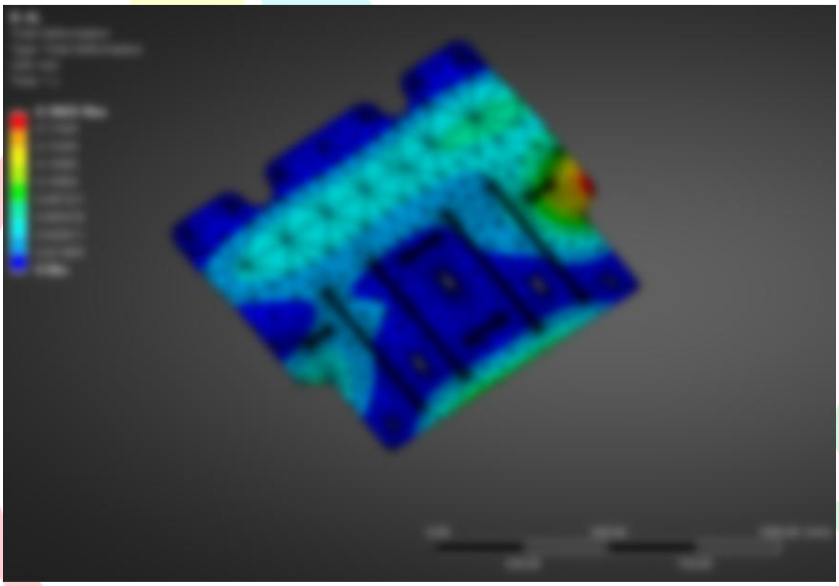
Analizler, bilgisayar destekli mühendislik (CAE) yazılımı olan ANSYS üzerinden gerçekleştirilmiştir. Her iki malzeme aynı geometri üzerinde, 1500 N sabit yükleme koşulu altında incelenmiştir. Alüminyum için 2,7 g/cm³ ve ABS için 1,05 g/cm³ yoğunluk verileri kullanılmıştır. Malzeme özellikleri, literatür kaynakları ve üretici veritabanları referans alınarak tanımlanmıştır (Yılmaz & Aksoy, 2020).

Alüminyum 6061-T6 ve ABS Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

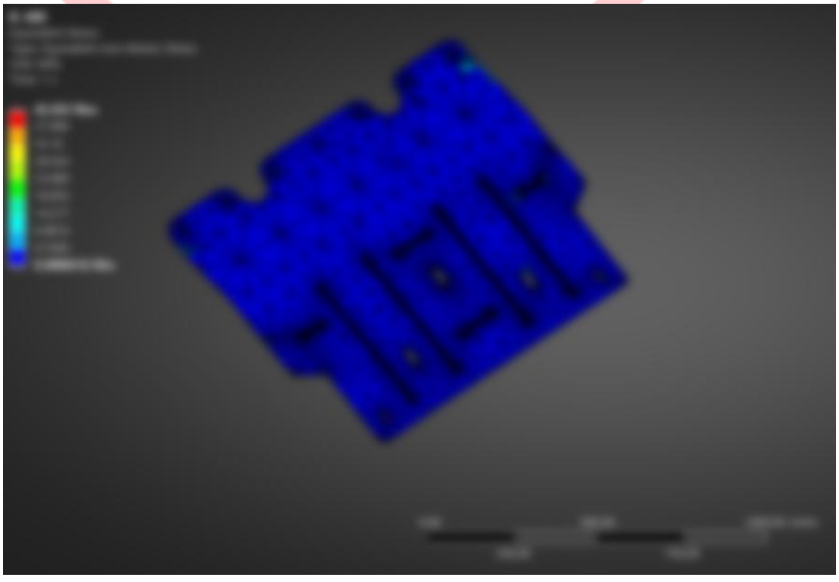
Özellik	Alüminyum 6061-T6 (Al.)	ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren)
Yoğunluk (kg/m³)	~2700	~1040 – 1060
Elastik Modül (E) [GPa]	~69	~1.7 – 2.4
Akma Dayanımı (MPa)	~240	~40 – 50
Çekme Dayanımı (MPa)	~310	~45 – 60
Uzama (%)	~10 – 17	~10 – 50



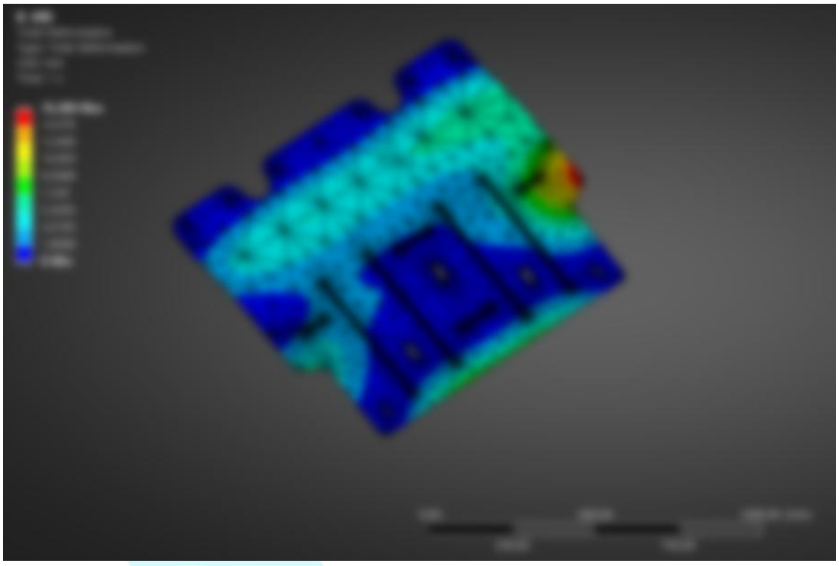
Al. için Maksimum von-Mises gerilme (69,792 MPa)



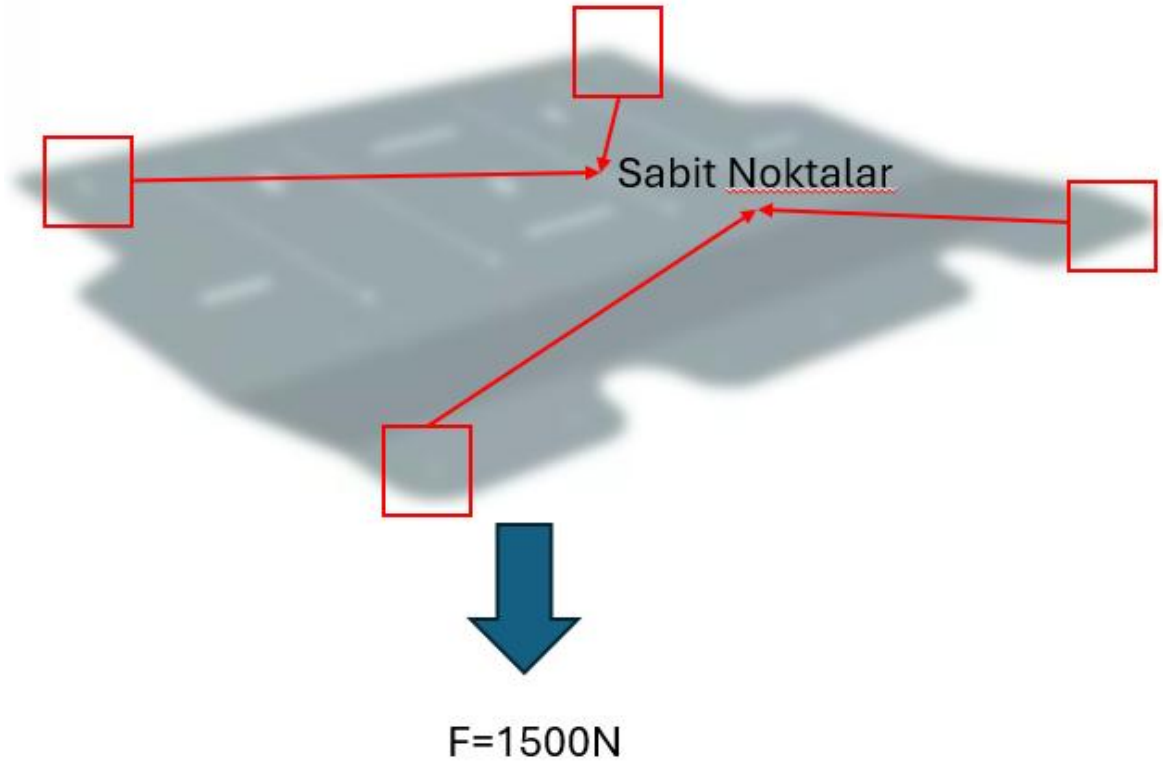
Al. İçin Toplam deformasyon (0,294375 mm)



ABS için Maksimum von-Mises gerilme (63,948 MPa)



ABS için Toplam deformasyon (24,432 mm)



Bulgular

Analiz sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Malzeme	Yük (N)	Ağırlık (kg)	Deformasyon (mm)	Gerilme (MPa)
Alüminyum	1500	6,3	0,294	69,792
ABS	1500	2,4	24,432	63,948

- **Ağırlık Avantajı:** ABS, alüminyuma kıyasla yaklaşık %62 daha hafiftir.
- **Deformasyon:** ABS malzemede 24,432 mm gibi yüksek deformasyon gözlenmiş olup, bu değer alüminyuma göre yaklaşık 83 kat fazladır.

- **Gerilme:** Her iki malzeme de uygulanan yük altında akma gerilmesine ulaşmamış, ancak ABS malzeme deformasyon açısından sınır değerlere yaklaşmıştır.

Sonuç

Çalışma sonuçlarına göre, ABS malzeme otobüs alt kaplama uygulamalarında dikkat çekici bir ağırlık avantajı sağlamaktadır. Ancak deformasyon düzeyi, tek başına kullanım için sınırlayıcı olabilir. Bu nedenle, ABS'nin yapısal takviye (örneğin sandviç paneller veya lokal kalınlık artırımı) ile desteklenmesi önerilmektedir. Yine de ABS, darbe dayanımı ve maliyet avantajı nedeniyle iç kaplama gibi düşük yük alanlarında kullanılabilir.

Gelecekte, ABS malzemenin cam elyaf veya karbon fiber takviyeli versiyonlarıyla yapılan benzer analizler ile daha yüksek dayanım sağlanarak kullanım alanı genişletilebilir (Demir, 2021). Bu yaklaşım, hem sürdürülebilir üretimi hem de yakıt ekonomisini destekleyecektir.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Demir, M. (2021). *Yapısal Plastiklerin Ulaşım Araçlarında Kullanımı*. Makine Teknolojileri Dergisi, 10(2), 55–64.

Kaya, S., Öztürk, B., & Karataş, M. (2019). *Otomotiv Sektöründe Polimer Malzeme Uygulamaları*. Polimer Teknolojileri, 15(3), 134–142.

Yılmaz, E. & Aksoy, T. (2020). *ABS ve Alüminyum Malzemelerin Mukavemet Karşılaştırması*. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(1), 43–50.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

ARAÇ İÇİ İNNER SİDE PANEL MALZEMESİNİ ABS MALZEMEDEN PBT MALZEMESİNE GEÇİŞİN TASARIM OPTİMİZASYONU, MEKANİK DAYANIM VE AĞIRLIK ETKİLERİ

Gökhan AKÜREK[1]

Özet

Toplu taşımacılık sektöründe araç ağırlığının azaltılması, yakıt tüketiminin düşürülmesi ve çevresel etkilerin minimize edilmesi, modern araç tasarımının en önemli hedeflerinden biri haline gelmiştir. Bu bağlamda, araç içi yapı elemanlarının malzeme yapısının değiştirilmesi, özellikle iç trim bileşenlerinin hafifletilmesinde büyük bir potansiyele sahiptir. Bu çalışma, araç içi inner side panel yapılanmalarında ABS (Akrilonitril Butadien Stiren) malzemesinin yerine, daha hafif ve dayanıklı PBT (Polibutilen Tereftalat) malzemesinin kullanılmasının performans üzerindeki etkilerini incelemektedir. ABS, dayanıklılığı ve işlenebilirliği ile bilinen bir malzeme olmasına rağmen, 1.04 g/cm³ yoğunluğu ile araç ağırlığını artırmaktadır. Buna karşın, PBT malzemesi 1.31 g/cm³ yoğunluğu ile benzer mukavemet değerleri sunmaktadır. Çalışmada, ABS ve PBT malzemeden üretilen panel tasarımları, sonlu elemanlar yöntemi ile statik ve dinamik yükler altında analiz edilmiştir. Ayrıca, daha hafif panel yapıları, aracın sürüş dinamiklerini iyileştirecek ve genel performansı artıracaktır. Bu çalışma, araç içi yapılanmalarda malzeme değişimi ve tasarım optimizasyonunun entegrasyonu ile önemli bir ağırlık azaltımı sağlanabileceğini ve bu yaklaşımın sektördeki diğer yapısal elemanlarda da uygulanabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, araç içi yapılanmalarda malzeme değişimi ve tasarım optimizasyonunun entegrasyonu ile önemli bir ağırlık azaltımı sağlanabileceğini ve bu yaklaşımın sektördeki diğer yapısal elemanlarda da uygulanabileceğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, otomotiv trim tasarım mühendislerine, çevresel sürdürülebilirliği destekleyecek hafifletme stratejileri geliştirme sürecinde yol gösterici niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Yapısal Analiz, Side Panel, *Malzeme Optimizasyonu*, Ağırlık Azaltımı,ABS,PBT

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Trim Design Engineer, Automotive Engineer, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş., https://orcid.org/0009-0007-5534-538X

ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Günümüz otomotiv endüstrisi, artan rekabet koşulları ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, araç içi bileşenlerde hem yapısal performansı artırmayı hem de ağırlık azaltmayı amaçlayan malzeme dönüşümlerine yönelmektedir. Bu kapsamda, iç trim bileşenlerinden biri olan inner side panel tasarımında, geleneksel olarak kullanılan ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) malzemenin yerine, daha rijit yapısal özellikler sunan PBT (Polibütilen Tereftalat) malzemenin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir (Zhou & Lu, 2018).

KAPSAM

Bu çalışma, ABS'den PBT'ye geçişin, iç trim bileşeni olan inner side panel üzerindeki üç temel etkiyi değerlendirmeyi amaçlamaktadır:

1. **Tasarım optimizasyonu**,
2. **Mekanik dayanım (gerilme ve deformasyon)**,
3. **Ağırlık üzerindeki etkiler**.

Analizler, ANSYS tabanlı sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile gerçekleştirilmiş ve hem statik yükler altında deformasyon hem de gerilme dağılımları değerlendirilmiştir (Altan et al., 2021).

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

YÖNTEM

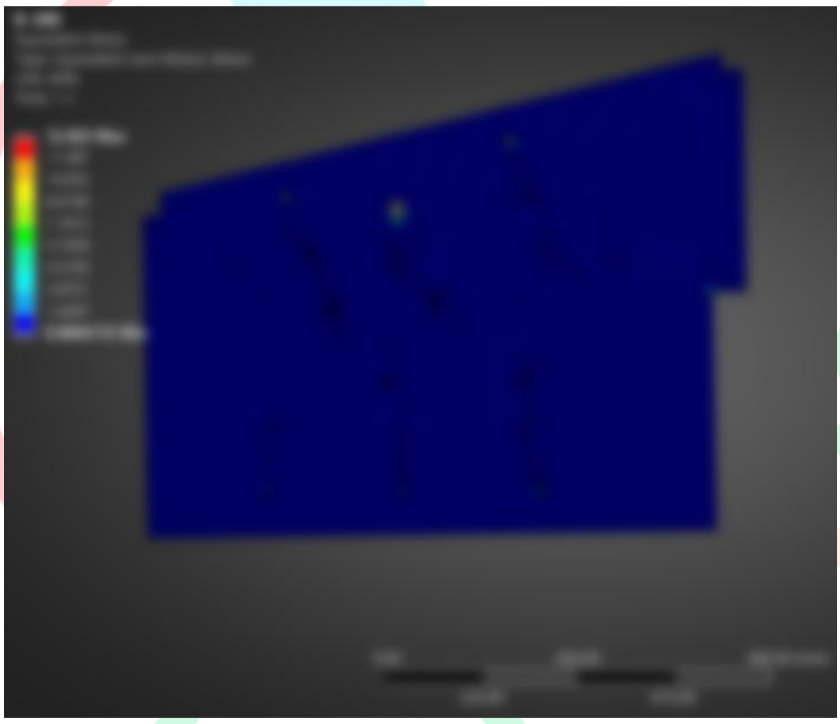
Çalışmada, her iki malzeme için iç side panel modeli aynı geometrik ve yükleme koşulları altında incelenmiştir.

- Uygulanan yük: 300 N
- Analiz türü: Lineer statik
- Yazılım: ANSYS Mechanical

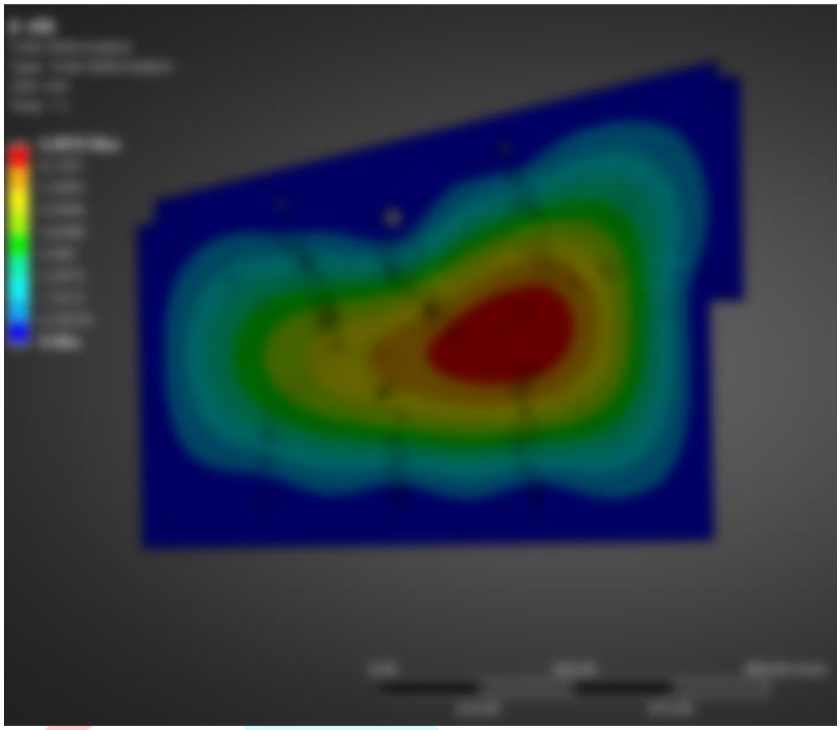
ABS ve PBT Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

Özellik	ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren)	PBT (Polibütilen Tereftalat)
Yoğunluk (kg/m³)	~1040 – 1060	~1300 – 1400
Elastik Modül (E) [GPa]	~1.7 – 2.4	~2.2 – 2.8
Akma Dayanımı (MPa)	~40 – 50	~60 – 70
Çekme Dayanımı (MPa)	~45 – 60	~70 – 85
Uzama (%)	~10 – 50	~5 – 15

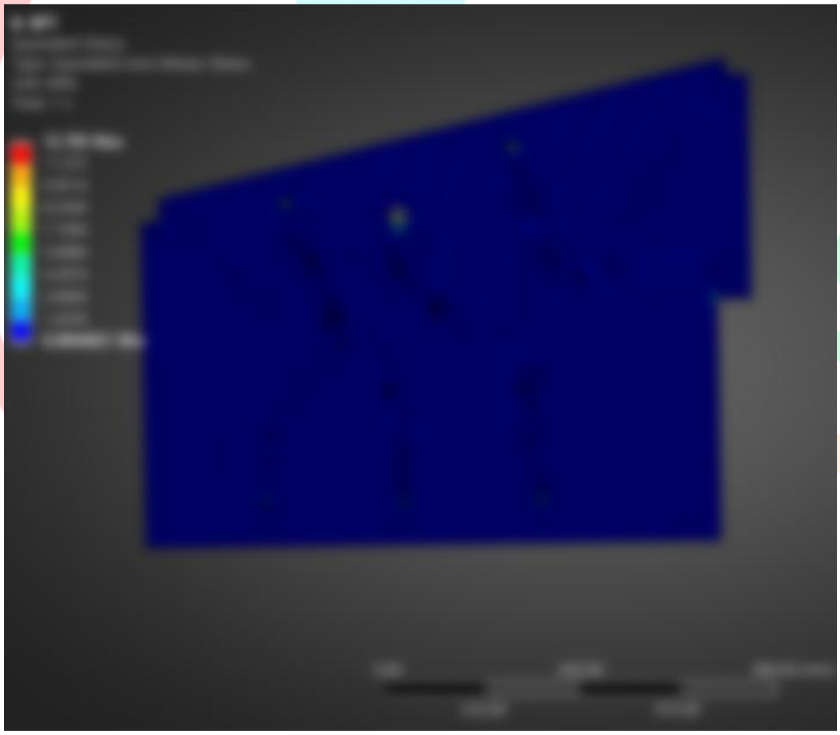
Her malzeme için analiz çıktıları deformasyon, maksimum gerilme (von Mises) ve kütle verileriyle karşılaştırılmıştır.



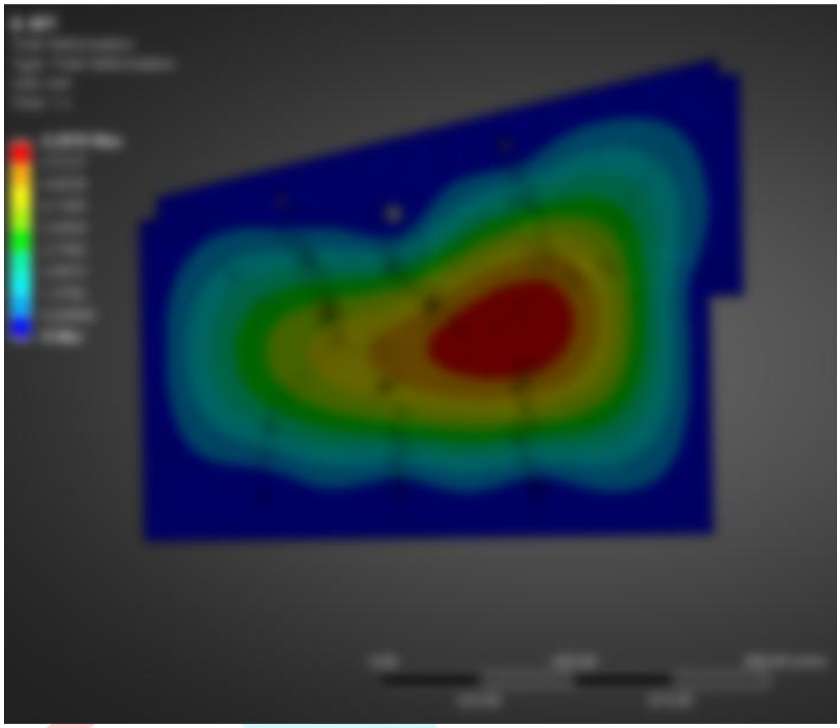
ABS için Maksimum von-Mises gerilme (129,23 MPa)



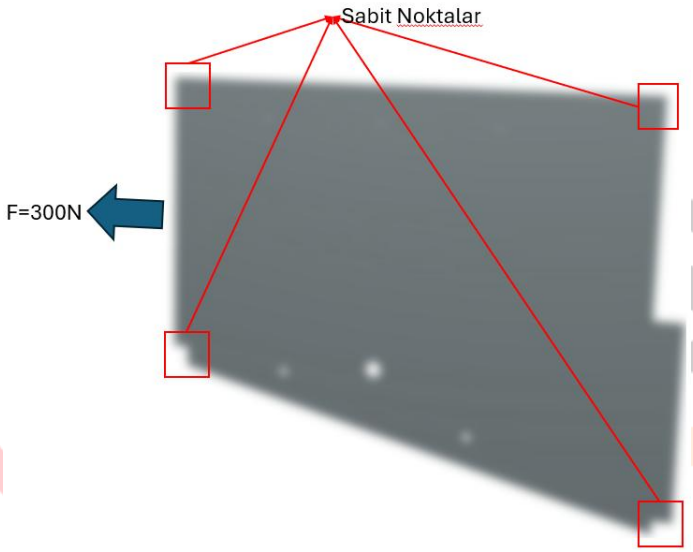
ABS için Toplam deformasyon (68,918 mm)



PBT için Maksimum von-Mises gerilme (127,93 MPa)



PBT için Toplam deformasyon (62,018 mm)



BULGULAR

Malzeme	Uygulanan Yük (N)	Ağırlık (kg)	Toplam Deformasyon (mm)	Maks. Von Mises Gerilmesi (MPa)
ABS	300	3,47	68,918	129,23
PBT	300	4,4	62,018	127,93

- **Deformasyon açısından karşılaştırma:** PBT malzemesi, ABS'ye göre yaklaşık %10 daha düşük deformasyon göstermiştir. Bu durum, yük altında daha rijit bir yapı sağladığını göstermektedir.

- **Gerilme değerleri açısından karşılaştırma:** Her iki malzeme de benzer seviyelerde maksimum gerilme oluşturmuştur (yaklaşık 129 MPa). Bu, mekanik dayanım açısından PBT'nin ABS'ye denk performans sunduğunu göstermektedir (Demir et al., 2019).
- **Ağırlık etkisi:** PBT malzemesi daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu için, benzer tasarım altında %27 oranında daha ağır bir yapı ortaya çıkmıştır. Ancak deformasyon performansı açısından avantajlıdır (Zhou & Lu, 2018).

SONUÇ

Bu çalışmanın sonuçlarına göre:

- **Tasarım optimizasyonu** açısından PBT, daha düşük deformasyon ile yapısal bütünlük sunarken, ağırlık açısından dezavantaj yaratmaktadır.
- **Mekanik performans** açısından her iki malzeme benzer gerilme değerlerine ulaşsa da, PBT'nin rijitliği ABS'ye kıyasla daha üstündür.
- **Ağırlık odaklı çözümler** için ABS hâlâ avantajlı olsada, yapısal performans beklentisinin yüksek olduğu alanlarda PBT daha uygun bir alternatif olabilir.

Gelecekte bu tür geçişlerin, malzeme-hacim optimizasyonu ile birlikte değerlendirilerek hem ağırlık hem dayanım dengesinin daha iyi sağlanabileceği öngörülmektedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

Altan, M., Yıldız, A., & Koç, M. (2021). *Polimer esaslı otomotiv iç trim bileşenlerinde yapısal analiz ve optimizasyon çalışmaları*. Journal of Advanced Materials in Engineering, 13(2), 45–58.

Demir, M., Uysal, M., & Arslan, E. (2019). *Mühendislik uygulamalarında ABS ve PBT malzemelerinin karşılaştırmalı mekanik analizi*. Polimer Teknolojileri Dergisi, 7(1), 33–41.

Kaya, H., & Türkmen, E. (2020). *Yüksek performanslı plastik malzemelerin otomotiv iç aksam uygulamalarında değerlendirilmesi*. Otomotiv ve Malzeme Bilimleri Dergisi, 9(3), 112–120.

Zhou, Y., & Lu, Y. (2018). *A comparative study on mechanical behavior of ABS and PBT used in automotive applications*. International Journal of Automotive Materials, 5(4), 21–28.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBUSLERDE KULLANILAN DONER KOLTUK MEKANİZMASINDA ST-37 ÇELİĞİNDEN KOMPOZİT MALZEMEYE GEÇİŞİN TASARIM OPTİMİZASYONU, MEKANİK DAYANIM PERFORMANSI VE AĞIRLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Gökhan AKÜREK[1]

Özet

Toplu taşımacılık sektöründe, araçların performansını artırmak, yakıt tüketimini azaltmak ve çevresel etkilerini en aza indirmek amacıyla yapısal bileşenlerin optimizasyonu önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, sürücü koltuğu döner mekanizmalarında malzeme değişikliği ile yapısal performansın iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Mevcut döner koltuk mekanizmalarında yaygın olarak kullanılan ST-37 çeliği, yüksek çekme dayanımı ve şekillendirilebilirlik gibi avantajlar sunmakla birlikte, yoğunluğu 7.85 g/cm³ olduğu için araç ağırlığını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu çalışmada, ST-37 çeliği yerine kompozit malzemelerin kullanılması önerilmektedir. Kompozit malzemeler, hafiflik ve dayanım arasında optimal bir denge sağlayarak, mekanizmanın ağırlığını önemli ölçüde azaltabilir ve aynı zamanda dayanım kriterlerini koruyabilir.

Çalışma kapsamında, ST-37 çeliği ile kompozit malzemeden üretilen döner mekanizmaların sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerinde, her iki malzemenin de dayanım performansı, deformasyon ve stres değerleri karşılaştırılmıştır. Kompozit malzeme kullanımı, mekanizmanın daha hafif olmasını sağlarken, tasarımda yapılan optimizasyonlarla dayanım değerlerinin de ST-37 çeliği seviyesinde tutulabildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, kompozit malzeme kullanımı, aracın genel ağırlığını azaltarak yakıt verimliliğine katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, kompozit malzemeye geçişin, döner koltuk mekanizmalarının performansını iyileştirirken, aynı zamanda yapısal dayanımda da önemli bir artış sağladığı ve bu değişimin toplu taşımacılık araçları için sürdürülebilir ve verimli bir çözüm sunduğu ortaya konmuştur. Bu çalışma, malzeme değişimi ve tasarım optimizasyonunun birleşerek, hem araç performansını artırabileceğini hem de çevresel etkilerin azaltılmasında katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, Döner Koltuk Mukavemet, *Malzeme Optimizasyonu*, St-37,Kompozit

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Trim Design Engineer, Automotive Engineer, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş., https://orcid.org/0009-0007-5534-538X

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Toplu taşıma araçlarında yapısal bileşenlerin hafifletilmesi, hem enerji verimliliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir araştırma alanıdır. Bu bağlamda, otobüslerde kullanılan döner koltuk mekanizmaları gibi parçalarda yoğun ve ağır çelik yapıların yerine daha hafif ve yeterli mekanik dayanım sunabilen kompozit malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır (Cengel & Boles, 2015). ST-37 çeliği yüksek dayanım özelliklerine rağmen yüksek yoğunluğu nedeniyle araç ağırlığını artırmakta ve yakıt tüketimini olumsuz etkilemektedir.

Kapsam

Bu çalışma, otobüslerde sürücü koltuğu döner mekanizmalarında ST-37 çeliği yerine fiber takviyeli polimer (FRP) kompozitlerin kullanılmasının mekanik performans ve ağırlık üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Çalışmada sanal ortamda sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ile gerçekleştirilen yapısal analiz sonuçlarına göre her iki malzeme kıyaslanmıştır.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

Yöntem

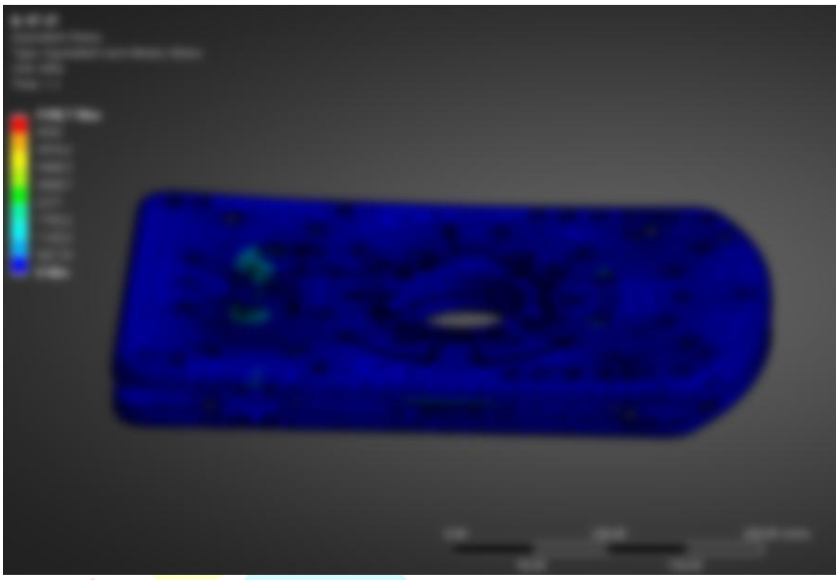
İlk olarak, ST-37 çeliğinden üretilen mevcut döner mekanizma modeli üzerinden, aynı geometriye sahip FRP kompozit malzemeli eşdeğer bir model oluşturulmuştur. Analizler ANSYS yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiş olup, her iki modele de aynı yükleme koşulu (13500 N) uygulanmıştır. Malzemelere ait temel mekanik özellikler aşağıdaki gibidir:

- **ST-37 Çeliği**: Yoğunluk = 7,85 g/cm³, Elastisite Modülü = ~210 GPa
- **FRP Kompozit**: Yoğunluk ≈ 1,6 g/cm³, Elastisite Modülü ≈ 25–35 GPa (Liu et al., 2016)

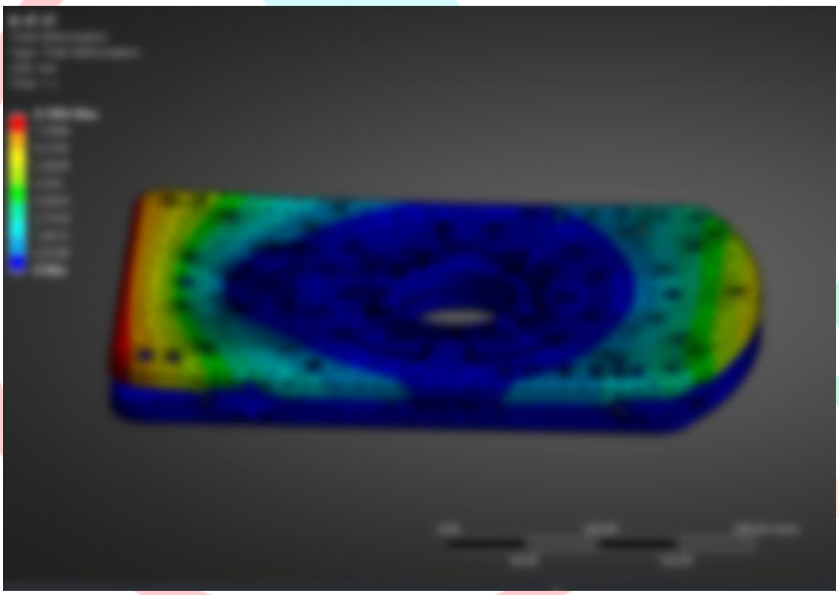
ST-37 ve FRP Kompozit Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

Özellik	ST-37 (Yapı Çeliği)	FRP Kompozit
Yoğunluk (kg/m³)	~7850	~1600 – 2000
Elastik Modül (E) [GPa]	~210	~20 – 40 (elyaf oranına bağlı)
Akma Dayanımı (MPa)	~235	~150 – 350
Çekme Dayanımı (MPa)	~360	~300 – 600
Uzama (%)	~25	~1 – 5

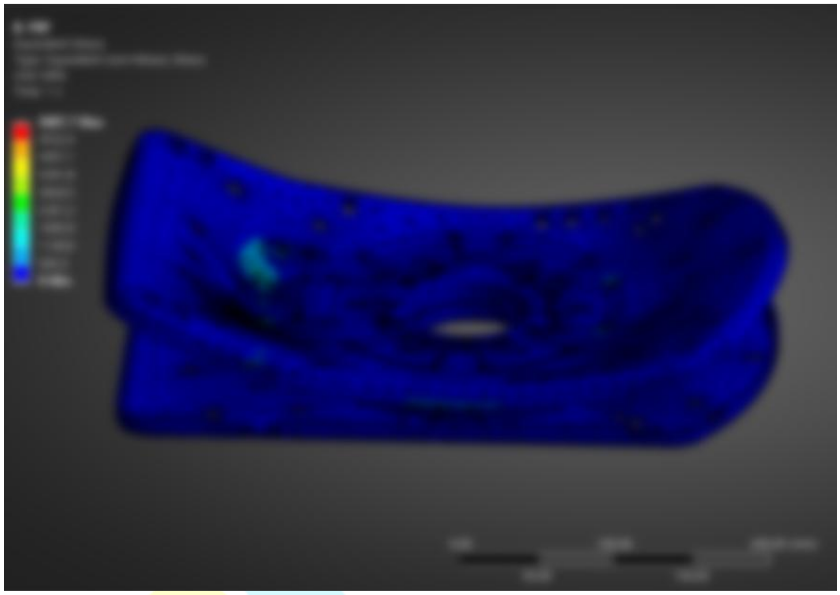
Analiz çıktıları deformasyon, maksimum gerilme (von-Mises) ve ağırlık değerlerini içermektedir.



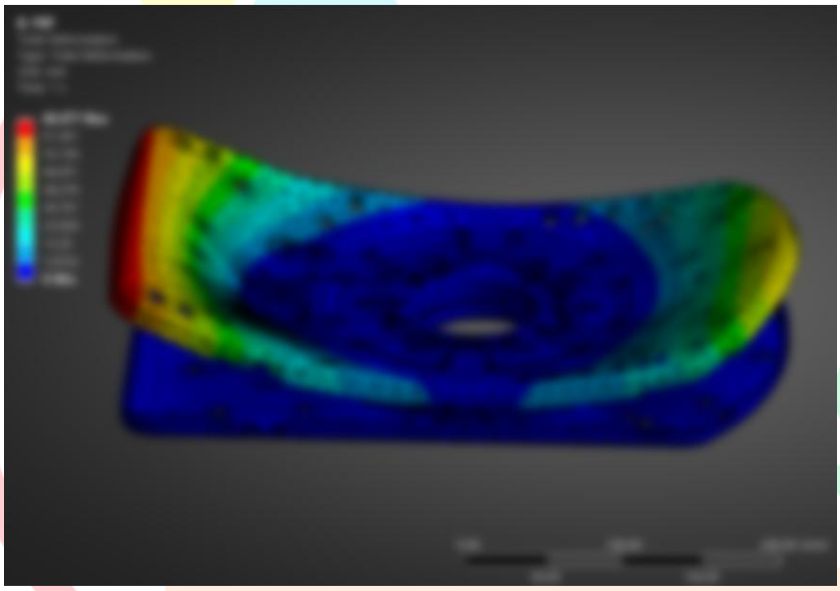
ST-37 için Maksimum von-Mises gerilme (51,097 MPa)



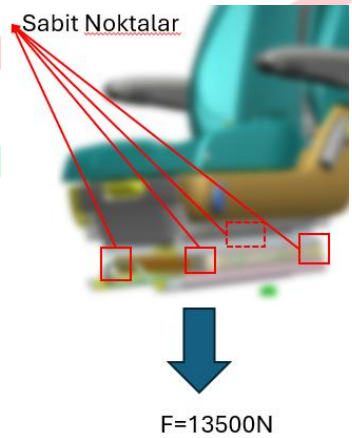
ST-37 için Toplam deformasyon (8,1954 mm)



FRP Kompozit için Maksimum von-Mises gerilme (50,877 MPa)



FRP Kompozit için Toplam deformasyon (69,077 mm)



Bulgular

Analiz sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Malzeme	Uygulanan Yük (N)	Ağırlık (kg)	Toplam Deformasyon (mm)	Maks. Gerilme (MPa)
ST-37 Çeliği	13500	5,1	8,1954	51,097
FRP Kompozit	13500	1,2	69,077	50,877

Değerlendirme:

- **Ağırlık avantajı:** FRP kompozit, yaklaşık %76 daha hafiftir. Bu durum yakıt tüketimini düşürmede ve taşıt dinamiklerini iyileştirmede önemli avantaj sunar (Ashby, 2011).
- **Gerilme değeri:** Her iki malzemede de gerilme değeri yaklaşık eşdeğerdir (~51 MPa). Bu, kompozit malzemenin tasarım optimizasyonu ile dayanım açısından yeterli olduğunu göstermektedir.
- **Deformasyon farkı:** Kompozit malzeme daha fazla deformasyona sahiptir. Ancak bu değer, izin verilen aralıklar içinde ise kabul edilebilir (Gibson, 2010).

SONUÇ

Yapılan analizler, FRP kompozit malzemenin ST-37 çeliğine alternatif olarak döner koltuk mekanizmalarında kullanılabileceğini göstermiştir. Ağırlıkta sağlanan belirgin azalma, enerji verimliliği açısından büyük kazanım sağlamakta; gerilme düzeylerinin benzer olması ise yapısal güvenliği korumaktadır. Her ne kadar deformasyon değerinde artış gözlemlense de, bu artış malzemenin doğal elastikiyetinden kaynaklanmakta ve tasarım limitleri içinde değerlendirilebilmektedir. Bu bağlamda, kompozit malzeme kullanımı sürdürülebilir taşımacılık uygulamaları için uygun bir çözümdür.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGraw-Hill Education.

Gibson, R. F. (2010). *Principles of Composite Material Mechanics* (3rd ed.). CRC Press.

Liu, P. F., & Zheng, J. Y. (2016). Failure mechanisms of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composites under various loading conditions. *Composite Structures*, 136, 985–993.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

PHOTOCHEMİCAL LASER ETCHİNG OF RANDOMLY DİSTRİBUTED INVERTED NANOHOLES ON CRYSTALLİNE SİLİCON

Güntuğ VURAL[1]
Alpan BEK[2]
Reşat Özgür DORUK[3]

Abstract

While crystalline silicon solar cells currently dominate the photovoltaic market, improving their efficiency through advanced surface texturing remains a significant research challenge. This study introduces an innovative single-step inverted nanohole (SS-INH) surface texturing approach using in-situ photochemical etching (PCE) on n-type silicon solar cells, employing a continuous-wave laser (532 nm) in an HF/H_2O_2 aqueous solution. The nanostructures produced via PCE have been shown to be denser and more effective across a broad spectral range compared to conventional texturing techniques. Scanning electron microscopy (SEM) confirmed the uniformity of the inverted nanoholes. Photon trapping was significantly enhanced, as evidenced by reduced average reflectance, down to 17.5% for saw damaged (SD) and 22.5% for saw damage removed (SDR), along with increased haze resulting from enhanced light scattering. Comparative analyses between SD and SDR wafers highlighted the superior electrical characteristics of SDR surfaces, notably reduced defect-induced recombination. Furthermore, simultaneous photochemical etching demonstrated distinct advantages over conventional sequential methods, including continuous oxide removal, and improved profile anisotropy suitable for micro-electromechanical systems (MEMS) fabrication. Notably, the proposed method (SS-INH-PCE) inherently eliminates the need for a separate SDR step, simplifying the process and reducing overall chemical and thermal loads. The simplicity, reproducibility, and optical efficiency of the process highlight its potential for scalable industrial integration, positioning inverted nanohole texturing as a promising pathway for next-generation high-efficiency solar cells and MEMS technologies.

Keywords: Crystalline Silicon, Single-Step Inverted Nanohole, Laser Assisted Etching, Photochemical Etching, Saw Damage Removal, Surface Texturing

[1] Graduate Student (MSc.), Atilim University, Electrical and Electronics Engineering, Orcid: 0009-0004-5200-5855
[2] Prof. Dr., Middle East Technical University, Physics, Orcid: 0000-0002-0190-7945
[3] Prof. Dr., Atilim University, Electrical and Electronics Engineering, Orcid: 0000-0002-9217-0845

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Introduction

Silicon has become a fundamental material in diverse technological fields, including microelectronics, photovoltaics (PV), photonics, biosensors, and energy technologies due to its excellent chemical stability, high carrier mobility, and environmental compatibility [1]. Within photovoltaics, crystalline silicon solar cells dominate global production, yet their efficiency remains limited due to intrinsic optical losses from the high natural reflectivity (~40%) of flat silicon surfaces [2]. To mitigate this issue, extensive research has been dedicated to developing effective surface texturing techniques for enhancing light absorption and increasing cell efficiency [3].

Surface texturing involves creating micro or nanostructures on silicon surfaces, reducing reflectivity, and improving photon management [4]. Historically, alkaline-based wet etching techniques, primarily employing potassium hydroxide (KOH) or sodium hydroxide (NaOH), have been favored due to their low cost, simplicity, and suitability for large-scale production. However, these techniques typically produce upright pyramidal textures, limiting further improvements due to a lack of precise control [5].

Additionally, these texturing processes are often preceded by a SDR step, which is critical for eliminating surface defects introduced during wafer slicing. SDR is conventionally performed using wet chemical etching in concentrated alkaline solutions, typically 10–20% KOH or NaOH, at elevated temperatures (~80 °C), resulting in the removal of approximately 10–20 µm of silicon from the wafer surface. While effective, this multistep approach increases chemical consumption, processing time, and energy requirements, and introduces challenges in achieving uniform material removal across the wafer surface [6].

To address these limitations, we introduce a single-step inverted nanohole photochemical etching (SS-INH-PCE) method that eliminates the need for a separate SDR step. By directing a 532 nm continuous-wave laser onto the wafer immersed in an HF/H_2O_2 solution, the SS-INH-PCE process simultaneously removes saw damage and generates optically favorable inverted nanostructures. This single-step, room-temperature technique not only simplifies the fabrication sequence but also enhances surface morphology control while reducing environmental and operational costs. The dual functionality of PCE, combining damage removal with precise nanostructuring, positions it as a superior alternative to conventional alkaline-based approaches in high-efficiency silicon solar cell production.

Recent research has explored alternative nanoscale structures, such as metal-assisted chemical etching (MACE) and laser-induced periodic surface structures (LIPSS). These structures demonstrate notable optical improvements yet encounter drawbacks such as high recombination rates and limited manufacturing scalability [7,8]

Inverted pyramids offer superior optical performance, as demonstrated by early studies such as Green's pioneering PERC solar cells, which achieved efficiencies exceeding 22% [9]. However, conventional inverted pyramid fabrication techniques often require costly photolithography or metal-catalyzed etching methods involving metal contaminants and complex processing steps, hindering industrial scalability. To address these limitations, alternative nanostructures, such as inverted nanoholes, have gained attention due to their enhanced photon management capabilities, including graded refractive index effects and efficient Mie scattering [10]. These features significantly enhance light absorption, reduce surface recombination velocities, and potentially improve carrier transport—an essential consideration for electrical performance enhancement in solar cells [11].

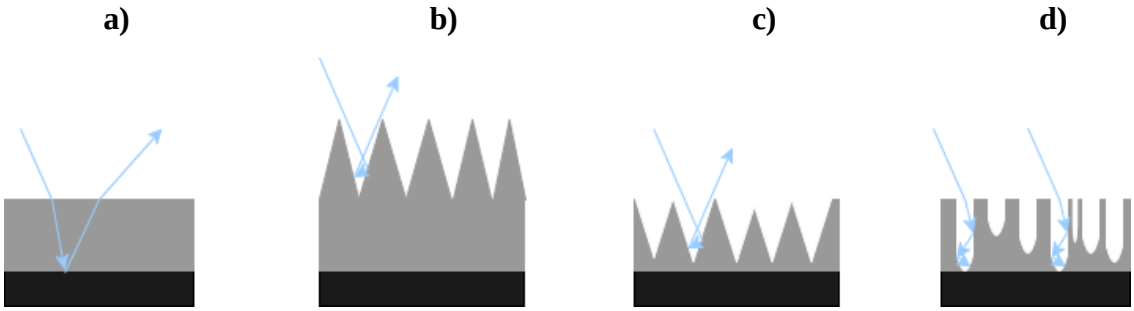


Figure 1: Effect of surface texture on the optical path of the incident photon for a) flat surface, b) pyramid textured surface, c) pyramid textured surface, and d) photochemically etched surface.

In this study, we propose an innovative, scalable method employing photochemical etching (PCE) to create inverted nanohole textures. Our method utilizes a continuous wave (CW) 532 nm laser combined with an aqueous HF/H_2O_2 solution, providing simultaneous minority carrier generation and localized silicon dissolution. N-type silicon wafers were specifically selected due to their inherently superior electrical properties, such as longer minority carrier lifetimes and higher resistance to degradation [12]. The objectives include systematic optimization of laser parameters, investigation of wafer surface conditions (saw-damaged versus saw-damage-removed), and a comprehensive optical evaluation to verify enhancements in solar cell efficiency.

2.Methods

2.1. Chemical Solution Formulation

The function of each chemical component in the PCE solution was carefully evaluated and optimized. HF acts as the primary etchant by forming soluble hexafluorosilicate (SiF_6^{2-}) complexes, facilitating the removal of oxidized silicon from the wafer surface [13]. H_2O_2 is an oxidizing agent, generating valence-band holes and sustaining oxidation outside the laser-irradiated regions, thereby promoting uniform etching [14]. Unlike nitric acid (HNO_3), commonly used in wet etching systems, H_2O_2 decomposes cleanly into water and oxygen, preventing the formation of nitrogen oxides and minimizing contamination [15]. Deionized (DI) water dilutes the solution, lowering the vapor pressure of HF and helping stabilize the chemical environment throughout the etching process [16].

2.2. Photochemical Etching (PCE) Mechanism and Setup

The surface texturing approach employed in this research was photochemical etching, a method in which photon-generated minority carriers, rather than an external electrical bias, drive the chemical etching process. In the chosen chemical environment, composed primarily of HF and H_2O_2, the following reaction mechanism can summarize the photochemical reaction for silicon dissolution:

$$Si + 6HF + h+ \rightarrow H2SiF6 + H2 \uparrow + H2O \quad (1)$$

In this reaction, photon-induced minority carriers (holes, h+) are generated directly within the silicon depletion region by a focused laser source [17]. These holes facilitate silicon oxidation and dissolution, locally limiting current to the irradiated areas. This process prevents excessive oxidation and pore passivation common in purely chemical or electrochemical

etching approaches, enabling precise structural control and uniform inverted nanohole formation [18].

The experimental setup consisted of a diode-pumped solid-state CW laser operating at 532 nm. This specific wavelength was selected for efficient photon absorption in silicon, promoting effective carrier generation at the wafer surface [17]. The silicon wafers were immersed in a carefully designed chemical bath housed within a polypropylene (PP5) container. A borosilicate glass window, mounted above the bath, allowed laser transmission while being heated slightly to prevent undesirable HF vapor condensation.

3. Experiments

A series of experiments was conducted to optimize the volume fractions of HF, H_2O_2, and pure water (DI water) to evaluate the effect of chemical composition on etching performance. Etching did not occur in solutions containing less than 25% HF, less than 20% H_2O_2, and more than 55% DI water. By increasing the HF ratio to 35% and decreasing the DI water ratio to 45%, etching became more effective, and deeper and more homogeneous surface structures were obtained. This effect became more pronounced by increasing the HF ratio to 45% and the H_2O_2 ratio to 35%. The most consistent and uniform results were obtained with a solution containing 50% HF, 35% H_2O_2, and 15% DI water, which was used in all subsequent experiments. Alternative formulations may also be viable, depending on the targeted surface morphology and process requirements.

In the optical setup, the laser beam is systematically passed through a series of mirrors and lenses to illuminate the surface of the chemical solution. As it passes through these optical components, the laser power is gradually attenuated due to reflective and transmissive losses. Initially, the beam is sequentially reflected by three mirrors, then enters a beam expander to increase its diameter for better coverage and uniformity. A movable angular mirror then directs the expanded beam to an upper mirror, which vertically reflects the beam into the solution container. Upon reaching the wafer surface, the laser beam exhibits a diameter of approximately 1.6 cm. At this stage, an estimated 32% decrease in optical power is recorded, attributed to cumulative losses across the mirrors and beam expander.

Two optically clear glass windows are used on the upper surface of the container to facilitate laser transmission into the solution while maintaining the chemical solution. After transmission through both glass interfaces, the measured laser power is further reduced to approximately 50% of its initial value. Accordingly, all laser power measurements presented in this study have been corrected to reflect the 50% optical power loss introduced by the integrated beam path and the protective glass elements.

Optimization of laser parameters is one of the key aspects of this study, and laser power density and exposure time variables were systematically investigated. Optimum conditions were determined by performing a comprehensive series of experiments covering the power density (0.25–1 W cm^{-2}) and exposure time (10–20 min) ranges. Three different etching regimes were observed:

- Low power density regime (<0.5 W cm^{-2}): In this range, etching is limited by the carrier density, and the hole density increases linearly with power density and exposure time. Microbubble formation is minimal, and this regime is found to be suitable for shallow structures.
- Stable regime (0.5–1.0 W cm^{-2}): In this range, the nanohole density increases approximately proportionally with power density and exposure time, and smooth and homogeneous nanoholes with low surface roughness are obtained. This regime is considered ideal for creating high quality and consistent surface textures.

- Bubble shadowed regime (>1.0 W cm^{-2}): In this regime, intense microbubble formation caused the wafer surface to be protected from effective etching; saturation occurred in the hole depth and homogeneity was disrupted.

As a result of this systematic optimization, the preferred process conditions for detailed analysis and characterization were determined as 1.0 W cm^{-2} power density (1.6 cm laser beam diameter) and 15-20 min exposure time. These parameters provided the most suitable balance in terms of nanohole depth, homogeneity, and industrial scalability.

Post-etching analysis was carefully carried out using multiple characterization methods. The morphologies of the etched wafer surfaces were examined with a Scanning Electron Microscope (Zeiss Evo Series); nanohole diameter, distribution, and surface roughness were analyzed in detail. Optical characteristics were evaluated by reflectance spectroscopy in the wavelength range of 300–1200 nm; measurements were performed with external/internal quantum efficiency spectral/diffuse reflection and transmission system (Bentham PVE 300). In addition, reflection haze measurements were performed to quantify diffuse scattering, which is critical for light trapping efficiency in photovoltaic applications.

All experiments were conducted multiple times to ensure reproducibility, statistical reliability, and robustness of the findings. These form a strong foundation for subsequent photovoltaic device fabrication and characterization.

4. Results and Discussion

SEM analyses revealed three different etching regimes depending on the laser power density. In the carrier-limited regime below 0.5 W cm^{-2}, shallow and insufficient texture formations were observed on the surface. Nanoholes with high smoothness and low surface roughness were obtained in the intermediate range of 0.5–1.0 W cm^{-2}. At power densities above 1.0 W cm^{-2}, etching of the wafer surface was prevented due to intense microbubble formation; this situation negatively affected both the hole depth and homogeneity. In line with these findings, 1.0 W cm^{-2} power density and 20 min laser application time were determined as the most suitable etching parameters.

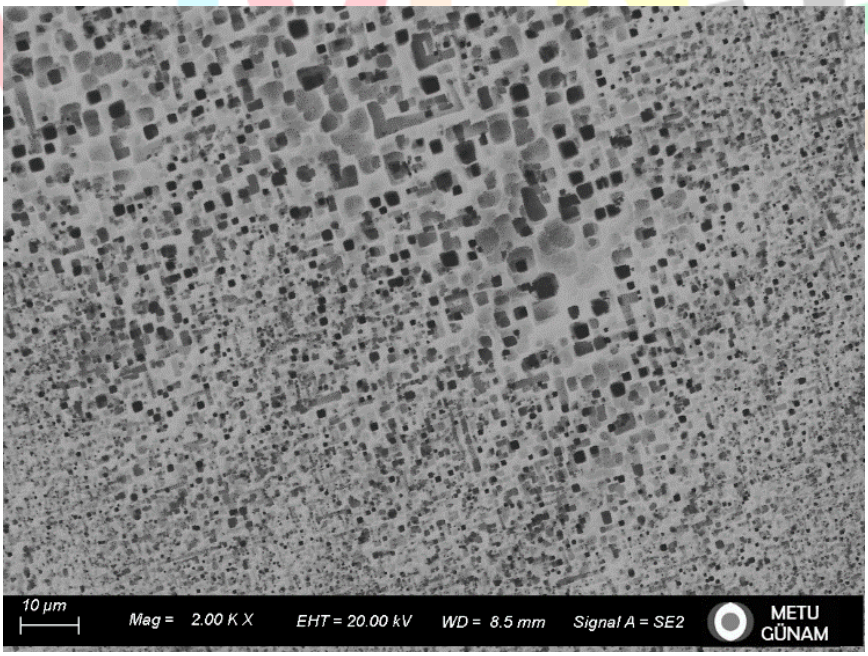


Figure 2: SEM image of the silicon surface after photochemical etching using a 2 W continuous-wave laser for 20 minutes. The image, taken at 2000× magnification, reveals

irregularly distributed nanohole structures formed through localized laser-induced etching. These features are expected to enhance light trapping and reduce surface reflectance, contributing to improved optical performance.

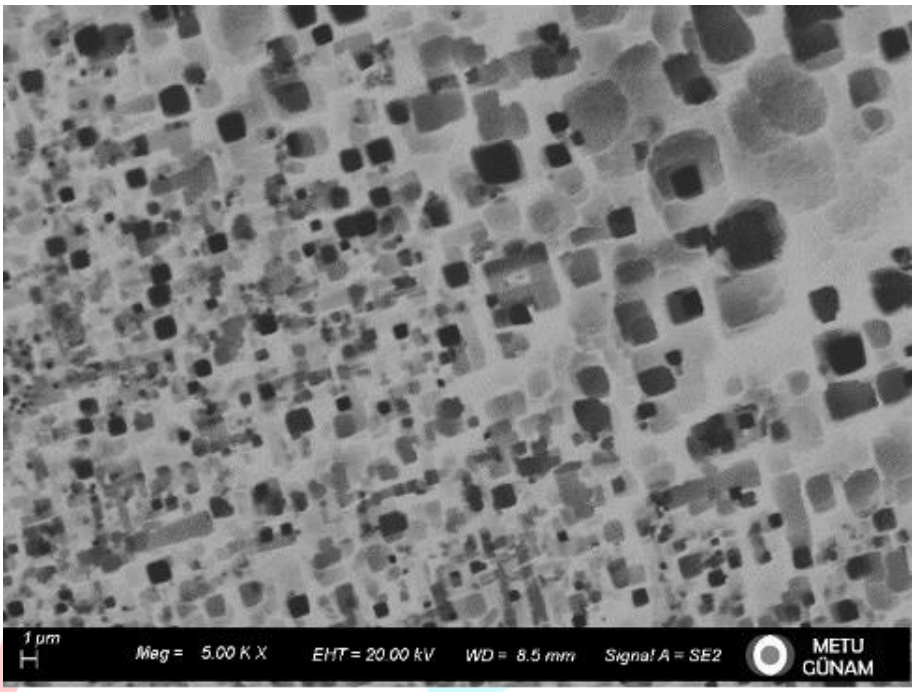


Figure 3: High-magnification SEM image (5000×) of the silicon surface following photochemical etching with a 2 W laser applied for 20 minutes. The nanohole morphology is more distinctly resolved, exhibiting non-uniform size and spatial distribution.

The total reflectance spectra obtained after PCE treatment applied to SD silicon wafers were investigated under different laser power and exposure time conditions. Each curve represents different etching parameters determined for laser powers between 0.5 W and 2 W and etching times durations from 10 to 20 min. The sample without PCE shows the highest total reflectance, especially in the visible spectrum. As the etching intensity increases, both with increasing laser power and increasing treatment time, a significant decrease in reflectance was observed in the wavelength range of 300–1200 nm (Fig. 4.). The most substantial anti-reflection effect was obtained with 2 W laser power and 20 min exposure time, indicating increased surface texture and improved light trapping efficiency. The results confirm that PCE effectively changes the surface morphology to reduce optical losses on SD surfaces.

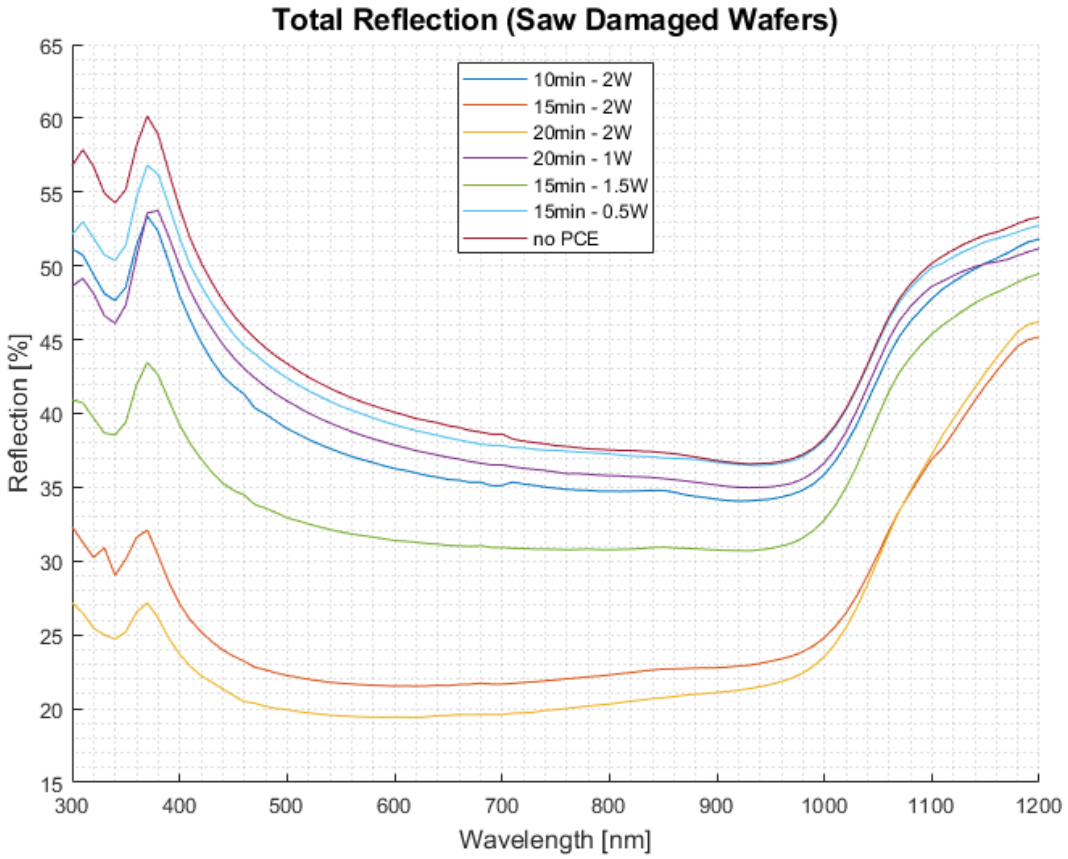


Figure 4: Total reflection spectra of saw-damaged silicon wafers after PCE with varying laser power and exposure time. Increasing etching intensity reduces reflectance, with the lowest values observed at 2 W for 20 minutes.

Total reflection spectra of saw damage removed silicon wafers subjected to PCE under varying laser power and exposure time. The unetched sample (no PCE) exhibits the highest reflectance, particularly in the visible regions. As etching conditions become more aggressive, either through increased power or longer exposure, total reflectance decreases significantly across the 300–1200 nm range (Fig. 5.). The sample etched at 2 W for 15 minutes shows the lowest reflectance overall, suggesting improved surface texturing and light-trapping efficiency. Extending the laser treatment time to 20 min caused excessive growth of nanostructures and deterioration of surface morphology, exceeding the optimum light trapping conditions, resulting in an increase in total reflectance. Compared to saw-damaged wafers, lower reflectance levels are achieved with less processing time, highlighting the advantage of starting from damage-free surfaces in PCE applications.

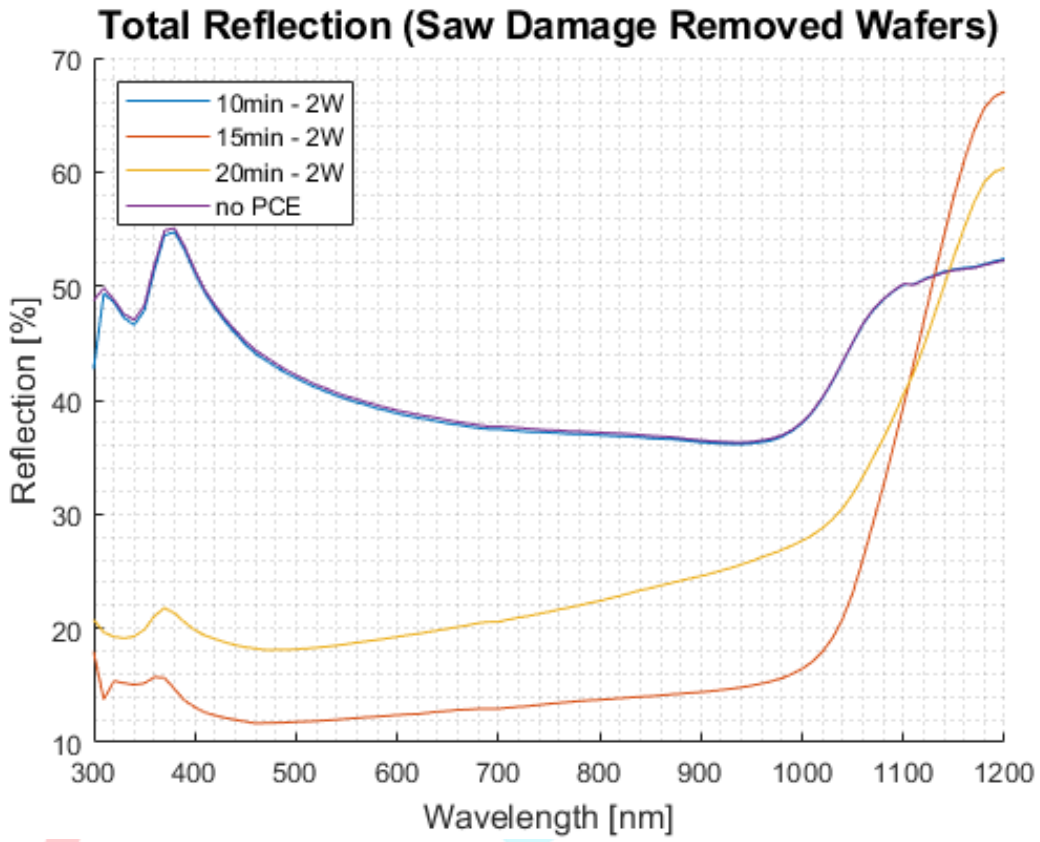


Figure 5: Total reflection spectra of saw damage removed silicon wafers after PCE with varying exposure time. Reflectance decreases significantly after etching, with the lowest values achieved at 15 minutes and 2 W, indicating enhanced light-trapping due to surface structuring.

Total reflection spectra comparing the best-performing PCE conditions for SD and SDR silicon wafers alongside a standard untreated wafer. The unetched standard wafer exhibits the highest reflectance across the entire spectrum. Both etched samples demonstrate significant reductions in reflectance, confirming the effectiveness of PCE in improving optical performance. Although the reflectivity of the SDR wafer showed a rapid increase after the wavelength of 1000 nm, as could be seen in Fig. 6., when the average reflectivity was evaluated, it exhibited approximately 5% lower reflectivity compared to the SD wafer. Notably, the SDR wafer etched for 15 minutes at 2 W shows the lowest overall reflectance, particularly in the visible range, outperforming the SD wafer etched for 20 minutes under the same power.

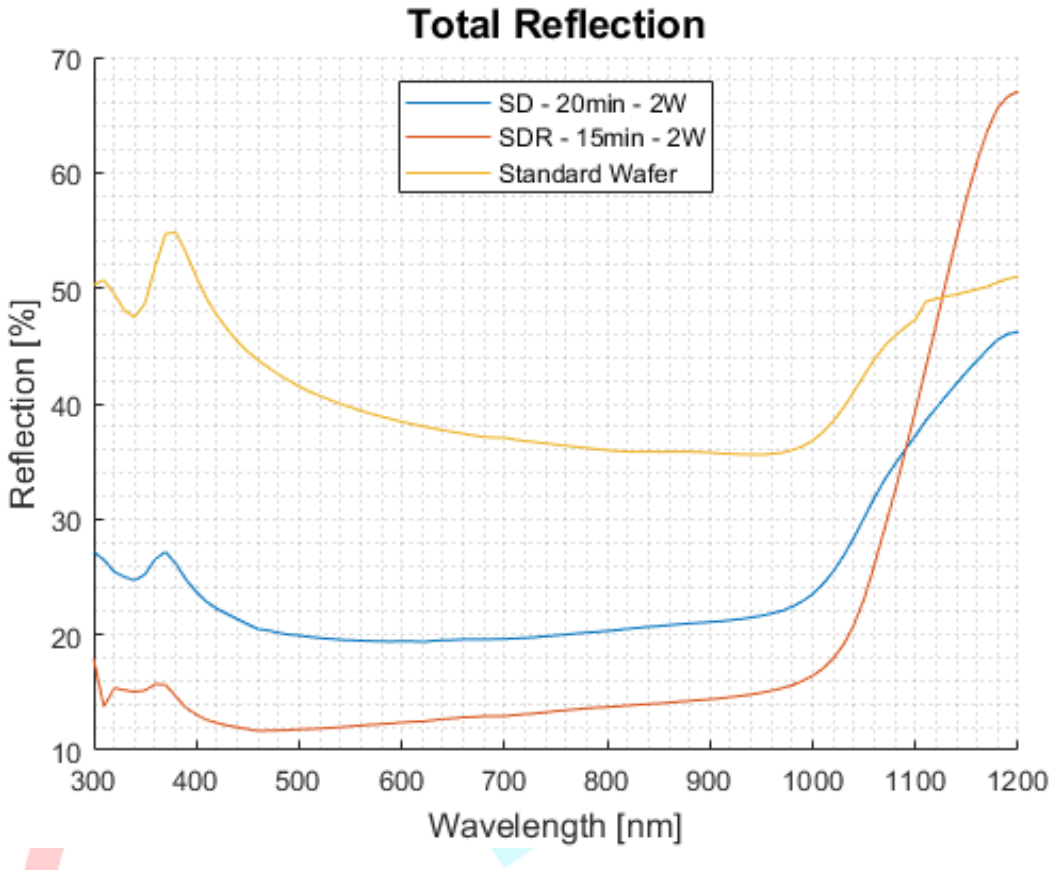


Figure 6: Total reflection comparison of standard, SD, and SDR wafers after PCE. The SDR sample etched at 15 min–2 W shows the lowest reflectance, indicating superior light-trapping performance.

Reflectance spectroscopy revealed that surface reflectance fell sharply from roughly 40 % in untextured wafers to about 10 % in optimally etched SDR samples, whereas SD wafers showed a smaller reduction to around 20 %. Reflectance haze measurements in Fig. 7. supported these findings, showing increased diffuse photon scattering, thereby enhancing internal photon absorption and potential photovoltaic performance.

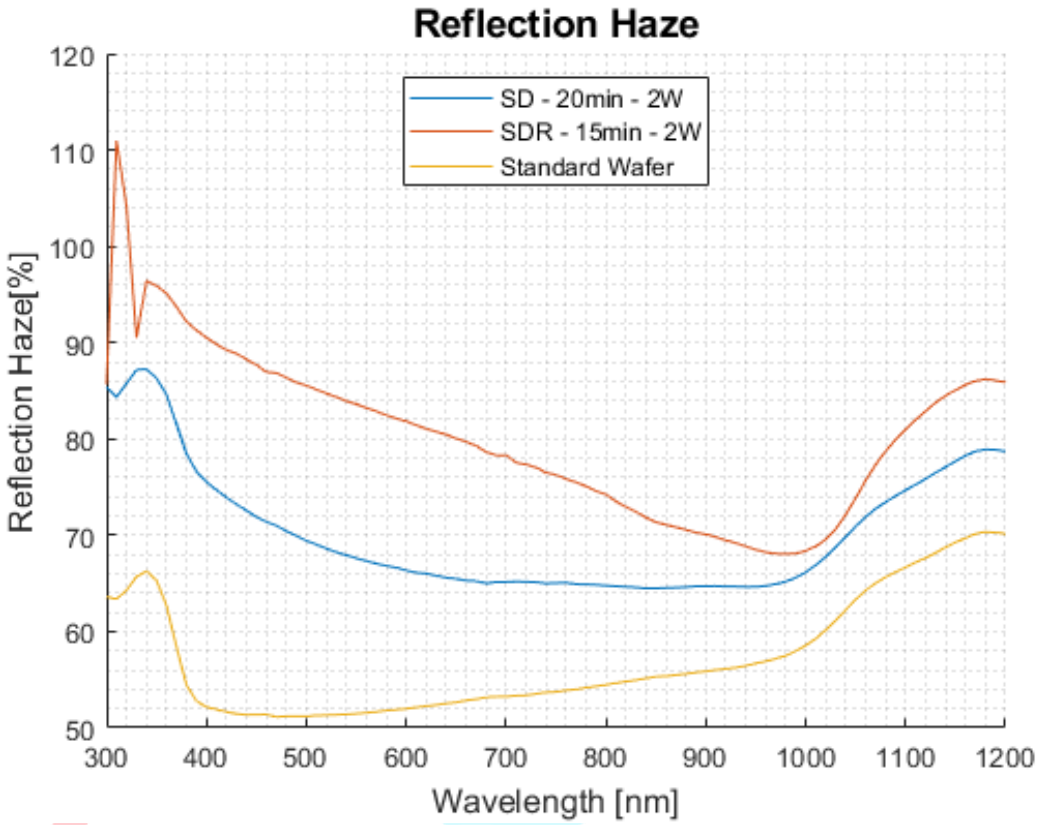


Figure 7: Reflection haze comparison of standard, SD, and SDR wafers. The highest haze is observed in the SDR sample, indicating enhanced diffuse scattering and improved surface texturing.

The observed optical enhancements directly translate to expected improvements in solar cell electrical performance, including higher short-circuit current density (J_{sc}), improved open-circuit voltage (V_{oc}), and enhanced fill factor (FF), particularly due to the superior electronic properties of n-type wafers. Further investigations involving fully fabricated solar cells are recommended to quantify exact photovoltaic efficiency improvements.

The single-step inverted nanohole photochemical etching process's simplicity, reproducibility, and optical effectiveness confirm its suitability for scalable industrial integration. In addition to its strong light-trapping performance, the process offers a distinct manufacturing advantage by inherently removing saw damage during etching, eliminating the need for a separate, multi-step SDR treatment. This significantly reduces chemical consumption, processing time, and thermal budget while maintaining high surface quality. As such, the proposed SS-INH-PCE approach presents a cost-effective and technically robust alternative to conventional alkaline texturing methods, with clear potential for enhancing the efficiency and manufacturability of next-generation silicon solar cells.

5. Emerging Trends and Conclusions

In this work, we demonstrated a highly effective in-situ photochemical etching method using a 532 nm CW laser combined with HF/H_2O_2 solution to create uniform inverted nanohole textures on n-type silicon wafers. Optimal parameters (**1.0 W·cm^{-2}, 20 min** exposure for SD and **1.0 W·cm^{-2}, 15 min** exposure for SDR wafers) were identified, producing highly uniform and deep inverted nanoholes. The SDR wafers showed clearly superior performance over SD wafers, confirming the significant impact of wafer surface preparation. Optical analyses revealed marked improvements in reflectance and haze, providing strong evidence for

enhanced photon management capabilities. The simultaneous photochemical etching approach surpassed traditional sequential methods, offering substantial advantages in texture uniformity and scalability. Furthermore, the ability of this method (SS-INH-PCE) to effectively eliminate the need for a separate saw damage removal step underscores its practical significance, simplifying the fabrication process while maintaining high surface quality. Overall, these findings suggest substantial potential for this method's integration into industrial silicon solar cell production, promising significant enhancements in photovoltaic performance.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Wang, Z. L., & Wu, W. (2012). Nanotechnology-enabled energy harvesting for self-powered micro-/nanosystems. *Angewandte Chemie International Edition*, *51*(47), 11700-11721.

Oni, A. M., Mohsin, A. S., Rahman, M. M., & Bhuian, M. B. H. (2024). A comprehensive evaluation of solar cell technologies, associated loss mechanisms, and efficiency enhancement strategies for photovoltaic cells. *Energy Reports*, *11*, 3345-3366.

Massiot, I., Cattoni, A., & Collin, S. (2020). Progress and prospects for ultrathin solar cells. *Nature Energy*, *5*(12), 959-972.

Kim, M. S., Lee, J. H., & Kwak, M. K. (2020). Surface texturing methods for solar cell efficiency enhancement. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, *21*(7), 1389-1398.

Tiwari, P. (2018). *Fabrication and Study of Gortex-based Gas Diffusion Electrodes in Hydrogen-Oxygen Fuel Cells and Electrolysers* (Doctoral dissertation, University of Wollongong).

Bhattacharya, S., Pandey, A., Panigrahi, J., Mandal, S., & Komarala, V. K. (2023). Role of wet chemical saw damage removal process in texturing of c-Si and performance of a-Si: H/c-Si heterojunction solar cells. Applied Physics A, 129(2), 123.

Florian, C., Kirner, S. V., Krüger, J., & Bonse, J. (2020). Surface functionalization by laser-induced periodic surface structures. *Journal of Laser Applications*, *32*(2).

Han, H., Huang, Z., & Lee, W. (2014). Metal-assisted chemical etching of silicon and nanotechnology applications. *Nano today*, *9*(3), 271-304.

Jia, H., Xie, F., Nefzaoui, E., Bourouina, T., Jiang, H., & Zhang, X. Black Silicon Nanostructures for Solar Energy Conversion and Photonic Applications.

Zhao, Y., Zhang, K., Li, H., & Xie, C. (2021). Fabrication and Characterization of Inverted Silicon Pyramidal Arrays with Randomly Distributed Nanoholes. Micromachines, 12(8), 931.

Huo, C., Wang, J., Fu, H., Li, X., Yang, Y., Wang, H., ... & Peng, K. Q. (2020). Metal-assisted chemical etching of silicon in oxidizing HF solutions: origin, mechanism, development, and black silicon solar cell application. *Advanced Functional Materials*, *30*(52), 2005744.

Cotter, J. E., Guo, J. H., Cousins, P. J., Abbott, M. D., Chen, F. W., & Fisher, K. C. (2006). P-type versus n-type silicon wafers: prospects for high-efficiency commercial silicon solar cells. IEEE Transactions on Electron Devices, 53(8), 1893-1901.

Finney, W. F., Wilson, E., Callender, A., Morris, M. D., & Beck, L. W. (2006). Reexamination of hexafluorosilicate hydrolysis by 19F NMR and pH measurement. Environmental science & technology, 40(8), 2572-2577.

Gondek, C., Lippold, M., Röver, I., Bohmhammel, K., & Kroke, E. (2014). Etching silicon with HF-H2O2-based mixtures: Reactivity studies and surface investigations. The Journal of Physical Chemistry C, 118(4), 2044-2051.

Steinert, M., Acker, J., Henßge, A., & Wetzig, K. (2005). Experimental studies on the mechanism of wet chemical etching of silicon in HF/ HNO3 mixtures. Journal of the Electrochemical Society, 152(12), C843.

Han, Y. P. (1999). HF vapor etching and cleaning of silicon wafer surfaces (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

Chen, C., Bobela, D. C., Yang, Y., Lu, S., Zeng, K., Ge, C., ... & Tang, J. (2017). Characterization of basic physical properties of Sb 2 Se 3 and its relevance for photovoltaics. Frontiers of Optoelectronics, 10, 18-30.

Irene, E. A. (1988). Models for the oxidation of silicon. Critical Reviews in Solid State and Material Sciences, 14(2), 175-223.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

HYDROGEN PRODUCTION FROM AMMONIA BORANE USING THE ACTIVATED CARBON SUPPORTED PD(0) CATALYST OBTAINED FROM WASTE WHEAT STRAW

Hakkı Türker AKÇAY[1]
Zehra ÖZÇİFÇİ[2]
Emir ÖZDOĞAN[3]

Abstract

Hydrogen maintains its importance among alternative energy sources because it does not produce harmful combustion products such as CO_x and SO_x, has relatively high fuel efficiency, and is not a local resource. The most effective solution to the storage problem regarding the use of hydrogen as fuel is to transport hydrogen via solid sources such as hydride compounds. In this study, demineralized wheat straw was activated with phosphoric acid at 800°C under a nitrogen atmosphere to produce activated carbon. As evidenced by the SEM images and N2 adsorption/desorption isotherms, our study successfully preserved the macro and meso porous structure, which plays a crucial role in facilitating the access of guest molecules to micropores. The QSDFT, BJH, and BET methods were used to determine the porosity characteristic. Pore size distribution analysis showed that the activated carbon was composed of meso and macro porosity dominantly. According to QSDFT method, the surface area and pore volume of the produced activated carbon were calculated by 689.61 m^2/g and 0.824 cm^3/g, respectively. In the XRD spectrum of the prepared catalyst, the characteristic bands belonging to Pd(0) were observed. The activated carbon-supported catalyst demonstrated a high efficiency, with dehydrogenation of ammonium borane achieved at approximately 95% in 38 min at 303 K. In addition, the experiments conducted at 313 K and 323 K showed that increasing temperature increases the dehydrogenation yield of ammonia borane. TUBITAK 2209-A University Students Research Projects Support supported this study

Keywords: Wheat Straw, Catalyst, Palladium, Ammonium Borane, Hydrogen Energy

[1] Prof. Dr., Recep Tayyip Erdoğan University, Science and Art Faculty, Chemistry Department, 0000-0002-8502-9608
[2] Asisstant Prof. Recep Tayyip Erdoğan University, Science and Art Faculty, Chemistry Department, 0000-0001-8218-7136
[3] Mr.,Recep Tayyip Erdoğan University, Science and Art Faculty, Chemistry Department

ISBN: 978-625-372-661-4

1.INTRODUCTION

Throughout history, energy has been one of humanity's most fundamental needs. Today, particularly in industrial sectors, energy represents one of the most significant cost factors. Rising energy costs directly impact electricity and natural gas bills, as well as the prices of essential goods such as food and fuel. In Turkiye, the use of environmentally harmful energy sources such as petroleum, natural gas, and coal remains prevalent. These adverse conditions necessitate the exploration and adoption of environmentally friendly alternative energy sources (Veziroglu, 2021). The excessive consumption of fossil fuels and petroleum reserves worldwide has led to the gradual decreasing of resources such as coal and natural gas. Consequently, the cost of these widely used energy sources has been steadily increasing, exacerbating environmental pollution. In response, scientists continue to investigate alternative fuel sources that are abundant in nature and environmentally sustainable. The emissions resulting from fossil fuel consumption cause severe environmental damage, highlighting the urgent need for viable solutions. Among these solutions, scientific studies have suggested that hydrogen could be an effective alternative fuel with promising results (Veziroglu, 2021) .Compared to other fuel types, hydrogen is a more efficient energy source. Since it does not contain sulfur or carbon in its composition, it does not release harmful emissions such as CO, CO_2, or SOx upon combustion; instead, it generates water as a byproduct. The environmental degradation caused by conventional energy sources is not observed in hydrogen fuel usage (İmamoğlu, 2013).

Ammonia borane is a chemical compound that enables the storage and transport of hydrogen for use in portable fuel storage applications. Recent studies have highlighted the potential of ammonia borane as a hydrogen storage material, boasting a storage capacity of 19.6% [6]. Hydrogen can be obtained from ammonia borane through decomposition using various metal catalysts. These catalysts are often supported by materials such as zeolites, activated carbons, aluminum oxides, and other metal oxides. In this context, the choice of support material is as crucial as the selection of the catalyst itself. Activated carbons are commonly employed as support materials for such catalysts (İmamoğlu, 2013).

There are different types of studies where activated carbon materials are used as support solids in the hydrolysis of ammonium borane. In these studies, it is seen that transition metals such as Pd(0), Ru(0), Rh(0) give successful results (Akbayrak et al., 2019, 2020; Cui et al., 2025; C. Liu et al., 2024; P. Wu et al., 2022; Zuo et al., 2024). In addition, although there are studies where different transition metals such as Co, Cu, Ag, Ni are used, it is seen that the efficiency is lower in studies carried out with these metals and their oxides. There are also studies on bimetallic or trimetallic catalytic systems to increase the catalytic hydrogen efficiency of relatively low-cost metals (Bian et al., 2024; Çelik Kazici et al., 2019; Li et al., 2024; Liao et al., 2025; H. Wu et al., 2025; Xiong et al., 2025; Zuo et al., 2024)

After the structure of the produced activated carbon was characterized by SEM and BET, the catalyst was produced by doping it with Pd(0). After the structure of the produced catalyst was characterized by XRD, its efficiency for catalytic dehydrogenation of ammonium borane in water was investigated at 303K, 313K, and 323K temperatures.

2.MATERIAL and METHOD

Waste wheat straw was supplied from a local producer and used by grinding in the laboratory. All chemicals used during experimental studies were of analytical grade and no

additional purification was performed. Ultra-pure water (UP, 18.3 M Ω) was selected for experimental studies. SEM images of the produced activated carbon were obtained using JEOL JSM 6610 scanning electron microscope. Surface properties and porosity were examined by BET analyzer (Quantachrome, USA) with nitrogen adsorption at -196 °C. Degassing of the samples was carried out under vacuum at 105 °C for 15 h before measurement. Surface area, total pore volume and pore size distribution of the prepared activated carbon (EAC) were calculated by Brunauer–Emmett–Teller (BET), (Quenched solid density functional theory) and BJH (Barrett-Joyner-Halenda) methods (Barrett et al., 1951; Brunauer et al., 1938; Neimark et al., 2009). XRD spectra of palladium-doped activated carbon were recorded in Rigaku smart laboratory system.

Preparation of Activated Carbon (EAC)

10 g of ground waste wheat straw was taken and 0.1 M 200 mL NaOH solution was added and stirred at 1000 rpm and boiled under reflux for 1 hour. Then, the solid part was separated by vacuum filtration. The filtered part was washed with pure water until the pH became neutral. The solid product obtained was dried in the oven at 80°C (figure 1). The obtained product (6.0 g) was taken and treated with H_3PO_4 at a ratio of 1:4. For the obtained solution to be completely impregnated with the product, it was boiled at 85°C for 12 hours with stirring at 1000 rpm. The product obtained was dried in an oven at 100°C. The product dried in the oven was carbonized in a high temperature resistant porcelain crucible at 100 mL/min inert N_2 flow rate and 800°C in a tube furnace. After the carbonization process, 20 mL of HCl solution was added to the product obtained. It was boiled for 20 minutes at 85°C while stirring in a magnetic heater at 1000 rpm. The solid part was separated by vacuum filtration and washed with pure water until the pH became neutral. The product obtained was dried in an oven at 80°C.



Figure 2. *Demineralization pretreatment stages of waste wheat straw*

Preparation of Pd(0) Doped Activated Carbon (EAC-Pd)

At this stage of the study, the obtained material was doped with Pd(0). For this purpose, $PdCl_2$ salt, which is reduced to Pd(0) without the need for a reagent at the boiling temperature in ethanol, was used as the palladium source. For this purpose, 0.2 g of active carbon was weighed and added to 20 mL of ethanol and dispersed in an ultrasonic bath at room temperature for 10 min. Then, 5% of the active carbon $PdCl_2$ (10 mg) was added to the mixture and it was stirred by boiling for 1 hour at room temperature and then under reflux for 1 night. At the end of the reaction period, the obtained product was separated by centrifugation and washed 3 times with pure water and 3 times with ethanol and dried in an oven at 65°C.

The Catalytic Dehydrogenation of Ammonia Borane

The liquid displacement method was used to measure the hydrogen released in the dehydrogenation reaction. 10 mg of EAC-Pd catalyst was dispersed in 10 mL of distilled H_2O. 31.8 mg of ammonia borane (1.0 mmol of $NH_3.BH_3$) was added to the flask and stirred at 650 rpm. The volume of H_2 produced was measured by recording the displacement of the water level at certain intervals at constant atmospheric pressure. The amount of mmol of H_2 gas released by 1.0 mmol of ammonia borane was recorded as a function of time (figure 2).

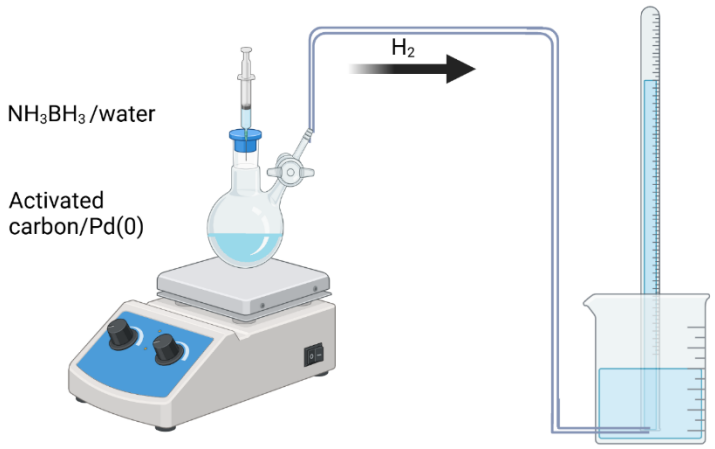


Figure 3. *Experimental set-up for hydrogen production dehydrogenation of NH_3BH_3.*

3.RESULTS and DISCUSSION

In this study, a porous activated carbon material was synthesized from wheat straw, an agricultural waste product. As is well-known, a significant portion of agricultural waste is discarded without being transformed into value-added products. This type of waste is commonly used as solid fuel or animal feed. In the present study, we focused on converting wheat straw, an agricultural by-product left after the harvest of wheat, an essential crop worldwide into, a product with economic value. Given that the waste in question is plant-based, its high carbon content makes it an ideal precursor to produce porous activated carbon.

Characterization of EAC and EAC-Pd

The SEM images of the EAC show that the wheat stalk retains its general appearance of a rod-like despite heat treatment and activation. The deep channels observed on the structure indicate macro porosity (Figure 1). In the SEM images of the material taken at x10,000 and x2,000 magnifications, capillary channels with a diameter of less than 1 micron are seen. This is due to the plant origin of the material used. These structures are probably the channels used by the plant for water transport. After carbonization, these capillaries have transformed into channels supporting the meso and macro porosity of the produced activated carbon.

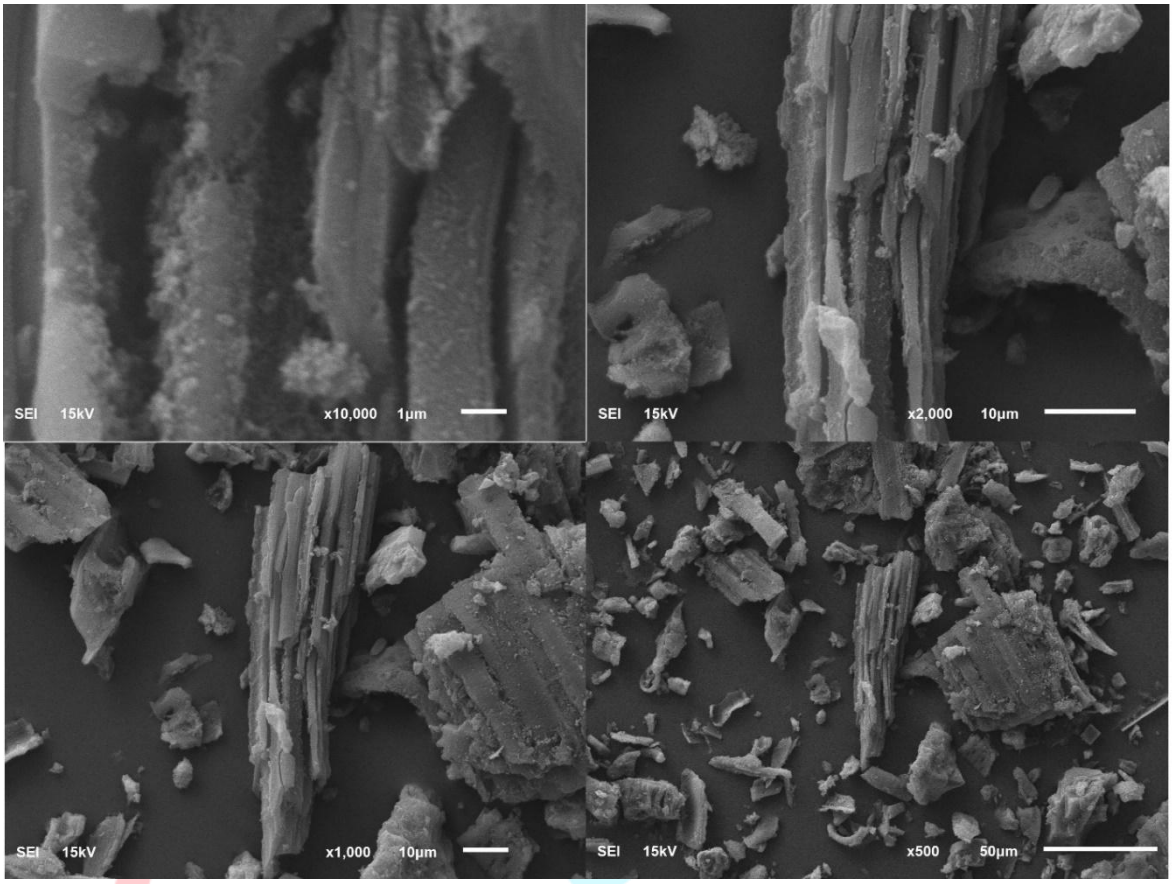


Figure 4*. SEM images of the activated carbon sample (EAC)*

The pore structure of activated carbon was examined by taking N_2 adsorption/desorption isotherms. The N_2 adsorption/desorption isotherm seen in Figure 4 is the Type 4 isotherm in which the mesoporous pore distribution is dominant according to the IUPAC classification (Thommes et al., 2015). The hysteresis of the adsorption-desorption curves supports the dominant mesoporous structure. As a result of the BET (Brunauer–Emmett–Teller) analysis of the obtained material, the surface area is 786.36 m2/g, the average pore diameter is 4.69 nm and the total pore volume is 0.924 mL/g (Özçifçi et al., 2024). The pore size distribution of EAC was calculated by QSDFT (Quenched solid density functional theory) and BJH (Barrett-Joyner-Halenda) methods. While the micro and mesoporous properties of the material were examined by the QSDFT method, the calculation was also made by the BJH method due to the dominant mesoporosity. As can be seen in Figure 5, the mesoporosity is high in the structure of EAC according to both the QSDFT and BJH methods, and this confirms the type 4 structure and hysteresis of the N_2 adsorption/desorption isotherm. According to the QSDFT method, the ratio of mesopores in the total pore volume is 85% (table 1).

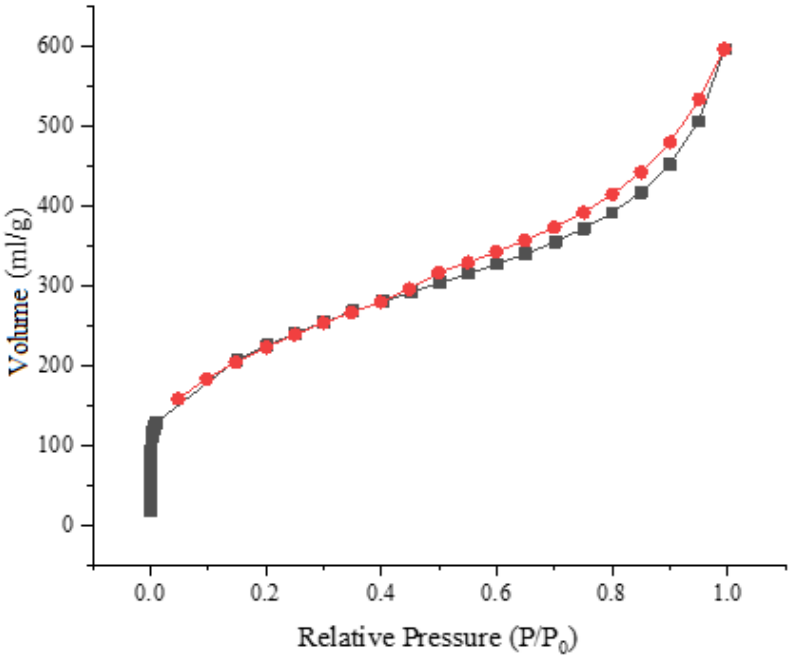


Figure 5. *N_2 adsorption/desorption isotherm of activated carbon sample (EAC)*

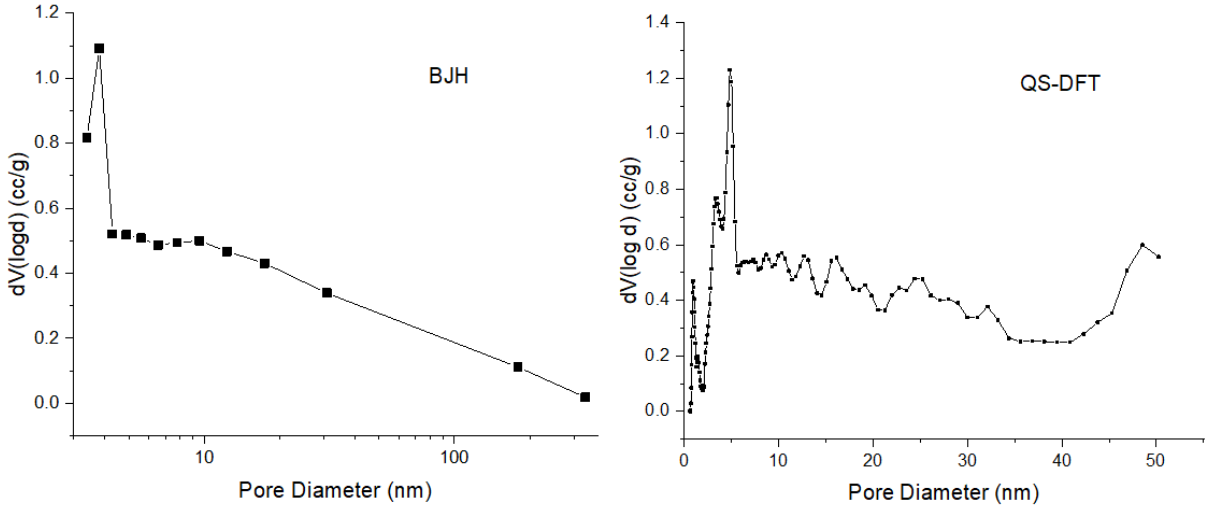


Figure 6*. Pore size distribution of EAC (left: BJH method, right: QS-DFT method)*

Tablo 11*. Porosity properties of EAC*

	S Total m^2/g	**S Micro m^2/g**	**V Total cm^3/g**	**V Micro cm^3/g**	**V Meso+ cm^3/g**	**APD (nm)**
BET	786.36	-----	0.924	-----	-----	4.69
QSDFT	689.61	269.5	0.824	0.123	0.689	4.84
BJH	289.38	-----	0.637	-----	-----	3.82

EAC-Pd was prepared by adding 5% $PdCl_2$ by mass to activated carbon in ethanol medium and boiling overnight under a reflux condenser. The structure of the obtained activated carbon based Pd(0) catalyst was elucidated by XRD characterization method (figure 5). When the XRD spectrum of EAC-Pd was examined, peaks belonging to Pd(0) doped activated carbon and amorphous carbon were observed. The peaks observed at 2θ= 40.0°; 46.54°; 68.06°; 82.08°; 86.54° belong to Pd(0) and the broad peak observed at 2θ= 21.8° belongs to amorphous carbon (Baran et al., 2023; Karaoğlu et al., 2022; T. Liu et al., 2017).

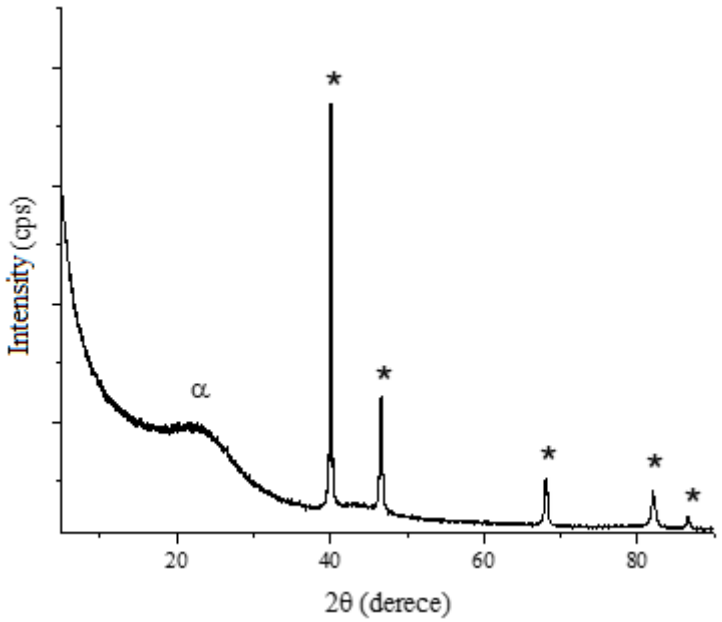


Figure 7. *XRD diffraction pattern of EAC-Pd (α: amorph carbon, *:Pd(0))*

Dehydrogenation of Ammonia Borane

The catalytic effect of the prepared EAC-Pd catalyst on NH_3BH_3 was investigated by measuring the H_2 gas release in water at different temperatures (303K, 313K and 323K). In the experiments, the hydrogen gas release was determined by measuring the change in water volume. The amount of gas release was calculated in mmol. The graph of the mole fraction obtained by dividing the molar amount of hydrogen gas released by the number of moles of NH_3BH_3 used was plotted against time (Figure 7). As a result of the catalytic dehydrogenation of ammonia borane with EAC-Pd at 303K, 69.50 mL H_2 (2.84 mmol) gas was released. When calculated theoretically, the amount of H_2 gas released was calculated as 73.30 mL (approximately 3 mmol). In this case, AC-Pd was observed to work successfully in the dehydrogenation of ammonium borane and achieved over 95% H_2 conversion after 38 min at 303K. In addition, increasing the temperature significantly reduced the dehydrogenation time. Over 95% hydrogen conversion was observed at 313K and 323K temperatures in 28 and 18 minutes, respectively.(Akbayrak et al., 2019, 2020)

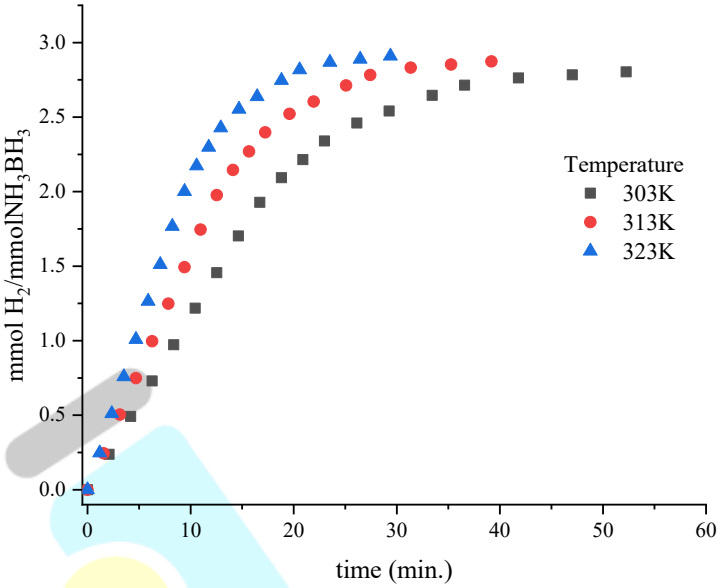


***Figure 8**. Time dependent change of H_2 production from NH_3BH_3 at different temperatures*

CONCLUSION

In this study, a porous activated carbon material was synthesized from wheat straw, an agricultural waste, through phosphoric acid activation. The characterization of the resulting activated carbon was conducted using SEM and BET analysis. The material exhibited a surface area of 788.56 m^2/g, an average pore diameter of 4.7 nm, and a total pore volume of 0.9137 mL/g, indicating the presence of both micropores and mesopores. According to QSDFT method, the surface area and pore volume of the produced activated carbon were calculated by 689.61 m^2/g and 0.824 cm^3/g, respectively. BJH pore size distribution studies show that the obtained activated carbon dominantly consists of mesoporous. Additionally, SEM images revealed the existence of macroporous structures. In the subsequent phase of the study, Pd(0) was successfully incorporated into the activated carbon, and its presence was confirmed via XRD analysis. The catalytic dehydrogenation performance of the Pd-doped activated carbon was evaluated using ammonium borane by measuring the hydrogen released during the reaction. The results demonstrated that approximately 95% of the ammonium borane was decomposed within 38 minutes at 303K. The produced activated carbon material can be used successfully in many areas such as energy storage applications where the adsorption of organic molecules and charge transport/transfer processes are important, since it contains both macro, meso and micro pores.

Acknowledgments

This study was supported by TUBITAK 2209-A University Students Research Projects Support Program.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Akbayrak, S., Özçifçi, Z., & Tabak, A. (2019). Noble metal nanoparticles supported on activated carbon: Highly recyclable catalysts in hydrogen generation from the hydrolysis of ammonia borane. *Journal of Colloid and Interface Science*, *546*, 324–332. doi: 10.1016/j.jcis.2019.03.070

Akbayrak, S., Özçifçi, Z., & Tabak, A. (2020). Activated carbon derived from tea waste: A promising supporting material for metal nanoparticles used as catalysts in hydrolysis of ammonia borane. *Biomass and Bioenergy*, *138*, 105589. doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105589

Baran, T., Karaoğlu, K., & Nasrollahzadeh, M. (2023). Nano-sized and microporous palladium catalyst supported on modified chitosan/cigarette butt composite for treatment of environmental contaminants. *Environmental Research*, *220*, 115153. doi: 10.1016/j.envres.2022.115153

Barrett, E. P., Joyner, L. G., & Halenda, P. P. (1951). The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from Nitrogen Isotherms. *Journal of the American Chemical Society*, *73*(1), 373–380. doi: 10.1021/ja01145a126

Bian, L., Liang, L., Fan, Y., Liu, X., Liang, F., Peng, Q., Han, S., Liu, L., & Liu, B. (2024). V-doped activated Ru/Ti2.5V0.5C2 dual-active center accelerate hydrogen production from ammonia borane. *Journal of Colloid and Interface Science*, *671*, 543–552. doi: 10.1016/j.jcis.2024.05.190

Brunauer, S., Emmett, P. H., & Teller, E. (1938). Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *Journal of the American Chemical Society*, *60*(2), 309–319. doi: 10.1021/ja01269a023

Çelik Kazici, H., Yildiz, F., İzgi, M. S., Ulaş, B., & Kivrak, H. (2019). Novel activated carbon supported trimetallic PdCoAg nanoparticles as efficient catalysts for the hydrolytic dehydrogenation of ammonia borane. *International Journal of Hydrogen Energy*, *44*(21), 10561–10572. doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.02.198

Cui, R., Zhou, Y., Xu, X., Fang, H., Wang, W., Wang, S., Lyu, P., Sun, L., Wang, B., & Sun, C. (2025). Fine-tuning Ru nanocatalyst size in UiO-66-NH2-derived carbon nitride for efficient hydrogen production from ammonia borane. *International Journal of Hydrogen Energy*, *112*, 72–80. doi: 10.1016/j.ijhydene.2025.02.369

İmamoğlu, V. (2013). *Amonyum boran üretimi ve optimum üretim parametrelerinin belirlenmesi*. Yıldız Technical University, Institute of Science, İstanbul.

Karaoğlu, K., Özçifçi, Z., Çalışkan, M., Baran, T., & Akçay, H. T. (2022). Catalytic activity of palladium doped activated carbon from waste coffee on some environmental pollutants. *Materials Chemistry and Physics*, *282*, 125857. doi: 10.1016/j.matchemphys.2022.125857

Li, R., Zuo, Y., Xu, L., Hua, J., Feng, J., Xu, L., Ye, M., & Wan, C. (2024). The effects of calcination temperature and dispersants on the catalytic performance of Co0.8Cu0.2/CNC for the hydrolysis of ammonia borane to hydrogen. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, *52*(11), 1736–1744. doi: 10.1016/S1872-5813(24)60462-7

Liao, R.-Z., Wei, S., Yi, W.-J., Chen, J.-H., & Yue, X.-Z. (2025). Synergistic effect of RuNi alloy supported by carbon nanohorns for boosted hydrogen evolution from ammonia borane hydrolysis. *Journal of Colloid and Interface Science*, *690*, 137264. doi: 10.1016/j.jcis.2025.137264

Liu, C., Wei, D., Yin, C., Qiu, S., Xia, Y., Zou, Y., Xu, F., Sun, L., & Chu, H. (2024). Ruthenium nanoparticles supported on functionalized carbon nanotubes as high-efficiency catalysts for ammonia borane hydrolysis. *Materials Chemistry and Physics*, *319*, 129398. doi: 10.1016/j.matchemphys.2024.129398

Liu, T., Liu, H., Ju, F., Wang, H., Wang, Y., & Li, W. (2017). Carbon-supported Pd–Cr bimetallic nanoparticles and their electrocatalytic activity and durability in oxygen reduction reaction. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, *91*(11), 2283–2287. doi: 10.1134/S0036024417110280

Neimark, A. V., Lin, Y., Ravikovitch, P. I., & Thommes, M. (2009). Quenched solid density functional theory and pore size analysis of micro-mesoporous carbons. *Carbon*, *47*(7), 1617–1628. doi: 10.1016/j.carbon.2009.01.050

Özçifçi, Z., Emirik, M., Akçay, H. T., & Yumak, T. (2024). Production and characterization of activated carbon foams with various activation agents for electrochemical double layer capacitors (EDLCs) applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *690*, 133851. doi: 10.1016/j.colsurfa.2024.133851

Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, *87*(9–10), 1051–1069. doi: 10.1515/pac-2014-1117

Veziroglu, A. (2021). Hidrojen neden ulaşım yakıtı olarak seçilebilir? *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. doi: 10.28948/ngumuh.819048

Wu, H., Liu, L., Liu, X., Bian, L., Chen, Y., Fan, Y., & Liu, B. (2025). In situ construction of Co–Mo2C on N-doped carbon for efficient hydrogen evolution from ammonia borane hydrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, *100*, 330–340. doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.12.276

Wu, P., Lin, S., Cao, G., Wu, J., Jin, H., Wang, C., Wong, M. H., Yang, Z., & Cai, Z. (2022). Absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity of microplastics in the human body and health implications. *Journal of Hazardous Materials*, *437*, 129361. doi: 10.1016/j.jhazmat.2022.129361

Xiong, M., Li, Y., Sun, L., Hu, Q., Lv, Z., Xing, S., Yun, H., Zhang, S., & Gao, Z. (2025). Magnetically recyclable bimetallic Pt-Co/CoO catalyst derived through hydrogen spillover for fast hydrogen release through ammonia borane hydrolysis. *Surfaces and Interfaces*, *62*, 106242. doi: 10.1016/j.surfin.2025.106242

Zuo, Y., Wu, H., Hua, J., Zheng, J., Xu, L., Ye, M., & Wan, C. (2024). Preparation of layered porous carbon supported ruthenium catalyst and its performance for ammonia borane hydrolyzing to hydrogen. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, *52*(3), 430–437. doi: 10.1016/S1872-5813(23)60385-8

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

INVESTIGATION OF CATALYTIC DEGRADATION ACTIVITY OF PALLADIUM DOPPED ACTIVATED CARBON OBTAINED FROM SUNFLOWER STALK

Hakkı Türker AKÇAY[1]
Zehra ÖZÇİFÇİ[2]
Dilan TEKTAŞ[3]

Abstract

Industrial waste is one of the main sources of environmental pollution that threaten many species with extinction and pose significant health risks to humans and other living things. The accumulation of these pollutants, most of which are chemically stable, poses an increasing ecological threat. Pd(0) doped catalysts offer effective solutions for environmental remediation by showing a strong potential in degrading organic pollutants. In this study, activated carbon was produced by first applying hydrothermal carbonization to the spongy part of sunflower stalk, an agricultural waste material, and then by applying chemical activation with phosphoric acid under 100 mL/min nitrogen flow at 800°C. Then, a catalyst was prepared by adding Pd(0) to this carbon support solid. The catalytic activity of the prepared catalyst was investigated on Rhodamine B, which was selected as a model compound, together with $NaBH_4$. The porosity properties of the produced activated carbon were investigated by BET, BJH and QSDFT methods. BET analysis showed a surface area of 570 m^2/g, a pore volume of 0.756 cm^3/g, and an average pore diameter of 5.31 nm. The material contained mostly meso- and macropores. Structural and morphological properties were analyzed using XRD and SEM. The Pd(0) doped catalyst provided 98.5% color removal of Rhodamine B in 9 min with a calculated decomposition rate constant of 0.401 min^{-1}.

This research was supported by the TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program.

Keywords: Activated carbon, Rhodamine B, catalytic degradation, Palladium

[1] Prof. Dr., Recep Tayyip Erdogan University, Science and Art Faculty, Chemistry Department, Orcıd:0000-0002-8502-9608
[2]Asisst.Prof. Dr., Recep Tayyip Erdogan University, Science and Art Faculty, Chemistry Department, Orcıd: 0000-0001-8218-7136
[3] Chemist, Recep Tayyip Erdogan University, Science and Art Faculty, Chemistry Department

ISBN: 978-625-372-661-4

1.INTRODUCTION

Environmental pollution is an environmental problem that occurs due to the negative effects on the living environment in which living things live, the prevention of activities carried out by living things to sustain their lives, and the disruption of the ecological balance. Industrial wastes, which are increasingly produced as a result of industrialization, cause environmental pollution to increase day by day and negatively affect the quality of life of living things living in nature (Bozkurt, 2019; Karaoğlu et al., 2022). These pollutants mix with the food we consume and the water we drink, threatening life. Studies show that 50% of the current environmental pollution in the world has occurred in the last 50 years. For this reason, the disposal of pollutants that cause environmental pollution such as biological waste, organic compounds, unconscious use of chemical substances and industrial waste is becoming increasingly important (Bozkurt, 2019; Fındık, 2007)

The main causes of environmental pollution are organic compounds such as agricultural chemicals, pesticides, and various active pharmaceutical ingredients, which constitute a large part of industrial wastes. Palladium can be used as a catalyst in the degradation of these organic compounds. The catalyst metal can be doped on a porous solid support to increase the catalytic efficiency. Many solid supports can be used in the preparation of metal-doped catalysts. Metal oxides, silica-doped materials, aluminum oxides, and activated carbon materials are some of these support solids. Materials such as zeolites, natural clays, and activated carbon are used to eliminate pollutants. Activated carbon is a good support solid for Pd(0) due to its porous structure, large surface area, and high adsorption capacity as an amorphous material (Işınkaralar, 2020; Özçifçi, 2019). Activated carbon is a porous adsorbent with a high surface area in which carbon-oxygen bonds, carboxyl, and etheric groups can be found. Thanks to this porous structure and chemical composition, activated carbon can adsorb heavy metals and many organic pollutants (Üçer, 2009)

There are various studies in which carbon materials are used as support solids in the remediation of environmental pollutants. In these studies, environmental pollutants such as rhodamine b or nitro arenes can be degraded by reduction. These reactions are usually carried out with catalysts containing sodium borohydride and metals such as Ag(0), Pd(0) (Baran et al., 2024; Eroğlan et al., 2024; Karaoğlu et al., 2023; Ma et al., 2024; Yekan Motlagh et al., 2024; Yılmaz Baran et al., 2025a, 2025b) In addition, H2O2, peoxymonosulfate, persulfates and metal oxides used as catalysts have a degrading effect on environmental pollutants through various oxidation reactions (Chen et al., 2025; Elgueta et al., 2025; Hou et al., 2025; Li et al., 2025; Lu et al., 2025; Yang et al., 2025; Zhu et al., 2024) Another field of study where environmental pollutants are effectively degraded is photocatalysts. There are many studies using metal oxides such as graphitic carbon nitride, TiO2 and ZnO as photosensitizers (Ashraf et al., 2025; Huang et al., 2025; Khosrowshahi et al., 2025; Nejatpour et al., 2025; Xu et al., 2025).

Sunflower is an important agricultural product produced in large quantities and consumed both for oil and as a snack. Sunflower plant stalk waste after sunflower harvest is often used as fuel or animal feed with low economic value. In this study, it was aimed to produce highly porous Pd-doped activated carbon material using the spongy part of sunflower stalk, which is an agricultural waste, and to chemically degrade Rhodamine B dye, an industrial pollutant used as a model, with the produced Pd-doped activated carbon material. For this purpose, the spongy tissue in the stalk part of the sunflower plant was separated and ground, then a pre-carbonization process was applied using the hydrothermal method. The obtained

material was activated at 800°C with phosphoric acid. The activated carbon material was doped with Pd(0) using PdCl2. The catalytic degradation effect of the prepared catalyst on Rhodamine B dye, which was selected as a model compound, was monitored by the change in the maximum absorption value of the absorption peak observed in the UV-Vis spectrum of Rhodamine B.

2.MATERIAL and METHOD

In this study, the spongy tissue found in the stem of the sunflower plant was used. For this purpose, the outer layer of the sunflower stem was separated from the spongy tissue found in the inner part with the help of a sharp knife. The spongy part was used after being ground into powder in a mechanical grinder. The chemicals used during experimental studies were of analytical grade and no additional purification was performed. Ultra-pure water (UP, 18.3 MΩ) was selected for experimental studies. SEM images of the produced activated carbon were obtained using JEOL JSM 6610 scanning electron microscope. Surface properties and porosity were examined by BET analyzer (Quantachrome, USA) with nitrogen adsorption at -196°C. Degassing of the samples was carried out under vacuum at 105 °C for 15 h before measurement. Surface area, total pore volume and pore size distribution of the prepared AC were calculated by Brunauer–Emmett–Teller (BET), Quenched solid density functional theory (QSDFT) and Barrett-Joyner-Halenda (BJH) methods (Barrett et al., 1951; Brunauer et al., 1938; Neimark et al., 2009). XRD spectra of palladium-doped activated carbon were recorded in Rigaku smart laboratory system.

Hydrothermal Carbonization of Spongy Material (HTC)

The spongy tissue part of the sunflower plant, agricultural waste, was preferred as the starting material. The outer shell of the sunflower plant stem was separated and the spongy tissue part was removed. After the material was ground into powder in a mechanical grinder, 5 g of spongy material was mixed with 70 ml of pure water at room temperature for 1 night to ensure that the material was completely wet. Then, the resulting suspension was taken into a PTFE reaction vessel and placed in an autoclave (figure 1). The reaction mixture was kept in an oven at 180°C for 16 hours, then the reaction vessel was cooled to room temperature. Then, the autoclave was opened, and the resulting material was filtered, and the solid part was washed with pure water and ethanol and dried in an oven at 60°C.



Figure 9. *The spongy part of sunflower stalk (left) and its grinded form (middle), hydrothermal carbonization apparatus (right).*

Preparation of The Activated Carbon Material (HAC)

After the hydrothermal process, 1 g of the material (HTC) obtained was weighed and mixed with phosphoric acid at a ratio of 1:4. After stirring for 12 hours, the resulting mixture was placed in alumina crucibles and carbonized in a tube furnace at 800°C with a N2 flow rate of 100 ml/min. The product obtained after the carbonization process was washed with pure water until the pH of the washing water became neutral, filtered and dried at 80°C (figure 2).



Figure 10*. The activated carbon obtained from sunflower stalk*

Preparation of Pd(0) Doped Activated Carbon Material (HAC-Pd)

The material obtained at this stage (HAC) was doped with metallic Pd. For this purpose, PdCl2 salt, which is reduced to Pd(0) without a reducing reagent at the boiling temperature in ethanol, was used as the palladium source. For this purpose, 0.2 g of active carbon (HAC-Pd) was mixed with 20 ml of ethanol and dispersed in an ultrasonic bath at room temperature for 10 min. Then, 10% of the active carbon (20 mg) PdCl2 was added to the mixture, stirred for 1 hour at room temperature and then under reflux for one night. At the end of the reaction period, the product obtained was separated by centrifugation and washed 3 times with pure water and ethanol, then dried in an oven at 65°C.

The Catalytic Degradation of Rhodamine B

Catalytic degradation processes were carried out in the presence of NaBH4, in water and at room temperature. 100 ml of 10-5 mol/L Rhodamine B and 100 mg of NaBH4 were added to a 250 mL Erlenmeyer flask and the mixture was stirred at room temperature for 2 minutes. Then, 2 mg of activated carbon material (HAC-Pd) containing Pd(0) was added to the reaction medium. The kinetics of the degradation reactions were monitored in the absorption band of Rhodamine B at 554 nm with UV-Vis spectrophotometer by taking samples from the erlenmeyer flask at 3-minute intervals.

3.RESULTS and DISCUSSION

The Characterization of HAC and HAC-Pd

The structure of the activated carbon sample (AC) obtained by activating HAC with phosphoric acid at 800°C for 1 hour in a nitrogen flow of 100 ml/min was examined with SEM. As seen in Figure 3, AC has a rough structure in nano dimensions and macro-sized pores opened into narrower channels on the material surface. This shows that the material maintains its porosity after carbonization. Since SEM is unsuitable for examining meso and nano-sized

porosity, surface area measurement was also performed using the BET method for the pore characterization of the material.

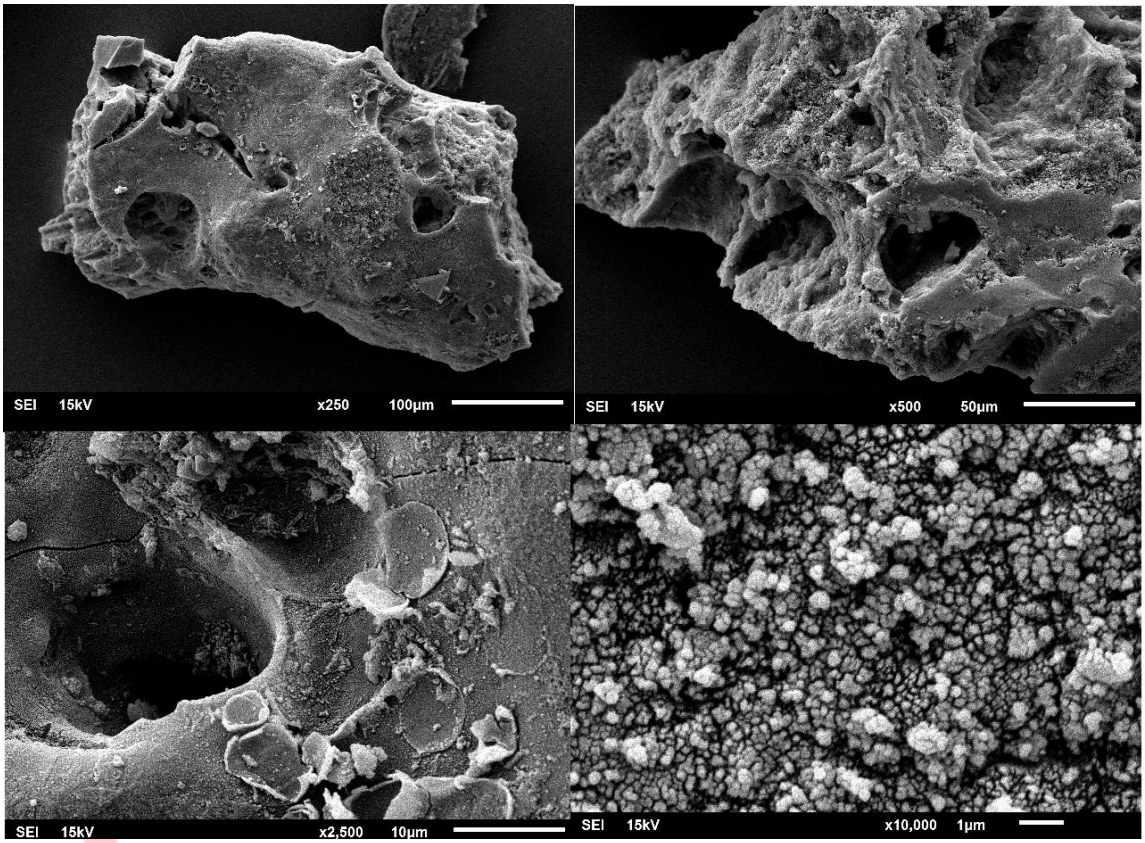


Figure 11. *SEM image of HAC*

The pore structure of HAC was investigated by N2 adsorption/desorption isotherms. The N2 adsorption/desorption isotherm seen in Figure 4 is a Type 4 isotherm in which the mesoporous pore distribution is dominant according to the IUPAC classification (Thommes et al., 2015). The hysteresis of the adsorption/desorption curves supports the mesoporous-dominated structure (Karaoğlu et al., 2023; Ma et al., 2024). The surface area of the material obtained by BET measurement is 570 m2/g, the average pore diameter is 5.3 nm, and the total pore volume is 0.756 ml/g.

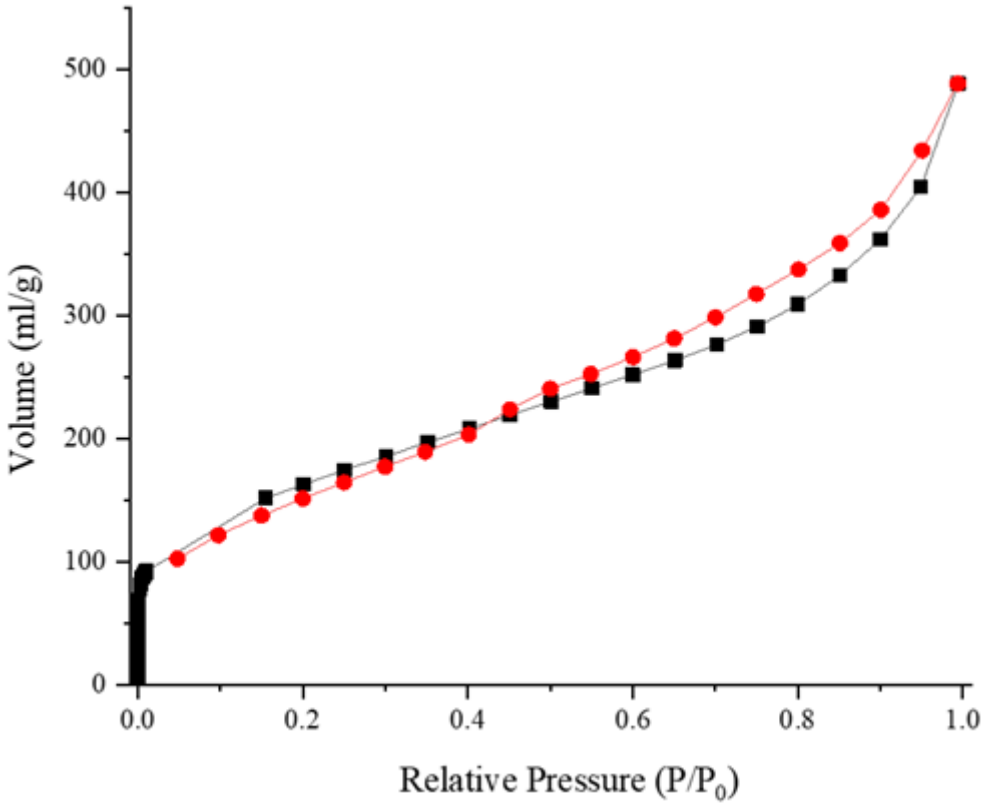


Figure 12. N_2 adsorpsiyon/desorpsiyon isotherms of HAC

QSDFT and BJH methods were used to determine the pore size distribution of HAC (Figure 5). Both methods show a high amount of mesoporosity. In addition, the fact that the N_2 adsorption/desorption isotherm curves draw an increasing curve as HAC approaches P/P0 is due to capillary condensation, which indicates meso and macro porosity in the structure. The BJH method is widely used especially in characterizing mesoporous structures. According to this method, the mesopore surface area of HAC was calculated as 228.4 and the average pore diameter (APD) was calculated as 3.419 nm. The total surface area and pore size calculated by the QSDFT method were 497 m2/g and 1.245 nm, respectively (Table 1).

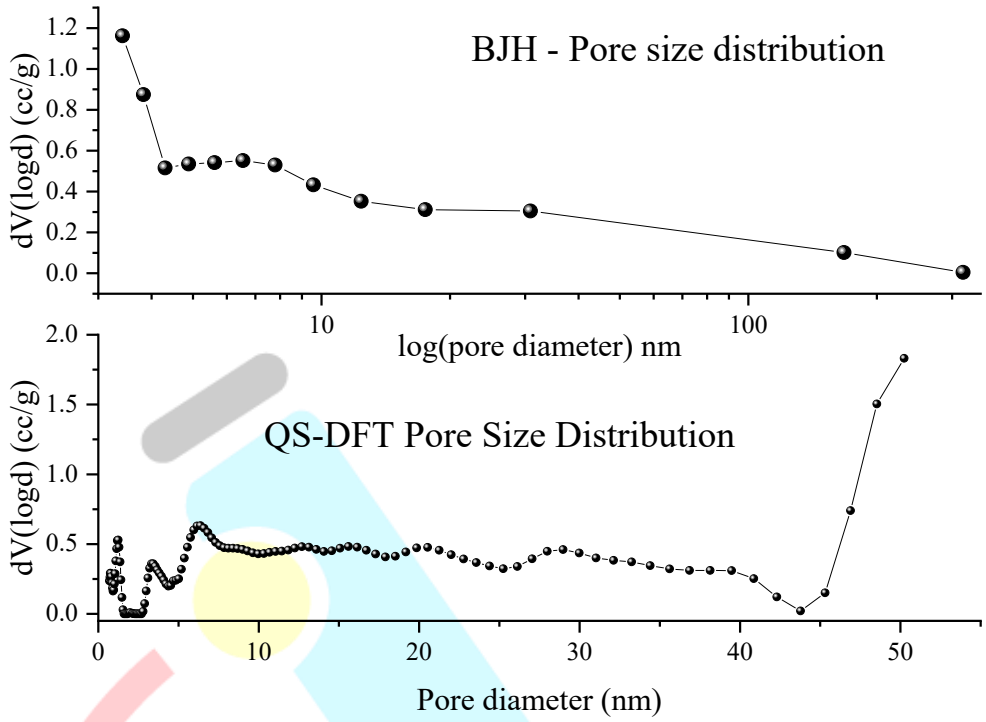


Figure 13. *Pore size distribution of DAC*

Table 2. Porosity properties of DAC

	S_{Total} m^2/g	S_{Micro} m^2/g	V_{Total} cm^3/g	V_{Micro} cm^3/g	V_{Meso+} cm^3/g	APD (nm)
BET	570.1		0.756			5.310
QSDFT	497.0	212.2	0.628	0.109	0.519	1.245
BJH	288.4		0.587			3.419

S_{Total}:Total surface area, S_{Micro}: Surface area of microporosity,V_{Total}:Total Pore Volume, V_{micro}:Micropore volume,V_{Meso}:Meso pore volüme, APD: Average pore diameter

HAC-Pd was prepared by adding 10% $PdCl_2$ by mass to HAC in ethanol medium and boiling overnight under reflux. The structure of the obtained activated carbon-based Pd(0) catalyst was characterized by XRD. In the XRD spectrum of HAC-Pd, bands belonging to both amorphous carbon and Pd(0) were observed (Figure 6). The flat peak observed at 2θ=22.5° belongs to the amorphous carbon structure. The peaks observed at 2θ=40.2°; 46.84°; 68.10°; 82.10° and 86.60° belong to Pd(0).

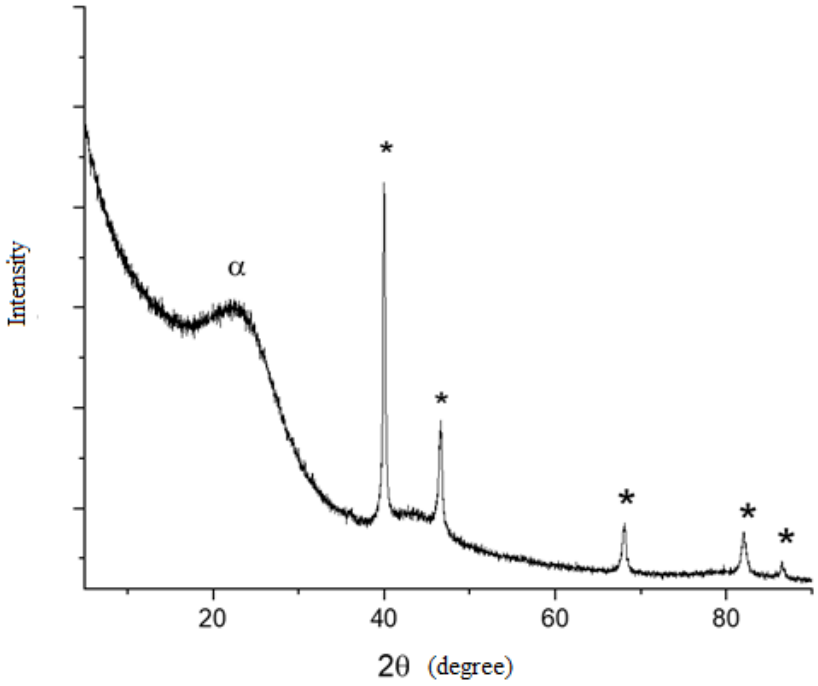


Figure 14. *XRD patterns of HAC-Pd (*: Pd(0) bands, α:amourph carbon band)*

The Catalytic Degradation of Rhodamine B

The catalytic effect of HAC-Pd catalyst on Rhodamine B, together with $NaBH_4$ was investigated in water medium. For catalytic degradation studies, 100 ml 10^{-5} mol/L Rhodamine B and 100 mg $NaBH_4$ were mixed with HAC-Pd (2 mg). The aliquots were taken from the solution at certain intervals and the change in the maximum absorbance of Rhodamine B at 554 nm was examined in the UV-Vis spectrophotometer (Figure 7). The measurements taken at 3-minute intervals in the study, it was observed that Rhodamine B was 98.5% colorless at the end of 9 minutes (Figure 8). The kinetic analysis of the degradation of rhodamine B dye, facilitated by Pd-doped activated carbon (HAC-Pd), was conducted using the time-profile data and applying Eq. (1).

$$ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = kt \qquad \textit{Eq(1)}$$

The results, displayed in Figure 7, show that the application of Eq. (1) to experimental data provided a strong linear relationship. The apparent rate constants were determined to be 0.40164 by determining the slope of the straight lines.

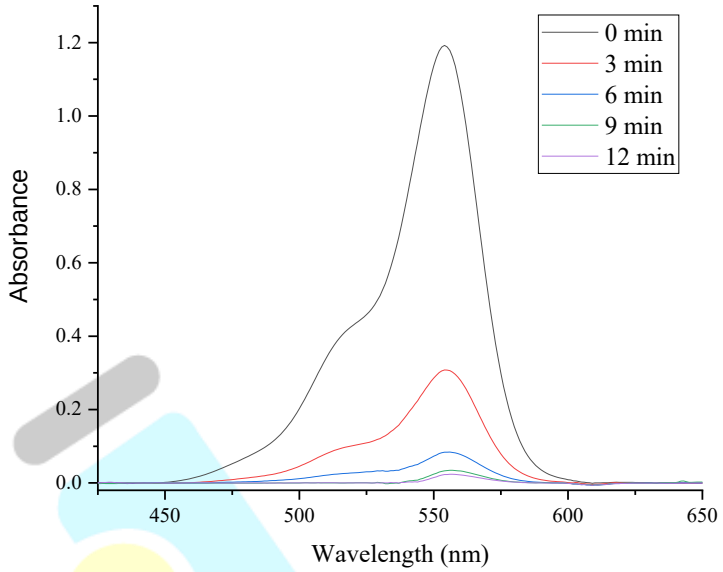


***Figure 15**. The catalytic degradation of Rhodamine B (UV-Vis spectra)*

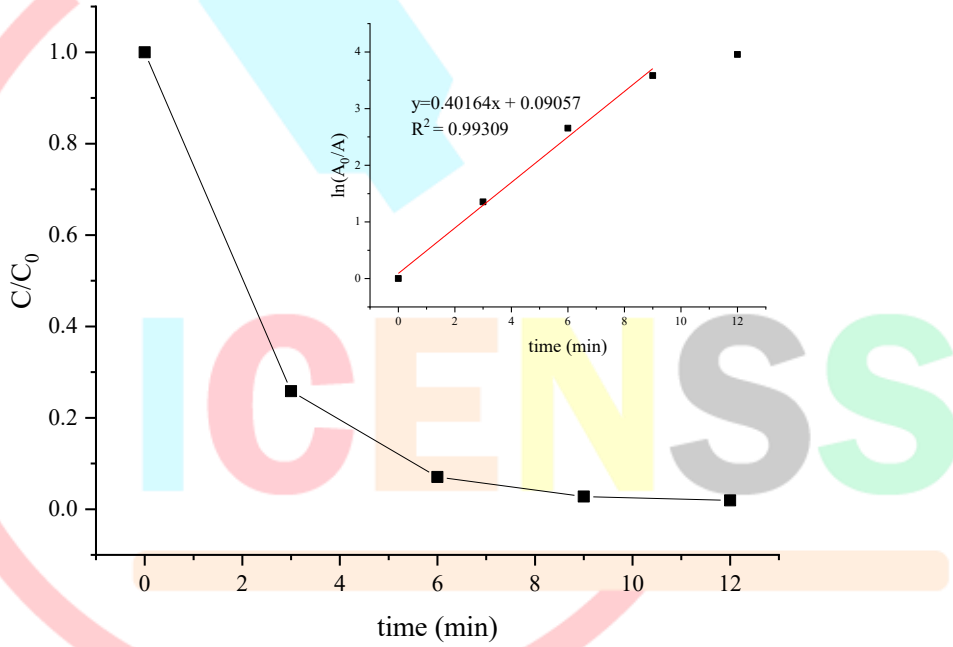


***Figure 16**. Time-dependent change of rhodamine B degradation*

4.CONCLUSION

Within the scope of this graduation thesis, the spongy tissue part of the sunflower plant stem, which is an agricultural waste, was converted into activated carbon by hydrothermal carbonization and chemical activation, respectively. The pore properties of the produced activated carbon were examined by SEM imaging and BET method. BET analysis showed a surface area of 570 m^2/g, a pore volume of 0.756 cm^3/g, and an average pore diameter of 5.31 nm, while the surface area of 497 m^2/g, the pore volume of 0.628 cm^3/g, and the average pore diameter of 1.245 nm were obtained by QSDFT method. BJH pore size distribution showed that the activated carbon consists of micro, meso and macropores as dominantly mesopore. It was observed in the SEM analysis that the produced material had a surface area that would enable it to be used as a support solid in catalyst production and had macropores that would enable the transport of the substrate during the degradation reactions. Then, the catalyst obtained by adding Pd(0) to the produced activated carbon material was characterized by XRD.

The distinct bands observed in the XRD pattern of the material showed that Pd(0) was successfully doped to the activated carbon. The catalytic effect of the obtained catalyst on Rhodamine B was examined together with $NaBH_4$. As a result of the study, AC-Pd was observed to work successfully in the decolorization of Rhodamine B and achieved over 98.5% at 9 min and degradation rate constant (k) was calculated as 0.401 min^{-1}. The application of AC-Pd can be extended to other well-known reactions such as oxidation of alcohols, hydrogenation of aromatics, electrochemical water splitting, which makes this study very attractive in catalysis field.

Acknowledgement

This study was supported by TUBITAK 2209-A University Students Research Projects Support Program.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Ashraf, G. A., Al-Sulaimi, S., Hassan, N., Ajmal, Z., Mahmood, S., Rasool, R. T., Anwar, M. T., Husnain, N., Alotaibi, N. H., & Alsoqair, H. Y. (2025). Mesoporous Carbon@ZnCuFeS nanoparticles for photocatalytic degradation of organic pollutants via peroxymonosulfate activation. *Journal of Organometallic Chemistry*, *1032*, 123624. doi: 10.1016/j.jorganchem.2025.123624

Baran, N. Y., Çalışkan, M., Kızılbulut, N., & Baran, T. (2024). Pd@Na-CMC/g-C3N4: A nanostructured catalyst system based on sodium carboxymethyl cellulose/graphitic carbon nitride hydrogel beads and its performance in the treatment of organic and inorganic pollutants in water. *International Journal of Biological Macromolecules*, *276*, 134001. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.134001

Barrett, E. P., Joyner, L. G., & Halenda, P. P. (1951). The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from Nitrogen Isotherms. *Journal of the American Chemical Society*, *73*(1), 373–380. doi: 10.1021/ja01145a126

Bozkurt, O. (2019). *Kentsel bir sorun olarak çevre kirliliği, kentsel ve kırsal alanlara etkileri.* [Master Thesis]. Mustafa Kemal University,Institute of Social Science, Hatay.

Brunauer, S., Emmett, P. H., & Teller, E. (1938). Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *Journal of the American Chemical Society*, *60*(2), 309–319. doi: 10.1021/ja01269a023

Chen, T., Feng, T., Wu, S., Zhang, X., & Chen, Y. (2025). MOF-derived FeCe@Carbon catalysts for the efficient tetracycline degradation by activated persulfate: Preparation and mechanistic study. *Journal of Colloid and Interface Science*, *685*, 1041–1055. doi: 10.1016/j.jcis.2025.01.203

Elgueta, N. E. M., & Vieira, M. G. A. (2025). Removal of naphthenic acid by combined adsorption and advanced oxidation processes with green functionalized carbon nanotubes and peroxymonosulfate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *13*(1), 115167. doi: 10.1016/j.jece.2024.115167

Eroğlan, A. N., & Baran, T. (2024). Palladium nanoparticles anchored on NiO particles-modified micro-size chitosan spheres: A promising, active, and retrievable catalyst system for treatment of environmental pollutants. *International Journal of Biological Macromolecules*, *276*, 133835. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.133835

Fındık, M. S. (2007). *Türkiye'de çevre kirliliğine yol açan unsurların önlenmesi çerçevesinde yeşil vergi.* [Master Thesis]. Marmara University, Insituted of Social Sciences, İstanbul.

Hou, J., Wang, K., Yang, Z., Wu, M., Guo, J., Xu, X., Zhu, Y., Yang, J., & Wu, J. (2025). Carbon-based catalytic membranes for the removal of organic pollutants from water using persulfate advanced oxidation technology: A review. *Journal of Water Process Engineering*, *72*, 107466. doi: 10.1016/j.jwpe.2025.107466

Huang, Y., Luo, Y., Liu, Z., Xie, X., Xue, M., & Gao, B. (2025). Engineering carbon materials for organic pollutant removal via adsorption and photodegradation: A review. *Separation and Purification Technology*, *359*, 130872. doi: 10.1016/j.seppur.2024.130872

Işınkaralar, K. (2020). *Removal of formaldehyde and BTEX in indoor air using activated carbon produced from horse chestnut (Aesculus hippocastanum L.) shell* [Doctoral Thesis]. Hacettepe Üniversity, Institute of Science, Ankara.

Karaoğlu, K., Özçifçi, Z., Çalışkan, M., Baran, T., & Akçay, H. T. (2022). Catalytic activity of palladium doped activated carbon from waste coffee on some environmental pollutants. *Materials Chemistry and Physics*, *282*, 125857. doi: 10.1016/j.matchemphys.2022.125857

Karaoğlu, K., Özçifçi, Z., Çalışkan, M., Türker Akçay, H., & Baran, T. (2023). A new activated carbon-supported Pd–ZnO catalyst for Heck Cross-coupling reactions. *Inorganic Chemistry Communications*, *154*, 110950. doi: 10.1016/j.inoche.2023.110950

Khosrowshahi, M. S., Hariri, S. A., Rahimi, M., Emrooz, H. B. M., & Shemirani, F. (2025). Green synthesis of a ZnO/ZnS-decorated magnetic porous carbon hybrid for enhanced rhodamine B adsorption and photodegradation: A combined DFT and experimental study. *Sustainable Materials and Technologies*, *43*, e01231. doi: 10.1016/j.susmat.2024.e01231

Li, H., Gao, X., Zhang, X., Xu, S., Zhou, Z., Rao, T., Huang, J., & Wang, C. (2025). Spatial confinement-regulated peroxymonosulfate activation by bimetallic-doped hollow carbon spheres for rapid removal of organic pollutants. *Journal of Colloid and Interface Science*, *689*, 137235. doi: 10.1016/j.jcis.2025.03.024

Lu, Y., Liang, Y., Liang, J., Huang, K., Yun, J., & Xie, T. (2025). Removal of Ofloxacin by N, P co-modified activated carbon through enhanced peroxymonosulfate activation: The significance of intrinsic defective and graphitic N as active centers. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *13*(2), 115306. doi: 10.1016/j.jece.2025.115306

Ma, Y., Zhao, H., Zhang, S., He, J., & Zhang, Z. (2024). Efficient room-temperature hydrogenation of nitroaromatic compounds to primary amines using nitrogen-doped carbon-supported palladium catalysts. *New Journal of Chemistry*, *48*(5), 2261–2268. doi: 10.1039/D3NJ05050E

Neimark, A. V., Lin, Y., Ravikovitch, P. I., & Thommes, M. (2009). Quenched solid density functional theory and pore size analysis of micro-mesoporous carbons. *Carbon*, *47*(7), 1617–1628. doi: 10.1016/j.carbon.2009.01.050

Nejatpour, M., Ünsür, A. M., Yılmaz, B., Gül, M., Ozden, B., Barisci, S., & Dükkancı, M. (2025). Enhanced photodegradation of perfluorocarboxylic acids (PFCAs) using carbon quantum dots (CQDs) doped TiO2 photocatalysts: A comparative study between exfoliated graphite and mussel shell-derived CQDs. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *13*(1), 115382. doi: 10.1016/j.jece.2025.115382

Özçifçi, Z. (2019). *Fosforik asitle kimyasal aktive edilmiş atık çay çalısından aktif karbon üretimi* [Master Thesis]. Recep Tayyip Erdoğan Üniversity, Institute of Science, Rize.

Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, *87*(9–10), 1051–1069. doi: 10.1515/pac-2014-1117

Üçer, A. (2009). *Çevre Kirliliğine Neden Olan Bazı Ağır Metal Türlerinin Çeşitli Bitkiler Kullanılarak Giderilmesi* [Doctoral Thesis]. 19 Mayıs University, Institute of Science, Samsun.

Xu, N., Liu, D., Xu, J., Wang, C., Wei, T., & Kan, C. (2025). Porous graphitic carbon nitride with sodium doped and N vacancies for synergistically enhancing the performance of RhB photodegradation. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, *170*, 116233. doi: 10.1016/j.physe.2025.116233

Yang, P., Tang, J., Ding, Z., Chen, Y., Liu, Z., Yuan, J., Zhu, Y., & Xie, P. (2025). Sp-hybridized carbon- facilitated peroxymonosulfate activation for superior phenolic pollutant removal. *Journal of Hazardous Materials*, *490*, 137843. doi: 10.1016/j.jhazmat.2025.137843

Yekan Motlagh, P., Vahid, B., Babazadeh, N., Karimpour, D., Kayan, B., Baran, T., Yoon, Y., & Khataee, A. (2024). Palladium nanoparticles supported on biochar/graphitic carbon nitride as a heterogeneous catalyst for pharmaceutical degradation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *12*(4), 113150. doi: 10.1016/j.jece.2024.113150

Yılmaz Baran, N., Çakmak, E., Çakmak, Y. S., & Baran, T. (2025a). Development of magnetically retrievable nanostructure Pd catalyst system supported on keratin-Schiff base and its application in catalytic and antioxidant activities. *Journal of Organometallic Chemistry, 1026*, 123492. doi: 10.1016/j.jorganchem.2024.123492

Yılmaz Baran, N., Çakmak, E., Çakmak, Y. S., & Baran, T. (2025b). Development of magnetically retrievable nanostructure Pd catalyst system supported on keratin-Schiff base and its application in catalytic and antioxidant activities. *Journal of Organometallic Chemistry, 1026*, 123492. doi: 10.1016/j.jorganchem.2024.123492

Zhu, L., Li, M., Wang, T., Wang, Z., & Wang, Z. (2024). Carbon nanotube-activated persulfate for degradation of new contaminants: Process, performance, and mechanism. *Journal of Alloys and Compounds, 1007*, 176292. doi: 10.1016/j.jallcom.2024.176292

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBUSLERDE IC TAVAN KAPLAMALARINDA COMPACT LAMINANT MALZEMEDEN PET KOPUK CEKIRDEKLI KOMPOZIT YAPIYA GECISIN SEHIM PERFORMANSINA ETKISI

Harun ÇELEBİ[1]

Özet

Toplu taşımacılıkta kullanılan otobüslerin iç tavan kaplamaları, estetik görünüm, yolcu konforu ve yapısal bütünlük açısından önemli bir rol oynamaktadır. Zamanla oluşabilecek sarkma ve deformasyonlar hem görsel kaliteyi düşürmekte hem de uzun vadede bakım maliyetlerini artırmaktadır. Bu bağlamda, tavan kaplamasında kullanılan malzemelerin sehim (eğilme) performansları kritik bir değerlendirme kriteri haline gelmiştir. Bu çalışmada, günümüzde otobüs tavanlarında yaygın olarak kullanılan Compact Laminat malzeme ile alternatif olarak önerilen PET Foam Core Kompozit malzeme, sehim performansları açısından karşılaştırılmıştır. Compact Laminat, yüksek rijitlik ve dayanıklılık sağlasa da, yoğunluğu nedeniyle aracın toplam ağırlığını artırmakta ve yapısal yükler üzerinde ek baskı oluşturmaktadır. PET Foam Core Kompozit ise daha hafif yapısıyla ağırlık azaltımı sağlarken, darbe emicilik ve esneklik açısından avantajlar sunmaktadır.

Çalışmada her iki malzeme türü, otobüs içi montaj koşullarını temsil edecek şekilde sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile modellenmiş, simülasyonlar belirli yük senaryoları altında gerçekleştirilmiş ve elde edilen sehim değerleri analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, PET Foam Core Kompozit panellerin Compact Laminat panellere kıyasla daha düşük sehim gösterdiği ve bu sayede tavan yüzeyinde daha uzun ömürlü düzlemsellik sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, PET çekirdekli kompozit malzeme ile yapılan uygulamaların, toplam ağırlığı azaltarak otobüsün genel performansına ve yakıt verimliliğine olumlu katkı sağladığı değerlendirilmiştir. Bu çalışma, otobüs iç trim tasarımında malzeme seçiminde sadece dayanım değil, aynı zamanda deformasyon davranışlarının da göz önüne alınması gerektiğini ortaya koymakta ve hafif yapılı kompozit çözümlerin gelecekte daha yaygın kullanılabileceğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, Malzeme Optimizasyonu, Ağırlık Azaltımı, Malzeme Karşılaştırma, Deformasyon Davranışı, Compact Laminat, PET Foam Core Kompozit

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Concept Design Engineer, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş., https://orcid.org/0009-0004-9649-6756

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Toplu taşıma araçlarında kullanılan iç tavan kaplamaları, estetik değerlerin yanı sıra yapısal bütünlüğün korunması açısından da önem arz etmektedir. Özellikle uzun süreli kullanımlar sonucunda meydana gelen sehim (eğilme) deformasyonları, yolcu konforunu düşürmekte ve bakım maliyetlerini artırmaktadır. Bu nedenle kaplama malzemelerinin mekanik davranışlarının analitik ve sayısal yöntemlerle değerlendirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir.

"PET çekirdekli kompozitler, hafiflik ve esneklik kombinasyonu ile otomotiv sektöründe giderek yaygınlaşmaktadır (Feraboli & Peitso, 2009)."

2. Kapsam

Bu çalışma, otobüslerde iç tavan kaplaması olarak kullanılan iki farklı malzemenin; geleneksel Compact Laminant ve alternatif olarak önerilen PET Foam Core Kompozit yapıların, sehim performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir. Analizler, sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiş, ağırlık, deformasyon ve gerilme gibi parametreler esas alınarak mühendislik açısından kıyaslamalar yapılmıştır.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

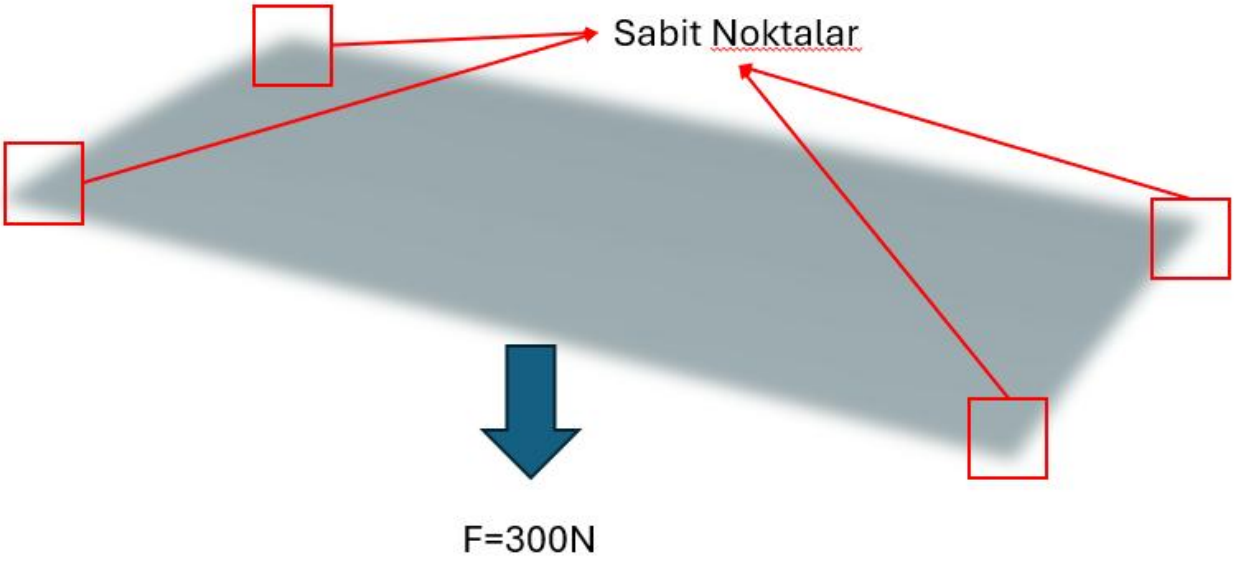
Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

3. Yöntem

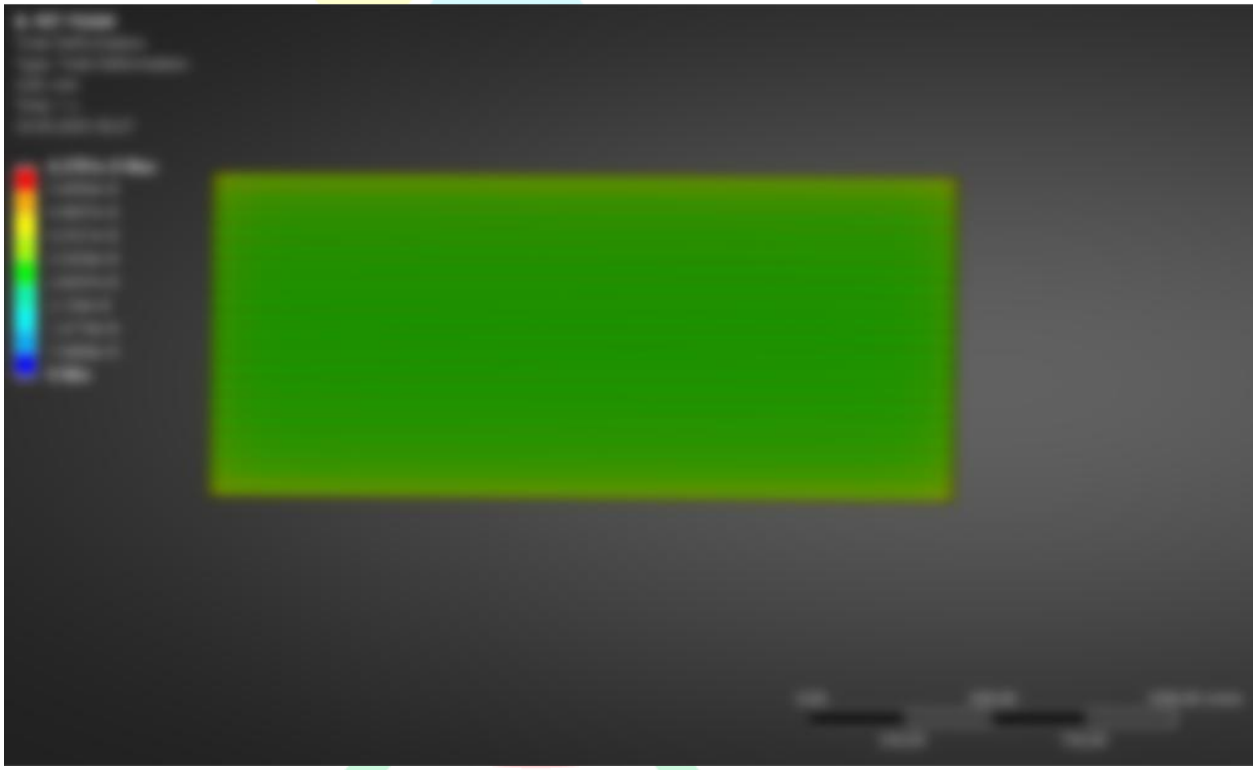
Her iki malzeme için, otobüs iç tavan montaj koşullarını temsil eden geometrik modeller oluşturularak, yük senaryosu olarak 300 N kuvvet uygulanmıştır. Analizler bir sanal sonlu elemanlar programı (ANSYS) üzerinden yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Compact Laminant ve PET Foam Core Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

Özellik	Compact Laminant	PET Foam Core
Yoğunluk (kg/m³)	~1350 – 1450	~100 – 250
Elastik Modül (E) [GPa]	~9 – 12	~0.02 – 0.25
Basınç Dayanımı (MPa)	~80 – 120	~1 – 2.5
Çekme Dayanımı (MPa)	~60 – 90	~0.8 – 1.5
Uzama (%)	~2 – 4	~5 – 20



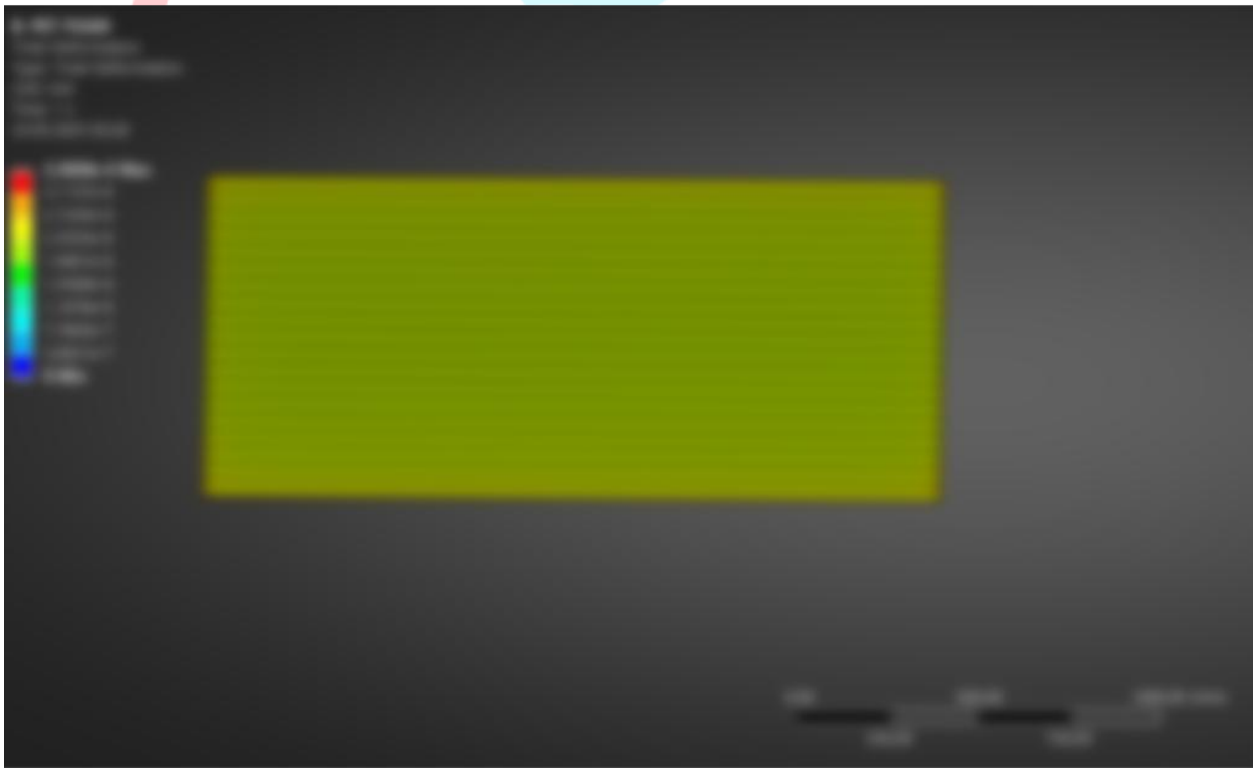
Modelin Sabitleme ve Kuvvet Uygulama Noktaları



Compact Laminant için Toplam deformasyon (6,3781e-8 mm)



Compact Laminant için Maksimum von-Mises gerilme (0,0001583 MPa)



PET Foam Core için Toplam deformasyon (3,5029e-6 mm)



PET Foam Core için Maksimum von-Mises gerilme (0,00015729 MPa)

Compact Laminant

- Ağırlık: 6,3 kg
- Toplam Deformasyon: 6,3781e-8 mm
- Gerilme: 0,0001583 MPa

PET Foam Core Kompozit

- Ağırlık: 0,61 kg
- Toplam Deformasyon: 3,5029e-6 mm
- Gerilme: 0,00015729 MPa

4. Bulgular

Analiz sonuçlarına göre, PET Foam Core Kompozit malzeme deformasyon açısından Compact Laminant'a göre daha büyük bir sehim göstermiştir (yaklaşık 55 kat). Ancak, bu deformasyon değeri yapısal bütünlük sınırları içerisinde kabul edilebilir seviyededir. En dikkat çeken bulgu ise PET kompozit malzemenin %90 daha düşük ağırlığa sahip olmasıdır. Bu, hem taşıtın toplam ağırlığını azaltarak yakıt verimliliğine katkı sağlar hem de taşıyıcı sistem üzerindeki yükleri hafifletir (Torgal & Ding, 2017).

Ayrıca, PET çekirdekli kompozit panellerin enerji sönümleme yetenekleri ve üretim süreçlerindeki çevreci avantajları da literatürde vurgulanmaktadır (Gibson, 2012).

5. Sonuç

Sonuçlar, PET çekirdekli kompozit panellerin, iç tavan uygulamalarında Compact Laminant'a kıyasla daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Malzeme, sadece deformasyon açısından değil, aynı zamanda ağırlık ve enerji verimliliği parametreleriyle de üstünlük

sunmaktadır. Bu doğrultuda; otobüs iç trim tasarımlarında, yapısal dayanımın yanı sıra deformasyon performansının da karar süreçlerinde dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Hafif kompozit yapılar, sürdürülebilir taşımacılık hedefleri açısından gelecekte daha yaygın olarak tercih edilebilir.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

- Gibson, L. J. (2012). Principles of composite material mechanics. CRC Press.
- Torgal, F. P., & Ding, Y. (2017). Eco-efficient construction and building materials. Elsevier.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBUSLERDE KULLANILAN ELEKTRONIK KONTROL KUTULARINDA ST-37 MALZEMEDEN AL-6061 ALUMINYUM MALZEMEYE GECISIN STATIK DAYANIM PERFORMANSINA ETKISI

Harun ÇELEBİ[1]

Özet

Bu çalışmada, toplu taşımacılık sektöründe enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, araç ağırlığının azaltılmasının önemi vurgulanmıştır. Ağırlık azaltımı, özellikle otobüslerde kullanılan bileşenlerin malzeme seçimlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, otobüslerdeki elektronik kutuların yapısal malzeme seçimlerinin, araç toplam ağırlığı ve parça dayanımı açısından önemli etkileri bulunmaktadır.

Günümüzde, elektronik kutularda yaygın olarak kullanılan ST-37 çeliği, yüksek mukavemet ve şekillendirilebilirlik avantajları sağlamakla birlikte, yüksek yoğunluğu (7,85 g/cm³) nedeniyle otobüslerin toplam ağırlığını artırmaktadır. ST-37 çeliğinin yerine, daha hafif alternatifler arayışına girilmiş olup, bu çalışmada, AL-6061 alüminyum alaşımının potansiyeli incelenmiştir. AL-6061 alüminyum alaşımının yoğunluğu 2,70 g/cm³ olup, bu, ST-37 çeliğine göre yaklaşık %66 daha hafif olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, elektronik kutuların malzeme değişiminin yapısal dayanım değerlerine, ağırlık üzerindeki etkilerine ve menteşe bağlantılarındaki yük taşıma kapasitesine nasıl etki ettiğini incelemektir. Malzeme değişiminin etkileri, sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu analizde, hem ST-37 çeliği hem de AL-6061 alüminyum alaşımının performansları karşılaştırılmış, her iki malzemenin de belirli dayanım kriterlerini sağlarken, alüminyum alaşımının daha hafif bir alternatif sunduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, bu çalışma, elektronik kutuların yapısal dayanımını ve işlevselliğini korurken, malzeme değişimi ve tasarım optimizasyonu ile önemli derecede ağırlık azaltımı sağlanabileceğini ortaya koymaktadır. AL-6061 alüminyum alaşımının, dayanım kriterlerine zarar vermeden, önemli bir ağırlık tasarrufu sunduğu bulunmuştur. Bu bulgular, özellikle toplu taşıma araçlarında benzer iç bileşenlerin hafifletilmesi ve optimizasyonu konusunda mühendisler için önemli bir referans oluşturacaktır. Ayrıca, daha verimli ve çevre dostu ulaşım çözümleri için malzeme seçiminde alüminyum gibi hafif alternatiflerin kullanılmasının faydaları ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, Malzeme Optimizasyonu, Ağırlık Azaltımı, Malzeme Karşılaştırma, Deformasyon Davranışı, St-37, Al.

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Concept Design Engineer, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş., https://orcid.org/0009-0004-9649-6756

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Toplu taşıma araçlarında enerji verimliliği, maliyet düşürme ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, araç bileşenlerinde ağırlık azaltımı kritik bir mühendislik gereksinimi hâline gelmiştir. Özellikle otobüs iç aksamlarında kullanılan elektronik kontrol kutuları hem işlevsel hem de yapısal gereksinimleri karşılamak zorundadır. Bu çalışmada, geleneksel olarak kullanılan ST-37 çeliği yerine AL-6061 alüminyum alaşımının kullanılması ile elde edilecek yapısal dayanım değişiklikleri ve ağırlık avantajları analiz edilmiştir.

Kapsam

Bu çalışma, otobüslerde kullanılan elektronik kontrol kutularında malzeme değişiminin statik dayanım performansına olan etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Yapılan analizde, ST-37 çeliği ile AL-6061 alüminyum alaşımı karşılaştırılmış ve her iki malzeme sonlu elemanlar yöntemiyle (FEA) aynı yük altında değerlendirilmiştir. İnceleme; ağırlık, toplam deformasyon ve gerilme dağılımları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ağırlık azaltımı, özellikle alüminyum gibi hafif alaşımlarla sağlanabilir ve bu da daha düşük yakıt tüketimi ve karbon emisyonu ile sonuçlanır (Ashby, 2011).

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

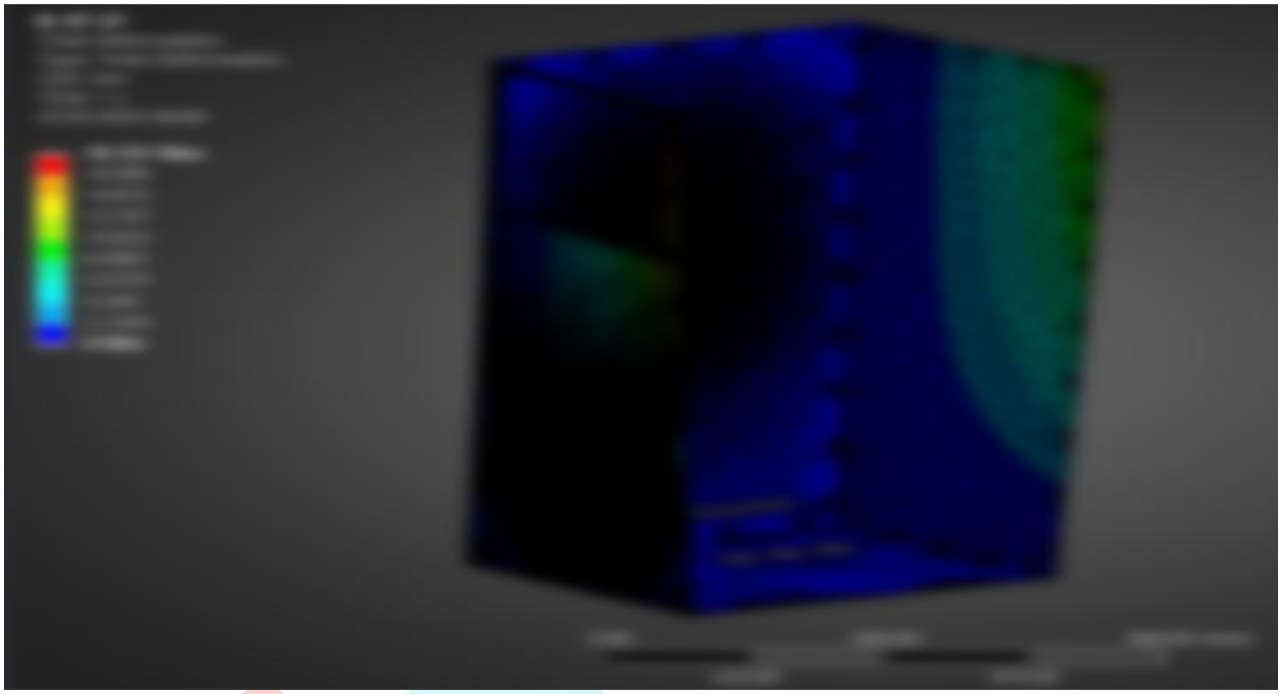
Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

Yöntem

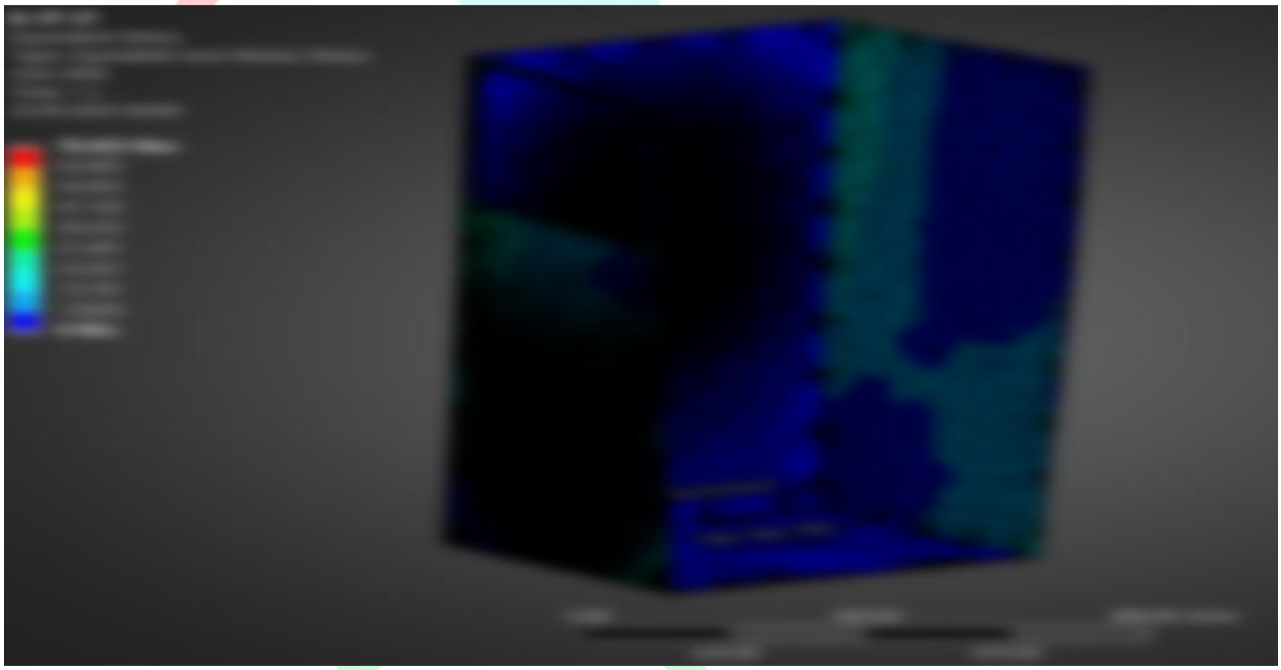
Analizler, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) tabanlı bir mühendislik yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki malzeme için elektronik kontrol kutusu modeli üzerine 300 N'luk sabit statik yük uygulanmıştır. Kullanılan malzeme özellikleri aşağıdaki gibidir:

- **ST-37 çeliği:** Yoğunluk 7,85 g/cm³
- **AL-6061 alüminyum alaşımı:** Yoğunluk 2,70 g/cm³

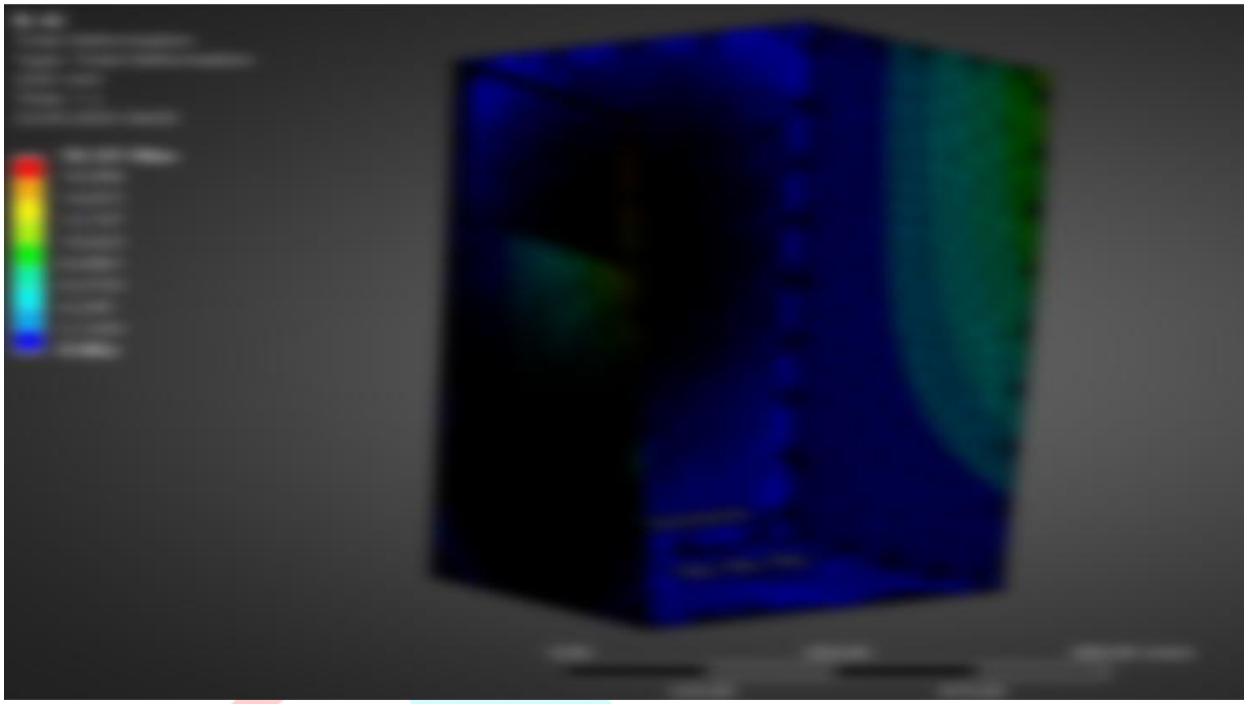
Aynı geometrik yapı ve sınır koşulları altında iki malzeme karşılaştırılmıştır. Malzeme mekanik özellikleri Callister ve Rethwisch (2020) tarafından önerilen standart değerlere dayandırılmıştır. Analiz sonuçları, deformasyon, maksimum gerilme (Von Mises) ve kütlesel fark açısından değerlendirilmiştir.



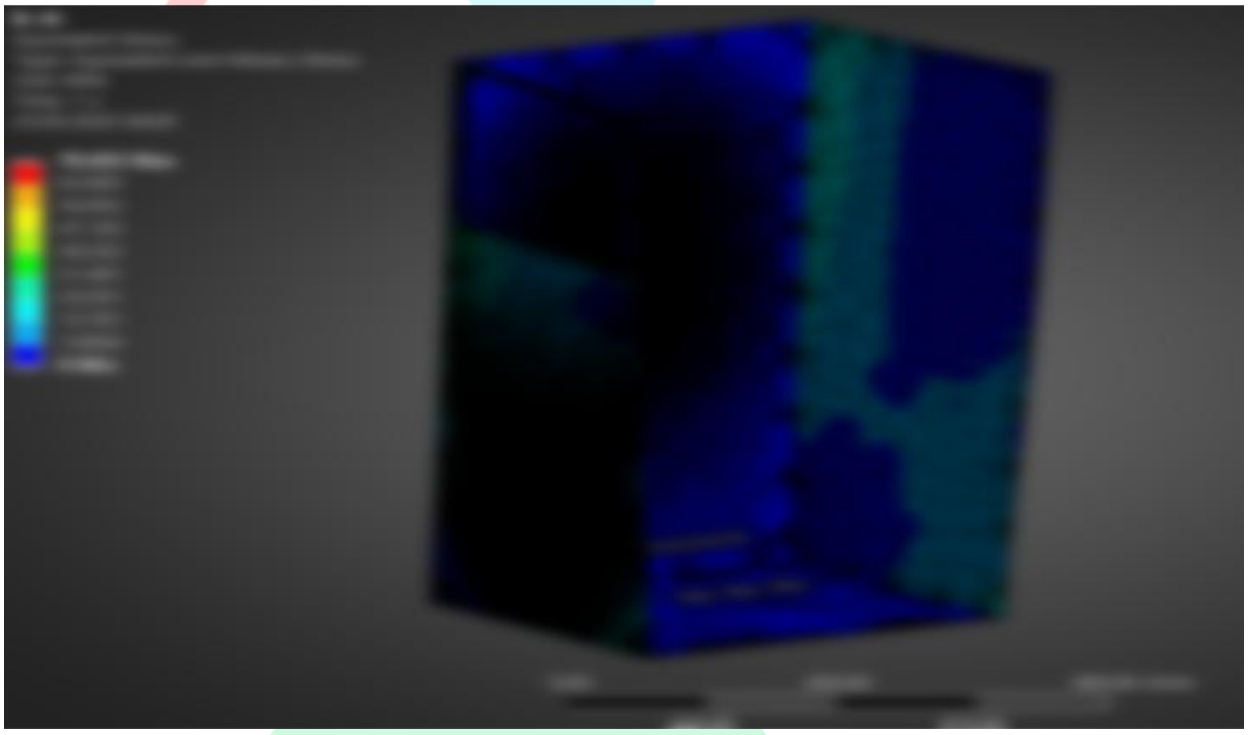
ST-37 Toplam deformasyon (57,363 mm)



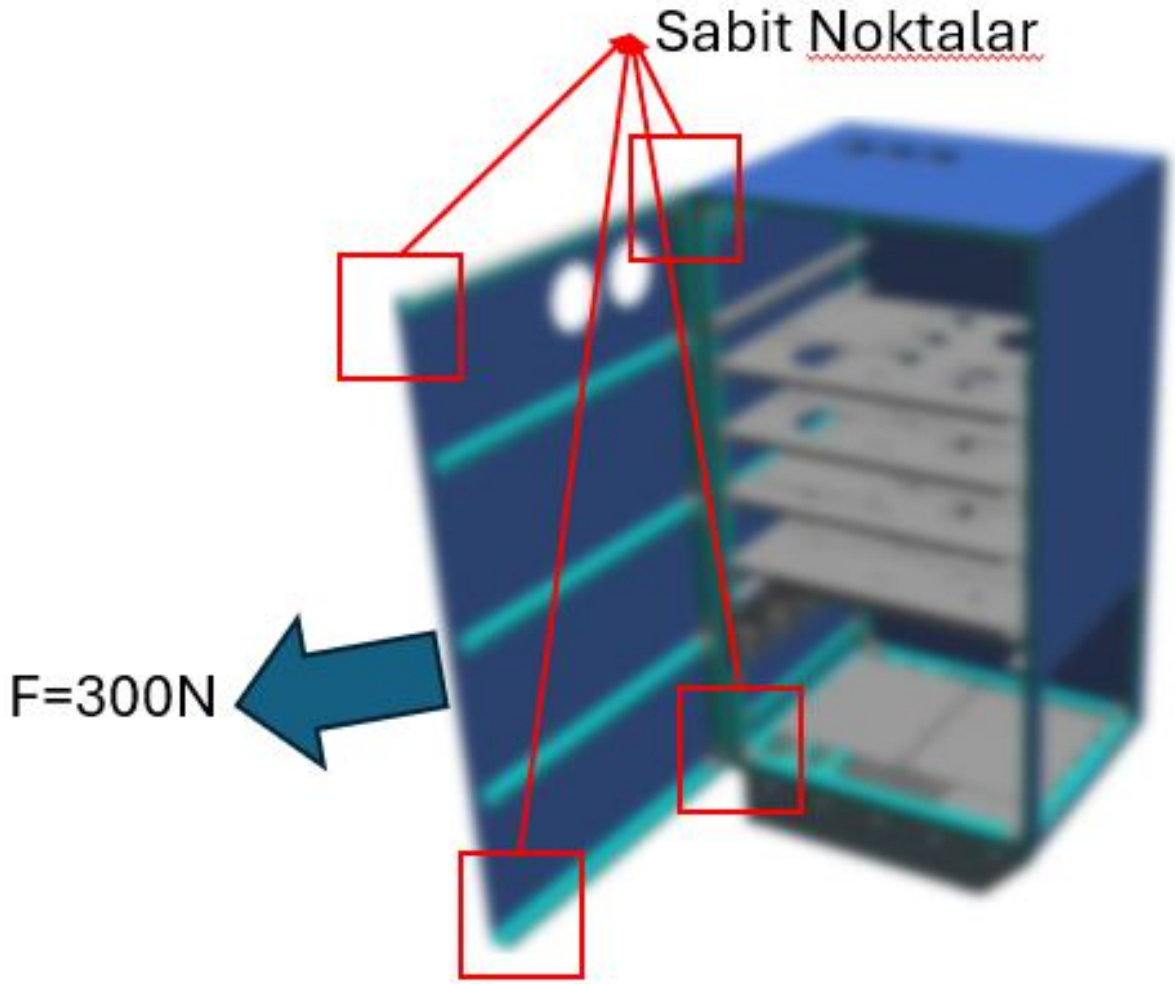
ST-37 için Maksimum von-Mises gerilme (211,959 MPa)



AL Toplam deformasyon (86,0445 mm)



AL için Maksimum von-Mises gerilme (317,9385 MPa)



Bulgular

Analiz çıktıları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Malzeme	Yük (N)	Kütle (kg)	Toplam Deformasyon (mm)	Maksimum Gerilme (MPa)
ST-37	300	44,01	57,363	211,959
AL-6061	300	22,72	86,0445	317,9385

- **Ağırlık Avantajı:** AL-6061, ST-37'ye kıyasla %48,4 daha hafiftir. Bu durum, daha düşük yoğunluk değerinden kaynaklanmaktadır.
- **Deformasyon:** Alüminyum alaşımda deformasyon daha yüksek çıkmıştır. Bu, AL-6061'in elastik modülünün ST-37'ye göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Budynas & Nisbett, 2015).
- **Gerilme:** Alüminyumda daha yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir, ancak bu değerler AL-6061'in akma sınırını aşmamaktadır. Yani, yapısal bütünlük bozulmadan görevini yerine getirebilecek durumdadır.

Sonuç

Yapılan analizler doğrultusunda, AL-6061 alüminyum alaşımı; daha düşük kütle ile belirli bir dayanım gereksinimini karşılayarak otobüslerdeki elektronik kontrol kutuları için uygun bir alternatif olduğunu göstermiştir. ST-37 çeliğine kıyasla daha yüksek deformasyon gösterse de, uygulanan yükler altında güvenli sınırlar içinde kalmaktadır. Bu bağlamda, yapısal bütünlükten ödün vermeden araç ağırlığında önemli ölçüde azalma sağlanabilir. Bu sonuçlar, toplu taşıma araçlarının hafifletilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması yönünde önemli bir katkı sunmaktadır (Ashby, 2011).

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Ashby, M. F. (2011). Materials Selection in Mechanical Design. Elsevier.

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). Shigley's Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill Education.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). Materials Science and Engineering: An Introduction. John Wiley & Sons.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBUS EKRAN BRAKETLERINDE ST37 CELIGINDEN AL6061 ALUMINYUMA MALZEME GECISININ YAPISAL DAYANIM VE AGIRLIK UZERINDEKI ETKILERININ DEGERLENDIRILMESI

Harun ÇELEBİ[1]

Özet

Toplu taşımacılık sektöründe araçların ağırlığını azaltmak, enerji verimliliğini artırmak ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, otobüslerde kullanılan ekran braketlerinin yapısal performanslarının iyileştirilmesi, ağırlık azaltımı ve sehim değerlerinin optimize edilmesi önem kazanmaktadır. Mevcut durumda ekran braketlerinde yaygın olarak tercih edilen ST37 çeliğinin yüksek mukavemeti ve şekillendirilebilirlik avantajlarına rağmen, 7.85 g/cm³ olan yoğunluğu araç ağırlığına ciddi katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada alternatif olarak önerilen AL6061 alüminyum alaşımı, yaklaşık %66 daha hafif olması ve 2.70 g/cm³ yoğunluğa sahip olması nedeniyle önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak alüminyum alaşımının elastisite modülünün çeliğe göre daha düşük olması, tasarımın optimize edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Çalışma kapsamında, her iki malzemeden üretilmiş ekran braketlerinin dayanım performansı ve sehim davranışları, belirli yükler altında sonlu elemanlar analizi (FEA) yöntemiyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca alüminyumun kullanımı ile sehim değerlerinin de belirlenen standartlar içerisinde kaldığı görülmüştür. Bu sonuçlar, alüminyum alaşımının ekran braketlerinde uygulanabilir bir alternatif olduğunu ve otobüslerin toplam ağırlığını azaltarak yakıt tüketimi ve çevresel sürdürülebilirliğe önemli ölçüde katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, ekran braketlerinde malzeme değişimi ve tasarım optimizasyonunun birleştirilmesi ile yapısal performanstan ödün vermeden önemli bir ağırlık azaltımının mümkün olduğu ortaya konulmuştur. Bu çalışma, araç içi yapılanmalarda malzeme değişimi ve tasarım optimizasyonunun entegrasyonu ile önemli bir ağırlık azaltımı sağlanabileceğini ve bu yaklaşımın sektördeki diğer yapısal elemanlarda da uygulanabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, Malzeme Optimizasyonu, Ağırlık Azaltımı,Al,St-37,Malzeme Karşılaştırma, Deformasyon Davranışı

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Concept Design Engineer, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş., https://orcid.org/0009-0004-9649-6756

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Giriş

Toplu taşımacılıkta, araç bileşenlerinin hafifletilmesi enerji verimliliği, yakıt ekonomisi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından stratejik bir gereklilik haline gelmiştir. Bu bağlamda, otobüs iç aksamında yer alan ekran braketlerinin yapısal özellikleri ile birlikte ağırlıklarının da optimize edilmesi önemlidir. Geleneksel olarak kullanılan ST37 çeliği yüksek dayanım sunmakla birlikte, yoğunluğu 7.85 g/cm³ olup araç toplam ağırlığına ciddi katkıda bulunmaktadır. Alternatif olarak önerilen AL6061 alüminyum alaşımı, 2.70 g/cm³ yoğunluğu ile önemli bir ağırlık avantajı sağlamakta, ancak düşük elastisite modülü nedeniyle tasarım optimizasyonunu zorunlu kılmaktadır (Kutz, 2012).

2. Kapsam

Bu çalışma, otobüslerde kullanılan ekran braketlerinin malzeme yapısında ST37 çeliğinden AL6061-T6 alüminyum alaşımına geçişin yapısal dayanım, sehim (deformasyon) ve ağırlık üzerindeki etkilerini incelemektedir. Analizler sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ile yürütülmüş ve farklı malzeme konfigürasyonları altında elde edilen yük-tepki verileri kıyaslanmıştır.

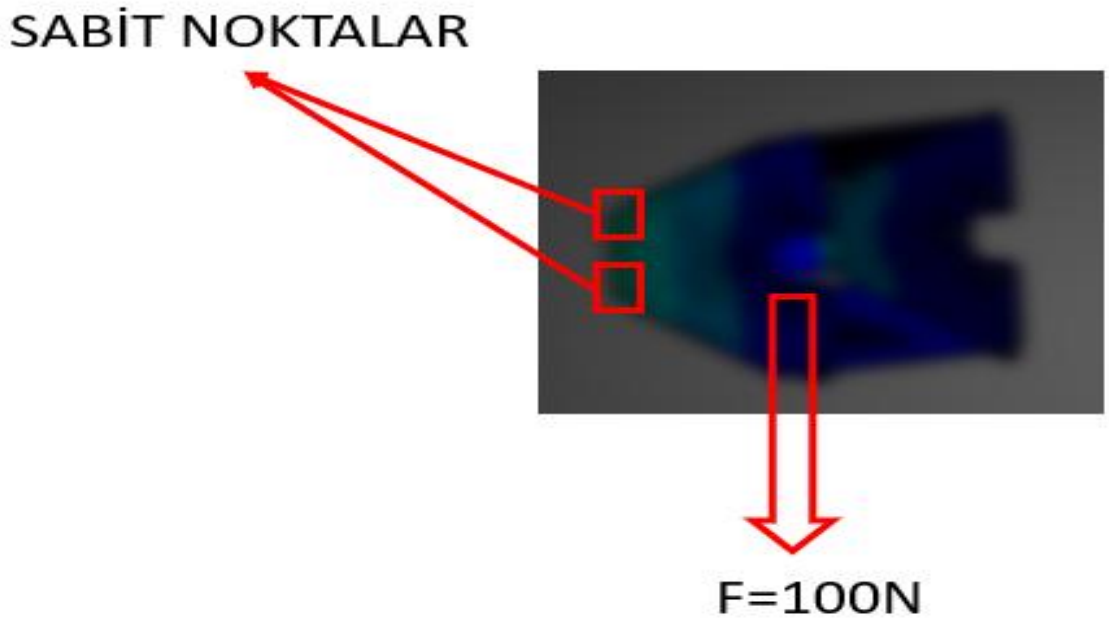
Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

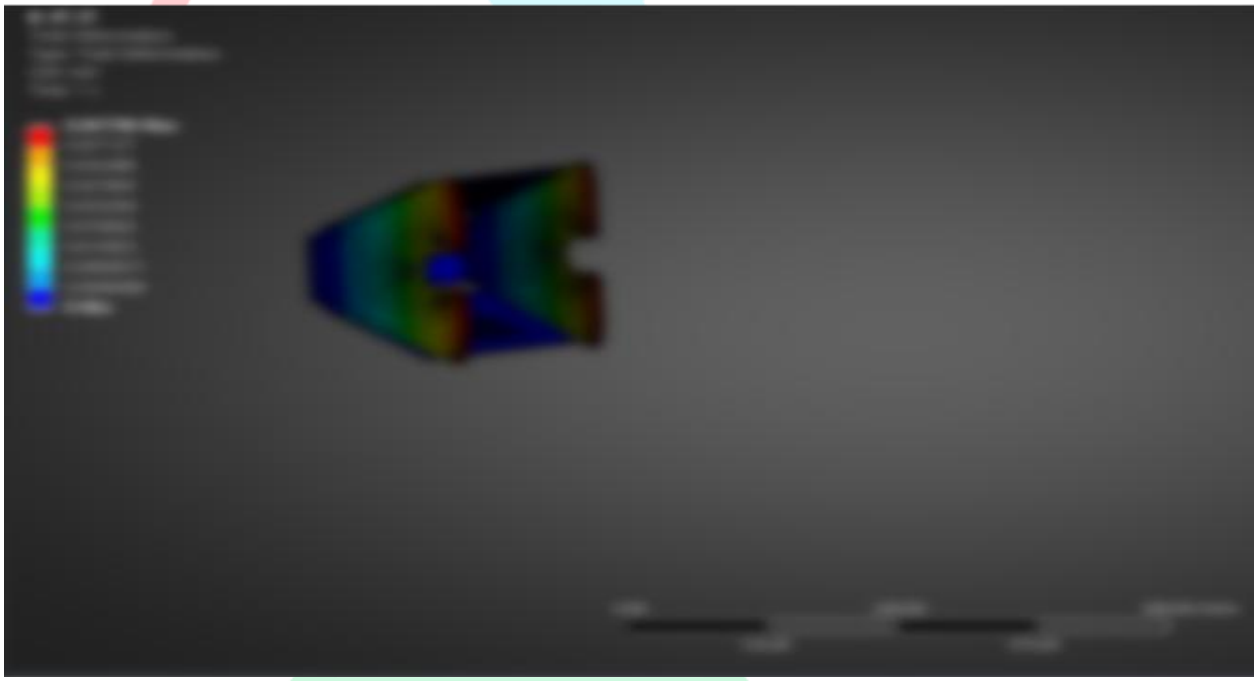
3. Yöntem

Braket geometrisi sabit tutularak, ST37 çeliği ve AL6061-T6 alüminyum malzemeleri ANSYS yazılımında tanımlanmış ve her iki yapı için 100 N sabit yük altında sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Malzeme özellikleri literatürden alınarak modellemeye entegre edilmiştir (ASM International, 1990):

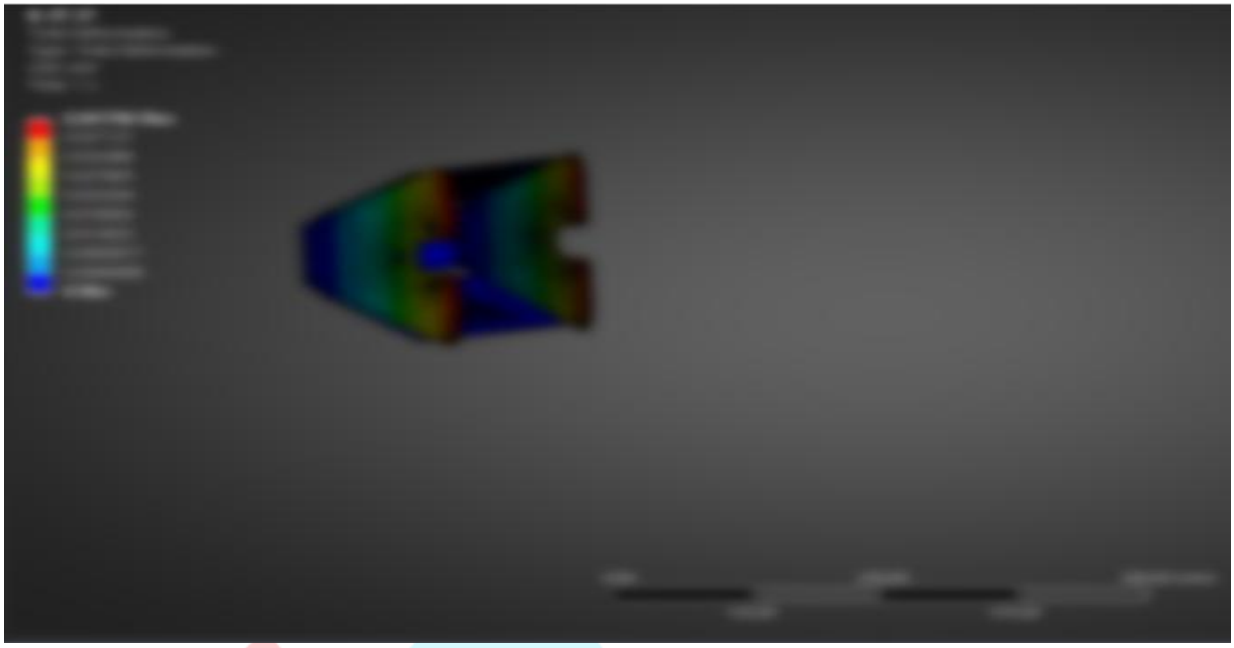
- **ST-37**: Yoğunluk: 7.85 g/cm³, Young Modülü: ~210 GPa, Akma Dayanımı: ~235 MPa
- **AL6061-T6**: Yoğunluk: 2.70 g/cm³, Young Modülü: ~69 GPa, Akma Dayanımı: ~276 MPa



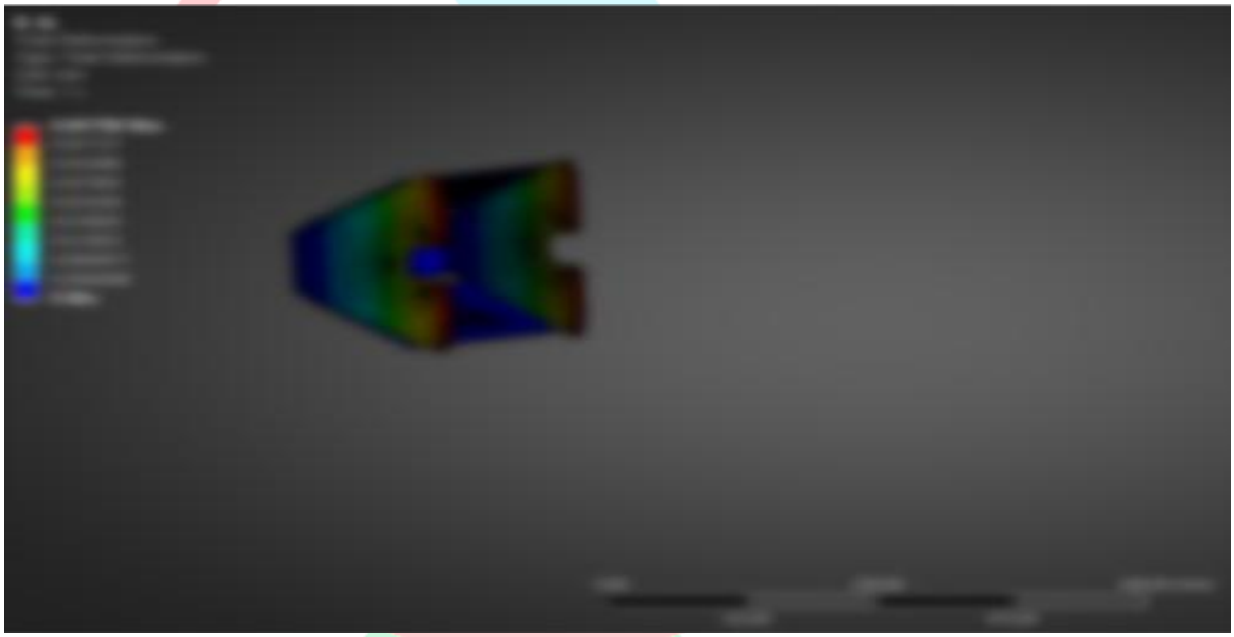
Simülasyon çıktıları; toplam kütle, maksimum deformasyon (mm) ve Von-Mises gerilme (MPa) değerlerini içermektedir.



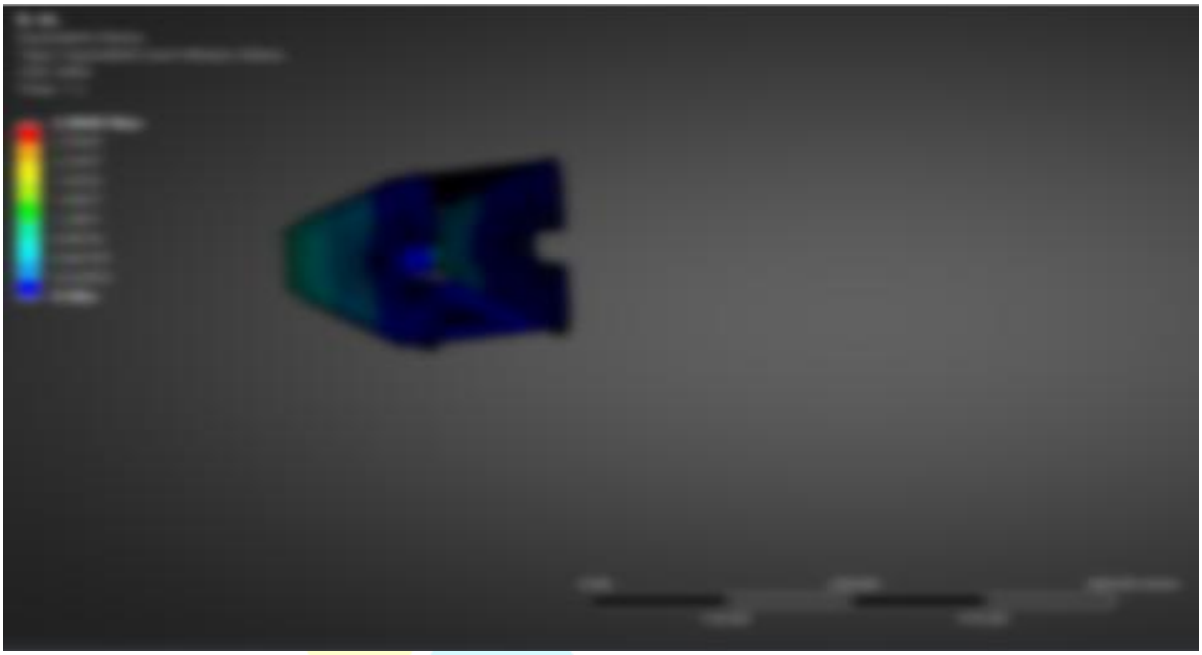
ST-37 Toplam deformasyon (0,041768 mm)



ST-37 için Maksimum von-Mises gerilme (2,8848 MPa)



Al. Toplam deformasyon (0,083536 mm)



Al. için Maksimum von-Mises gerilme (5,7696 MPa)

4. Bulgular

Malzeme	Ağırlık (kg)	Maksimum Deformasyon (mm)	Von-Mises Gerilme (MPa)
ST37	2.07	0.041768	2.8848
AL6061-T6	1.40	0.083536	5.7696

ST37 çeliği ile yapılan analizde daha düşük deformasyon ve gerilme değerleri elde edilmesine karşın, sistemin ağırlığı 2.07 kg olarak hesaplanmıştır. AL6061-T6 ile yapılan analizde, deformasyon yaklaşık iki kat artmasına rağmen 1.40 kg'a düşen ağırlık ile önemli bir avantaj sağlanmıştır. Bu artış, belirlenen sınır değerler içinde kalmakta ve yapısal performansı kritik şekilde etkilememektedir (Davis, 1999).

5. Sonuç

Elde edilen sonuçlara göre, AL6061 alüminyum alaşımı ile yapılan ekran braketlerinde %32'lik bir ağırlık azaltımı elde edilmiştir. Sehim ve gerilme değerleri ST37'ye göre daha yüksek olsa da, bu artış sınır değerler içinde kaldığı için sistemin güvenli çalışmasına engel teşkil etmemektedir. Bu bağlamda, alüminyum alaşımına geçiş, otobüs ekran braketleri için hem çevresel hem de operasyonel avantajlar sunmaktadır. Gelecekte, bu tip uygulamalarda topoloji optimizasyonu ve yerel kalınlık artırımı gibi yöntemlerle yapısal dayanım daha da iyileştirilebilir.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

ASM International. (1990). Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys (Vol. 1). ASM Handbook.

Davis, J.R. (1999). Aluminum and Aluminum Alloys. ASM International.

Kutz, M. (2012). Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Engineering Mechanics (Vol. 1). John Wiley & Sons.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBÜSLERDE KULLANILAN HAVA KANALI KAPAKLARINDA ALUMİNYUM VE POLİPROPİLEN MALZEMELERİN DEFORMASYON PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Harun ÇELEBİ[1]

Özet

Otomotiv sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla, araç ağırlığının azaltılması son yıllarda öncelikli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Özellikle iç trim bileşenlerinin hafifletilmesi, toplam araç ağırlığı üzerindeki etkileri nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, hem malzeme seçiminde hem de yapısal tasarımda optimizasyon gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın odağında, araç içi hava kanalı kapaklarının üretiminde kullanılan malzemelerin deformasyon ve sehim performansları açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi yer almaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan alüminyum (Al) ve alternatif olarak önerilen polipropilen (PP) malzemeler, hem fiziksel özellikleri hem de üretim kolaylıkları açısından otomotiv endüstrisinde önemli yer tutmaktadır.

Alüminyum malzemeler, yüksek mekanik dayanım, ısıl iletkenlik ve korozyon direnci gibi özellikleriyle öne çıkarken, 2.7 g/cm³ yoğunluğuyla hafif malzeme sınıfında yer alır. Ancak polipropilen gibi termoplastik polimerler, çok daha düşük yoğunlukları (yaklaşık 0.9 g/cm³) sayesinde daha fazla hafiflik sağlar. Bu çalışmada, her iki malzeme türü kullanılarak eşdeğer geometrik özelliklere sahip hava kanalı kapakları modellenmiş ve standart kullanım senaryoları altında sonlu elemanlar analizi (FEA) ile değerlendirilmiştir. Deformasyon miktarları, maksimum sehim değerleri ve gerilme dağılımları karşılaştırılarak, yapısal yeterlilikleri analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma, araç içi hava kanalı kapaklarında malzeme değişimi ve yapısal tasarım optimizasyonunun birlikte değerlendirilmesinin, hem ağırlık azaltımı hem de yeterli yapısal dayanımın sağlanması açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, otomotiv trim tasarım mühendislerine, çevresel sürdürülebilirliği destekleyecek hafifletme stratejileri geliştirme sürecinde yol gösterici niteliktedir.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, Hava Kanalları, *Malzeme Optimizasyonu*, Ağırlık Azaltımı,Al,PP,Malzeme Karşılaştırma, Deformasyon Davranışı

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Concept Design Engineer, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş., https://orcid.org/0009-0004-9649-6756

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Otomotiv sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak ve enerji verimliliğini artırmak için araç ağırlığının azaltılması kritik öneme sahiptir (Kalpakjian & Schmid, 2014). Özellikle iç trim parçalarının hafifletilmesi, araçların yakıt tüketimi ve karbon salınımını doğrudan etkileyen bir faktör olup, malzeme seçimi bu süreçte kilit rol oynamaktadır. Literatürde yer alan araştırmalarda, geleneksel metal malzemelerin yerine termoplastiklerin kullanılmasıyla %30'a varan ağırlık tasarrufu sağlanabileceği belirtilmektedir (Strong, 2006). Bu çalışmada, otobüslerde kullanılan hava kanalı kapaklarında, geleneksel olarak tercih edilen alüminyum (Al) ve alternatif olarak önerilen polipropilenin (PP) deformasyon performansları sanal ortamda karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Kapsam

Bu çalışma, eşdeğer geometriye ve montaj koşullarına sahip iki hava kanalı kapağında, malzeme değişiminin mekanik davranış üzerindeki etkisini analiz etmeyi amaçlamaktadır. İnceleme, 300 N sabit yük altında toplam deformasyon (mm), gerilme (MPa) ve ağırlık (kg) parametrelerine odaklanmıştır. Analiz sonuçları sayısal karşılaştırmalar ile değerlendirilmiş, uygulama görselleri makale sonunda test görseli olarak yerleştirilecektir.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

Yöntem

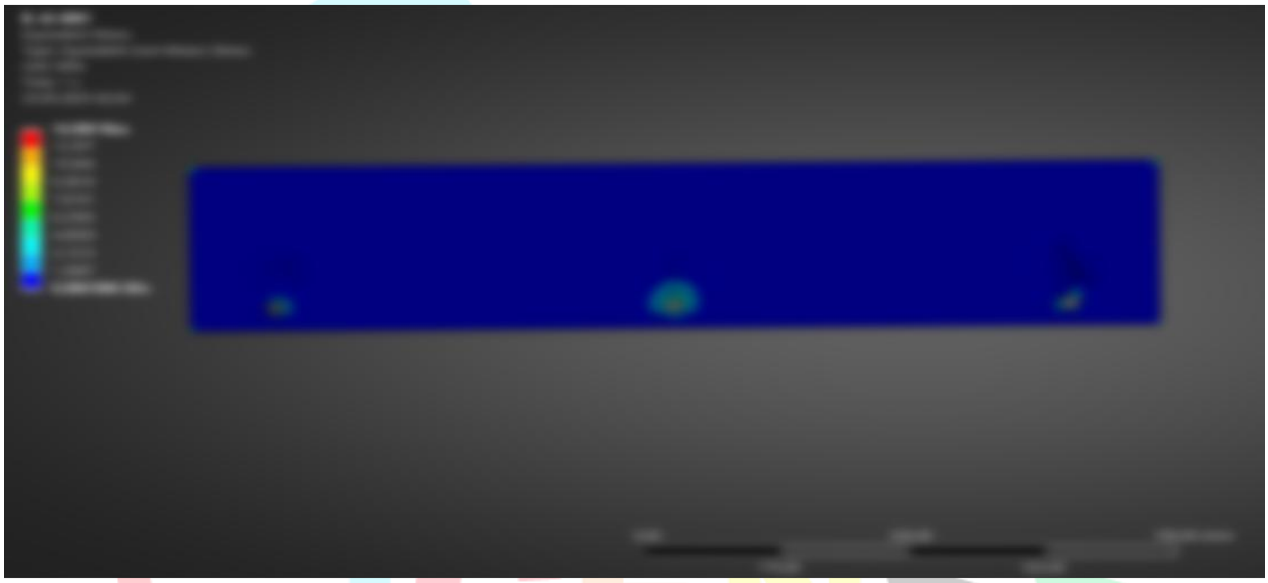
Analizlerde sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılmıştır. Modellenen hava kanalı kapaklarında AL 6061-T6 ve PP (Polipropilen) malzemeleri atanmıştır. Her iki model 300 N'lik sabit yük altında sınanmış, deformasyon ve gerilme çıktıları değerlendirilmiştir. Malzeme özellikleri genel endüstri datasheet'lerine uygun olarak modellenmiştir.

AL 6061-T6 ve Polipropilen (PP) Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Listesi

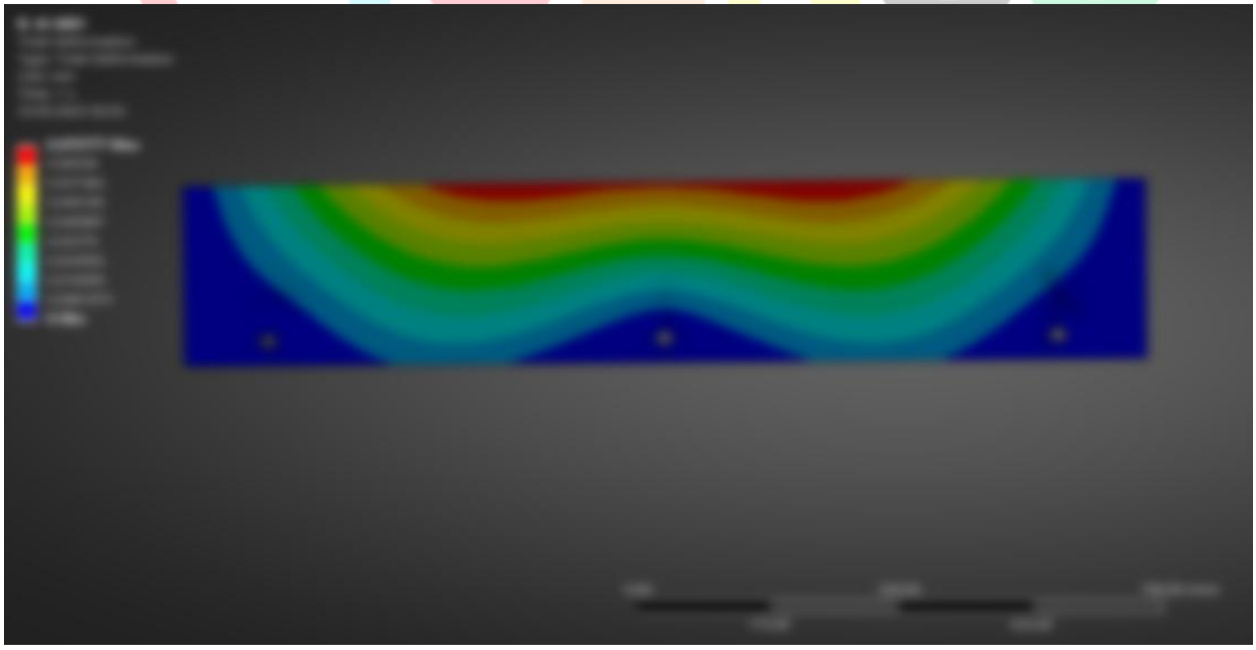
Özellik	AL 6061-T6	Polipropilen (PP)
Yoğunluk (kg/m³)	~2700	~900
Young Modül (E) [GPa]	~69	~1.5 – 2.0
Akma Dayanımı (MPa)	~240	~25 – 35
Çekme Dayanımı (MPa)	~310	~30 – 40
Uzama (%)	~10 – 17	~200 – 600



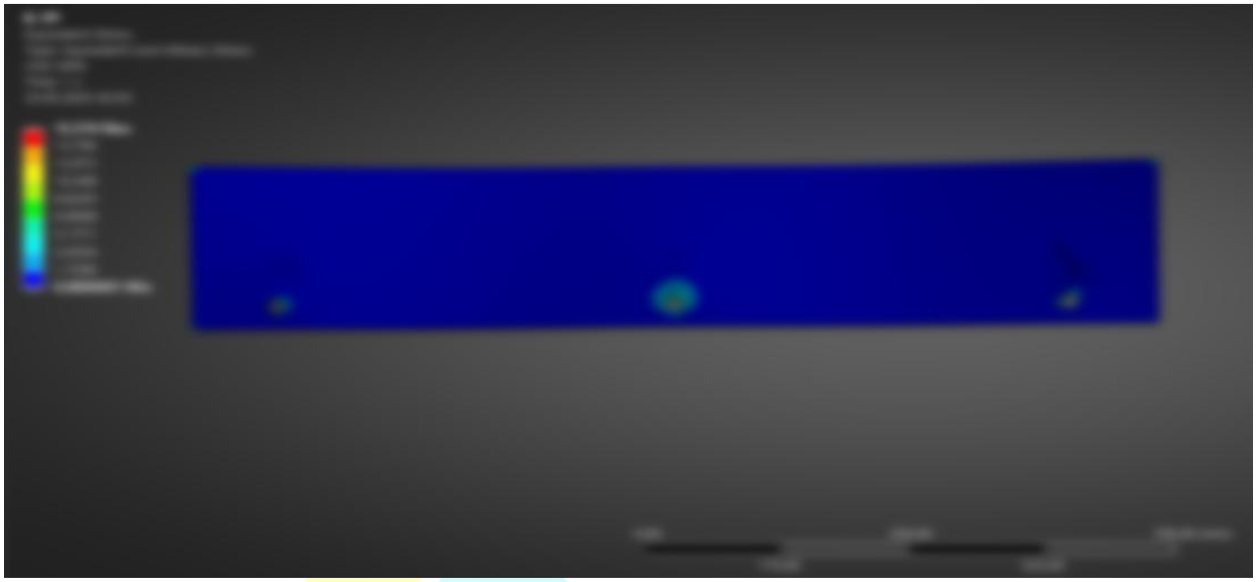
Aşağıda analiz çıktıları özetlenmiştir:



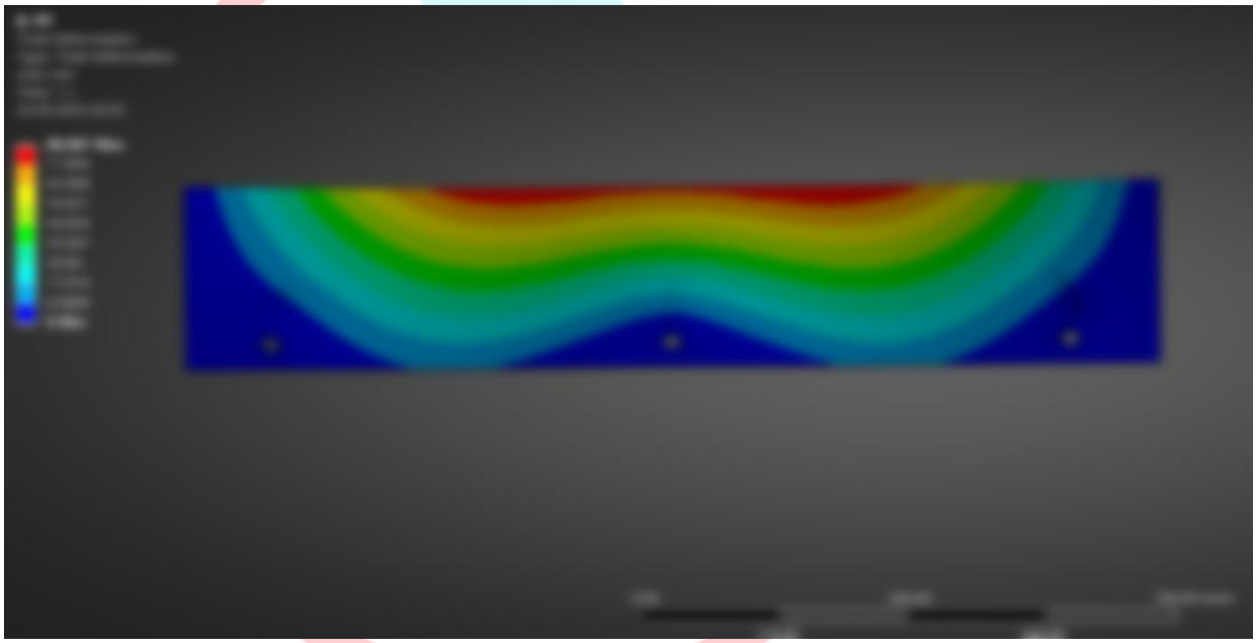
Al. için Maksimum von-Mises gerilme (14,069 MPa)



Al. Toplam deformasyon (0,073777 mm)



PP için Maksimum von-Mises gerilme (15,519 MPa)



PP Toplam deformasyon (80,881 mm)

Malzeme	Yük (N)	Ağırlık (kg)	Toplam Deformasyon (mm)	Maks. Gerilme (MPa)
Al	300	3,59	0,073777	14,069
PP	300	1,20	80,881	15,519

Bulgular

Alüminyum malzeme, düşük deformasyon değeri (0,073777 mm) ve daha düşük gerilme seviyesi (14,069 MPa) ile yüksek rijitlik göstermiştir. Bu durum, alüminyumun yüksek elastik modülü ve yapısal kararlılığı ile açıklanabilir (Callister & Rethwisch, 2020). Polipropilen ise düşük yoğunluğu sayesinde ağırlık avantajı sağlamakla birlikte, termoplastik yapıların karakteristik özelliği olan yüksek deformasyon kabiliyeti nedeniyle yapısal kararlılık

açısından yetersiz kalmaktadır (Ashby, 2011). Gerilme değeri 15,519 MPa ile belirli sınırlar içinde kalsa da deformasyon miktarı 80,881 mm seviyesindedir. Bu, PP'nin rijitliği artırılmadan ya da hibrit yapı kullanılmadan doğrudan yük taşıyıcı eleman olarak kullanılmasının sakıncalı olduğunu göstermektedir.

Sonuç

Yapılan analizler sonucunda, hava kanalı kapaklarında kullanılacak malzeme seçiminde yalnızca ağırlık değil, aynı zamanda yapısal dayanım da göz önünde bulundurulmalıdır. Alüminyum malzeme, daha fazla ağırlığa sahip olsa da düşük deformasyon seviyesiyle yüksek yapısal kararlılık sunmaktadır. Polipropilen ise ağırlık avantajı sağlamakla birlikte yüksek deformasyon değerleri sebebiyle doğrudan kullanım için yeterli dayanımı sağlamamaktadır. Bu nedenle, PP'nin sadece ikincil desteklerle kullanılması veya rijitlik artırıcı topolojik optimizasyon yöntemleriyle desteklenmesi önerilmektedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.

Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson.

Strong, A. B. (2006). *Plastics: Materials and Processing* (3rd ed.). Prentice Hall.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

THE PLACE OF ATHERMİC GLASS AND SOLAR PVB GLASS İN THE AUTOMOTİVE INDUSTRY

Hilal ZEYTİNCİ[1]
Mehmet Akif Çevik[2]
Onur KOZBAY[3]

Abstract

Today with the developing technologies in the automotive industry is also increasingly focusing on increasing passenger comfort, energy efficiency and safety. In this context there are new technologies related to vehicle glass, which is the first to be seen in terms of contact with the external conditions used in vehicles in order to improve driver driving area and in-car experiences. Some of these are: Athermic Glass and Solar PVB glass. Athermic glass, also known as heat reflecting, consists of a layer with infrared (IR) and ultraviolet (UV) filtering properties as a result of the addition of some metal oxide coatings to the glass composition during production, while Solar PVB glass is laminated glass with a special PVB application. This article will mention the production methods, features, application areas and differences between these glasses.

Keywords: Laminated Glass, Tempered Glass, Athermic Glass, Solar PVB, Heat Reduction, Heat Reflective

[1] Tasarım Uzmanı, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Orcıd: 0009-0003-9211-4135
[2] Tasarım Uzmanı, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Orcıd: 0009-0007-6685-8279
[3] Tasarım Uzmanı, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Orcıd: 0009-0002-2463-0341

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Atermic Glass

Athermic windshields are a subcategory of laminated glass that contain small metal particles such as titanium and silver. The metal particle coating (metalisation) is applied to the inner layer glass of the laminated glass, creating the athermic windshield. The coating can be clear or tinted, its depending on the preference and regulations of the manufacturer and customer. Some athermic windshields also have an electric heating element into in the glass to help defrost or defog the windshield in cold weather. These particles reflect most of the UV, meaning less heat enters the passenger compartment. This improves thermal conditions for the occupants by lowering the temperature inside the vehicle and reducing the effects of UV rays on the skin and eyes. [2]

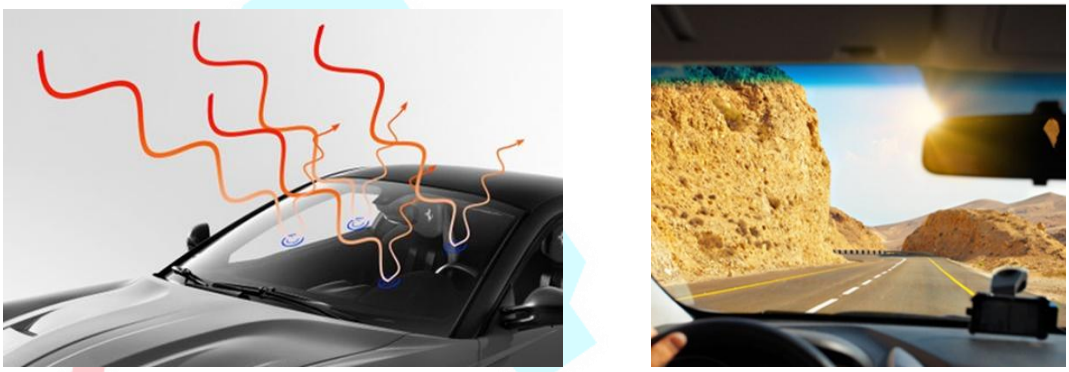
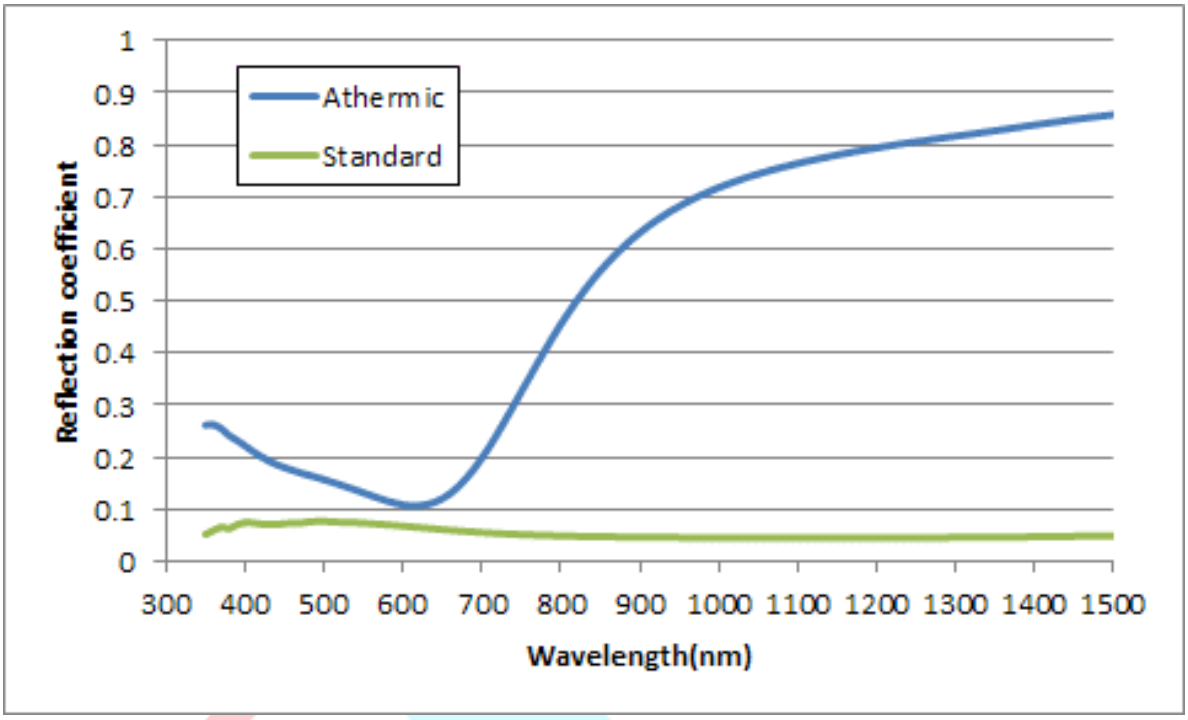


Figure 1 : Atermic Glass Reflection UV

a- How does the mechanism of an athermic windshield work

Athermic glass blocks some of the IR (Infrared Radiation) and visible light waves and prevents them from entering the cabin. Infrared waves are responsible for heating objects, while visible light waves are responsible for illuminating them. UV rays are harmful to the skin and can cause sunburn, premature aging, and skin cancer. IR rays are responsible for most of the heat that enters the car through the windshield. By reflecting some of these waves, an athermic windshield reflects the amount of heat and light that reaches the passenger compartment.

However, this can also make it difficult for an athermic windshield to pass certain signals and rays, such as GPS signals or toll tags. For this reason, the athermic coating is removed around the rearview mirror of an athermic windshield to allow these signals and rays to pass. This area is usually marked on the windshield with dotted lines or a thermometer symbol. [2]



Graphic 1 : Reflectance spectrum of an athermic car windshield compared to a standard windshield [3]



Figure 2 : Atermic Glass vs Standart Lamination Glass

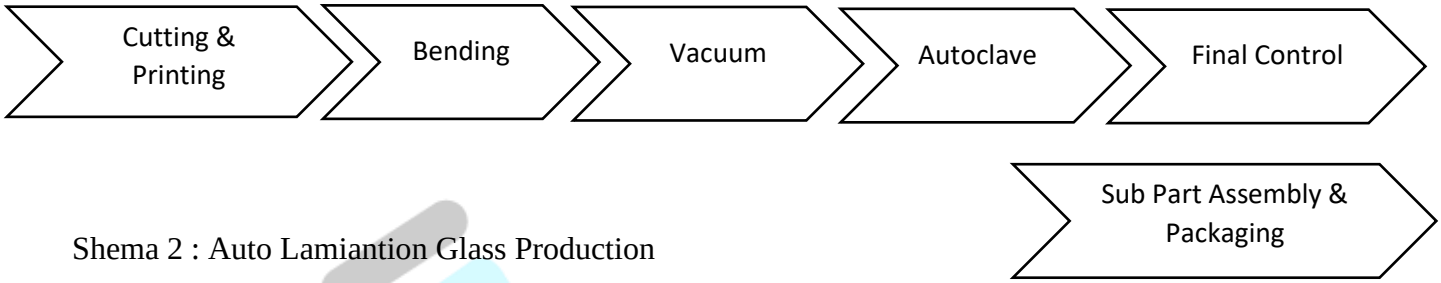
b- How is Athermic Glass Produced

Basically, the production of athermic glass is similar to the laminated glass production process. When the glass is in its flat, this athermic coating is applied according to the steps in the diagram.



Shema 1 : Flat Atermic Glass Production

And than, the production processes are the same as laminated glass. An interlayer such as polyvinyl butyral (PVB) is placed between two or more layers of glass and combined under high heat and pressure.



Shema 2 : Auto Lamiantion Glass Production

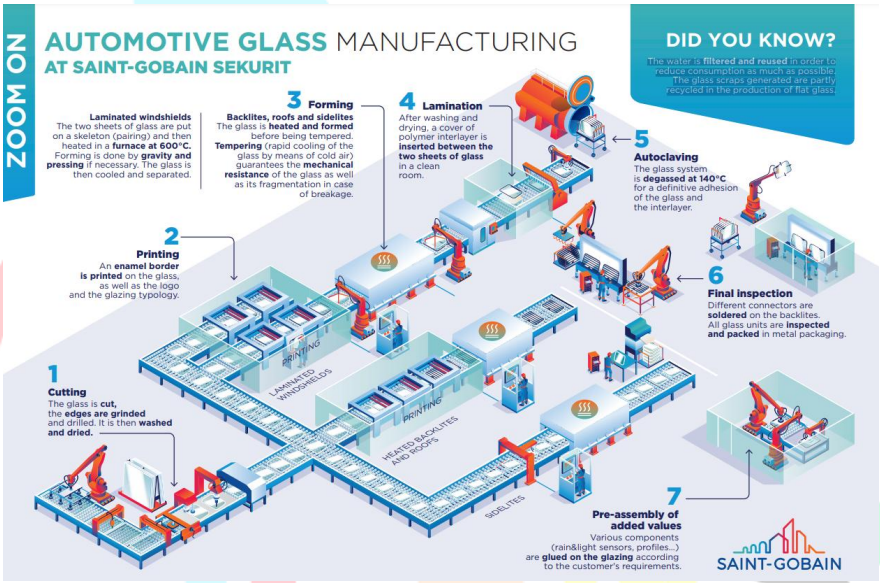


Figure 3 : Glass Production

c- Athermic Glass Advantages & Disadvantages

Athermic windshield has many advantages over standard laminated glass:

- It increases driver and passenger comfort by keeping the interior temperature lower and more constant.
- It provides fuel economy by reducing the need for air conditioning and reduces carbon emissions.
- It protects the instrument panel, electronics and other parts from cracking or melting over time due to exposure to sunlight.
- It increases driver's vision and safety by reducing glare and reflections from the windshield.
- It prevents some of the harmful UV & IR rays from reaching the passengers' skin and eyes.
- It protects you from heat accumulation that may occur inside your car and cause discomfort, dehydration, fatigue or sunburn.

Athermic Glass Disadvantages

- Athermic glass can interfere with some electronic devices that rely on radio signals, such as GPS navigation systems, toll tags, mobile phones or remote control keys. This is because the metallic coating acts as a shield that blocks or weakens some of these signals.
- Can be more expensive than traditional glass, depending on the type of coating, quality, and installation process.
- Can be more difficult to repair or replace if damaged or cracked. Some types of athermic glass require special tools and techniques to install or remove. [2]

2.Solar PVB Glass (Solar Control Glazing)

A simple laminated glass consists of two ply of glass annealed or tempered, joined by heat and pressure by an intermediate ply of polyvinyl butyral (PVB). Unlike athermic glass, the Solar PVB feature is that solar control can be achieved with the help of the PVB layer.

Automotive windshields provide occupant visibility yet also enable the sun's energy to enter and build up inside the vehicle-more than 40% of heat transmitted into a vehicle enters via the windshield. Laminated windshields consist of two pieces of glass held together by a polyvinyl butyral (PVB) interlayer forming a strong bond that tends to stay together even after breakage occurs. For decades, PVB usage has been mandated in windshields by National Highway Traffic and Safety Administration (NHTSA) and the international community for safety reasons, however, advanced laminated glazings have increasingly been utilized by original equipment manufacturers (OEMs) to improve fuel efficiency and reduce CO2 remissions while enhancing occupant comfort. In addition to providing traditional safety benefits of automotive laminated glazing, solar Control interlayers absorb infrared (IR) wavelengths that were previously transmitted through the vehicle's glazings, which reduce air-conditioning usage and improves vehicle fuel economy and CO2 emissions. [4]

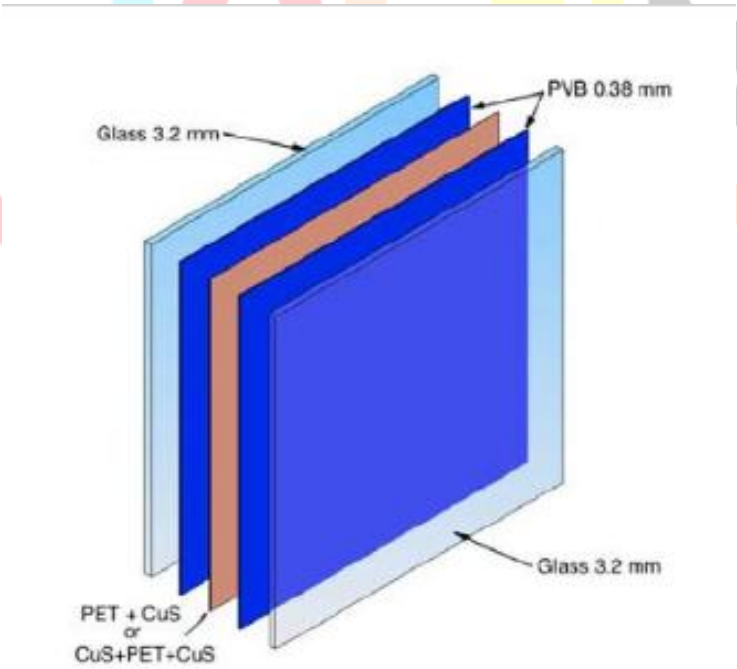


Figure 4 : Optical properties of laminated solar control glazing [5]

Solar Control Film blocks infrared and UV (ultraviolet) rays but allows visible light rays for optical clarity without blocking the electromagnetic transmissions necessary for mobile

phone and sensor communication. Solar absorbing glass realized Solar Control Film protects the driver and passengers because the cabin stays cooler and your skin does not burn. [6]

a- Solar PVB Glass Advantages

Solar Windshield Glass is a way to reduce your carbon footprint, as well as make your vehicle more energy efficient. The other benefits :

- Reduction in the need for air conditioning
- Reduction in the need for defrosters and wiper blades
- Reduction in the need for headlights and batteries

b- Solar PVB Glass Disadvantages

- Can be more expensive than traditional glass, depending on the quality of PVB, and installation process.
- Can be more difficult or cost to repair or replace if damaged or cracked.
- According design constrains Solar glass panels must be installed in positions that **maximize solar exposure**—typically the roof or sunroof. However, design limitations, aesthetics, and roof geometry can reduce effectiveness. Additionally, shading from roof racks, parked locations, or interior components can significantly lower energy output due to the sensitivity of PV cells to partial shading.

In conclusion the integration of athermic and solar glass technologies in modern vehicles represents a significant advancement in material science and energy management. Athermic glass, through the use of multi-layered coatings—often incorporating materials like silver, indium tin oxide (ITO), or titanium dioxide—selectively reflects infrared (IR) radiation while maintaining high visible light transmittance. This selective spectral filtering not only reduces thermal load but also improves HVAC efficiency, resulting in measurable fuel or battery savings.

As vehicle architecture becomes increasingly electrified and thermally complex, the application of advanced functional glazing such as athermic and solar glass is not only desirable but necessary. These technologies exemplify how smart materials can directly influence energy efficiency, occupant comfort, and environmental impact—key parameters in the development of next-generation automotive platforms.

ISBN: 978-625-372-661-4

RESOURCES

https://www.s-lecfilm.com/en/solar-auto/
https://asapwindscreen.co.uk/blog/athermic-windscreens/
https://eclat-digital.com/visualization-of-car-windshields/

John Rugh, Larry Chaney, Laurie Ramroth,, Travis Venson 'Impact of Solar Control PVB Glass on Vehicle Interior Temperatures , Air – Conditioning Capacity, Fuel Consumption and Vehicle Range' , August 2013

J. O. Aguilar1,*, J. M. Rodríguez-Lelis2, M. Carrasco de la Fuente1, C. López-Mata1, J. A. Arellano-Cabrera2 and F. Chan 'Impact of Solar Control PVB Glass on Vehicle Interior Temperatures, Air-Conditioning Capacity, Fuel Consumption, and Vehicle Range' , February 2012

https://www.s-lecfilm.com/en/solar-auto/

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

DYNAMİC INTERACTİON AND SEİSMİC MİTİGATİON OF ADJACENT BUİLDİNGS WİTH TUNED MASS DAMPERS

Ibrahim OZ[1]

Abstract

Seismic pounding between adjacent buildings is a serious issue in urban environments, especially when separation distances are inadequate or based on outdated design standards. This study evaluates the effectiveness of tuned mass dampers (TMDs) in mitigating pounding effects between two mid-rise reinforced concrete buildings with four and six stories. The buildings were modeled in SAP2000 using nonlinear elements and soil-structure interaction effects representative of ZD soil type. The separation gap was defined according to the simplified provisions of the Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018), which proved insufficient due to a period ratio greater than 1.25.

The pounding mechanism was simulated using the Kelvin impact model, which includes gap elements, springs, and dampers to realistically represent contact behavior. TMDs were tuned to the fundamental modes of the structures, with a mass ratio of 7% and damping ratio of 15%. Nonlinear time history analyses were conducted under seven bidirectional ground motions to compare structural performance with and without TMDs.

This study concludes that TMDs are effective in mitigating seismic pounding effects and enhancing the seismic performance of adjacent structures. Their success depends on proper tuning and dynamic compatibility with the building's primary vibration mode. The findings suggest that TMDs are a practical and efficient strategy for retrofitting closely spaced buildings in earthquake-prone areas.

Keywords: Tuned Mass Dampers, Seismic Pounding, Reinforced Concrete Structures

[1] Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Kirsehir Ahi Evran Univ., Kırsehir 40100, Turkey. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3152-3675. Email: ibrahim.oz@ahievran.edu.tr

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Introduction

Although current seismic codes impose minimum separation distances between adjacent buildings in densely populated areas, these regulations are often not fully implemented due to architectural preferences and land constraints (Oz, 2025). Furthermore, older codes did not account for seismic pounding, and therefore, many existing buildings, particularly those designed according to outdated regulations, remain vulnerable to such interactions.

With the introduction of updated seismic codes, studies addressing the minimum required gap to prevent pounding have gained momentum (Kamal and Inel, 2021). These studies consistently highlight that the separation distances provided between adjacent structures are generally inadequate, and that seismic pounding significantly alters the dynamic characteristics of buildings and can considerably worsen their damage states (Kamal and Inel, 2021). Moreover, recent research continues to explore the minimum gap that should be maintained between buildings, offering various approaches and formulations (Oz, 2025; Kamal et al., 2022). These findings collectively indicate that pounding is often unavoidable in cases where buildings are constructed with insufficient separation.

In addition, it is well established that soil-structure interaction (SSI) can alter the dynamic properties of buildings, typically leading to an increase in their fundamental periods (Sharma et al., 2018). To mitigate seismic demands on structures, the use of vibration control devices has been studied as far back as the early 1900s (Soto and Adeli, 2013). Among these, the tuned mass damper (TMD) is one of the oldest systems, having been used for over a century in engineering structures for vibration control. Its application in buildings dates back to 1977 (McNamara, 1977; Sladek and Klinger, 1983), making it a long-established technique for enhancing seismic performance.

This study investigates the seismic pounding behavior of two reinforced concrete buildings—one 4-story and the other 6-story—constructed on a soil type ZD (Vs30 = 200 m/s), with an initial separation based on the simplified method prescribed by code. The objective is to evaluate the effectiveness of tuned mass dampers in mitigating seismic pounding effects.

2.Materials and Methods

2.1 Structural Models

Two reinforced concrete buildings were modeled with a separation distance calculated based on the simplified provision outlined in the Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018), which does not require dynamic analysis for determining seismic separation. According to this provision, “The minimum separation gap shall be at least 30 mm up to a height of 6 meters, and an additional 10 mm shall be added for every subsequent 3 meters of height.” As the buildings in this study have 4 and 6 stories, the gap between them was set to 60 mm. The plan view of the seismic pounding model is presented in Fig. 1.

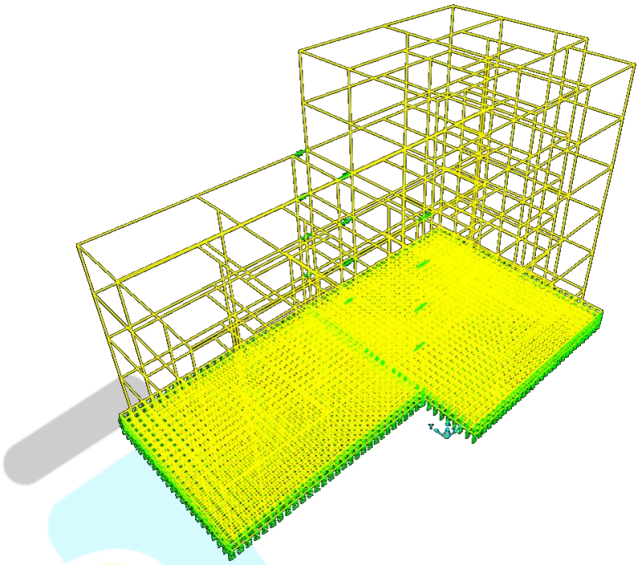


Figure 1. *Computer model of seismic pounding.*

The story height of both buildings was taken as 3 meters, and seismic pounding was assumed to occur at floor levels. In the structural design, the response modification factor (R) was taken as 7 due to the presence of structural shear walls in the reinforced concrete buildings, while the importance factor (I) was considered as 1. The slab thickness was assumed to be 12 cm, and a separate slab model was not created. In other words, the slabs were modeled as loads transferred directly to the supporting beams.

Live loads and dead loads were taken as 200 kg/m² each in the building design. The P-Δ effects were also included in the analyses. The modeling approach for the beam–column joint rigid offsets followed the method proposed by Abdel Raheem et al. (2018), where all beam and column members were connected via rigid offsets equal in length to the depth of the framing members. Rigid diaphragm behavior was assumed at the slab levels. The contribution of infill walls to the global stiffness was neglected, based on the assumption that such elements would separate from the structural system during the initial phases of seismic excitation. However, to account for the additional mass due to infill walls, a distributed load of 190 kg/m was applied to the relevant beams.

Reduced effective moments of inertia (I_{eff}), as defined by the seismic code, were assigned to the reinforced concrete elements: 0.7I for columns, 0.35I for beams, and 0.5I for shear walls. Column cross-sections varied between the models: 30×30 cm for the 4-story building, and 40×30 or 30×40 cm for the 6-story building. Beam cross-sections were 25×50 cm in both models. The seismic design of the two buildings was performed separately in accordance with code provisions. The reinforcement ratios ranged between 1.15% and 1.65% for beams and columns, while a ratio of 0.2% was assumed for the shear walls. No reduction in the effective cross-sectional area of structural members was made. Since the direction of adjacency and potential pounding was along the X-axis, the fundamental periods in the X direction for both buildings on type ZD soil (Vs30 = 200 m/s) are given in Table 1. This table also includes the seismic weights (G + nQ) and the maximum axial load ratios.

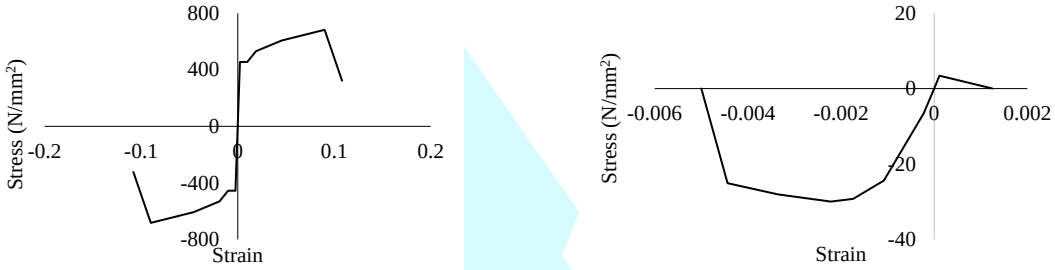
Table 1. *Structural informations.*

Story No	Tx	Seismic Weight (Ton.f)	%N
4	1.059	931.3	29.34%
6	1.483	2336.9	40.98%

Since the period ratio of the two buildings investigated in this study is T_6-story/T_4-story = 1.483/1.059 ≈ 1.4, the seismic separation distance prescribed by TBEC-2018 is considered insufficient for preventing pounding. This aligns with the findings of Kamal and Inel (2022), which indicate that when the period ratio between adjacent buildings exceeds 1.25, the code-provided separation is generally inadequate to prevent seismic collisions.

The 3D models of the buildings were developed using SAP2000 version 23.3.1, a versatile structural analysis software widely used in academic and engineering applications. To represent the nonlinear behavior of reinforced concrete elements, lumped fiber hinge elements were employed. These elements incorporate the nonlinear material properties directly, and assigning such hinges at both ends of each member is considered sufficient to capture the flexural behavior of the element (Carvalho et al., 2013). The hinge lengths were defined as 0.5h of the respective member cross-sectional dimension in the bending direction.

The material properties used in the models were as follows: concrete compressive strength was assumed to be 30 MPa, and the yield strength of reinforcing steel was taken as 420 MPa. The stress-strain relationships used in the models are illustrated in Fig. 2.



(a) (b)

***Figure 2**. Material properties of: (a) reinforcement; and (b) concrete.*

2.2 Adjacent structure models

In their study, Çaycı and Akpınar (2021) emphasized that seismic pounding between adjacent buildings may occur either between floor slabs or between a floor slab and a column, and these cases exhibit different dynamic behaviors. In the present study, both buildings have a story height of 3 meters, and pounding is assumed to occur between the floor slabs of the adjacent buildings.

Given the period ratio of 1.4 between the two buildings, seismic interaction is expected to take place. The Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018) provides two formulas—Eq. (1) and Eq. (2)—to estimate the required separation distance between adjacent buildings. According to the code, the larger of the two values obtained from these equations should be considered as the minimum separation gap.

In this study, only the value obtained from Eq. (2), which yields a gap distance of 50 mm ((12–6)/3)+3=5, was considered for modeling purposes. The plan view of the gap elements used in the pounding model is presented in Fig. 3.

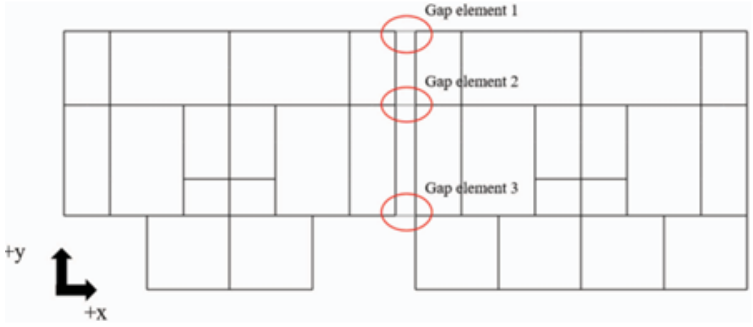


***Figure 3**. Plan view of gap elements*

$$d_1 = \alpha\sqrt{u1^2 + u2^2} \quad (1)$$

$$d_2 = \frac{(H-6)}{3} + 3 \quad (2)$$

The seismic pounding models with and without tuned mass dampers (TMDs), referred to as controlled and uncontrolled models, respectively, were developed in the SAP2000 software. To represent the interaction between adjacent buildings, the Kelvin model was adopted. In this model, the separation gap between buildings is simulated by defining linear springs, viscous dampers, and gap elements, which collectively capture the seismic pounding behavior.

This modeling approach allows for representation of energy dissipation that typically occurs during real-life seismic collisions. In the simulations, the gap elements are only active in compression. In other words, if the relative displacement demand between the two buildings, (u_1 - u_2), is less than the separation distance (d), the gap element remains inactive. Conversely, if the displacement exceeds the separation, the spring becomes active and dissipates energy through compression. The mathematical formulation of the gap element behavior is given in Eqs. (3), (4), and (5). Since both buildings have equal story heights (3 meters) and are modeled with rigid diaphragm assumptions, the pounding behavior is assumed to occur between two rigid bodies. Therefore, the stiffness of the contact spring must be greater than the axial stiffness of the colliding floor levels (Jankowski, 2005). For this reason, the spring stiffness was defined as 1×10^{10} N/m in the numerical simulations (Farghaly, 2017). The damping coefficient (c) of the viscous element depends on the masses of the adjacent buildings (m_1 and m_2), the spring stiffness (k), and the energy efficiency coefficient (e). A representative schematic of the impact elements is illustrated in Fig. 4.

$$c = \xi\sqrt{k\frac{m1m2}{m1+m2}} \quad (3)$$

$$\xi = -\frac{\ln(e)}{\sqrt{(\pi^2+\ln(e))^2}} \quad (4)$$

$$F(t) = \begin{cases} k(u1-u2-d) + c(u1-u2), & (u1-u2 \geq d) \\ 0, & (u1-u2 < d) \end{cases} \quad (5)$$

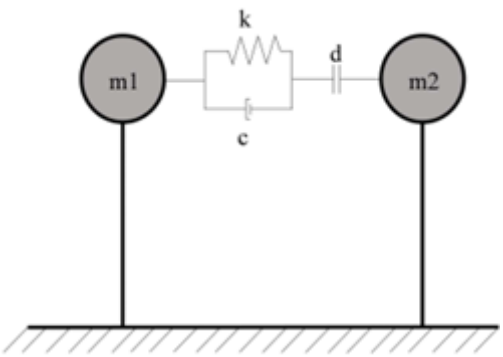


***Figure 4**. Impact elements*

2.3 Modelling of tuned mass dampers

In this study, conventional tuned mass damper (TMD) systems were employed. The mathematical formulations corresponding to these systems are presented between Eq. (6) and Eq. (9). where μ represents the ratio of the TMD mass (m_d) to structural mass (m_s), k_s is stiffness of the structure, k_d and cd are the stiffness and damping coefficient of the damper, ξ_d is the damping ratio of the TMD and γ is the ratio of the frequency of the TMD (ω_d) to the frequency of the structure (ω_s).

$$\mu = \frac{m_d}{m_s} \tag{6}$$

$$\omega_d^2 = \frac{k_d}{m_d} \tag{7}$$

$$\xi_d = \frac{c_d}{2\omega_d m_d} \tag{8}$$

$$\gamma = \frac{\omega_d}{\omega_s} \tag{9}$$

Within the scope of this study, the damping ratio of the TMD was taken as 15%, and the TMD mass was considered as 7% of the total structural mass. The frequency ratio (gamma) was found to be approximately 96.67% for both models. The calculated TMD stiffness and damping coefficients, along with the corresponding frequency ratios, are presented in Table 2. The implementation of the TMD system on both buildings is illustrated in Fig. 5.

Table 2. *Properties of used TMDs*

Story No	K kN/m	C kN sec/m
6	2744.243	201.000
4	2165.156	112.710

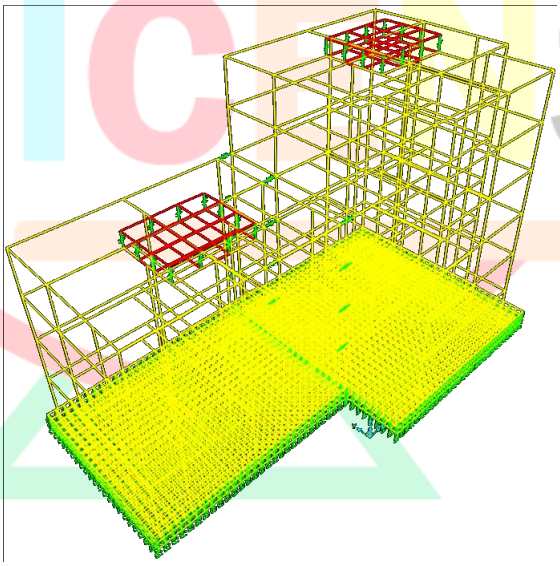


Figure 5*. Pounding model with TMD*

3.Results and Discussion

The results obtained from the study are evaluated in this section. A total of seven bi-directional earthquake analyses were conducted. The response spectra of the selected ground motion records, along with their average spectrum, are presented in Fig. 6.

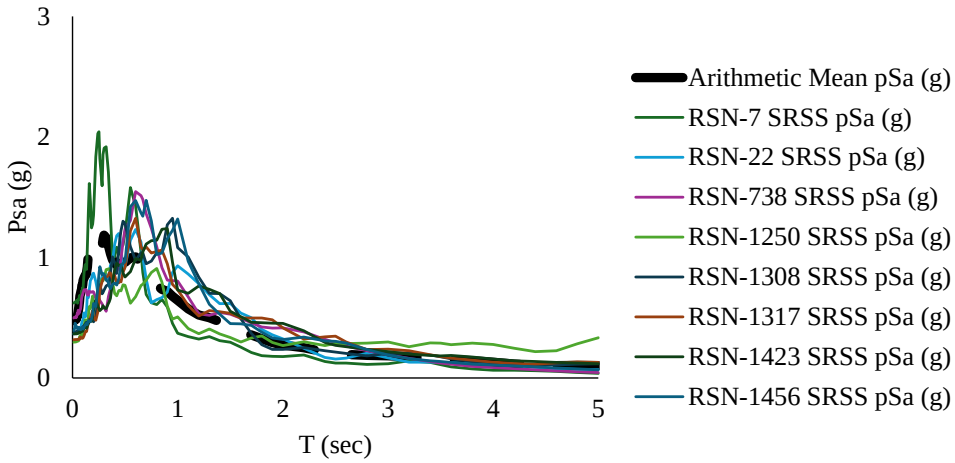


Figure 6. Spectrums of the selected accelerations.

The damage states of the buildings obtained from the nonlinear time history analyses are presented in Fig. 7. As illustrated in the figure, the number of elements reaching their capacity is significantly lower in the TMD-controlled system compared to the uncontrolled building. Another important observation is that, in the TMD-equipped model, columns generally remain within moderate damage levels, whereas in the uncontrolled pounding model, particularly the columns at the lower stories exhibit severe damage or even reach collapse levels.

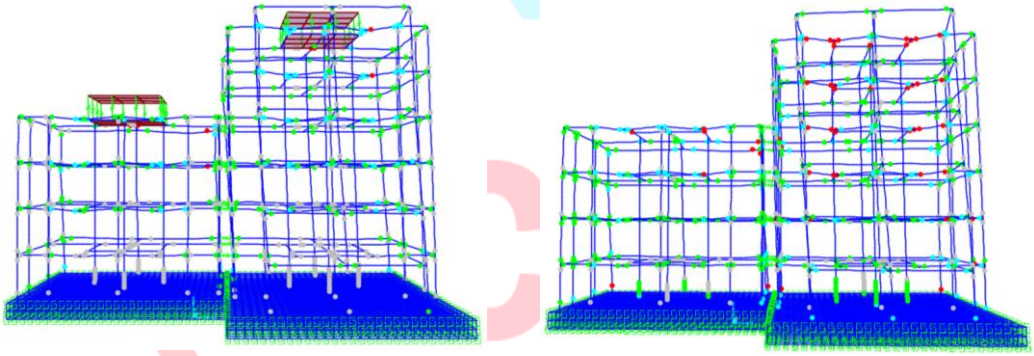


Figure 7*. Damage states of two compared models.*

For the conducted analyses, the roof displacement–time histories for the RSN1250 ground motion are plotted in Fig. 8. As can be observed from the figure, displacement control systems significantly reduce displacement demands in reinforced concrete buildings.

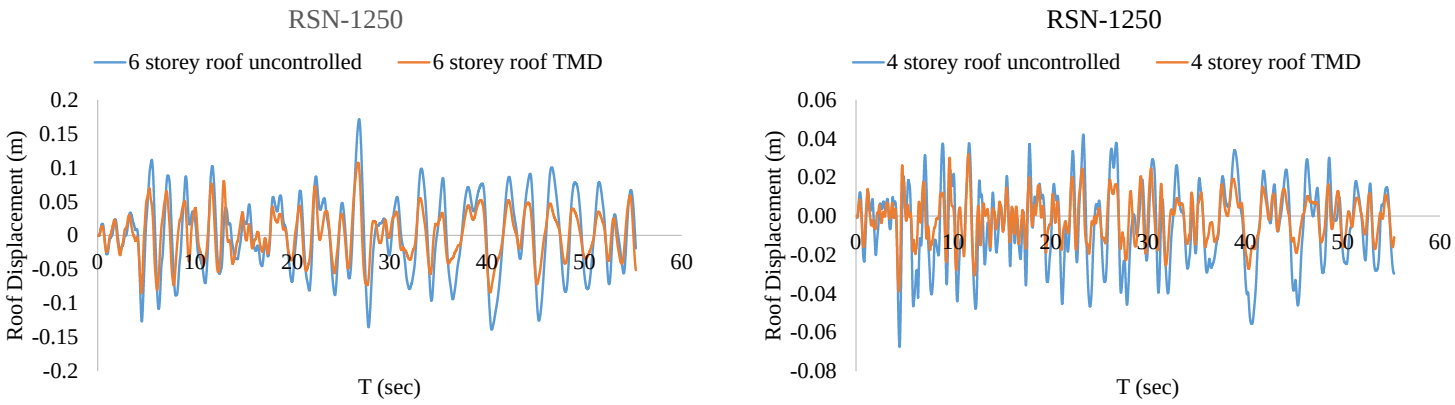


Figure 8. Displacement histories for RSN-1250

The maximum roof displacements obtained from the nonlinear time history analyses are summarized in Table 1. As seen in the table, the application of Tuned Mass Dampers (TMDs) significantly reduces displacement demands in both the 4-story and 6-story buildings under all ground motion records. For example, in the case of RSN-1250, the roof displacement decreased from 0.17 m to 0.11 m for the 6-story building, and from 0.07 m to 0.04 m for the 4-story building. These reductions correspond to improvements of approximately 35% and 43%, respectively, indicating the efficiency of TMDs in mitigating seismic demands.

***Table 1**. Maximum roof drifts of structures for analyzed cases.*

	Roof Displacement (m)	
	6 storey	**4 strorey**
RSN-22-UNC	0.11	0.07
RSN-22-TMD	0.08	0.04
RSN-738-UNC	0.14	0.08
RSN-738-TMD	0.10	0.06
RSN-1250-UNC	0.17	0.07
RSN-1250-TMD	0.11	0.04
RSN-1308-UNC	0.14	0.10
RSN-1308-TMD	0.11	0.06
RSN-1317-UNC	0.11	0.08
RSN-1317-TMD	0.08	0.05
RSN-1423-UNC	0.23	0.12
RSN-1423-TMD	0.17	0.07
RSN1456-UNC	0.20	0.13
RSN1456-TMD	0.17	0.09

Fig. 9 illustrates the time history plots of roof displacement under the ground motions. It is evident from the figure that the TMD-controlled models exhibit significantly lower displacement amplitudes compared to the uncontrolled cases.

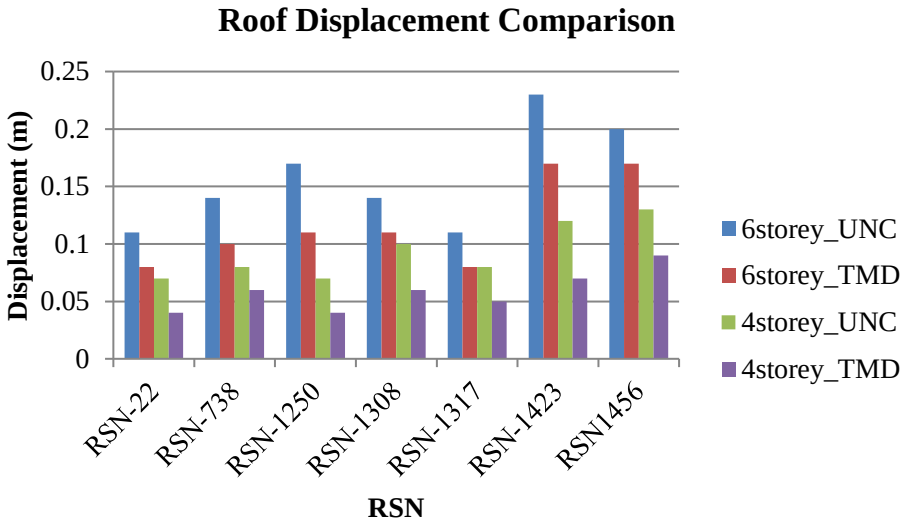


Figure 9. Comparison of roof displacements.

The percentage reduction values for each ground motion record are presented in Fig. 10. The plotted results clearly show that the 4-story building benefits more from the implementation of TMDs compared to the 6-story structure. In the 4-story model, displacement reductions ranged between 25% and 45%, whereas in the 6-story model, the values ranged from 15% to 35%. This disparity may be attributed to the degree of dynamic compatibility between the TMD and the fundamental vibration mode of each structure, as well as differences in mass and stiffness distribution.

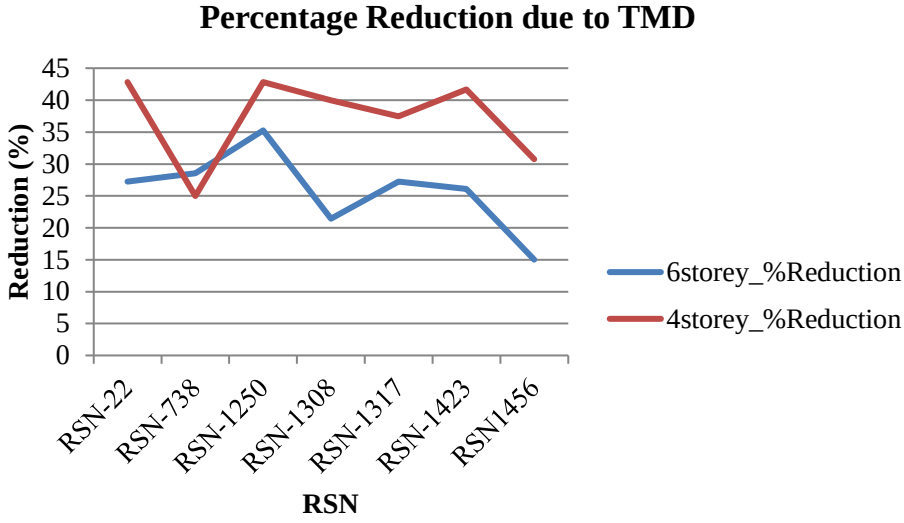


Figure 10. Reduction percentages of TMS systems

4.Conclusions

In this study, the seismic pounding behavior of two adjacent reinforced concrete buildings was investigated under various ground motion records. The effectiveness of tuned mass dampers (TMDs) in mitigating pounding-induced seismic demands was evaluated through nonlinear time history analyses using detailed numerical models. The comparison was made between uncontrolled and TMD-controlled configurations. Based on the analyses conducted, the key findings are summarized below:

The application of tuned mass dampers (TMDs) led to substantial reductions in roof displacement for both the 4-story and 6-story buildings. The average displacement reductions ranged from 15 to 43 percent depending on the building height and ground motion characteristics, confirming the efficiency of TMDs in controlling structural responses.

Nonlinear time history analyses demonstrated that TMD-equipped structures experienced fewer and less severe damage states. In the uncontrolled models, lower-story columns were more susceptible to severe damage or collapse, while the TMD-controlled models generally limited column damage to moderate levels.

The 4-story building experienced higher displacement reductions compared to the 6-story building. This outcome can be attributed to better tuning compatibility between the TMD and the primary vibration mode of the shorter structure, indicating that TMD performance is sensitive to structural dynamics.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Kamal, M., & İnel, M. (2021). Required separation distance for reinforced concrete buildings with seismic pounding potential. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences-Pamukkale Universitesi Muhendislik Bilimleri Dergisi.

Oz, I. (2025). Seismic Pounding Effects of Typical Midrise Reinforced Concrete Structures Subjected to Soil–Structure Interaction Effects. *Journal of Structural Engineering*, *151*(2), 05024005.

Kamal, M., & İnel, M. (2021). Effects of pounding on displacement demands in mid-rise RC buildings. *Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences-Pamukkale Universitesi Muhendislik Bilimleri Dergisi*.

Kamal, M., Inel, M., & Cayci, B. T. (2022). Seismic behavior of mid-rise reinforced concrete adjacent buildings considering soil-structure interaction. *Journal of Building Engineering*, *51*, 104296.

Sharma, N., Dasgupta, K., & Dey, A. (2018). A state-of-the-art review on seismic SSI studies on building structures. *Innovative Infrastructure Solutions*, *3*, 1-16.

Gutierrez Soto, M., & Adeli, H. (2013). Tuned mass dampers. *Archives of Computational Methods in Engineering*, *20*, 419-431.

McNamara, R. J. (1977). Tuned mass dampers for buildings. *Journal of the Structural Division*, *103*(9), 1785-1798.

Sladek, J. R., & Klingner, R. E. (1983). Effect of tuned-mass dampers on seismic response. *Journal of structural engineering*, *109*(8), 2004-2009.

TBEC. 2018. Turkish Seismic Earthquake Code.

Abdel Raheem,S. A., M.Omar,A.K.AbdelZaher,andA.M.Taha.2018a. “Effects of numerical modeling simplification on seismic design of buildings.” Coupled Syst. Mech. 7 (6): 731–753. https://doi.org/10 .12989/csm.2018.7.6.731.

Kamal, M., and M. Inel. 2022. “Simplified approaches for estimation of required seismic separation distance between adjacent reinforced concrete buildings.” Eng. Struct. 252 (Feb): 113610. https://doi.org/10 .1016/j.engstruct.2021.113610.

Carvalho, G., R. Bento, and C. Bhatt. 2013. “Nonlinear static and dynamic analyses of reinforced concrete buildings—Comparison of different modelling approaches.” Earthquakes Struct. 4 (5): 451–470. https://doi .org/10.12989/eas.2013.4.5.451

Cayci, B. T., and M. Akpinar. 2021. “Seismic pounding effects on typical building structures considering soil-structure interaction.” In Vol. 34 of Structures, 1858–1871. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. https://doi .org/10.1016/j.istruc.2021.08.133.

Jankowski, R. 2005. “Non-linear viscoelastic modelling of earthquake induced structural pounding.” Earthquake Eng. Struct. Dyn. 34 (6): 595–611. https://doi.org/10.1002/eqe.434.

Farghaly, A. A. 2017. “Seismic analysis of adjacent buildings subjected to double pounding considering soil–structure interaction.” Int. J. Adv. Struct. Eng. 9 (1): 51–62. https://doi.org/10.1007/s40091-017-0148-y

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

A DESİGN APPROACH TO PREVENT THE RİSK OF LEAKAGE ON THE FUEL LİNE DURİNG A COLLİSİON

İlkay SARITAŞ[1]
Fırat ARAS[2]

Abstract

The rapid increase in the number of vehicles on the road significantly raises the risk of accidents, particularly frontal collisions. These collisions can cause severe damage to the fuel lines of internal combustion vehicles, posing risks of explosions and fires. To mitigate these risks, several protective measures are employed. One approach to improve safety is to reinforce fuel pipes using high-strength materials. This allows the pipes to withstand impact forces during a crash and prevent rupture. In addition, protective components such as shields can be added to protect the fuel lines from direct impact. These components act as energy absorbers, reducing the force transmitted to the pipes. Repositioning the fuel lines can also be considered as an alternative solution. In this study, a design modification that forces structures which may contact the fuel pipes during a crash to change direction has been investigated. By altering the direction of force, this modification significantly reduces the likelihood of fuel line damage. The modification involves changing the design of the engine body to ensure that any structures that could potentially encounter the fuel lines are redirected away from them during a collision. All these comprehensive measures aim to improve the safety of internal combustion engine vehicles by reducing fuel line damage and associated hazards. Through these strategies, vehicle safety can be enhanced, and the risk of fire and explosion can be minimized.

Keywords: Finite Element Analysis (FEA), Frontal Crash, Fuel Line Protection, Fuel Leakage, Collision

[1] Virtual Analysis Enginer,TOFAS, Orcıd:
[2] Senior Technical Specialist, TOFAS, Orcıd:

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Introduction

Today, numerous vehicle accidents occur annually. These accidents can result from collisions between two or more vehicles or a vehicle and a stationary object. Vehicles generally experience frontal, rear, or side collisions. [1]Webb, W. S., (2025) Each accident results in damage to the structures within the vehicle. Particularly in frontal collisions, damage to the fuel lines of vehicles with internal combustion engines can lead to risks such as explosions and fires.[2] To address this, vehicle manufacturers develop protective structures to safeguard fuel lines during frontal collisions. These protective structures significantly increase production costs and weight. Therefore, alternative methods to protect fuel lines are necessary to reduce both costs and risks.

2. FMVSS 208 Full Rigid Frontal Impact

The test involves a vehicle crashing into a completely flat and rigid barrier at a speed of 56 km/h, with the entire front surface of the vehicle making contact. The primary purpose of the full rigid frontal crash test is to evaluate how well the vehicle's passenger cabin can protect occupants during frontal collisions and ensure their safety.[3] TP208-14(April 16, 2008)

Additionally, this test assesses the safety of fuel systems that could pose a risk of fire and explosion. After the test, the integrity of the fuel systems and whether they leak is evaluated. Fuel leakage is measured for a specific period (typically 5 minutes) after the collision. The fuel leakage must remain below a certain limit (usually less than 28 grams).[4] TP301R-02-(January 17, 2007)

Vehicle manufacturers develop various approaches and designs to protect these systems.

Figure 1 *depicts FMVSS 208 full flat test condition.* ***Figure 2*** *illustrates the damage to the fuel line following a frontal collision.*

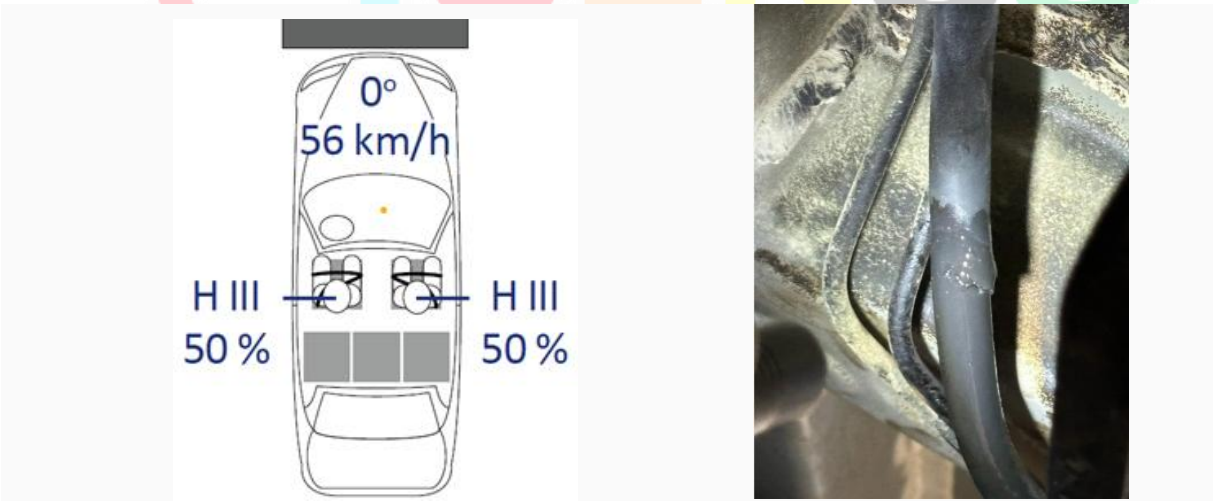


Figure 1

Figure 2

3. Existing Protective Methods

There are several existing applications for the protection of fuel lines. The primary method involves covering fuel pipes with protective structures to prevent cutting, crushing, and other damage during collisions. Among the various covering techniques, one involves the addition of silicone-coated hoses to the fuel lines. If one of these lines bursts or breaks, the Silicone-Coated Hose prevents fuel from splashing or dripping onto hot surfaces such as the exhaust manifold or turbocharger. This method only protects the pipes; however, connectors and other connection components may still pose a risk. [5] **Figure 3** illustrates a silicone-coated pipe.



Figure 3

Another method involves adding protective brackets to safeguard structures that may be damaged. These structures, illustrated in Figures 4 and 5, are designed to absorb the initial impact and prevent contact with critical components by covering them. Typically, they are made of steel sheet metal. During an accident, fuel lines are protected by these brackets, thereby minimizing damage to the lines. However, adding these structures is costly and may not always fit within the necessary design space. Additionally, it may increase the vehicle's mass.[6] Wenting HU, Jingxi YAN(2015)



Figure 4



Figure 5

In cases where protective structures cannot solve the problem, rerouting the fuel lines may be a solution. However, changing the route of the fuel line is quite challenging as it can affect the positioning of other fuel system components.[7] Wayne Scraba(2020)

4.Finite Element Method for Model Creation

Evaluated the performance of our method using the finite element method. To achieve results closest to physical tests, we prepared a full-scale vehicle crash simulation. Our analysis model includes various component groups and necessary connection elements to ensure proper

functioning. The model simulates a collision with a rigid barrier at 56 km/h, the speed most likely to cause significant damage in physical tests. The main vehicle structures used in our model include:

- Engine Block
- Fuel Pipes
- Fuel Tank
- Body and Doors

We used pre-post software for finite element model preparation. Crash analyses were solved using the explicit method with software developed for collision simulation. The full-scale vehicle model consists of approximately 16 million elements. The full-scale vehicle model was positioned to ensure full overlap with the barrier's front face, and the vehicle was simulated to collide with the rigid barrier at 56 km/h.

5. Approach and Results

In frontal collision accidents, the structures located at the front of the vehicle become deformed. The engine block occupies a significant portion of the front section of the vehicle. Consequently, during high-speed collisions, the movement of the engine assembly causes the fuel lines situated above the engine block to become trapped between the BIW and the engine block, leading to deformation such as crushing, clamping and cutting. Therefore, protective measures must be implemented to safeguard the fuel lines. To simulate these accidents, a simulation model was created as shown in Figure 6.

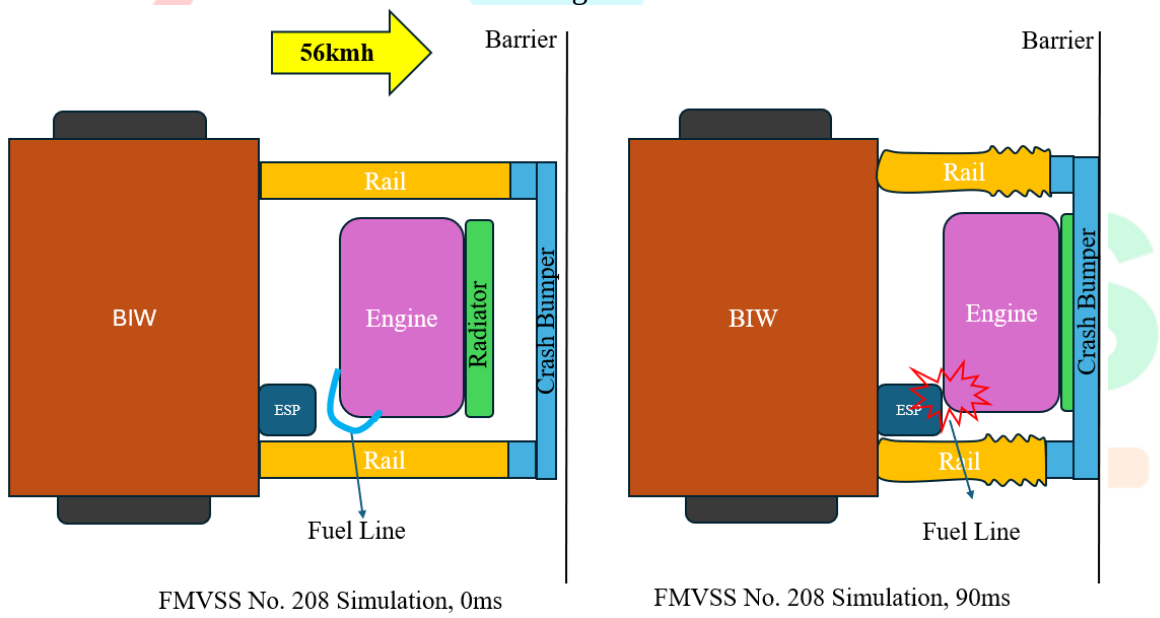


Figure 6

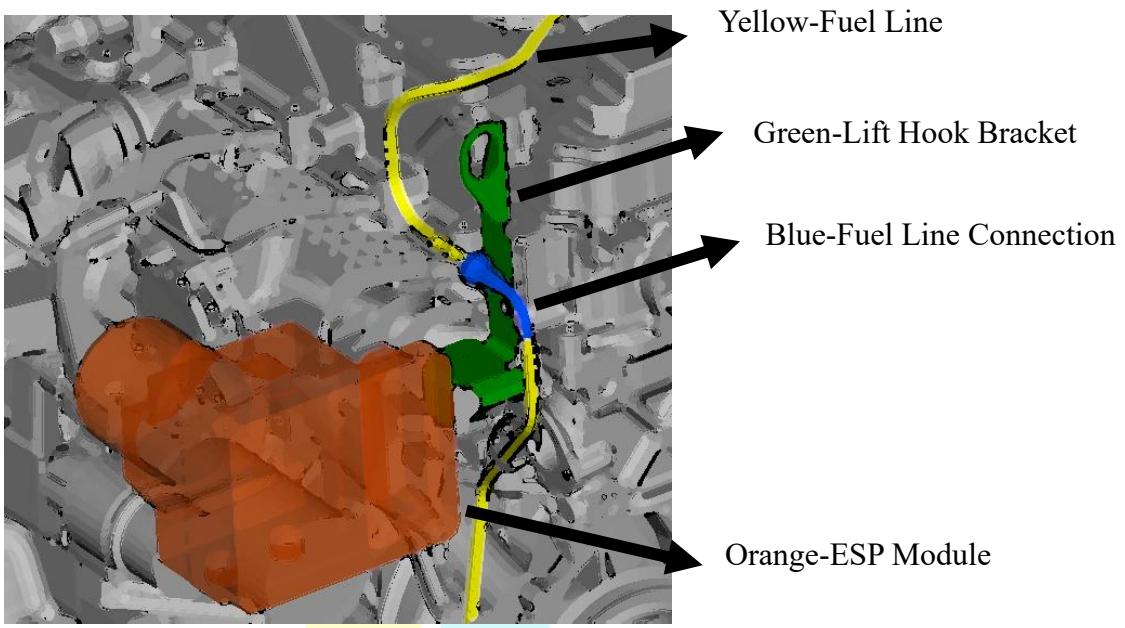


Figure 7

In the mentioned approach, it is aimed to move the rigid structures positioned on the body, which compress the risky fuel pipes positioned on the engine block, away from the risky area during the collision with simple design modifications.

In this context, an example study observed that the fuel line connection becomes trapped between the ESP unit and the engine block during a frontal collision, posing a risk. To address this issue, the upper part of the lifting hook bracket, which currently has no impact on crash performance, was extended and angled. This modification redirects the movement of the ESP module away from the fuel line during a collision. Figure 8 illustrates the changes made.

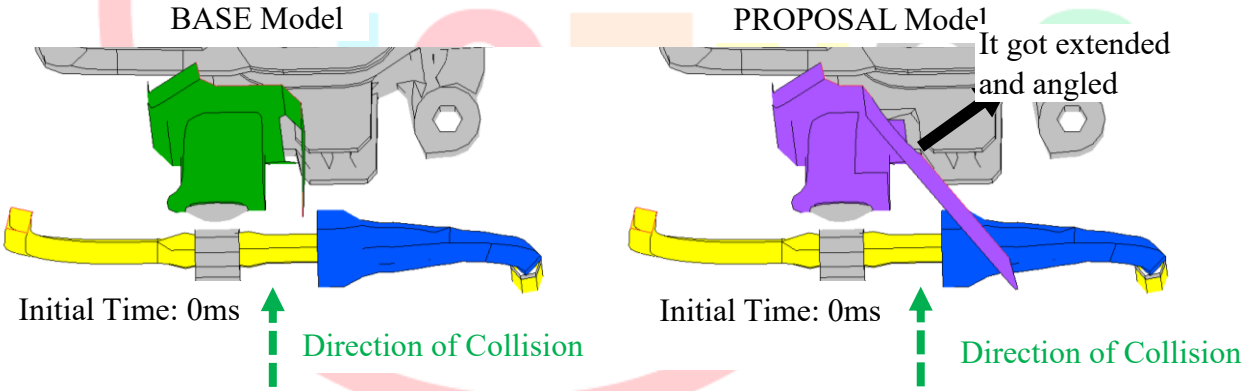


Figure 8

Figure 9 shows the redirection of the ESP module. In the base model, the connection is damaged, whereas in the proposed model, the ESP module is moved away from the danger zone. This method eliminates the risk without requiring additional protective structures.

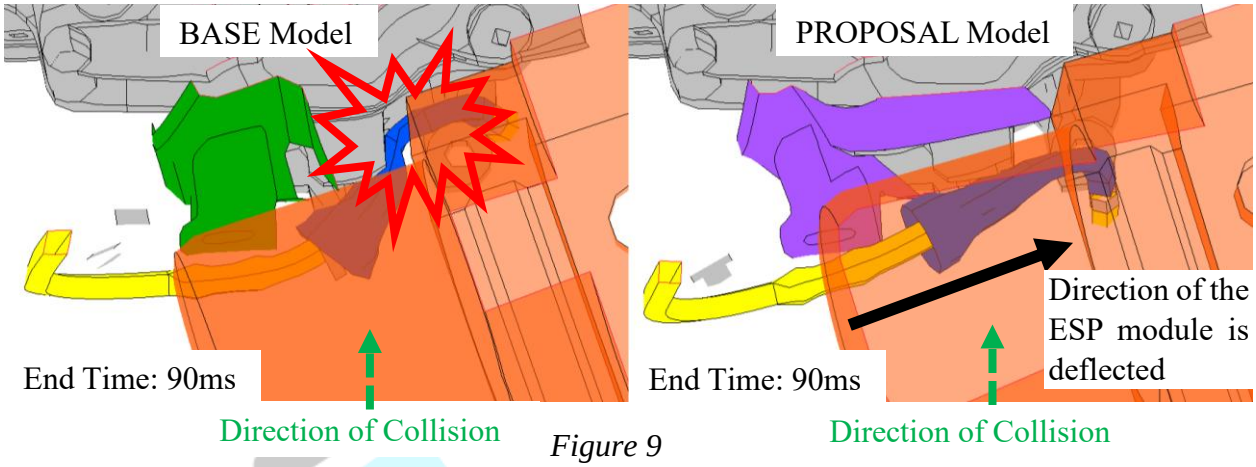


Figure 9

To better understand the results, Figure 10 measures and compares the contact force on the fuel line connection during a collision. The blue curve represents the contact force in the base model, while the red curve shows the contact force after the bracket modification. As seen in the graph, the contact force is minimized, and the risk is eliminated.

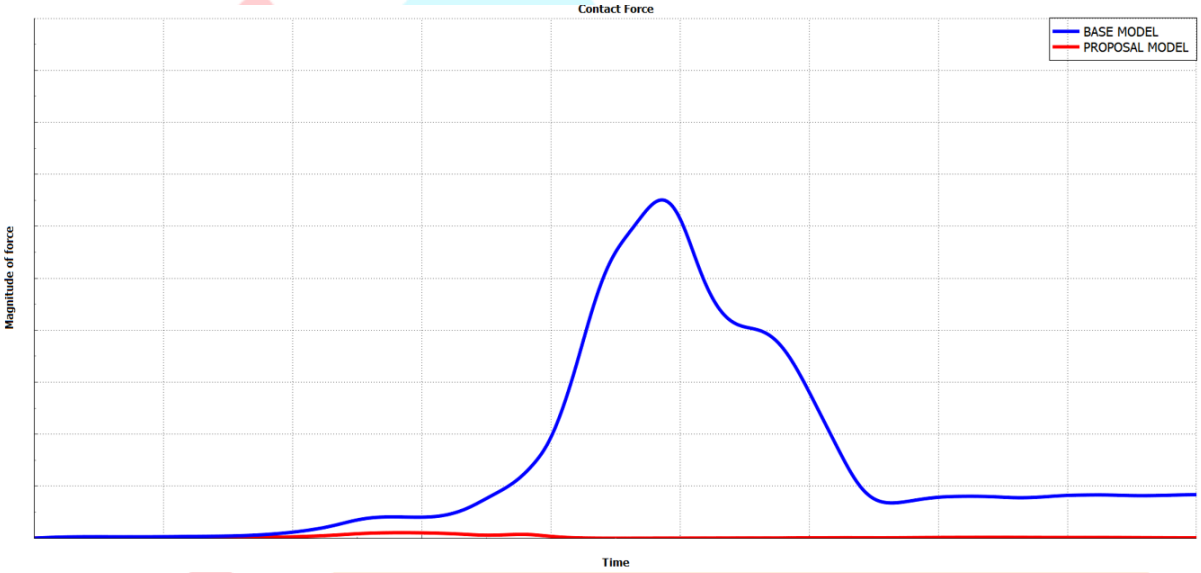


Figure 10

In summary, a component that could cause damage during a collision was identified, its movement direction was determined, and its direction was altered by simply modifying the design of an existing bracket. Thus, the movement axis of the risky structure was moved away from the danger zone, and a protective method was developed with minimal effort.

6. Conclusion

In vehicles equipped with internal combustion engines, frontal collisions can compromise fuel systems, thereby increasing the risk of explosions and fires. To mitigate these risks, various protective structures are employed. These methods encompass covering the fuel lines with protective structures, installing protective brackets on the fuel lines, or repositioning the fuel lines. However, for automotive manufacturers, implementing such structures leads to high costs, increases vehicle weight, and extends project timelines. As a result, there is a continuous search for simpler design solutions to address these challenges. Our study indicates that high collision forces can be partially redirected, thereby reducing the associated risks, through a straightforward design modification. This approach not only enhances safety but also offers a cost-effective alternative for manufacturers. By implementing this simple design

change, manufacturers can achieve a balance between safety and cost-efficiency, ultimately leading to more efficient project timelines and reduced overall expenses. Additionally, this modification can be integrated into existing vehicle designs with minimal disruption, making it a practical solution for improving vehicle safety without significant redesign efforts.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

[1]Webb, W. S., (2025), What are the most common types of car accidents? https://www.kraftlaw.com/car-accidents/types-of-car-accidents/

[2]What gets damaged in a front-end collision? (2025) https://wickliffeautobody.net/2024/07/19/what-gets-damaged-in-a-front-end-collision/

[3] U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration Laboratory Test Procedure For FMVSS 208, Occupant Crash Protection – TP208-14(April 16, 2008) (pp. 2-59)

[4] U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration Laboratory Test Procedure For FMVSS 301R, Fuel System Integrity- Rear Impact -TP301R-02-(January 17, 2007) (pp. 21)

[5]Fuel Line Silicone Coated Hose Protection(2025) https://www.advanceglobal.com.au/product/silicone-coated-hose/

[6] Wenting HU, Jingxi YAN,(2015), Design for Packaging and Crash Protection of Fuel Lines of Powertrain for Cars,(Master's Thesis) (pp. 7-27)

[7] Wayne Scraba,(2020), Fueling Around: Ideas for Routing Fuel Lines, https://www.onallcylinders.com/2020/07/16/fueling-around-ideas-for-routing-fuel-lines/

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

SEAT SİDE AİRBAG PERFORMANCE FACTORS

Kemal Can YARPUZOĞLU [1]

Abstract

Seat airbag systems are critical safety components designed to protect occupants, especially in side impact and rollover accidents. In cases such as side impact and passenger sliding, they prevent serious injuries by reducing the impact to the chest, head and hip area. In modern automobiles, airbags are an integral part of the overall safety concept and minimize the risk of injury in the event of a collision. Thanks to developing automotive safety technologies, seat airbags have evolved into faster-reacting, smarter and more effective systems, maximizing passenger safety.

The first airbag concepts were developed in the 1950s, and front airbags began to be included in vehicles in the 1970s. Seat airbags began to be used in luxury and safety-oriented vehicles towards the end of the 1990s. With developing sensor and software technologies, these systems have gained a structure that responds faster and provides wider protection.

In the application and protection of airbags to a vehicle, not only their presence and classical parameters, but also factors such as the passenger's posture or the use of seat belts are effective.

This report will discuss the critical characteristics and parameters that affect the performance of seat airbags, such as deployment time, shape, cushion folding method & style, cushion volume, internal pressure, protection area, and flying objects.

Keywords: Vehicle Crash, Airbag, Occupant Safety, Airbag Performance, Automotive Safety Systems, Seats, Seat Side Airbag

[1] Tasarım Uzmanı, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası AŞ, ARGE

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

With technological advancements, the automotive industry has taken significant steps to improve passenger safety. Among these developments, airbag systems that protect occupants during a crash stand out. In particular, seat airbags are highly sensitive systems designed to protect the driver and passengers during side impacts. The performance of these systems is determined by the combination of numerous factors such as material structure, manufacturing process, sensor algorithms, environmental conditions, and user-dependent variables. Additionally, engineering parameters such as seam characteristics of the airbag cover, force concentrator zones, and folding strategies have a direct impact on system performance.

The purpose of this paper is to analyze the fundamental engineering and physical parameters that affect the performance of seat airbag systems and to provide recommendations for the optimization of these systems.

Method

This study was prepared through a comprehensive literature review. In this review, systems developed by automotive manufacturers to improve airbag performance were examined. The information obtained was synthesized and used as the basis for this paper.

1. General Structure and Working Principle of Airbag Systems

Airbag systems are complex assemblies consisting of sensors, a gas generator, an airbag (fabric cushion), and a control unit. When integrated into the seat, this system is activated within milliseconds based on signals received from the sensors during a collision.

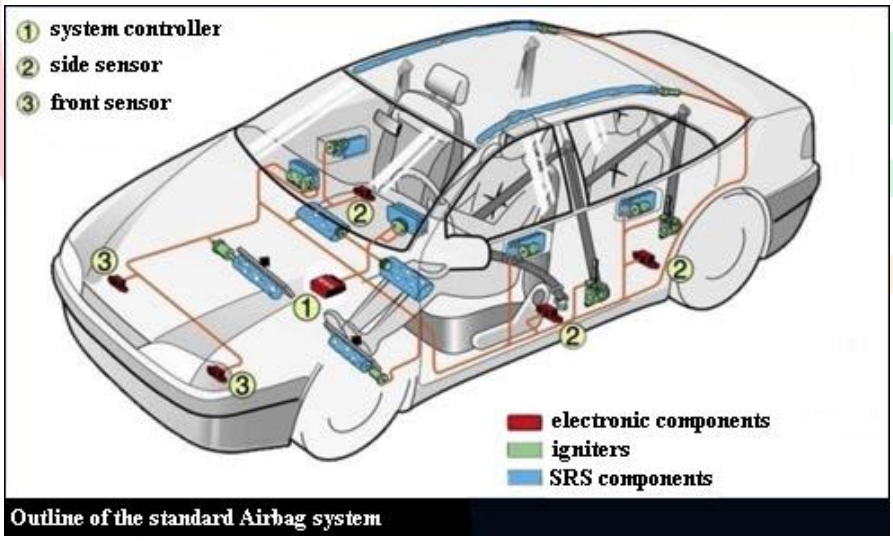


Figure 1. Vehicle Safety System Layout

Operational stages;

- Collision Detection: Accelerometers and impact sensors detect a sudden decrease in vehicle speed or an external impact and send a signal to the control unit.

- Inflation: Depending on the intensity of the signal, the control unit activates the appropriate gas generator. This generator produces gas through a high-temperature chemical reaction.
- Deployment: The generated gas inflates the airbag, which makes contact with the occupant and absorbs the impact.

Since seat airbags are primarily designed to provide protection against side impacts, they must deploy much faster and in a directional manner. Therefore, the response time of the gas generator and the folding design of the airbag are of critical importance.

2. Main Factors Affecting the Performance of Seat Side Airbags

2.1 Effect of the Foam

2.1.1. Foam Airbag Pocket Type and Foam Structure

One of the most critical factors affecting airbag performance in vehicle seat systems is the structure of the foam and the design of the airbag pocket within the foam. To ensure that the airbag inflates within the desired time and direction, the foam must have suitable mechanical properties, and the airbag pocket must provide adequate free space.

2.1.2. Foam Density and Hardness

Foam density directly affects the resistance encountered by the gas pressure during airbag deployment. In low-density foams, the airbag faces less resistance, whereas high-density and hard foams can delay the airbag deployment or alter its direction. Therefore, the optimal density and Shore hardness values should be defined to balance the airbag deployment performance. In harder foams, a barrier effect can also form, obstructing the airbag's expansion path.

2.1.3. Cellular Structure and Foam Type

Foams used in the automotive industry play a significant role, especially in seat systems, interior trim components, and NVH (Noise, Vibration, and Harshness) applications. These foams are generally classified into two main structures: open-cell and closed-cell. Each structure offers different performance characteristics and is selected based on the application area.

Open-cell foams allow air to flow through, enabling rapid deformation during airbag deployment. Closed-cell foams are less flexible and may increase gas compression. Therefore, open-cell structures are generally preferred in airbag regions to ensure more controlled deformation.

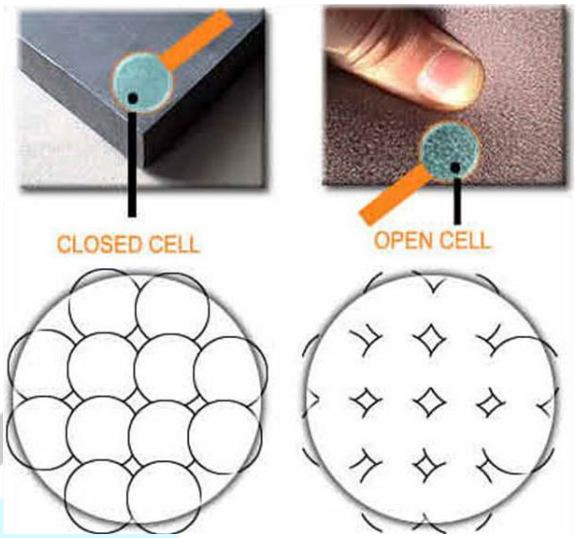


Figure 2. *Foam Cell Structure*

Open-cell foams allow airflow, enabling sudden deformations during airbag deployment. In contrast, closed-cell foams are less flexible and may increase gas compression. Therefore, open-cell structures are generally preferred in the airbag region to ensure more controlled deformation.

2.1.4. Airbag Pocket Type and Placement

The pocket structure in which the airbag is positioned within the foam must allow the airbag to inflate freely and deploy in the correct direction. Typically, two types of pocket structures are used;

- Window Foam Pocket: Created by a specially molded cavity within the foam. This structure ensures precise positioning of the airbag but is highly sensitive to production tolerances.
- Slit-Type Airbag Pocket: A cut or slit is made in the foam in the direction of airbag deployment. The airbag expands directly through this path. However, there is a risk of foam tearing or fragmenting during deployment.

The geometry of the pocket and the folded placement of the airbag directly affect the deployment direction and timing. Additionally, the size of the free space between the pocket and the airbag can influence delays or deviations during deployment.



Figure 3. *Foam Airbag Pocket Design*

2.2 Effect of the Seat Cover

For an airbag system to deploy successfully, the seat cover must be capable of tearing in a controlled manner and offer minimal resistance to the airbag. In this context, the seam structure and fabric properties of the seat cover are two key factors that directly affect the overall system performance.

2.2.1. Types and Characteristics of Weak Seams

A weak seam is a specially designed, tearable stitch system located in the airbag deployment area. The properties of the seam determine when and how the airbag will be released. The main types of weak seams are classified as follows;

- Straight Tear Seam: The most commonly used type. The thread strength is specifically selected to break under a predetermined load from airbag pressure.
- Overlock + Main Seam Combination: The overlock seam tears first, followed by the main seam. This provides a more aesthetic seat cover finish.
- Zigzag Stitch + Break Points (Break Stitch): Weak points are created at specific intervals, allowing for more controlled direction and sequence of deployment.
- Adhesive + Weak Stitch Hybrid Systems: Recently, some OEMs have implemented systems combining weak adhesive and low-strength stitching.

Parameters that affect seam properties;

- Thread Thickness and Type: Materials such as polyester or nylon have different tensile strengths.
- Stitch per Inch: Fewer stitches per inch result in easier tearing.
- Stitch Tension: Excessive tension can cause premature tearing.
- Stitch Direction: The alignment between the stitch direction and tear direction is crucial.

With an appropriate weak seam design, the airbag can deploy without delay and in the intended direction. Otherwise, the airbag may fail to tear the seam or deviate from its intended path.

2.2.2 Seat Cover Fabric Selection and Properties

The seat cover fabric is the first physical barrier encountered during airbag deployment. Therefore, its elasticity, thickness, tear strength, and surface coating are critically important. Fabric Types;

- Knitted Fabrics: Provide high flexibility and clean tearing; widely used in airbag applications.
- Woven Fabrics: More durable but harder to tear, thus requiring specially designed weak seams.
- Leather and Synthetic Leather Covers: Used for aesthetic reasons but offer high resistance to airbag deployment.

Effects of fabric properties;

- Thickness: Thicker fabrics extend deployment time and increase the required tearing force.
- Coating Type (PU, PVC, etc.): Coatings increase tear resistance; uncoated surfaces allow easier airbag deployment.
- Directional Elasticity: The stretchability of the fabric along the weave direction should be optimized for the direction of tearing.

With proper fabric selection, both aesthetic and safety performance can be achieved. Special surface treatments or low-resistance coating zones can be applied in areas where the airbag contacts the fabric to improve deployment performance.

2.3. Effect of the Airbag Module Characteristics

The success of an airbag system depends not only on the seat structure and stitching parameters but also on the characteristics of the airbag module itself. This section examines the effects of airbag fabric, stitching, inflator type, and folding technique on system performance.

2.3.1. Airbag Fabric

The airbag fabric directly affects the inflation time, shape, and tear resistance of the system. Typically, high-strength, plain-woven fabrics are used. These fabrics are optimized with various types of coatings:

- Uncoated: High air permeability; preferred in compact systems. However, there is a higher risk of gas leakage.
- Silicone-Coated: Offers low air permeability and can tolerate sudden pressure increases; provides high thermal resistance.
- Neoprene or PU-Coated: Less commonly used but suitable for special applications.

The type of coating plays a critical role in controlling inflation time and internal pressure. In addition, the fabric's weight and weave density influence its tear resistance.

2.3.2. Airbag Stitching

The type of stitching and thread properties used in assembling the airbag module are essential for deployment reliability and damping behavior. Key parameters include:

- Stitch Type: Double-layer overlock, chain stitch, or lockstitch are commonly used.
- Thread Type: High-strength polyester or aramid-based threads are preferred.
- Stitch Density: The number of stitches per centimeter determines the airbag's resistance to shock loads during deployment.

Some considerations include;

- Excessive stitch density, reduces tear risk but may cause stress concentration along the seam.
- Insufficient stitching, may lead to airbag rupture or tearing along the seam line.

2.3.3. Inflator Type

The inflator is the gas generator that inflates the airbag. There are two main types:

- Pyrotechnic Inflators: Generate high-temperature gas through rapid chemical reactions. Provide fast inflation.
- Hybrid Inflators: Use both compressed gas and chemical reaction. Offer more controlled inflation.

The inflator's impact on performance includes;

- Gas flow rate, affects deployment time
- Gas volume, determines the fill level of the airbag
- Gas temperature, influences fabric durability and occupant comfort

2.4. Effect of Force Concentrators

A force concentrator is a specially designed structural element that ensures controlled and directed tearing along a predefined line in the airbag deployment area. Its primary function is to guide the pressure generated by the airbag along the weak seam line, optimizing the tearing of the seat cover.

2.4.1. Definition and Purpose of Use

Force concentrator systems consist of strips made of plastic, TPU, or nonwoven materials that are integrated beneath the seat cover or within the foam pocket. They help direct the force generated during high-speed inflation toward the intended line and direction.

Advantages of using a force concentrator include;

- Controlled deployment direction
- Tearing of the cover along a predefined seam
- Reduced deformation and damage
- Prevention of stress accumulation on the outer seat cover

2.4.2. Embedded Type Between Layers (Sandwich Type)

Reinforcement elements placed between the fabric and the foam to guide deployment forces

2.4.3. Mechanical Impact Mechanism

When the airbag deploys, the sudden internal pressure is channeled toward the weak seam line via the force concentrator. As a result:

- Tearing from unintended points on the seat cover is prevented
- Deployment speed is optimized
- The risk of occupant injury is reduced (by preventing misdirected deployment)

2.5. Effect of Airbag Positioning

The horizontal, vertical, and depth (X, Y, Z) position of the airbag module within the seat directly affects critical parameters such as deployment direction, duration, and proximity to the occupant. Therefore, the positioning of the airbag must be meticulously optimized for both structural design and passenger safety.

2.5.1. Horizontal Position (Y-Axis)

When the airbag module is shifted left or right from the center of the seat, the deployment direction changes. This parameter is especially critical in side airbag systems.

- **Too far inward**: Deployment cannot proceed parallel to the weak seam line, increasing resistance
- **Too far outward**: Insufficient seat cover tension may result in inefficient tearing

2.5.2. Vertical Position (Z-Axis)

The vertical location of the airbag module within the seat backrest or cushion determines which body area it will impact.

- **Too high**: Provides quicker protection to the head and neck but makes volume control difficult
- **Too low**: More effective at the hip level but offers less protection to the chest area
  Side effect: Improper vertical positioning may cause misdirected deployment

2.5.3. Depth Position (X-Axis)

Refers to the distance between the airbag module and the surface of the foam or seat cover.

- **Too close to the surface**: Faster deployment, but may cause excessive fabric deformation

- **Too deeply embedded**: Delayed deployment and reduced force transfer

2.5.4 Positioning Tolerance and Production Effects

In seat assembly lines, the positioning tolerance for the airbag module should be limited to ±3 mm. Greater deviations may reduce deployment accuracy.

Conclusion

For airbag systems to function effectively within the seat structure, not only the airbag module design but also the structural elements of the seat must be considered as an integrated whole. This study has demonstrated the impact of all relevant factors—from foam structure and stitching to fabric selection and force concentrator design—on overall airbag performance.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

SAE J211/1, "Instrumentation for Impact Test," SAE International.

ISO 12097-1:2010, "Road vehicles — Airbag components."

J. Smith et al., "Design of Seat-Integrated Side Airbags," *International Journal of Automotive Engineering*, 2020.

M. Yamada, "Influence of Seam Design on Airbag Deployment," *SAE Technical Paper Series*, 2018.

ECE R94 & R95: UN Regulations for frontal and side impact protection

https://www.foamspirit.com/foam/learn/open-cell-foam-vs-closed-cell-foam - 18.04.25

https://lmr.com/item/LRS-0509FAFMR/mustang-front-seat-foam-airbag-0509-passenger - 18.04.25

https://service.tesla.com/docs/ModelY/ServiceManual/en-us/GUID-4CE86EBF-A5EB-4504-806D-E5AD8814C0C3.html - 18.04.25

https://autokomputery.pl/en/uslugi-airbag-srs/ - 18.04.25

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

IMPLEMENTATİON OF DATA-DRİVEN LQR FOR CRUİSE CONTROL

Mehmet Can HALİS[1]
Uğur YILDIRAN[2]

Abstract

This paper presents a study on the design of a data-driven linear quadratic regulator (LQR) controller for a nonlinear cruise control system.

In the data-driven approach, by applying input data with certain characteristics to the system without modeling, data can be collected from the output of the system and the controller can be calculated only from this obtained data. Thus, time-consuming, costly and human-efficient steps such as mathematical modeling and model parameter estimation methods found in traditional controller design are not required. In this way, LQR state feedback gain K is calculated automatically.

An extended observability matrix and Toeplitz matrices of Markov parameters must be obtained for the calculation of LQR state feedback gain. An algorithm is developed to find these matrices. This developed algorithm was implemented in the MATLAB-Simulink environment by applying it to a complex cruise control system that includes the battery that powers the electrically mapped engine, the engine that produces torque, the powertrain responsible for transmitting this torque to the wheels, the wheels that provide the longitudinal motion of the vehicle in dynamic interaction with the road surface, and the vehicle body parts responsible for aerodynamic drag and mass-related inertial effects, which are the basic parts of longitudinal vehicle dynamics.

As a result, the simulations performed on the longitudinal vehicle model show that the vehicle speed is controlled by the data-driven LQR approach. In this way, the data-driven method becomes more important both theoretically and practically.

Keywords: Data-driven LQR control, Markov parameters, Observability matrix, Longitudinal vehicle dynamic, MATLAB-SIMULINK.

[1] Engineer, Yıldız Technical University, Graduate School of Science and Engineering, Orcıd: 0009-0005-5932-8339
[2] Assoc. Prof., Yıldız Technical University, Faculty Of Electrical & Electronics, Orcıd: 0000-0002-8220-8723

ISBN: 978-625-372-661-4

1 Introduction

The rapid proliferation of electric vehicles (EVs) in recent years has increased the need for advanced control strategies to ensure efficient, safe and comfortable driving (Mahmood et al., 2024:351). Among the various subsystems of electric vehicles, vehicle dynamics, acceleration, braking and speed control stand out as one of the main determinants of vehicle performance (Mahmood et al., 2024:351). Traditional control methods in this field are usually based on mathematical models and require accurate knowledge of the system parameters (Kabasakal ve Üçüncü, 2022:242-256).

Although classical control methods have provided the main solution for electric and hybrid vehicles for many years, the non-linearity, uncertainty and time-varying dynamics of the system have limited the effectiveness of these approaches. In this context, the linear quadratic regulator (LQR) has emerged as an advantageous method in terms of providing optimal control performance. Ahmed et al. (2020:1-4) and Yadav et al. (2011:393-400) compared various control methods such as PID controller, fuzzy logic controller, self organizing controller and linear quadratic regulator controller for speed control of hybrid electric vehicles and reported that LQR outperformed in all performance criteria.

The Linear Quadratic Regulator (LQR) is a fundamental problem in control theory, which aims to determine the optimal state feedback gain that minimizes a quadratic cost function of the state and input variables of the system. This gain is obtained by solving the Riccati equation and depends on the state-space model of the system (Silva et al.,2018:180-185). On the other hand, PID (Proportional-Integral-Derivative) controllers have a wide range of applications with their simple structure that does not require model information and provides control by responding directly to the error signal. However, since it works based on fixed parameters, it cannot be adaptive to changes in system parameters or external disturbances. However, in this type of controllers, the performance of the controller may be limited in dynamic systems or changing environmental conditions.

Data-driven control approaches developed to overcome these limitations aim to obtain the system behavior directly from input-output data by eliminating the need for modeling. Silva et al. (2018:180-185) showed that the LQR gain can be obtained from the Markov parameters and extended observability parameters of the system and the state feedback gain can be calculated based on the data. Dörfler et al. (2022: 1091-1098) described direct and indirect data-driven LQR approaches, emphasizing the importance of regularization-based optimization techniques to achieve robust control at low signal-to-noise ratios. Umar et al. (2024:199) analyzed the stability margin of data-driven LQR and showed that controllers designed with this method can operate safely and stably similar to classical methods and are especially effective for consensus problems in multi-agent systems.

Application studies on electric vehicles also support the high practical potential of data-driven control approaches. Ragone et al. (2021:483) showed that different machine learning techniques such as artificial neural networks (ANNs), SVR and LSTM for battery state estimation (SOC) are more flexible and compatible with the data than classical approaches. Lin et al. (2021: 221-231) compared deep reinforcement learning (DRL) and model predictive control (MPC) methods and reported that DRL gives more stable results under model uncertainty. Kreuzen (2012) argued that plateau stability can be improved in ACC systems by using multi-vehicle information and that classical PID control is insufficient in such systems. These studies clearly show that data-driven control approaches offer significant gains in terms of both control accuracy and safety.

In this study, data-driven control method will be applied to a longitudinal vehicle model to overcome model uncertainties. Thus, a data-driven LQR solution to the cruise control problem of an electric vehicle will be introduced.

2 Battery Electric Vehicle Longitudinal Model

In this chapter, a complex model of longitudinal vehicle dynamics is presented. The vehicle model to be presented consists of battery, electrically mapped motor, differential, wheel, vehicle body.

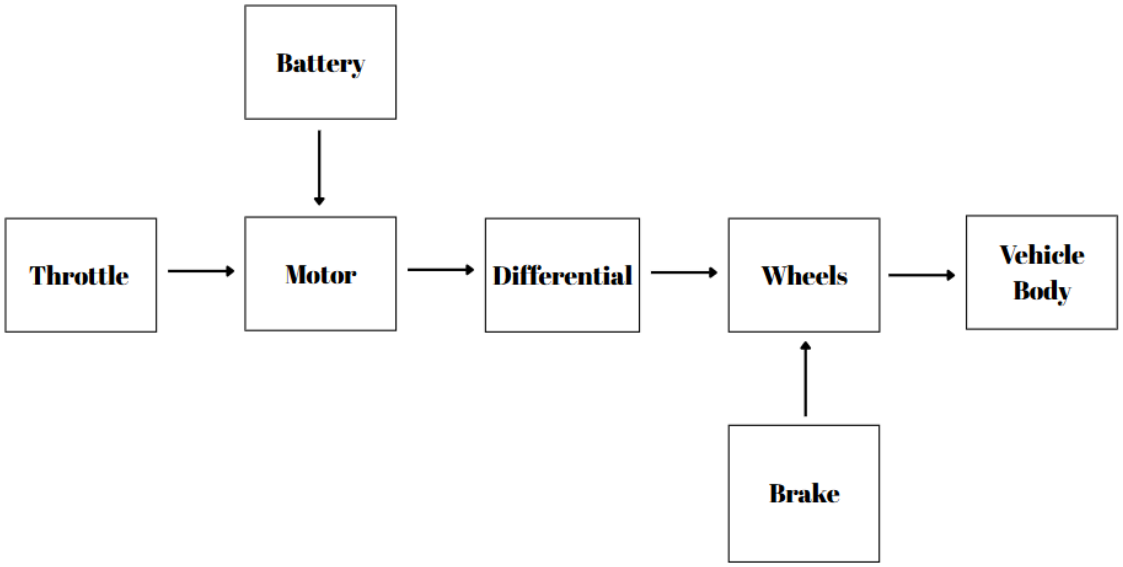


Figure 1: Block diagram of BEV longitudinal model

2.1. Electric motor

A map-based Permanent Magnet Synchronous (PMS) motor model was used. PMSM generates torque according to the current speed value. The motor output torque was calculated using motor power and motor speed.

$$T_{eng} = \frac{P_{eng}}{\omega_{eng}} \tag{1}$$

In addition, the current value to be drawn from the battery to the motor was calculated depending on the voltage parameter.

$$i_{bat} = \frac{P_{mech}+P_{loss}}{V_{bat}} \tag{2}$$

2.2. Battery

The battery was modeled to energize the Mapped motor. A constant 230 V was applied to the battery. Battery state of charge and voltage information were calculated with the following equations.

$$I_{bat} = \frac{I_{in}}{N_p}$$

$$SOC = \frac{1}{C_{bat}} \int_0^t I_{bat}\, dt \tag{3}$$

$$V_T = E_m + I_{bat} R_{int}$$

$$V_{bat} = V_T N_s$$

The effects of battery dynamics were ignored in this study.

2.3. Differential

Since the BEV created in this project is a rear-wheel drive vehicle, the traction force from the engine is applied by the rear wheels. The engine torque is transmitted through the differential, which transfers the power to the rear wheels. Here the viscous and damping coefficients of the axles were defined using an open differential with a gear ratio of 3.4. In torsional compliance, the torsional stiffness, torsional damping and its cut-off frequency were determined.

2.4. Wheel

The tire model was developed using the Magic Formula method. The magic formula tire model is a universal model for determining the characteristics of slip rate, tire force and moment (Sun 2017). The wheel model operates torque from the differential, pressure value from the brake pedal and wheel rotation speed on the x-axis.

$$F_x = D_x \sin\left[C_x \tan^{-1}\left[B_x\lambda_x - E_x[B_x\lambda_x - \tan^{-1}[B_x\lambda_x]]\right]\right] + S_{vx} \quad (4)$$

Equation 4 shows the longitudinal force of the tire for a pure slip value. The subscript x is calculated according to 1 degree of freedom (DOF). The factor λ is the slip rate here.

2.5. Vehicle Body

The vehicle body block should be a longitudinal vehicle model, so only the forward motion of the vehicle can be tracked and vehicle speed information can be obtained. The data coming to the vehicle body is the force information on the wheels. In addition, road slope and wind are ignored in this model.

The equation of longitudinal motion is obtained using Newton's second law.

$$\sum F = F_m + F_b + F_r + F_g = \lambda_J ma \quad (5)$$

In equation 5 m is the mass of the vehicle, a is the acceleration of the vehicle and λ_J is used to calculate the rotational inertia of the rotating parts of the vehicle. F_m is the force of the electric motor. F_b is the mechanical braking force. F_g is the force of gravity. F_r is the resistance force. The force F_r is the sum of the aerodynamic resistance $F_{r,a}$ and the rolling resistance $F_{r,r}$.

$$F_r = F_{r,a} + F_{r,r} = -\frac{1}{2} c_d \rho_a A_f v^2 - c_r mg\cos\theta \quad (6)$$

where ρ_a is the air density, A_f is the frontal area of the vehicle, c_d is the aerodynamic drag coefficient and c_r is the rolling resistance coefficient.

2.6. Brake Model

According to the information from the control signal, the brake value is applied to the vehicle tires. The same brake value is generated for front and rear wheels. If the signal coming to the brake pedal is negative, it is made positive by taking the absolute value. A brake signal between 0 - 100 % is generated as output. It is a first order system modeling the delay of the brake pedal. The transfer function is expressed as $\frac{1}{s+1}$. A faster response time is generated than with the accelerator pedal.

2.7. Throttle Model

If the signal to the accelerator pedal in the created driver model is positive, it enables the accelerator pedal to operate. It generates a throttle signal between 0 - 100 % as output. The

accelerator pedal reaction is modeled as a first-order dynamic system with a time constant. The transfer function is expressed as $\frac{1}{0.75s+1}$. This model simulates the delay and slow response when the driver presses the accelerator pedal.

3 Data-Driven LQR Control

Consider a linear time-invariant discrete-time system

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) \qquad (7)$$
$$y(k) = Cx(k)$$

where A is the system matrix, B is the input matrix, C is the output matrix, x is the state, u is the input and y is the output.

Model-based Optimal gain can be calculated in this way;

$$K = (R + B^T PB)^{-1}(B^T PA) \qquad (8)$$

To calculate the data-driven LQR state feedback gain (K), the Markov parameter and the extended observability matrices shown in equation 9 are needed. The main result of da Silva et al.'s paper is to derive a data-driven version of equation 9, described below (Umar et al., 2024:199).

$$K = [R + M^T(Q_N^{-1} + SR_N^{-1}S^T)^{-1}M]^{-1} \times M^T(Q_N^{-1} + SR_N^{-1}S^T)^{-1}O^+ \qquad (9)$$

where R, Q, R_N ve Q_N are the weight matrices. Using the data obtained from the inputs and outputs of the system, the parameters M, O ve S are found. To find these parameters, Markov Parameter and Extended Observability matrices were generated.

3.1. Markov Parameters Estimation

To find the parameters M ve S, the Hankel matrix of the signal $e(k)$ must be defined;

$$H(e(k)) \triangleq \begin{bmatrix} e(k) & e(k+1) & \cdots\cdots & e(k+L-2) & e(k+L-1) \\ e(k+1) & e(k+2) & \cdots\cdots & e(k+L-1) & e(k+L) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ e(k+N-1) & e(k+N) & \cdots\cdots & e(k+N+L-3) & e(k+N+L-2) \end{bmatrix} \qquad (10)$$

Let's define data matrices consisting of input and output data.

$$U_p = H\big(u(0)\big) \quad Y_p = H\big(y(0)\big) \quad U_f = H\big(u(N)\big) \quad Y_f = H\big(y(N)\big) \qquad (11)$$

When the input signal is applied to the system, outputs are obtained. In this way, the past input signal, the future final input signal, the past output signal and the future final output signal are generated from the Hankel matrix.

A predictor of system output derived by Overschee and de Moor and Lim and et al. (Umar et al., 2024:199); (Silva et al., 2018:180-185) can be stated as follows;

$$Y_f = [O(D + FS) - OFS] \begin{bmatrix} U_p \\ Y_p \\ U_f \end{bmatrix} \qquad (12)$$

$$Y_f = W\phi$$

where $D = [A^N B \ \cdots\cdots \ AB \ \ B]$ and F is a solution of $A^{N+1} + FO = 0$. Solving the least squares problem of Equation 12 yields $\widehat{W}$.

$$\widehat{W} = Y_f \phi^{\dagger} \tag{13}$$

In equation 12, $\phi^{\dagger}$ stands for the pseudo inverse of ϕ. Here, to obtain $\hat{S}$, pN columns are taken from the rightmost part of $\widehat{W}$. The dimension of $\hat{S}$ should be (q(N) x p(N)). In order to obtain the $\widehat{M}_{obs}$ matrix from $\hat{S}$, the operation is repeated on N+1 rows and $\hat{S}_{obs}$ is created with a new dimension of (q(N+1) x p(n+1)). The first q rows of the created $\hat{S}_{obs}$matrix are removed. Then, its first column is taken to obtain $\widehat{M}_{obs}$. The dimension of the $\widehat{M}_{obs}$ matrix should be (q(N) x p).

3.2. Extended Observability Matrix Estimation

In order to find the data-driven LQR state feedback gain K_{DDLQR}, it is necessary to estimate the parameter O^{+} in Equation 9. For this, it is necessary to define the measured states in the algorithm to be used.

$$X = [x(1) \ x(2) \ x(3) \ \cdots \ x(L)] \tag{14}$$

$\hat{O}$ is obtained using the parameters obtained in the previous step.

$$Y_p = OX + SU_p \tag{15}$$

$$\hat{O} = (Y_p - \hat{S}U_p)X^{\dagger}$$

The first q lines of $\hat{O}$ are removed to obtain $\hat{O}^{+}$. Therefore, with the obtained data and the estimated parameters, the gain of K_{DDLQR} is written as follows;

$$K_{DDLQR} = \left[R + \widehat{M}_{obs}^{T}\left(Q_N^{-1} + \hat{S}R_N^{-1}\hat{S}^{T}\right)^{-1}\widehat{M}\right]^{-1} \times \widehat{M}^{T} \times \left(Q_N^{-1} + \hat{S}R_N^{-1}\hat{S}^{T}\right)^{-1}\hat{O}^{+} \tag{16}$$

As N (data used) increases, the K_{DDLQR} value converges to the optimal control gain K. In this way, the data-driven LQR state feedback gain value K_{DDLQR} was measured without modeling and model parameter estimation.

4 Simulations and Results

In this section, the results obtained from the controller design and cruise control system with data from the controllerless open-loop vehicle system are presented. The BEV longitudinal vehicle model is designed in MATLAB-SIMULINK using the parameter values in Table 1.

Table 1: Simülasyon BEV model parametreleri

Parameter	Symbol	Value	Unit
Vehicle body			
Curb weight (EU)	m	1500	kg
Frontal area	A_f	4	m²
Air drag coefficient	c_d	0.3	-
Wheel base	L	3.2	m
Center of gravity height	h_g	0.35	m
Powertrain			
Drivetrain configuration	-	RWD	-
Electric machine technology	-	PSM	-
Peak motor power	P_{max}	125	kW
Maximum motor torque	T_{max}	250	Nm
Battery			
Nominal battery pack capacity	Q_N	100	Ah

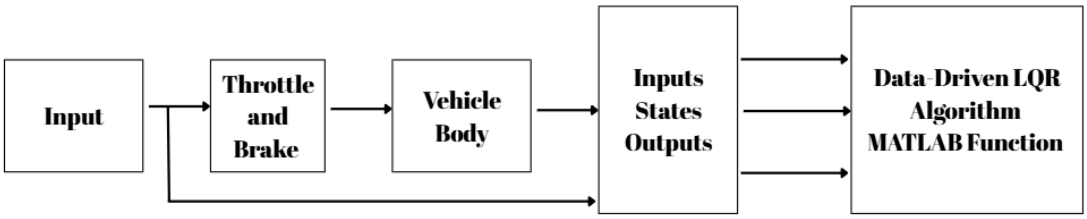


Figure 2: Block diagram of calculating data-driven LQR state feedback gain for BEV

The algorithm of the data-driven control method was created. This algorithm, which works in discrete time, was integrated into the open loop vehicle model. A gain value was produced by the algorithm according to the measured input, state and output during the simulation. This generated gain value is actually the LQR state feedback gain. The LQR state feedback gain calculated based on the data was found as follows.

$$K_{DDLQR} = [\ 18.8\ ]$$

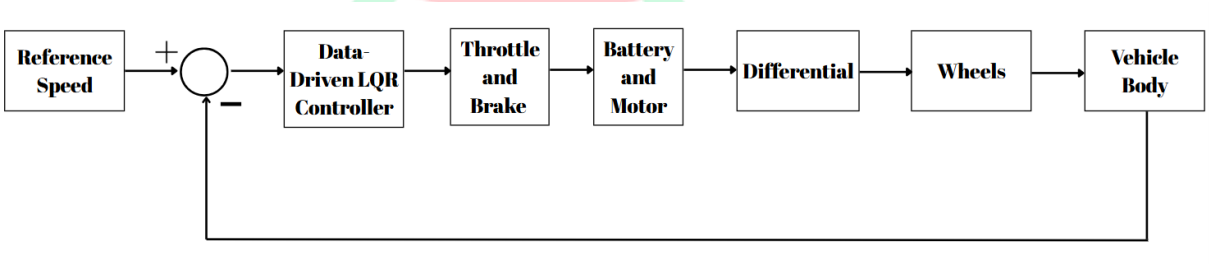


Figure 3: Block diagram of the a vehicle equipped with cruise control

Vehicle dynamics were generated in continuos time in the same form. It was converted into a closed loop system using vehicle speed output for cruise control. In the created system, the reference speed is defined and the error is found by subtracting the vehicle speed from the reference speed. The error obtained was multiplied by the gain value found in the data-driven

control algorithm. The control signal is applied to the vehicle input. In this way, Cruise control was achieved with the data-driven method. Figure 4 shows the step response with data-driven LQR controller.

Table 2: Controller time response specifications.

Controller	%Maximum Overshoot	Rise Time (s)	Settling Time (s)	Steady State Error
Data-Driven LQR	6.989	4.381	31.59	0.1

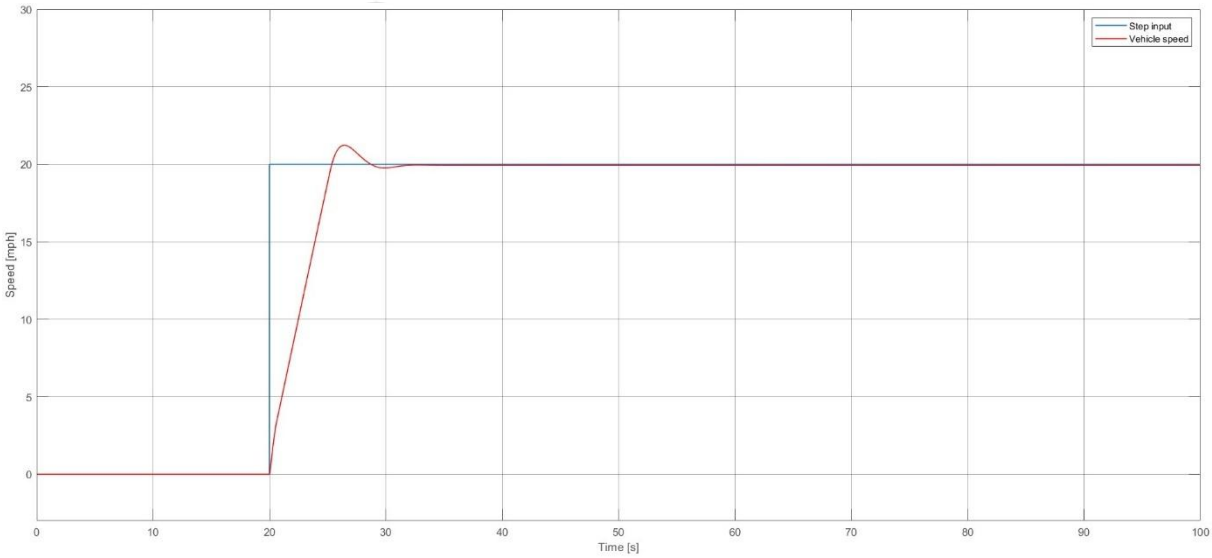


Figure 4: Step response of cruise control system.

5 Conclusion

In the literature, methods such as PID controller, LQR controller, Fuzzy Logic controller, Model Predictive Controller are generally used in cruise control. In this study, unlike these methods, the method of data-driven LQR control system design for BEV is presented. In this direction, firstly, the BEV longitudinal model was created in MATLAB-SIMULINK environment. Then, the controller was designed by applying the Data Driven Control method to this BEV vehicle model. This calculated controller was applied to the BEV vehicle model and cruise control was achieved. The simulation results show the satisfactory performance and applicability of the proposed Data Driven method and Cruise control system.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Ahmed, A.A., Santhosh, J., & Aldbea, F.W. (2020). Vehicle Dynamics Modeling and Simulation with Control Using Single Track Model. 2020 IEEE International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE), 1-4.

da Silva, G. R. G., Bazanella, A. S., Lorenzini, C., & Campestrini, L. (2018). Data-driven LQR control design. IEEE control systems letters, 3(1), 180-185.

Dörfler, F., Tesi, P., & De Persis, C. (2022, December). On the role of regularization in direct data-driven LQR control. In 2022 IEEE 61st Conference on Decision and Control (CDC) (pp. 1091-1098). IEEE.

Kabasakal, B., & Üçüncü, M. (2022). The design and simulation of adaptive cruise control system. International Journal of Automotive Science And Technology, 6(3), 242-256.

Kreuzen, C. (2012). Cooperative Adaptive Cruise Control (Doctoral dissertation, MA thesis. Delft University of Technology, Faculty of Mechanical, Maritime and Materials Engineering, Delft, Netherlands).

Lin, Y., McPhee, J., & Azad, N. L. (2020). Comparison of deep reinforcement learning and model predictive control for adaptive cruise control. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 6(2), 221-231.

Mahmood, A., Al-bayati, K. Y., & Szabolcsi, R. (2024). Comparison between Genetic Algorithms of Proportional–Integral–Derivative and Linear Quadratic Regulator Controllers, and Fuzzy Logic Controllers for Cruise Control System. World Electric Vehicle Journal, 15(8), 351.

Ragone, M., Yurkiv, V., Ramasubramanian, A., Kashir, B., & Mashayek, F. (2021). Data driven estimation of electric vehicle battery state-of-charge informed by automotive simulations and multi-physics modeling. Journal of Power Sources, 483, 229108.

SUN, Y. (2017). A study of an LQR drifting controller for RC cars.

Umar, A. A., Ryu, K., Back, J., & Kim, J. S. (2024). Stability Margin of Data-Driven LQR and Its Application to Consensus Problem. Mathematics, 12(2), 199.

Yadav, A. K., Gaur, P., Jha, S. K., Gupta, J. R. P., & Mittal, A. P. (2011). Optimal speed control of hybrid electric vehicles. Journal of Power Electronics, 11(4), 393-400.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

AUTOMOTIVE KICK SENSORS APPLICATIONS

Melih CEBE[1]

Abstract

The automotive industry is undergoing a rapid transformation, primarily fueled by continuous technological innovations aimed at enhancing user experience, safety, and convenience. One prominent outcome of this evolution is the emergence of hands-free access systems, such as kick sensors, which allow users to open vehicle trunks or liftgates through a simple foot gesture—eliminating the need for physical contact. This paper presents an in-depth investigation into kick sensor technology by analyzing the two prevailing types: radar-based and capacitive sensors. The fundamental working principles of each sensor type are examined, with particular emphasis on their response behavior, accuracy, environmental adaptability, and integration complexity. In addition to the technical aspects, the study highlights the broader value kick sensors bring, including improved hygiene by reducing surface contact and enhanced safety, particularly in situations where users' hands are occupied. Real-world applicability is further explored through a review of validation procedures and performance tests that simulate diverse environmental and usage conditions, ensuring the robustness and reliability of the system. Finally, the paper offers a future outlook on the integration of kick sensors with emerging vehicle technologies, such as AI-based gesture recognition and V2X communication, positioning them as a critical component in the evolution of intelligent vehicle access systems.

Keywords: Kick sensors, radar, capacitive, trunks, liftgates.

[1] Mühendis, Sakarya Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, Orcıd: 0009-0004-1214-0198

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Introduction

The automotive industry is undergoing a rapid transformation, fueled by technological advancements that enhance vehicle functionality, safety, and user experience. One such innovation gaining prominence is the hands-free trunk opening system, commonly known as the "kick sensor." This feature allows drivers to open their car's trunk or liftgate with a simple kicking motion under the rear bumper, eliminating the need for manual operation. This seemingly simple feature represents a significant leap in human-vehicle interaction. By leveraging advanced sensor technologies, primarily radar and capacitive sensing, kick sensors offer a new level of convenience, particularly in situations where one's hands are occupied. The integration of this technology not only streamlines daily tasks but also contributes to improved hygiene and safety.

1.1 What is The Kick Sensors?

A kick sensor is an automotive feature that enables hands-free opening of a vehicle's trunks or liftgates. It utilizes either radar or capacitive technology to detect a specific leg motion near the rear bumper, triggering the opening mechanism without the need for physical contact. This innovation enhances convenience, particularly when carrying cargo, and contributes to improved hygiene and safety for the user.



Figure 1: Example of Kick Sensors

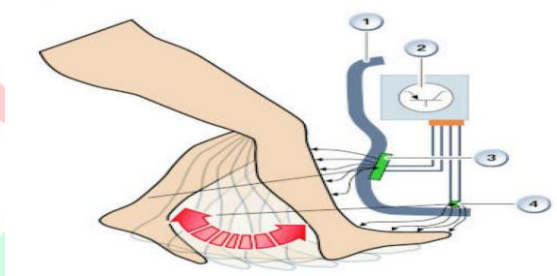


Figure 2 : Automotive Trunk Opening Concept

2.Types of Kick Sensors

Kick sensors, enabling hands-free liftgate opening utilize two technologies: radar and capacitive sensing. Radar sensors emit radio waves, analyzing their reflections to detect the presence and movement of a foot beneath the rear bumper. On the other hand, capacitive sensors detect changes in an electrical field caused by the proximity of a conductive object, like a human foot. Both technologies offer reliable hands-free solutions, with the choice

between them often depending on manufacturer preferences and specific implementation details. While less common, emerging technologies like ultrasonic sensors, which use sound waves for object detection, are also being explored for their potential advantages in cost and robustness[1]. A radar kick sensor or a capacitive kick sensor is selected based on user requirements and environmental conditions.

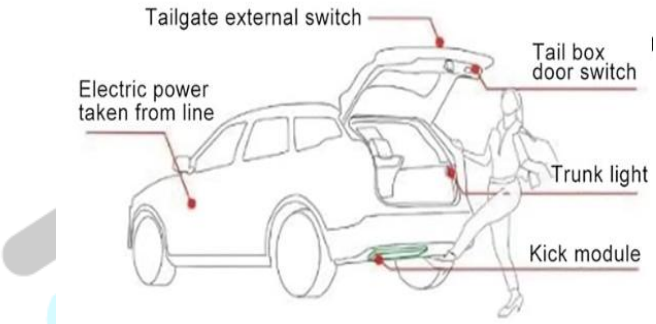


Figure 3 : Example of Kick Sensors System

2.1 Radar Kick Sensors

The principle of radar kick sensors relies on the emission and reception of radio waves. The sensor emits these waves in a cone-shaped pattern, and when they encounter an object, such as a person's leg, they are reflected back to the sensor. The time it takes for the waves to travel to the object and back is measured, allowing the sensor to determine the distance to the object. The sensor's internal electronics then analyze the reflected signals, looking for specific patterns of movement and distance changes that correspond to a kicking motion. This analysis is often aided by the Doppler effect, which helps determine the speed and direction of the moving object, ensuring that only deliberate kicks trigger the opening mechanism[2]. The sensor's software filters out irrelevant signals, such as reflections from the ground or other stationary objects.



Figure 4 : Example of Radar Sensor

2.2 Capacitive Kick Sensors

Capacitive sensors offer an alternative approach to hands-free trunk opening, relying on changes in an electrical field rather than radio waves[3]. These sensors, often embedded within the rear bumper, generate a weak electrical field around themselves. When a conductive object, such as a human foot, enters this field, it disrupts the capacitance the ability to store an electrical charge. The sensor's electronics detect this change and convert it into a signal, which is then processed to determine if it matches the pattern of a kicking motion. If the pattern is recognized, and the car key is within range, the sensor signals the car's control unit to unlock and open the trunk. Capacitive sensors are prized for their sensitivity, responsiveness, and energy efficiency, making them a practical and reliable choice for hands-free access systems.



Figure 5 : Example of Capacitive Sensor

2.3 Comparison of Sensor Types

Radar and capacitive kick sensors each offer distinct advantages, catering to different priorities in hands-free trunk opening systems. Radar sensors, known for their accuracy and reliability, it perform well in different weather conditions. Their wider detection range allows for greater flexibility in foot placement, enhancing user-friendliness. Additionally, radar technology's versatility extends beyond trunk opening, potentially enabling gesture control for other vehicle functions.

On the other hand, capacitive sensors shine with their exceptional responsiveness, quickly detecting even subtle foot movements for a seamless user experience. Their low power consumption contributes to overall vehicle efficiency, and their simpler design often translates to lower production costs. While capacitive sensors may be sensitive to environmental factors like moisture, their strengths in responsiveness and cost-effectiveness make them a compelling choice for specific applications like trunk opening[4].

Table 1: Comparison Table

Features	Radar Sensors	Capacitive Sensors
Flexibly	✓ ✓	✓
Price	✓	✓ ✓ ✓
Development Cost	✓ ✓ ✓	✓
Weather Resistance	✓ ✓ ✓	✓

You can use either capacitive or radar to implement a hands-free kick-to-open feature for automotive applications. You should consider the relative strengths of each to determine which method best suits your needs.

3. Radar Technologies

Radar technology is a versatile system that uses electromagnetic waves to detect the presence, position, speed and direction of objects[5]. The basic working principle is that the transmitted waves hit and reflect off the target and are detected by the receiver. As such, they are used in a wide range of applications, from air traffic control to weather forecasting, from maritime to space exploration, from security systems to autonomous vehicles. Radars operating at different frequencies and powers offer advantages such as long-range detection, high sensitivity and wide area scanning[6]. However, their disadvantages include high cost, complexity and the possibility of false alarms, but radar technology is constantly evolving and is becoming increasingly important, especially in autonomous vehicles, drones and robotic systems.

4. Capacitive Technologies

Capacitive technology is a technology that has become an essential part of modern life, sensing the presence or touch of objects through the principle of electrical capacitance. When an object (such as a finger) enters the electric field between two conductive plates, the capacitance value of the field changes. This change is measured by sensitive electronic circuits to detect the presence or touch of the object. The most common use of capacitive technology is touch screens. Smartphones, tablets, ATMs and many other devices allow users to interact with their fingers thanks to this technology[7]. But the use of capacitive technology is not limited to this. Sensors used for many different purposes in industry, such as level measurement, proximity detection, material analysis, etc., also work on the capacitive principle. In the medical field, we come across this technology in devices such as touch controls and patient monitoring systems. The automotive industry also utilizes capacitive technology in applications such as touch control panels and proximity sensors. There are two main types of capacitive technology: surface capacitive and projected capacitive. While surface capacitive technology uses a single conductive layer, projected capacitive technology offers more sensitive and multi-touch support with a more complex pattern. This technology is wear-resistant with no moving parts, can detect even small capacitance changes and is adaptable to different surface shapes and sizes**.**

5. Performance Tests

5.1 Passive Entry Test

The Kick Sensor is subjected to many tests under the name of passive entry test. In this test, the kick sensor is tested at different temperatures, in different situations and at different vehicle voltages. These tests are conducted a certain number of times at different speeds, different angles and different movements,

5.2 Environmental Durability Test

The kick sensor's environmental durability is evaluated through thermal shock, high temperature and humidity and shipping/storage testing. The thermal shock test measures resistance to sudden temperature changes, while the high temperature and humidity test examines the sensor's performance in these conditions. The shipping/storage test evaluates durability in cold environments. These tests are critical to ensure that the sensor can operate reliably in different environmental conditions. Some mechanical tests are applied to the kick sensor. These tests include vibration, dropping and gravel bombardment. Vibration testing measures the performance and durability of the sensor when subjected to continuous vibrations. The drop test evaluates its resistance to a fall from a specific height. The gravel bombardment test is used to determine how robust the sensor is when its surface is hit by high-speed particles.



Figure 6 : Gravel Bombardment Test

5.3 Salt / Mud Slurry Test

The kick sensor is tested in a controlled environment by applying a slurry mixture containing different concentrations of salt solution to the sensor surface. Prior to the test, the basic functionality of the sensor is verified and it is ensured that no contaminants are present. The mud mixture is then applied to the sensor area with a brush and the sensor is kicked a certain number of times. This test is designed to observe whether the sensor maintains its sensitivity and response time even in harsh and dirty environments. The data and visual recordings obtained during the testing process allow a detailed analysis of the sensor's performance [8].

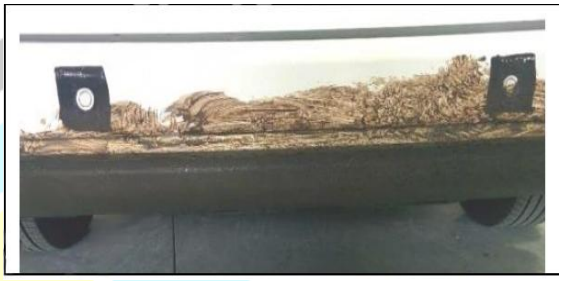


Figure 7 : Example of Salt/Mud Slurry Apply

5.4 Misuse Functional Case Test

'Misuse Tests' are applied to the kick sensor. In these tests, many situations such as walking at close range, walking with a shopping bag, dropping objects in the sensor area, sweeping parallel floors, changing shoes, manual car washing, changing spare tires are tested and in these situations, the kick sensor is not want to be triggered.

6. Future of Kick Sensors

In the future , kick sensors are expected to become more detailed, offering a range of enhanced features. Future developments may include more precise gesture recognition, allowing for a broader variety of motions to be detected, such as different foot movements or even hand gestures[9]. Additionally, kick sensors may become integrated with other vehicle systems. For instance, they could automatically unlock doors when the sensor is activated.

Security enhancements are also anticipated, with future kick sensors potentially incorporating advanced features like biometric recognition or integration with mobile devices for authentication, thereby preventing unauthorized access.

As the automotive industry increasingly focuses on sustainability, future kick sensors may be designed to consume less power and be environmentally friendly, possibly utilizing recycled materials or more efficient electronic components. Additionally, advancements in artificial intelligence and machine learning could enable kick sensors to learn user behaviors and preferences, offering personalized responses, such as opening the trunk to a preferred height or providing customized alerts. Also in autonomous vehicles, kick sensors may play a crucial role in enabling seamless, , allowing passengers to easily access storage compartments or interact with the vehicle without manual input.

7. Conclusion

In conclusion, kick sensor technology has been thoroughly examined, highlighting the essential distinctions between radar and capacitive systems. Each system offers unique benefits; radar sensors are renowned for their versatility, while capacitive sensors are noted for their sensitivity and responsiveness. The extensive performance testing, which includes evaluations of environmental durability and misuse scenarios, demonstrates the reliability and efficacy of these sensors across various conditions.

Looking ahead, the future of kick sensors appears promising, with potential advancements in gesture recognition, integration with other vehicle systems, and enhanced security features. As the automotive industry increasingly focuses on sustainability, future designs may prioritize energy efficiency and environmentally friendly materials. Additionally, the incorporation of artificial intelligence and machine learning could enable personalized user experiences, making kick sensors an even more integral part of vehicle functionality. These developments suggest that kick sensors will continue to play a crucial role in the advancement of human-vehicle interaction.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

[1] Quan, E., der Hochschule, B., & Badura, A. The Use of TRIZ Methods for High-Tech Applications: A Study Based on the Example of Automotive Trunk Opening.

[2] Baek, H. I., Chae, Y., Lim, H. S., Lee, J. E., & Lee, S. (2024, May). Implementation of Deep Learning-based Kick Gesture Recognition Using 60 GHz Radar Sensor. In *2024* IEEE Radar Conference (RadarConf24) (pp. 1-6). IEEE.

[3] Ihsan, N. (2017, March). Development of speed measurement system for pencak silat kick based on sensor technology. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 180, No. 1, p. 012171). IOP Publishing.

[4] Clark Kinnaird, (2017). Comparing Capacitive and Ultrasonic Kick-to-open Sensing. , Texas Instruments

[5] Meinel, H. (1995). Automotive Radar-present status and future trends in a'market to be'for millimeterwaves. In Invited Key-note Talk, 20th Int. Conf. IR & Millimeterwaves.

[6] Strohm, K. M., Bloecher, H. L., Schneider, R., & Wenger, J. (2005, October). Development of future short range radar technology. In European Radar Conference, 2005. EURAD 2005. (pp. 165-168). IEEE.

[7] Schlegl, T., Bretterklieber, T., Neumayer, M., & Zangl, H. (2011). Combined capacitive and ultrasonic distance measurement for automotive applications. IEEE sensors journal, 11(11), 2636-2642.

[8] Wood, F. O. (1980). Motor-vehicle corrosion from deicing salt. Transportation research record, 762, 32-36.

[9] Wiesbeck, W., & Sit, L. (2014, October). Radar 2020: The future of radar systems. In 2014 International Radar Conference (pp. 1-6). IEEE.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

CHİLD OCCUPANTS' SAFETY VALİDATİON AGAİNST AİRBAG SYSTEM IMPACTS İN THE OUT OF DESİGNATED POSİTİONS

Mert MALKOÇ [1]

Abstract

The proceeding outlines the findings and recommendations of the Side Airbag Out-of-Position (OOP) Injury Technical Working Group, formed to address risks associated with side airbag deployments in vehicles. The working group, sponsored by various automotive and safety organizations, aimed to develop a shared understanding of these risks and ways to minimize them. The proceeding emphasizes the importance of following the recommended procedures to assess and reduce the risks of injury from side airbags, which, despite their effectiveness in protecting occupants in side-impact crashes, can cause injuries in certain out-of-position scenarios.

The group acknowledges that while the risk of injury from airbag inflation cannot be entirely eliminated, efforts can significantly reduce it. The group highlights three key limitations: the inherent risk of injury from any inflatable restraint system, the varying levels of scientific understanding regarding side airbag risks, and the ongoing nature of research in this area. The working group emphasizes the need for continuous review and updates of the recommendations as new data emerges.

The proceeding also provides a historical background, noting the concerns that led to the formation of the working group, including the risks posed by side airbags in certain conditions and the need for comprehensive industry guidelines to ensure safety. The group's deliberations involved collaboration between automakers, airbag suppliers, and safety experts, with input from government agencies like NHTSA and Transport Canada. The overall goal is to reduce side airbag-related injuries while promoting their benefits in preventing severe side-impact crash injuries.

Keywords: Child Occupant Safety, Vehicle Crash, Vehicle Side Impact, Airbag Systems,

[1] Pasif Güvenlik Sistemleri Uzmanı, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası AŞ, ARGE

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

Side airbags are rapidly being introduced in new cars to protect occupants during side-impact crashes, particularly in collisions with intruding objects like poles, trees, or other vehicles. In 1998, side impacts caused 9,482 fatalities, with side airbags offering a key solution to reducing injuries, especially for passengers in smaller cars struck by larger vehicles. However, airbags also introduce new energy into the crash, which can worsen injuries in "out-of-position" (OOP) situations, where child occupants are too close to the airbag when it deploys. For example, frontal airbags have been linked to 150 fatalities in low-speed crashes, where minor injuries would typically occur without airbags. The National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) notes that these injuries are declining as airbag designs improve and public awareness increases. While no serious injuries from side airbags have been reported, it remains crucial for automakers to implement safety measures to minimize potential risks as side airbags become more widespread in the market.

The proceeding summarizes the findings of the Side Airbag OOP Injury Technical Working Group, which aimed to assess and reduce risks associated with side airbag deployments. Technical Working Group is sponsored by key automotive safety organizations, the group developed recommendations to minimize injury risks.

Method

The proceeding involves the formation of a Technical Working Group (TWG) composed of a diverse set of stakeholders, including crash safety experts, biomechanics experts, representatives from automobile manufacturers, airbag suppliers, government organizations (such as NHTSA and Transport Canada), insurance companies, and consumer information/testing organizations.

Key elements of the Technical Working Group's research method are:

- Public Input and Government Involvement: The process started with public concerns and a petition from the Center for Auto Safety, prompting NHTSA to gather information, organize public meetings, and present test results regarding the risks of side airbags.
- Multi-Organization Collaboration: The TWG was formed by a collaboration between industry groups (such as the Alliance of Automobile Manufacturers and AIAM), safety organizations (such as IIHS), airbag suppliers (AORC), and government agencies (NHTSA and Transport Canada). This allowed for a broad range of technical expertise to inform the development of recommended procedures and performance requirements.
- Diverse Participation: The working group included a mix of automakers, airbag suppliers, government agencies, technical experts, and legal advisors, ensuring that various perspectives (from both industry and independent sources) were represented in discussions and decision-making.
- Expert Discussions and Deliberations: The TWG held meetings to review crash test data, biomechanical research, and other technical findings. These discussions helped inform the development of standards and guidelines for side airbags that balance safety with minimizing risks to out-of-position occupants.

In summary, the research method involves a collaborative technical working group that integrates data from real-world crash investigations, industry expertise, and independent analyses to develop safety recommendations and standards.

Findings

The purpose of the Technical Working Group (TWG)'s Out-of-Position (OOP) tests in the integration of safety restraint systems during new vehicle projects is to collaboratively develop and refine safety protocols that address the risks posed by airbag deployments to out-of-position occupants. The TWG's OOP tests are aimed at ensuring that vehicle safety systems (especially airbags) are designed to protect all occupants, including those who may not be seated in an ideal position at the time of a crash.

Key objectives of the TWG's OOP tests include:

- Developing Comprehensive Safety Guidelines: The TWG brings together a diverse group of stakeholders (automakers, airbag suppliers, government agencies, safety organizations, and technical experts) to develop standardized procedures and performance requirements for OOP testing. This ensures that all vehicle manufacturers follow best practices when designing safety restraint systems that minimize injury risks to out-of-position occupants.
- Assessing the Impact of Airbag Deployment on Out-of-Position Occupants: OOP tests conducted by the TWG focus on understanding how airbags deploy when an occupant is not in an optimal seating position (e.g., leaning toward the side airbag, too close to the airbag, or not seated properly). These tests assess the forces and potential injuries that could result from airbag deployment in these non-ideal scenarios.
- Improving Airbag and Restraint System Designs: The data and findings from the TWG's OOP tests help inform improvements in airbag designs, such as adjusting deployment force, inflation timing, or using more advanced sensors. By evaluating the airbag's behavior in out-of-position scenarios, the TWG helps manufacturers design airbags that provide the maximum benefit in protecting all occupants, regardless of their seating position.
- Ensuring Compliance with Safety Standards: The TWG's efforts help ensure that automakers develop airbag systems that meet or exceed regulatory safety requirements (such as those from NHTSA and international standards). By establishing a clear, scientifically backed approach to OOP testing, the TWG helps manufacturers comply with safety regulations and reduce the risk of injury or fatalities in crashes.
- Promoting a Broader Industry Collaboration: The TWG is a collaborative, multi-stakeholder platform that includes representatives from various sectors (automakers, suppliers, safety organizations, regulators, etc.). This collaborative approach ensures that all relevant perspectives are considered when designing safety restraint systems. The TWG's OOP testing is a key component of this cooperative process, fostering the exchange of knowledge and technical expertise to enhance overall vehicle safety.
- Addressing Real-World Crash Scenarios: By focusing on out-of-position occupants, the TWG ensures that safety systems are designed with real-world crash scenarios in mind. Since occupants in a crash may not always be properly positioned due to various factors (e.g., seatbelt misuse, sudden movements during a crash), OOP tests help ensure that the airbag deployment system will still function effectively without causing harm to these occupants.

- Reducing the Risk of Airbag-Related Injuries or Deaths: A primary goal of the TWG's OOP tests is to reduce the risk of injury or death caused by the airbag itself in situations where the occupant is too close to the airbag, not seated upright, or in other out-of-position scenarios. The TWG tests airbag performance to mitigate potential harm and make side airbags and other safety restraint systems safer for everyone.

In summary, the TWG's OOP tests in safety restraint systems' integration serve to create more effective, standardized procedures for designing airbags and other safety devices that minimize injury risks to out-of-position occupants, improve vehicle safety systems through collaborative input, and ensure compliance with safety regulations while promoting overall occupant safety in new vehicle projects.

Test Procedures

Table 1 *– Test Procedures*

	Section	Test Position	Body Region	Airbag Designs				
			Monitored and of interest	Seat back	Door/ quarter-panel (QP)	Roof-rail	Roof-rail & seat back	Roof-rail & door/ quarter-panel (QP)
Hybrid III 3-Year-Old	1.1	Forward facing on booster seat	Head, neck					
	1.2	Rearward facing	Head, neck, thorax					
	1.3	Lying on seat, Head on armrest – for seat mounted bag	Head, neck					
	1.4	Lying on seat – for seat mounted bag	Head, neck					
	1.5	Outboard facing	Head, neck, thorax					
	1.6	Inboard facing	Head, neck					
	1.7	Lying on seat, Head on armrest – for door/QP mounted bag	Head, neck					
	1.8	Lying on seat – for door/QP mounted bag	Head, neck					
Hybrid III 6-Year-Old	2.1	Forward facing on booster seat	Head, neck					
	2.2	Inboard facing on booster seat	Head, neck					

1.1 Forward Facing Hybrid III 3-Year-Old Child Dummy on Booster Block (Passenger Positions with Seat-Mounted Airbags)



Figure 1. 1.1 Test Procedure

Test objective is to maximize the head/neck interaction by aligning the neck with the top of the side airbag module.

1.2 Rearward Facing Hybrid III 3-Year-Old Child Dummy (Passenger Positions with Seat-Mounted Airbags)



Figure 2. 1.2 Test Procedure

Test objective is to maximize chest interaction by aligning the sternum with the top of the seat mounted side airbag module.

1.3 Hybrid III 3-Year-Old Child Dummy Lying on Seat with Head on Armrest (Passenger Positions with Seat-Mounted Airbags)

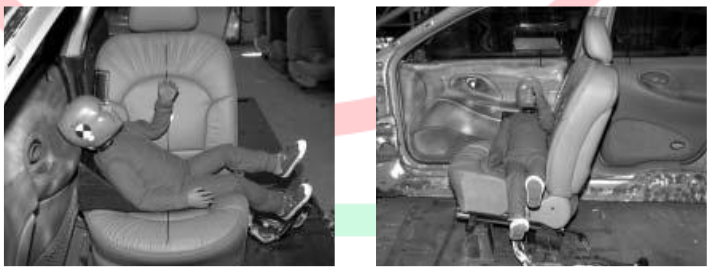


Figure 3. 1.3 Test Procedure

Test objective is to maximize the head interaction by aligning the head with the vertical centreline of the airbag module.

1.4 Hybrid III 3-Year-Old Child Dummy Lying on Seat (Passenger Positions with Seat-Mounted Airbags)

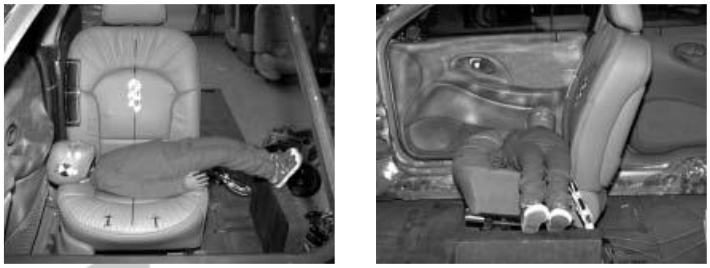


Figure 4. *1.4 Test Procedure*

Test objective is to maximize the head and neck interaction with the seat-mounted airbag by aligning the head with the vertical centreline of the seat-mounted airbag module.

1.5 Outboard Facing Hybrid III 3-Year-Old Child Dummy (Passenger Positions with Door/Quarter Panel-Mounted Airbags)



Figure 5. *1.5 Test Procedure*

Test objective is to maximize chest interaction by aligning the dummy's sternum with the vertical centreline of the side airbag module.

1.6 Inboard Facing Hybrid III 3-Year-Old Child Dummy (Passenger Positions with Door/Quarter Panel-Mounted Airbags)

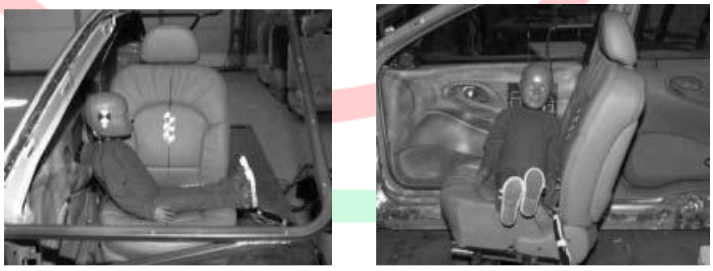


Figure 6. *1.6 Test Procedure*

Test objective is to maximize head and neck interactions.

1.7 Hybrid III 3-Year-Old Child Dummy Lying on Seat with Head on Armrest

(Passenger Positions with Door/Quarter Panel-Mounted Airbags)



Figure 7. *1.7 Test Procedure*

Test objective is to maximize the head and neck interaction by aligning the head with the center of the airbag module.

1.8 Hybrid III 3-Year-Old Child Dummy Lying on Seat (Passenger Positions with

Door/Quarter Panel-Mounted Airbags)

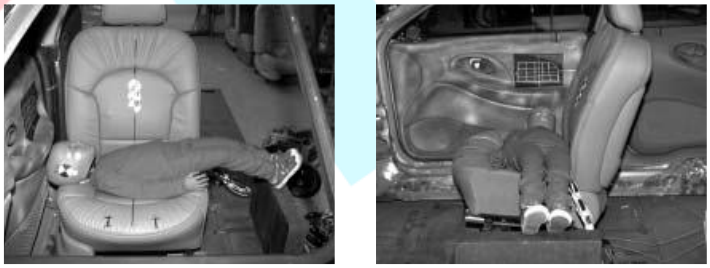


Figure 8. *1.8 Test Procedure*

Test objective is to maximize the head and neck interaction by aligning the head with the vertical centerline of the door/quarter panel-mounted airbag module.

2.1 Forward Facing Hybrid III 6-Year-Old Child Dummy on Booster Block (Passenger

Positions with Seat-Mounted Airbags)

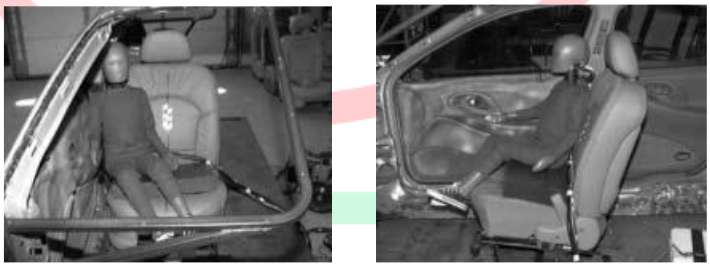


Figure 9. *2.1 Test Procedure*

Test objective is to maximize the head/neck interaction by aligning the neck with the top of the side airbag module.

2.2 Inboard Facing Hybrid III 6-Year-Old Child Dummy on Booster Block (Passenger Positions with Roof-Rail-Mounted Airbags)



Figure 10. *2.2 Test Procedure*

Test objective is to maximize the head/neck interaction by positioning the head in the path of the deploying airbag.

Test procedures cover all the possible positions of children on the passenger seat to ensure examination of the possible risks and their impact.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). (1999). Side Airbag Out-of-Position Injury Technical Working Group: Final Report. U.S. Department of Transportation.

Insurance Institute for Highway Safety (IIHS). (1999). The Role of Side Airbags in Injury Prevention. IIHS.

Automotive Occupant Restraints Council (AORC). (2000). Technical Report on Airbag Safety. AORC.

Center for Auto Safety. (1999). Petition for Regulatory Action on Side Airbags. Center for Auto Safety.

Transport Canada. (1999). Crash Investigations and the Role of Side Airbags in Preventing Serious Injuries. Transport Canada.

Dale Kardos and Associates. (2000). Biomechanics of Side Airbag Deployment: Research and Testing. Dale Kardos and Associates.

Alliance of Automobile Manufacturers (Alliance) & Association of International Automobile Manufacturers (AIAM). (1999). Standards for Side Airbag Safety and Deployment Procedures. Industry Report.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

DİGİTAL HUMAN MODELS ON VEHİCLE ERGONOMİCS

Muhammed Ali VURAL[1]

Abstract

Vehicle Ergonomics can be defined as evaluating the user's comfort and relationship with other components in the vehicle, according to the positions of the driver or passengers. The basis of ergonomic analysis with the human model dates back to the 1950s. Initially, 2D human models were created and began to be used for ergonomic studies of vehicles. 3D human models were later created. As technology improved, software applications were created, and digital human models were used to ergonomic evaluations of vehicles.

Vehicle ergonomics has been the subject of several research. Numerous research have been conducted on vehicle architecture, ergonomics of vehicles, vehicle occupant packaging and digital human models. This study is about the development of digital human models.

With the development of technology, software programs which digital human models are integrated, have been developed. These software applications allow for the creation of digital human models with different dimensions and various degrees of movement. This makes it possible to represent the intended population in society. Ergonomic issues can be identified in the early stages of vehicle design through the use of digital human models. This implies that the cost needed to correct the issues decreases. This paper includes an extensive examination of the development of digital human models in addition to the models that are frequently used in the literature.

Keywords: Vehicle, Ergonomics, Physical Manikins, Digital Human Models, Development

1.Introduction

The use of digital human models (DHM) in ergonomics analysis has increased considerably in recent years with the development of technology. The foundations of ergonomic analyzes with human models are based on Dempster's studies with 2D human templates in the 1950s (Dempster, 1955). The 3D manikin template was standardized by the Society of Automotive Engineers (SAE) in the 1960s and used in ergonomics analyses. CAD models replaced the functions of these two tools as computer technology advanced. The bulk of society can be represented by the developed digital human models, and DHMs can be created in the sizes that are requested (Reed et al., 2002). RAMSIS and JACK softwares are now widely

[1] Vehicle Architecture Performance Engineer, TOFAS, R&D

used for analysis with digital human models. Dempster's 2D human template, SAE J826 3D manikin template and digital human model are shown in Figure 1.

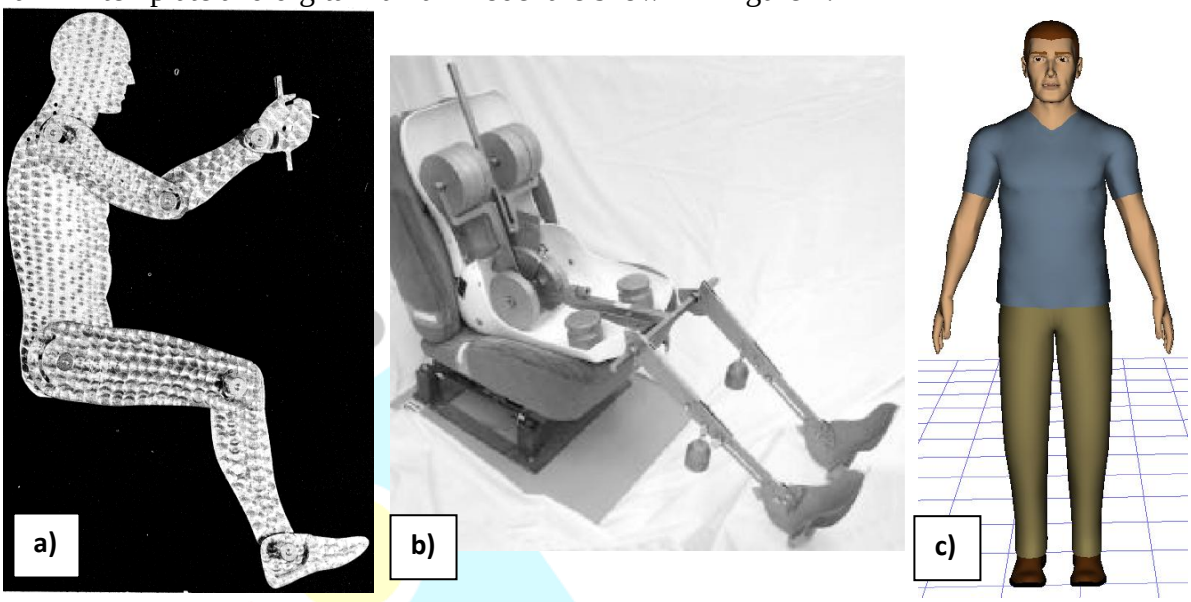


Figure 1: a) 2D Human Templates b) SAE J826 3D Manikin Template c) Digital Human Model

Maria Pia Cavatora carried out an ergonomics research. According to her research, there are five factors that need to be evaluated when developing a vehicle's ergonomics: habitability, accessibility, reachability, interior and external visibility, and sitting comfort (Cavatorta, 2013).

Simmonds conducted a study on ergonomic standards and research of vehicles. He showed that there is a relationship between the size of symbols and their recognition. Additionally, he has also carried out studies on subjects such as hand reach, control location and design, electronics instrumentation and electronic speedometers (Simmonds, 1983).

Matthew P. Reed et. al. conducted a study on digital human models. They created a technique to generate digital human models that were matched to the values seen in the data they gathered from body scans. They integrated this method into the JACK program with a tool (Reed et al., 2014).

Ruspa et. al. conducted a study about the VR simulator and JACK. Subjects drove different geometry cars with different driving scenarios within a virtual reality simulator. They transferred data which obtained from VR to the Jack. As a result, they developed a tool to perform dynamic visibility analysis in the JACK (Ruspa et al., 2007).

In this study, information will be given about the sizes of digital human models found in the literature and their visibility capabilities will be compared with physical human models (PHM). The aim of this study is to show the importance of digital human models in the vehicle production process.

2.Method

Digital human models can be obtained using software programs. These manikins can be used for a variety of ergonomic evaluations. Most research in the literature utilize digital human models that are 95% male, 50% female, and 5% female. The purpose of this, represent the intended population in society. The height and weight information of 5% female, 50% male and 95% male DHMs, standart-created in a software program, is shown in Table 1.

Table 1- Digital Human Models Height and Weight Data

	Height (mm)	Weight (kg)
5% Female	153	55
50% Male	175	78
95% Male	187	89

In the continuation of the paper, a study will be carried out to see the accuracy of ergonomic evaluations of digital human models. Digital human models and physical human models will be positioned in the same positions and the visibility capabilities of two different models will be evaluated. The purpose of this study is to demonstrate how digital human models are currently evolving.

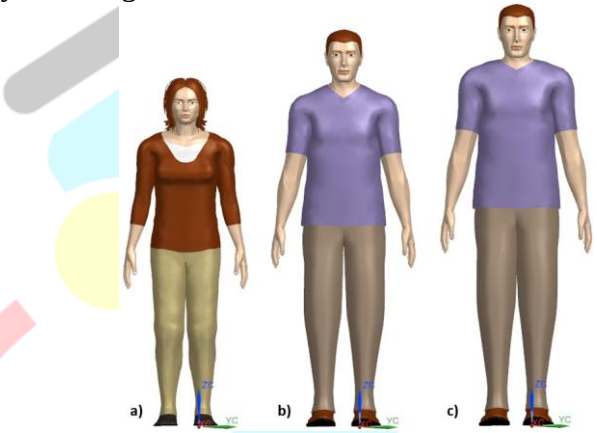


Figure 2: Digital Human Models a)5% Female b)50% Male c)95% Male

3.Result and Discussion

The visibility capabilities examination was performed with 5% female, 50% male and 95% male DHMs found in literature and physical human models of the same sizes. The visibility capabilities was performed using an engineering software as mentioned before in this study. While evaluating the visiblity capabilities, symbols in the vehicle were taken into consideration. Figure 3 shows dummy images of DHMs and PHMs visibility evaluation. These dummy images were obtained from internet browsers.

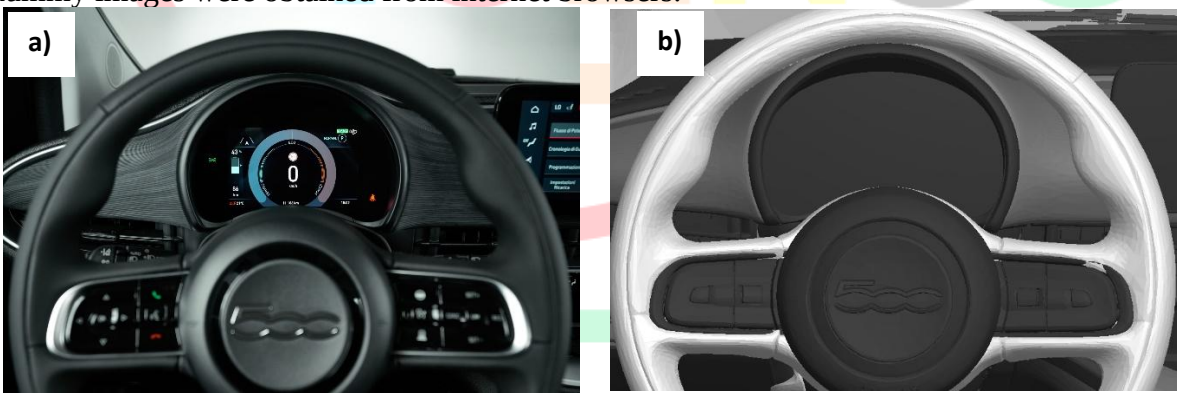


Figure 3: Dummy Images of Visibility Capabilities a) PHM b) DHM

When 5% female DHM' s visibility capabilities was evaluated, DHM can see symbols clearly. When the visibility capabilities of the 5% PHM is evaluated, the PHM can see symbols clearly like %5 DHM. There is an important issue to consider. There may be very slight differences in vision capabilities because of it is difficult to precise match the eye positions of the PHM with the DHM.

When 50% male DHM' s visibility capabilities was evaluated, DHM can see symbols clearly. When the visibility capabilities of the 50% PHM is evaluated, the PHM can clearly see symbols like 50% DHM.

When 95% male DHM' s visibility capabilities was evaluated, DHM can see symbols clearly. When the visibility capabilities of the 95% PHM is evaluated, the PHM can clearly see symbols like 95% DHM.

4. Conclusion

Examining the visibility capabitilies indicate that the DHMs and PHMs analyses aligned with each other. According to the 5% female, 50% male and 95% male visibility capabilities results, it has been determined that DHMs and PHMs can see symbols. There may be very slight differences in vision capabilities because of it is difficult to precise match the eye positions of the PHM with the DHM.

As a result of the study, it was confirmed that ergonomic evaluations made with DHMs gave the same results as the evaluations made with PHMs. The cost of making changes early in the vehicle project process is significantly less than making changes late in the process. This situation demonstrates the importance of virtual analysis.

ISBN: 978-625-372-661-4

REFERENCES

Cavatorta, M. P. & Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, Politecnico di Torino. (2013). *ERGONOMIC ANALYSIS OF MOTOR VEHICLES* (No. 4; Vols. 39–40). https://oaji.net/articles/2014/766-1420109631.pdf

Dempster, W. T. (1955). *Space requirements of the seated operator : geometrical, kinematic, and mechanical aspects of the body, with special reference to the limbs*. https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/4540

Reed, M. P., Manary, M. A., Flannagan, C. a. C., & Schneider, L. W. (2002). A statistical method for predicting automobile driving posture. *Human Factors the Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *44*(4), 557–568. https://doi.org/10.1518/0018720024496917

Reed, M., Raschke, U., Tirumali, R., & Parkinson, M. (2014). *Developing and implementing parametric human body shape models in Ergonomics software*. https://www.semanticscholar.org/paper/Developing-and-Implementing-Parametric-Human-Body-Reed-Raschke/a60ae2987f8f55872e937505c404222b4d4c6f1f

Ruspa, C., Quattrocolo, S., & Bertolino, D. (2007). Virtual Tool for the Evaluation of the Visibility during Critical Driving Tasks. *SAE Technical Papers on CD-ROM/SAE Technical Paper Series*. https://doi.org/10.4271/2007-01-2499

Simmonds, G. (1983). Ergonomics standards and research for cars. *Applied Ergonomics*, *14*(2), 97–101. https://doi.org/10.1016/0003-6870(83)90155-2

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

INVESTİGATİON OF ACOUSTİC PERFORMANCE OF A VEHİCLE FOR HİGH-SPEED DRİVİNG

Muhammed Taha SIRMA[1]
Ayhan YAĞCI[2]
Halil ATEŞ[3]

Abstract

Acoustic comfort has become a key concern in modern vehicle design, particularly as long-distance travel and high-speed driving become more common. With increasing awareness among users, interior noise caused by road texture, aerodynamic turbulence, and powertrain operation is now a critical factor influencing overall driving experience and perceived vehicle quality. This study examines the effectiveness of selected acoustic interventions aimed at reducing cabin noise and improving speech intelligibility under real-world highway conditions.

The methodology involved in-vehicle testing across a range of speeds and environmental scenarios to evaluate practical performance. Two core metrics were used to assess acoustic outcomes: the Articulation Index (AI), which quantifies how clearly speech can be understood inside the vehicle, and the Sound Pressure Level (SPL), which measures overall noise intensity. Comparative measurements were taken before and after the application of each acoustic treatment to determine its impact.

Findings reveal that specific interventions—such as improved sealing, sound-absorbing materials, and optimized aerodynamic features—can lead to notable reductions in SPL and measurable gains in AI scores. These results not only demonstrate the practical benefits of targeted acoustic design but also offer guidance for integrating such solutions into future vehicle platforms.

By focusing on real-life driving conditions and measurable improvements, this research contributes valuable insights to the development of quieter, more comfortable vehicles, aligning with industry trends toward enhanced user experience and refinement.

Keywords: Acoustic Comfort, NVH, Highway Driving, Articulation Index, Sound Pressure Level

[1] Tofas Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Ar-Ge NVH, muhammed.tahasirma@tofas.com.tr Orcıd: 0009-0002-6184-7267
[2] Tofas Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Ar-Ge NVH, Ayhan.yagci@tofas.com.tr Orcıd: 0000-0003-0005-3164
[3] Tofas Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Ar-Ge NVH, halil.ates@tofas.com.tr Orcıd: 0000-0002-5308-1444

ISBN: 978-625-372-661-4

INTRODUCTION

The noise level inside of a transport vehicle during highway driving can have detrimental effects on drivers and passengers. As the trip duration increases, noise disturbances can result in an increase in the tiredness and annoyance of the vehicle occupants. The automotive OEMs have to meet the increasing quality demands from the car owners in order to pursue existence in a very competitive environment. Acoustic comfort is among these demands with high priority.

The main factors affecting the acoustic comfort of a vehicle are engine noise, road noise and wind noise. With the increasing popularity of electric vehicles, road and wind noise became more important since the masking effect of an internal combustion engine (ICE) noise is removed. While a typical ICE generates noise which is dominant in the low frequency region, the wind noise and road noise have contents in the higher frequency ranges. In automotive NVH (Noise, Vibration, Harshness) area, these noise types are examined using the metrics such as Sound Pressure Level and Articulation Index. Of course, according to the characteristics of the noise under investigation, many other metrics and parameters can be used.

INVESTIGATION METHOD

In this study, the focus was on the experimental investigation of the contributions from some specific regions of the vehicle to the overall noise level inside the cabin. These areas are tailgate-roof intersection, B-Pillar ornaments, and external rearview mirrors. Some experimental interventions were designed to expose the noise contribution from these areas.

For the tailgate-roof boundary, the effect of the tailgate cutline seal was investigated by removing the existing seal. Also, the flushness of the spoiler on the upper tailgate was modified and its effect was examined. Another modification to test was decreasing the local rigidity of the roof rear edge region by removing the structural paste between the sheet metal layers.

To see the effect or contribution of the B-Pillar ornaments, a gap between the ornament and the vehicle body was introduced.

The effect of the breakaway seal of the external rearview mirror was inspected by removing this seal.

For all these interventions, before-after comparisons were performed with the acoustic measurement data collected during high-speed cruising on highway.

HIGH-SPEED DRIVING TESTS ON HIGHWAY

The aforementioned experimental modifications were tested by performing acoustic measurements during a cruise at a specific speed over 100 kph on highway. Acoustic data were collected as a function of vehicle speed by the microphones located at the ear positions of the all occupants inside the vehicle cabin (Figure 1).

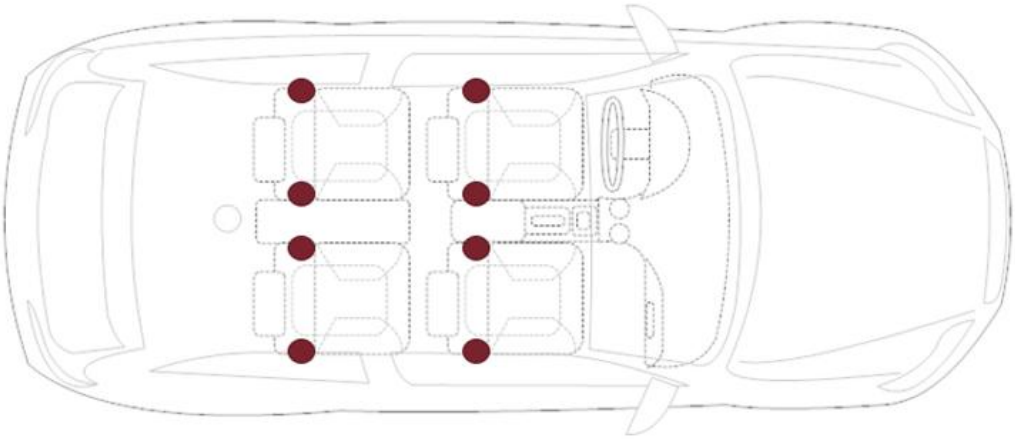


Figure 1. *Microphone Locations representing the Ear positions of vehicle occupants*

ANALYSIS METHOD

Acoustic data collected from the microphones were analyzed using Articulation Index and 1/3 Octave spectrum Sound Pressure Level.

Articulation Index is a sound quality metric used extensively in the automotive NVH field. Its development purpose is to create a quantity to indicate how much background sound levels can interfere with human speech [1]. It is expressed in terms of percentage values, with the higher values corresponding a better articulation. So, high articulation is a kind of indication of a good NVH performance. It can be said that vehicle occupants can communicate more clearly if the vehicle has a high Articulation Index value. If this index value is low, then it can be said that the people inside the vehicle cabin may not understand the words of each other during a conversation because of the high background noise masking their speech sound.

On the other hand, octaves are groups of frequencies that help quantify how humans distinguish between frequencies. They represent the overall level of sound energy over a specific frequency range. The human hearing range (20-20kHz) is divided into eleven octave bands, each band having double the frequency span of the previous band. These are called the 1/1 octave bands. The lower, upper, and center frequencies of the 1/1 octave bands over the human hearing range can be seen Table 1. If each 1/1 octave band is split into 3 bands, then 1/3 octave bands are obtained. One-third octave bands are used more extensively because they provide a finer resolution compared to 1/1 octave bands for frequency analysis. The two worldwide accepted standards mentioning octave bands are American National Standards Institute (ANSI) [2] and International Electrotechnical Commission (IEC) 61260: Specifications for Octave-band and Fractional-Octave-band Filters [3].

Table 1. *1/1 Octave Bands*

Lower Band Limit (Hz)	Center Frequency (Hz)	Upper Band Limit (Hz)
11	16	22
22	31.5	44
44	63	88
88	125	177
177	250	355
355	500	710
710	1000	1420
1420	2000	2840
2840	4000	5680
5680	8000	11360
11360	16000	22720

EXPERIMENTAL MODIFICATIONS AND THEIR EFFECTS

First modification was the removal of the tailgate cutline seal at the tailgate-roof boundary, representatively seen in Figure 2. With this modification, the articulation index at the ear position of the rear occupants decreased substantially. A deterioration of about 5 points was seen in Articulation Index after the removal of this seal. Correspondingly, the Sound Pressure Level (SPL) between the 1/3 octave bands of 200-1000 Hz demonstrated a clear increase after removing the seal as can be seen in the graph in Figure 3 which was plotted using the data at Rear Left Passenger's Right Ear position. The difference at 400 Hz band was more than 5 dB. This shows that the cutline seal mainly works in this frequency range.

Another experimental modification was to decrease the flushness of the spoiler with respect to the roof surface level by readjusting the tailgate assembly position on vehicle body. The flushness value was lessened by 2 mm (Figure 4). Flushness refers to the degree of alignment and smoothness between adjacent exterior parts of a car, such as the panels, windows, doors, or side mirrors, ensuring minimal gaps, protrusions, or misalignments. It plays a critical role in managing wind noise, particularly at high speeds, by influencing airflow behavior and reducing aeroacoustic disturbances. When exterior parts are not flush—e.g., a door panel protrudes slightly beyond the body—airflow encounters discontinuities. These misalignments disrupt the smooth, laminar flow of air over the car's surface, creating turbulent eddies and shear layers. Turbulence generates broadband wind noise, a rushing or hissing sound, which increases with speed and can penetrate the cabin through seals or structural vibrations.

Poor flushness often results in small gaps or steps between parts. As explained earlier, air passing through these gaps can trigger vortex shedding and resonance, producing high-pitched whistling noises. Flush surfaces minimize these gaps, reducing the likelihood of such feedback mechanisms and keeping noise tonal components in check.

Misaligned parts create localized pressure differences as air accelerates or decelerates around them. These fluctuations act as sound sources, contributing to low-frequency buffeting or rumbling noises. Flush surfaces maintain consistent pressure distribution, mitigating these effects and stabilizing airflow.

The boundary layer—the thin layer of air close to the car's surface—remains more attached and stable over flush surfaces. Protrusions or recesses disrupt this layer, causing it to separate and reattach, which amplifies noise through increased turbulence and wake formation behind the discontinuity.

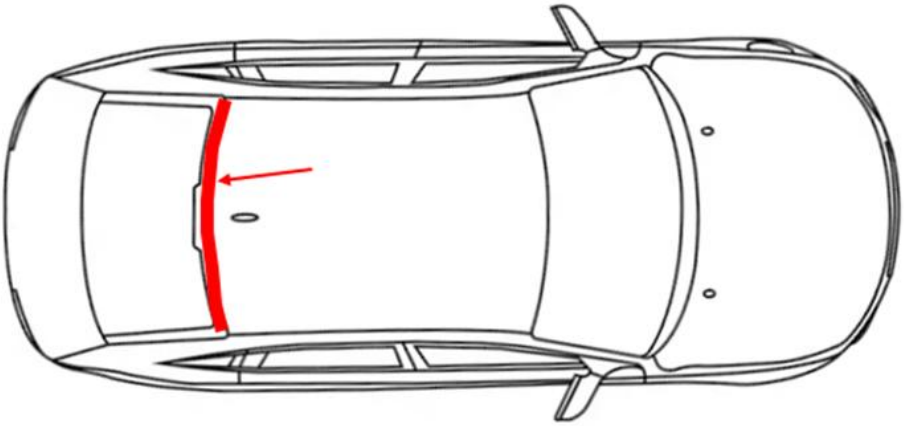


Figure 2. *Representative illustration showing the location of the Tailgate Cutline Seal*

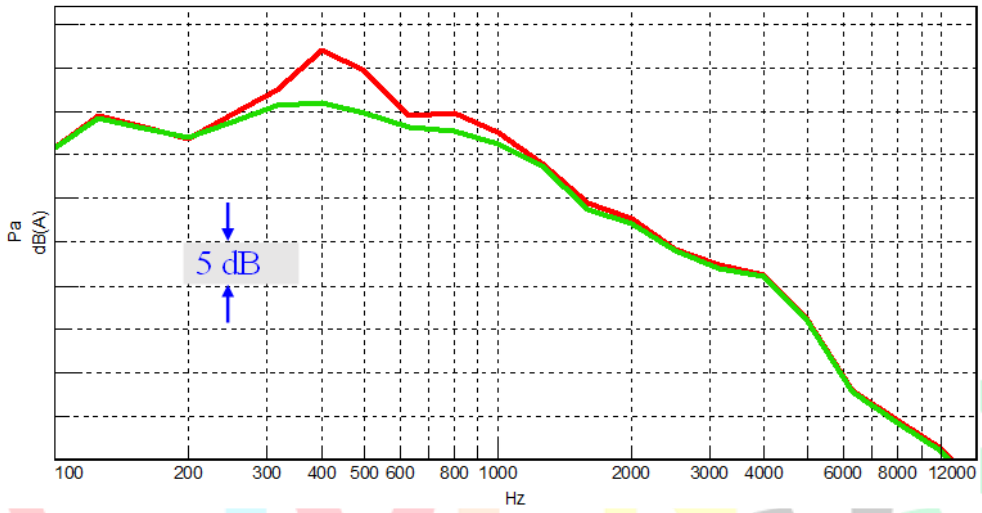


Figure 3. *Comparison of 1/3 Octave Band graphs for two conditions: With Tailgate Cutline Seal (Green curve) vs. Without Tailgate Cutline Seal (Red curve)*

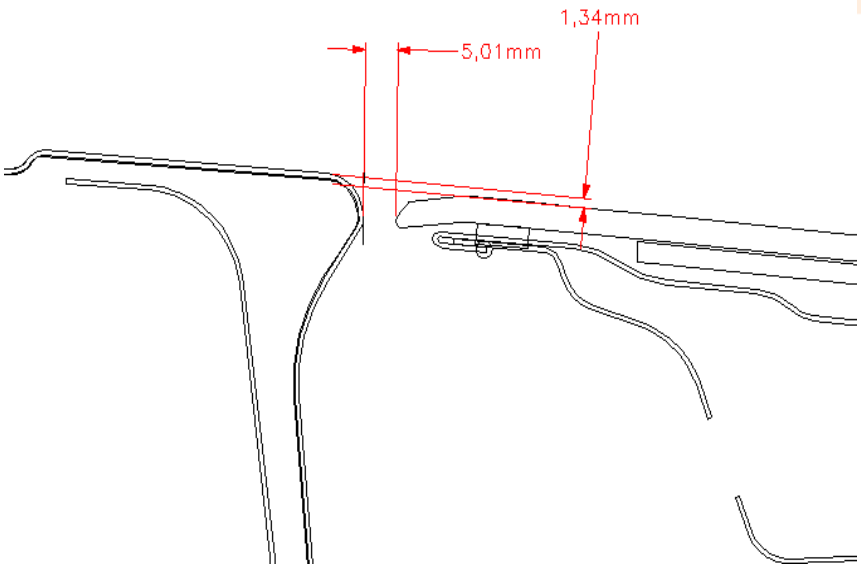


Figure 4. *Illustrative section showing the flushness of the tailgate spoiler with respect to the roof.*

The effect of this modification can be seen on the graph in Figure 5. Again, this graph is plotted using the data collected from the microphone at Rear Left Passenger's Right Ear position. When the flushness decreased, the SPL inside the cabin deteriorates between 315-1600 Hz. The difference reaches up to 5 dB around 400 Hz band. The corresponding articulation index decrease is 2 points.

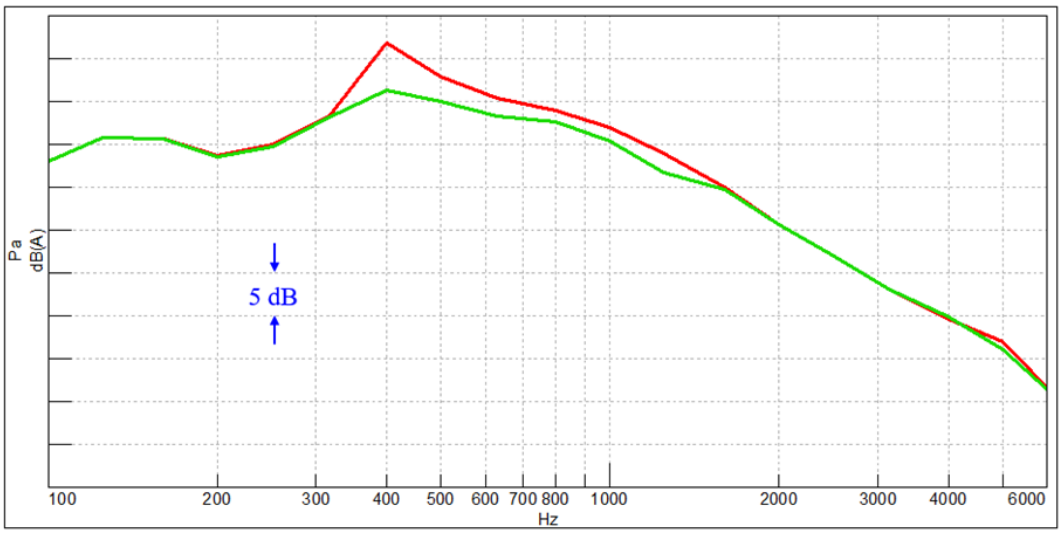


Figure 5. *Comparison of 1/3 Octave Band graphs for two conditions: Flushness in normal condition (Green curve) vs. Decreased Flushness (Red curve)*

The third experimental modification was the elimination of the structural filler material between the two sheet metals of the roof in the rear vertical region. This material is a kind of a high-density paste. It is a common application in automotive industry. Usually, it has the thermo-expandible characteristic. It expands upon heat absorption and fills all the space between the sheet metals-the main structural body components- in a specific region. This material dampens vibrations while also providing rigidity to the combined structure. The damping effect occurs because the structure's ability to dissipate vibrational energy increases, while the added mass lowers its natural frequency and reduces vibrational amplitude [4]. For experimental purposes, this filler material was removed from the space between the two metal sheets that constitute the upper rear side of the roof structure and then again, tested in the high-speed driving condition. The removal of the damping material caused a significant increase in the overall noise level at the rear seat inside the cabin: The articulation index was lowered by 7 points. This modification affected all frequencies, with the highest impact occurring around the 400 Hz band, as shown in the 1/3 octave spectrum graph in Figure 6. These curves were plotted using the data collected from the microphone located at the Rear Left Passenger's Right Ear position.

Another modification experiment was set up to understand the effect of the gasket at the breakaway area of the external rearview mirrors. This gasket is used to prevent air from entering the gap formed between the two moving parts of the rearview mirror when it folds. This way, any whistling, sizzling, or air rush noise generated by the airflow during cruising can be prevented. The modification to be tested was to remove this gasket. After removing the gasket, it was observed that its impact was relatively minor compared to the other modifications tested. The graph in Figure 7 shows the effect of this modification in the form of before-after comparison. The red curve slightly separated from the green one at some frequency ranges which leads to a small decrease of 1 point in articulation index. The largest difference was about 1.5 dB which occurred around 8 kHz.

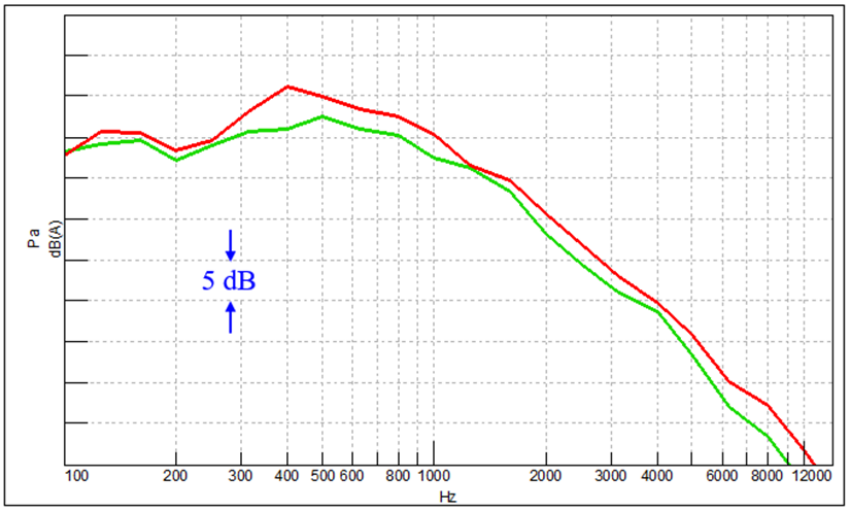


Figure 6. *Comparison of 1/3 Octave Band graphs for two conditions: With Filler Material (Green curve) vs. Without Filler Material (Red curve)*

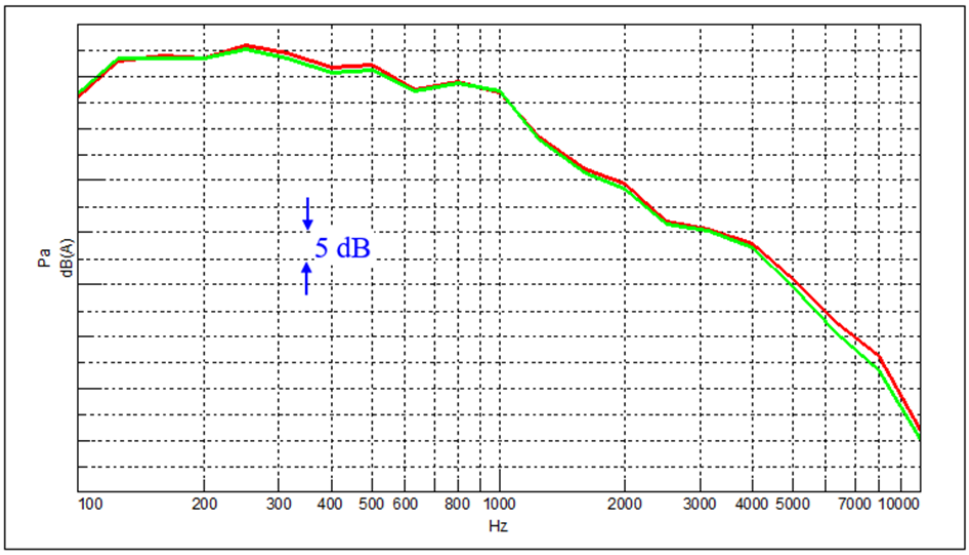


Figure 7. *Comparison of 1/3 Octave Band graphs for two conditions: With Breakaway Gasket (Green curve) vs. Without Breakaway Gasket (Red curve)*

The final experimental modification, designed to assess its impact on cabin noise levels, was based on the idea of creating a gap beneath the B-Pillar applique along its upper edge. B-Pillar is the body section between the front and rear side doors (Figure 8). B-Pillar appliques are generally accepted as decorative parts that also contributes the perceived quality of vehicle. However, apart from being just an aesthetical part, they are also functional. They act as a barrier preventing the entry of air/water/dirt. They help guaranteeing the retention and right position of the Glass Run seal. Its design and shape are important to avoid air turbulence around B-Pillar area. Although there is no paper that directly studies the effect of B-pillar appliques on wind noise in isolation, the literature tends to address the B-pillar as part of broader aerodynamic and NVH optimization efforts, with appliques being a potential (but not explicitly studied) solution for smoothing airflow. For example, [5] explicitly discusses the B-pillar's contribution to wind noise, noting that its geometry can increase wind noise by 3-5 dB at 100 km/h if not optimized. It suggests that smoothing the B-pillar's surface and improving sealing can help, which indirectly relates to the role of appliques.

For the purpose of seeing the effect of B-Pillar applique on the noise level inside the cabin at high speeds, the upper edge of the B-Pillar applique was artificially moved away from the door body such that a gap of around 0.5 mm was generated.

The effect of this modification can be seen on the graph in Figure 9. When the B-Pillar appliques are artificially displaced at their upper edge such that a gap is generated between the applique and the door body, the sound pressure level increased almost for all the spectrum range. Moreover, at around 8500 Hz, a tonal peak of about 10 dB was generated with respect to the normal condition. This shows the characteristic of a whistle-like noise. The related literature collectively highlight that whistle-like noises in cars at high speeds often result from aeroacoustic feedback mechanisms, where airflow instabilities (e.g., vortex shedding or shear layer fluctuations) interact with vehicle geometry—such as gaps, mirrors, or turbocharger components—to produce tonal sounds [6, 7, 8]. For the case of B-Pillar applique gap, the whistle results from a self-sustaining cycle of vortex shedding and acoustic resonance within the gap, driven by high-speed airflow.



Figure 8. *B-Pillar with appliques (garnish) on a car*

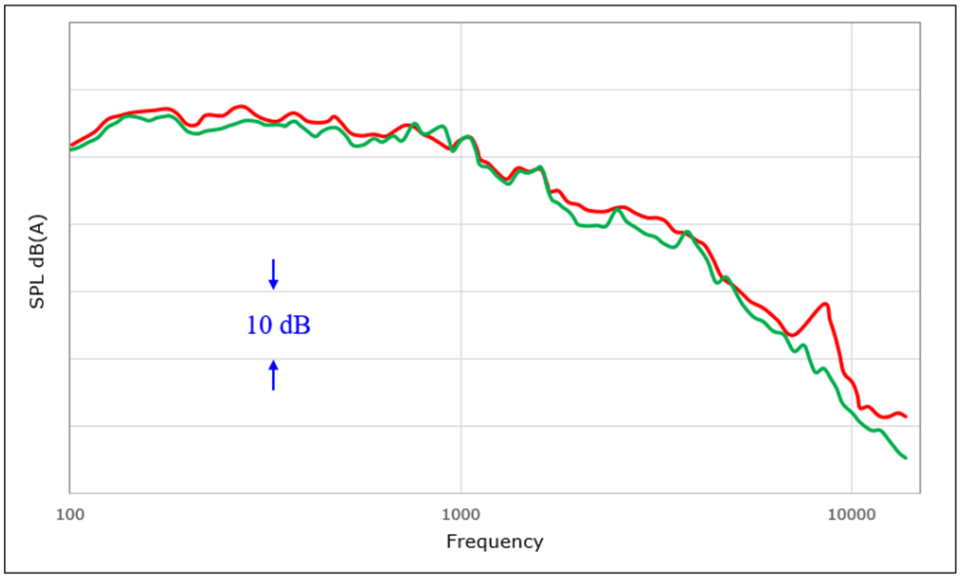


Figure 9. *Comparison of Sound Pressure Level (SPL) vs Frequency graphs for two conditions: B-Pillar applique in normal assembly condition (Green curve) vs. B-Pillar applique in deteriorated condition (Red curve)*

CONCLUSION

This study underscores the critical role of vehicle exterior design in mitigating cabin noise and enhancing acoustic comfort during high-speed highway driving. By systematically investigating interventions at key regions—such as the tailgate-roof intersection, B-pillar appliques, and external rearview mirrors—the research reveals how specific modifications influence noise generation mechanisms. The removal of the tailgate cutline seal and structural filler material significantly increased Sound Pressure Level (SPL) by over 5 dB around 400 Hz and reduced Articulation Index (AI) by up to 7 points, highlighting their importance in damping mid-frequency noise and vibrations. Similarly, decreasing flushness at the tailgate spoiler amplified turbulence-induced noise by 5 dB in the 315–1600 Hz range, emphasizing flushness as a pivotal factor in controlling aeroacoustic disturbances. The introduction of a gap at the B-pillar applique triggered a pronounced 10 dB tonal peak at 8500 Hz, indicative of whistle-like noise from vortex shedding and resonance, while the rearview mirror breakaway gasket showed a modest 1.5 dB effect at 8 kHz.

These findings provide actionable insights for automotive NVH optimization, demonstrating that precise sealing, structural rigidity, and surface alignment are essential to minimizing wind and road noise. By offering scalable solutions validated through real-world testing, this study advances the development of quieter, more comfortable vehicles, meeting rising consumer expectations and supporting innovation in the competitive automotive industry. Future research can build on these results to refine design strategies further.

ICENSS

ISBN: 978-625-372-661-4

REFERENCES

[1] https://community.sw.siemens.com/s/article/articulation-index
[2] American National Standards Institute (ANSI)
[3] International Electrotechnical Commission (IEC) 61260: Specifications for Octave-band and Fractional-Octave-band Filters
[4] https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10490749
[5] (SAE 2022-01-0673), "Aeroacoustic Optimization of Vehicle Side Mirrors and B-Pillar Geometry,"
[6] Alam, F.; Jaitlee, R.; Watkins, S. Aerodynamic Effects on an Automotive Rear Side View Mirror. In Proceedings of the 16th Australasian Fluid Mechanics Conference, Gold Coast, Australia, 3–7 December 2007; pp. 762–765.
[7] Lounsberry, T.H.; Gleason, M.E.; Puskarz, M.M. Laminar Flow Whistle on a Vehicle Side Mirror; SAE Paper, 2007-01-1549; Society of Automotive Engineers: Warrendale, PA, USA, 2007.
[8] Watkins, S.; Oswald, G. The flow field of automobile add-ons-with particular reference to the vibration of external mirrors. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 1999, 82, 541–554.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

STEERİNG GEAR SİZİNG CALCULATİON ON PASSENGER VEHİCLES

Murat GÜNEY[1]

Abstract

The steering gear provides directional control of the vehicle via a mechanism that interfaces between the steering column intermediate shaft and the steering knuckle of the front suspension. It converts the rotational motion of the steering wheel into the angular motion of the tires of the vehicle. Mainly there are two different kind of steering gear which are mechanical steering gear and powered steering gear (hydraulic or electrical). Steering gear is one of the safety parts for the vehicle, the design and sizing of the steering gear are so important that it must be taken into account various inputs regarding vehicle mass, suspension geometry, vehicle tire pressures, and orientations.

In this paper, mechanical steering gear sizing calculation is done by using analytical methods. Steering gear sizing result is also key characteristic for steering torque & effort. The study focuses on a Mac Pherson-type of suspension, considering key variables such as rack travel, tire pressures, and front axle weight. Those variables are the main characteristics for the calculations and correlation of those variables directly effects the sizing of the steering gear. In the same manner, torque required to maneuver the vehicle in a safe manner. As a result, steering gear sizing calculation helps to choose the correct sizing for the steering system.

Keywords: steering gear, sizing, Mac Pherson, suspension, tire pressure

[1] Engineering Specialist, murat.guney43398@tofas.com.tr, Orcıd: 0000-0002-6005-9595

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Introduction

Steering system provides directional control of the vehicle using components like, steering column, steering gear, steering wheel, tires, knuckles and other linkages & fastenings. Steering system is one of the safety parts that is present in all types of vehicles. Being a safety part in a vehicle, durability and reliability of the steering system has key characteristics for the overall design of the vehicle.

Mechanical steering gear is generally used in light weight passenger vehicles since it is easy to manufacture (Agrawal et al., 2016: 4), but the correct sizing of the steering gear is so important that whole steering system and eventually vehicle works properly. Additionally, CAE technology is valuable in product development, providing simulation of actual loading condition of the steering gear (Kumar et al., 2014: 4), so design and sizing of the steering gear becomes easier to convenient prototyping & trial and error methods. On the other hand, sizing of the steering gear is important factor for the torque needed to maneuver the vehicle, so rack force directly affects the steering torques against the steering angle. (Segawa, and Higashi, 2007: 22) Furthermore, tire pressure effects need to be considered during the steering gear sizing calculations. Considering nominal tire pressure as 2.2 bar, decreasing the tire pressure increases the loads but increasing the tire pressure decrease the loads on the steering gear. (Pasquale, 2018: 83)

In this paper, using analytical methods and calculations on a McPherson-type of suspension, effects of rack travel, tire pressure and front axle weight investigated.

2.Method

Within the scope of the calculations, rack travel, tire pressure and front axle weight parameters are investigated. Rack Travel of steering gear is about total teethed length of the rack that is used to convert the rotational motion of the pinion into the directional motion rack, to turn the wheels. Tire pressure in the calculations defined as bar unit. The total weight that is included all front suspension & steering members, additionally, passenger, trunk load, fluids such as fuel, oil etc.

2.1.Calculation Parameters

Below table shows the assignment of the values regarding rack travel, tire pressure, front axle weight for the sizing calculation of the steering gear.

***Table 1** – Variable Assignment*

	Variable	Constant	Variable
Rack Travel (mm)	150	160	170
Tire Pressure (bar)	1.8	2.2	2.6
Front Axle Weight (kg)	900	950	1000

2.2.Calculation

The sizing calculation of the vehicle defines the total load that specified steering gear can meet. Additionally helps to define the torque needed to maneuver the vehicle. Sizing calculation of the mechanical steering gear for the passenger vehicles is done by using analytical calculations with keeping the two value as constant and other one is variable. For

example, keeping tire pressure as 2.2 and front axle weight as 950, effects of the rack travel onto the sizing calculation of the steering gear is calculated and vice versa.

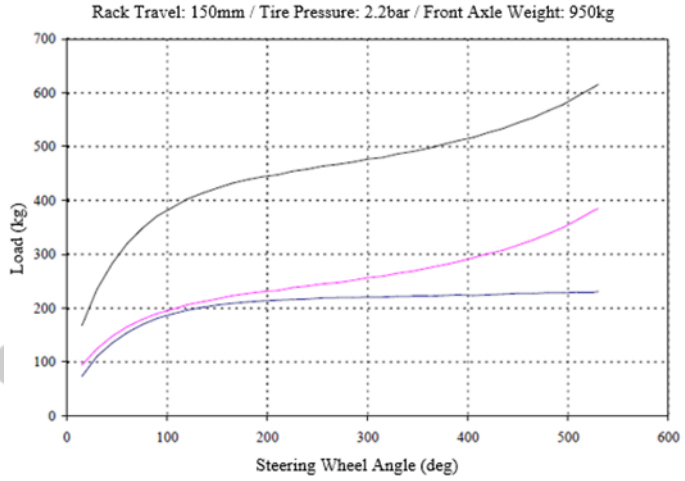


Figure 1 – *Rack Travel 150mm*

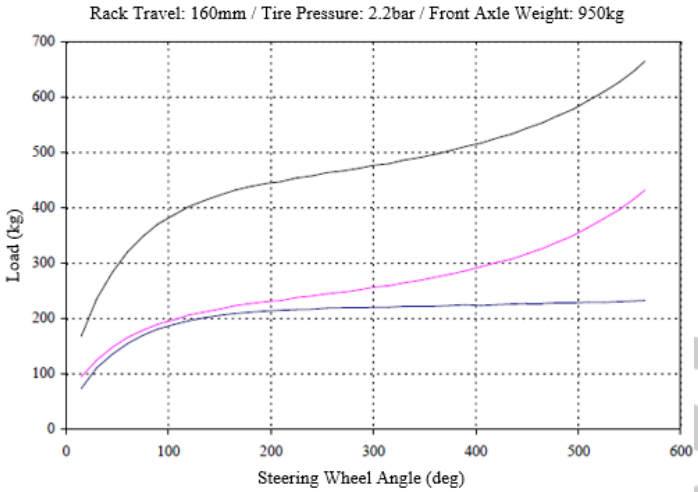


Figure 2 – *Rack Travel 160mm*

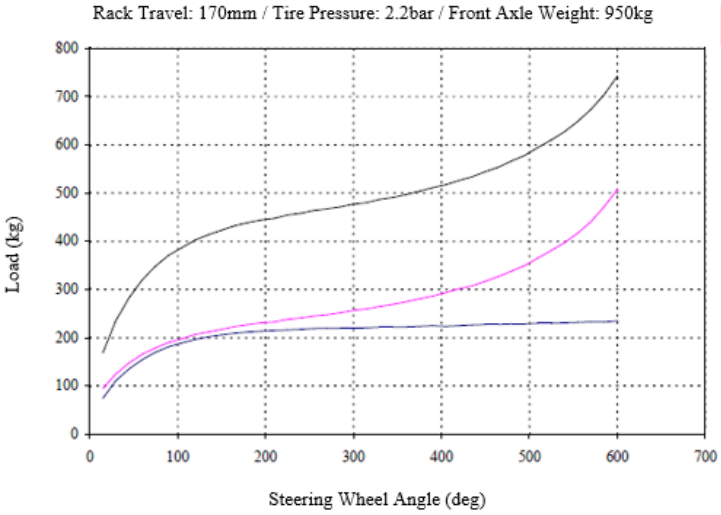


Figure 3 – *Rack Travel 170mm*

Table 2 *– Effects of Rack Travel*

	Tire Pressure 2.2 bar / Front Axle Weight 950 kg		
Rack Travel (mm)	150	160	170
Total Load on Steering Gear (kg)	616	665	738
Increase / Decrease (%)	-7.95 %	Nominal	+10.98%

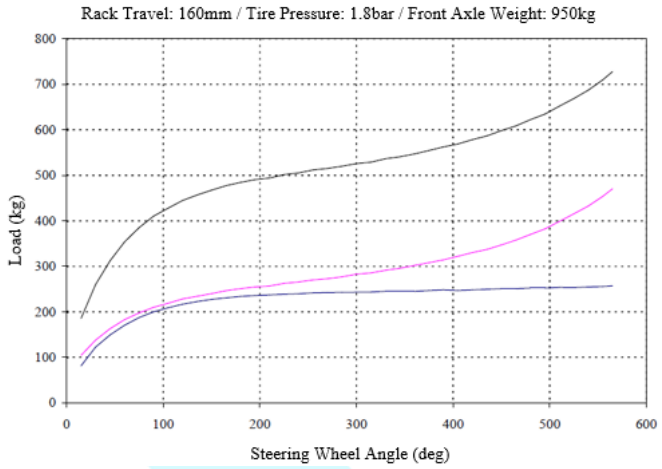


Figure 4 *– Tire Pressure 1.8 bar*

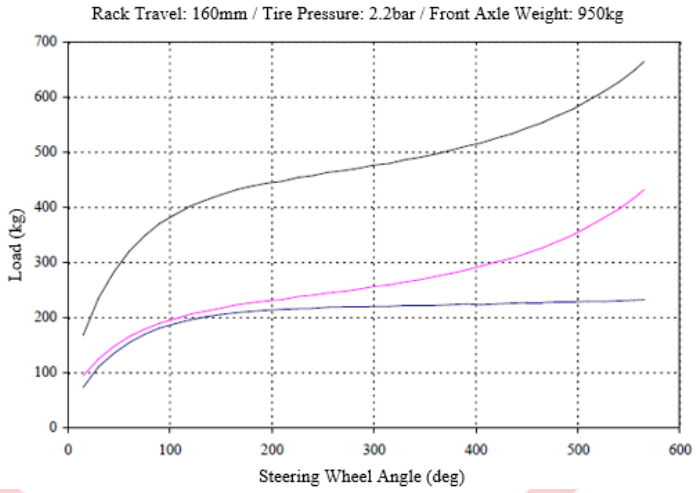


Figure 5 *– Tire Pressure 2.2 bar*

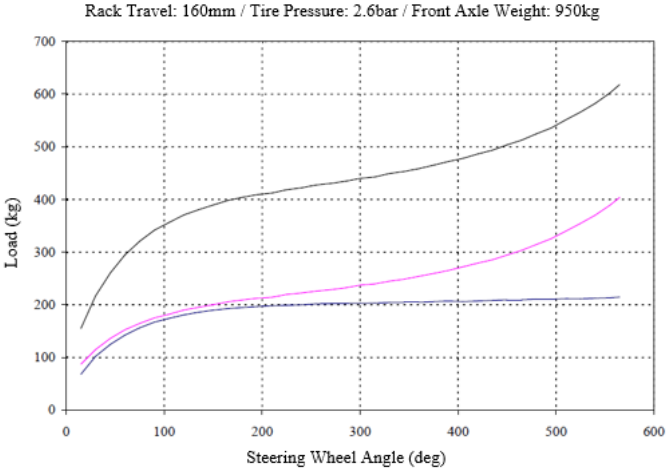


Figure 6 *– Tire Pressure 2.6 bar*

Table 3 *– Effects of Tire Pressure*

	Rack Travel 160 mm / Front Axle Weight 950 kg		
Tire Pressure (bar)	1.8	2.2	2.6
Total Load on Steering Gear (kg)	727	665	618
Increase / Decrease (%)	+9.32 %	Nominal	-7.61%

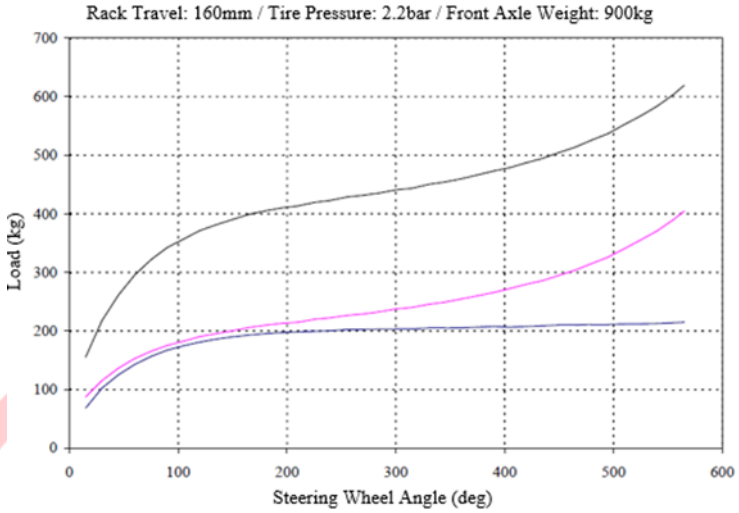


Figure 7 *– Front Axle Weight 900 kg*

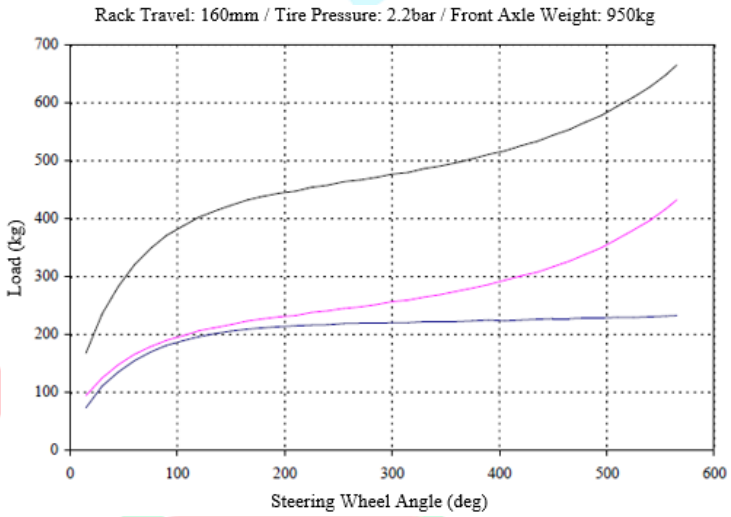


Figure 8 *– Front Axle Weight 950 kg*

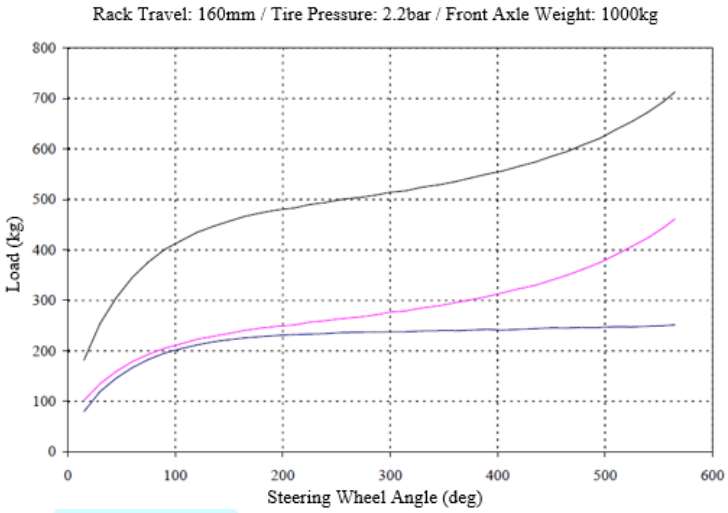


Figure 9 *– Front Axle Weight 1000 kg*

Table 4 *– Effects of Tire Pressure*

	Rack Travel 160 mm / Tire Pressure 2.0 bar		
Front Axle Weight (kg)	900	950	1000
Total Load on Steering Gear (kg)	619	665	712
Increase / Decrease (%)	-7.43%	Nominal	+7.07%

All calculation results already stated below the related graphs. Keeping one variable constant, other two variables' effects are investigated with the analytical steering gear sizing calculations. While designing a steering system for a passenger vehicle, all variables must be considered including rack travel, tire pressure and front axle weight.

2.3.Conclusion & Discussion

Steering system has a severe role on the overall safety of the passenger vehicles. Being a safety part, steering system definitions & calculations must be considered as key characteristics of the vehicles. Sizing calculation of the steering gear, being one of the main components of the steering system, that require precise engineering analysis.

It is obvious that, increase on the rack travel causes increase on the load required to withstand of the steering gear. So, the design of the steering gear and material selection must be done according to this load increase. Also, front axle weight increase is directly proportional to the required load of the steering gear. On the other hand, decrease on the tire pressure causes the increase on the frictional forces and other loads means that steering gear must withstand higher loads according to its' design.

Furthermore, tie rods design, material selection for rack, pinion & tie rods must be taken into account regarding the design of the steering gear and consequently design of the steering system of the passenger vehicle.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

[1]- Agrawal, P. L., Patel, S. S., & Parmar, S. R. (2016). *Design and simulation of manual rack and pinion steering system*. International Journal for Scientific and Advanced Research in Technology, 2(7).

[2]- Kumar, S., Kumar, P., & Chhabra, D. (2014). *Design and stress analysis of steering rack using CAE tool*. International Journal of Advances in Engineering Sciences, 4(3), 12–15.

[3]- Segawa, M., & Higashi, M. (2007). *Preliminary study on quantitative analysis of steering system using hardware-in-the-loop (HIL) simulator*. JTEKT Engineering Journal English Edition No. 1003E.

[4]- Di Pasquale, C. (2018). *Analysis of the effect of tire inflation pressure on vehicle dynamics and control strategies* (Master Thesis, Politecnico di Torino). Webthesis.

[5]- Bhishikar, S., Gudhka, V., Dalal, N., Mehta, P., Bhil, S., & Mehta, A. C. (2014). *Design and simulation of 4 wheel steering system*. International Journal of Engineering and Innovative Technology, 3(12), 351–367.

[6]- Mahale, R., Jaiswar, M., Gupta, G., & Kumar, A. (2018). *Design of steering gear system in passenger car: A review*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 5(1), 342–345.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

TAKIM TEZGAHLARINDA DİJİTAL DOĞRUSALLIK VE DÜZLEMSELLİK ÖLÇÜM KONTROL ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ

Mustafa ALKAN [1],[2]
Erdem ASLAN [3]

Özet

Bu çalışma, günümüzün hızla gelişen Computer Numerical Control (CNC) makine teknolojisine paralel olarak, bu makinelerin daha hassas ve doğru işlemler gerçekleştirebilmesi amacıyla doğrusallık ve yüzey düzlemselliği konularının önemini vurgulamaktadır. Bu kapsamda, söz konusu geometrik doğruluğun sağlanabilmesi için izlenecek prosedürler ile yeni geliştirilen bir prob sisteminin sunduğu kolaylıklar ve kazançlar ortaya konmuştur. Torna, freze ve lazer kesim gibi farklı kategorilerdeki CNC makineleri için temel kavramlar açıklanmış; düzlemsellik ölçüm işlemlerinin uygulanış biçimi, kullanılan yöntemler ve ölçüm araçları detaylı şekilde incelenmiştir. Ayrıca, operatör ve cihaz kaynaklı hataların makine düzlemselliğini ne ölçüde etkilediği analiz edilmiştir. Bilişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler doğrultusunda, mobil iletişim ve kablosuz veri aktarım teknolojileri endüstride önemli bir yer edinmiştir. Geliştirilen yeni prob sisteminde kullanılan kablosuz iletişim teknolojisi, mevcut alandaki eksiklikleri gidermekte ve düşük maliyetli, çoklu cihazlarla uyumlu bir çözüm sunarak veri iletiminde önemli avantajlar sağlamaktadır. CNC makinelerinde yüzey düzlemselliğinin sağlanması, üretim kalitesi ve verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Doğru ölçüm araçlarının seçimi; zamandan tasarruf sağlarken, ölçüm doğruluğunu ve süreç güvenilirliğini artırmaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen prob sistemleri ve ölçüm algoritmaları sayesinde, operatör ve cihaz hatalarının en aza indirilmesi ve ölçüm süreçlerinin bilgisayar destekli otomasyon aracılığıyla gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Böylece, hem zaman kayıpları hem de ölçüm hatalarının minimize edilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: CNC Makineleri, Düzlemsellik, Komparatör, Veri Transferi, Geometrik Hassasiyet

[1] Taksan Makina A.Ş., Elektrik Montaj Müdürlüğü, Kayseri, Türkiye, alkanmusti38@gmail.com , Orcıd: 0009-0004-7038-3833

[2] Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, Kayseri, Türkiye

[3] Erciyes University, School of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Kayseri, Türkiye, aslanerdem@erciyes.edu.tr , Orcıd: 0000-0001-6829-9000

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Günümüzde bilgisayar teknolojisinin sağladığı olanaklar, üretim tekniklerine doğrudan yansımış ve bu durum üretim süreçlerinde önemli gelişmelere neden olmuştur. CNC makineleri, modern sanayinin ve üretim teknolojilerinin vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. CNC, bir üretim yöntemi olup, birlikte kullanıldığı takım tezgâhları ile anlam ve işlev kazanmaktadır. CNC torna tezgâhı, CNC işleme merkezi, CNC matkap tezgâhı, CNC lazer ve CNC plazma gibi makineler bu teknolojiye örnek olarak gösterilebilir (Balkı, 2000).

CNC makinelerinde meydana gelen aşınma ve yıpranma, özellikle makinenin verimliliği, hassasiyeti ve kullanım ömrü üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu kavramlar, genellikle makine parçalarının zaman içerisinde deformasyona uğraması ya da işlevselliğini yitirmesi şeklinde tanımlanabilir. CNC makinelerinde yüzey düzlemselliğinin sağlanması ve kontrol edilmesi amacıyla çeşitli hassas ölçü aletleri kullanılmaktadır.



Şekil-1 Ölçü Aletleri: (a) Mikrometre, (b) Ölçü saati, (c) Kaliper

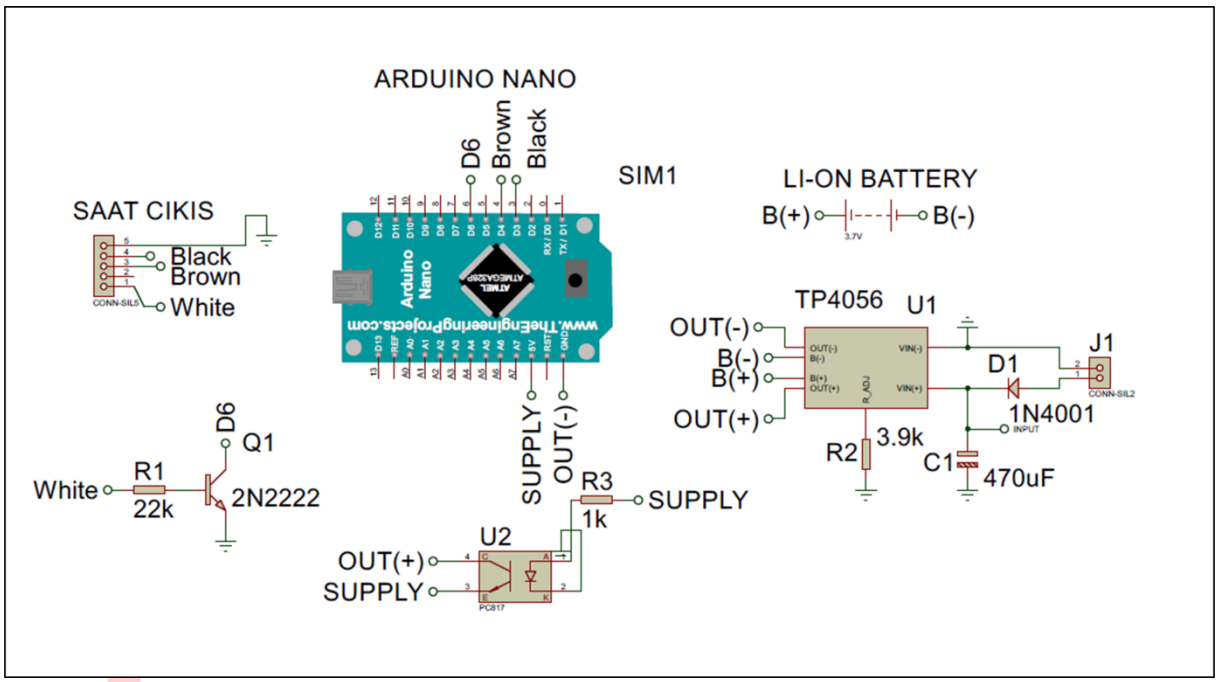
Şekil-1(a) Mikrometre çok hassas ölçümler yapabilen, yüzeylerin kalınlıkları ve düzlemselliği kontrol etmek amacıyla kullanılır. Mikrometreler 0,01 mm hassasiyetle ölçü alınabilen aletlerdir. Kullanılma yerine göre çap mikrometresi, derinlik mikrometresi, vida mikrometresi gibi değişik tipte, değişik büyüklükte olanları vardır. **Şekil-1(b) Ölçü** saatleri atölyelerde tezgâhları iş kalıplarını ve iş parçalarını düzenlemek, ayrıca üretilen parçaların boyut ve hassasiyetini kontrol etmek için kullanılır. Bu cihazlar, ölçülen değerleri diğer ölçümlerle karşılaştırmaya olanak tanır. **Şekil-1(c) Kaliper** genellikle makinelerde ve atölyelerde kullanılan, bir iş parçasının veya bileşenin boyutlarını ve özelliklerini hassas şekilde ölçmek amacıyla kullanılan bir ölçü aracıdır. Bu cihaz, özellikle yuvarlak veya silindirik parçaların doğru çaplarını, uzunluklarını ve diğer geometrik özelliklerini ölçmek için tercih edilir. (Acikders.ankara.edu.tr. 2000)

Söz konusu ölçü aletleri, CNC makinelerinde yüzey düzlemselliğinin sağlanmasında temel bir rol üstlenmektedir. Uygun ölçüm aletlerinin seçimi, düzenli ve yüksek hassasiyette ölçüm yapılmasına olanak tanıyarak hem zaman tasarrufu sağlamakta hem de iş kalitesi ile üretim verimliliğini artırmaktadır. CNC makinelerinde doğrusallık ve düzlemsellik ölçümlerine ilişkin dikkate alınması ve iyileştirilmesi gereken çeşitli parametreler bulunmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen prob sistemleri ve ölçüm algoritmaları aracılığıyla, hem operatör kaynaklı hem de cihazdan kaynaklanan hataların önüne geçilmesi hedeflenmiş;

ölçüm süreçlerinin bilgisayar destekli otomasyon sistemleri ile gerçekleştirilmesi sağlanarak zaman kayıplarının ve ölçüm hatalarının en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

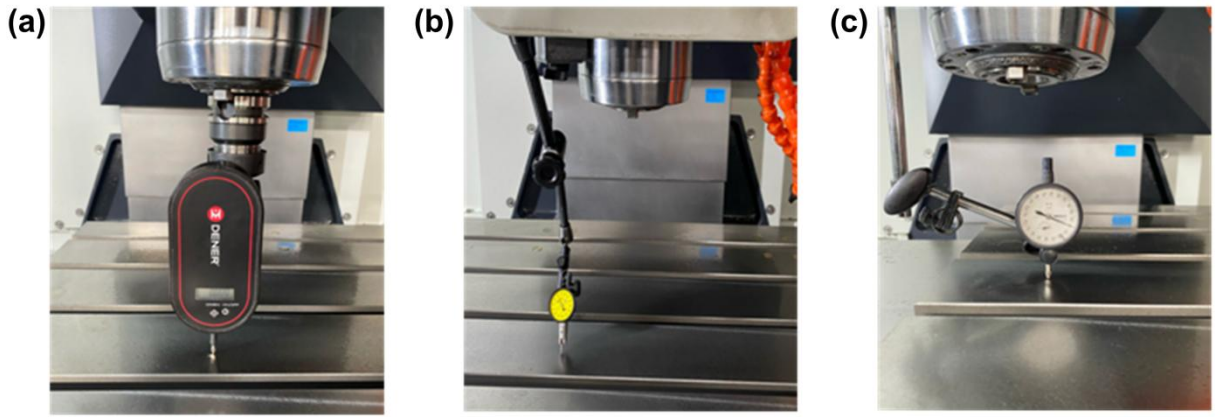
Yöntem

CNC makinelerde düzlemselliği sağlamak, genel verimlilik ve üretim kalitesi için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, düzlemsellik kontrolleri ve ayarları, üretim sürecinin ayrılmaz bir parçası olmalıdır.



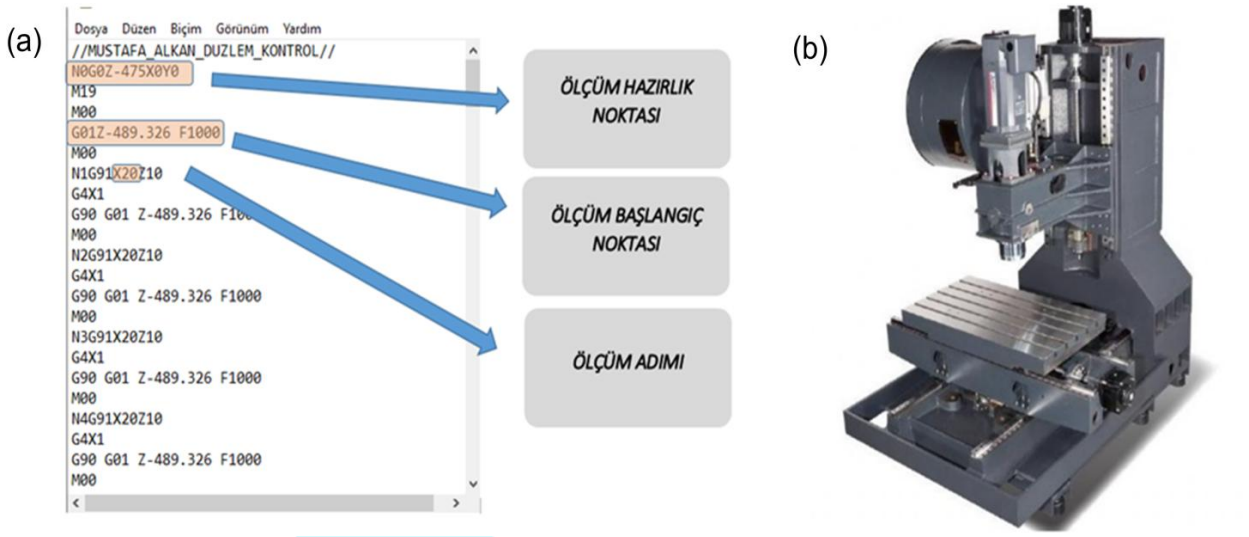
Şekil-2 Prob Devre Şeması

Şekil-2'de gösterildiği gibi geliştirilen prob; dijital komparatör gösterge bağlantıları kullanılarak, elde edilen komparatör saat ölçüm değerleri arduino vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Böylece ölçüm değerleri analog ve dijital komparatör kullanılırken oluşan operatör hatalarını (yanlış değer okuma) ortadan kaldırmış ve doğru bilgiye ulaşmakta kolaylık sağlamıştır.



Şekil-3 Ölçü Aletlerinin Montajı: (a) Prob, (b) Salgı Komparatör, (c) Analaog Komparatör

Şekil-3(b) ve (c)'de geleneksel yöntemlerde her bir ölçüm noktası için operatör ölçü aleti üzerindeki analog veya dijital ekrana bakarak ölçtüğü değerleri kayıt altına alabilmektedir. Şekil-3(a) Geliştirilen prob sayesinde ölçü aletiyle ölçülen değer bilgisayar ortamına aktarıldığı için ölçüm yapılan noktadan uzakta; kolaylıkla ve daha hızlı bir şekilde ölçülen değerlere ulaşılmış olmaktadır.



Şekil-4 (a) Örnek CNC Programı (b) CNC Dik İşleme Merkezi

Şekil-3'teki üç farklı ölçü aleti kullanılarak, şekil-4'teki aynı test programı ve aynı referans tabla üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiş; elde edilen veriler tablo ve grafik formatında sunulmuştur.

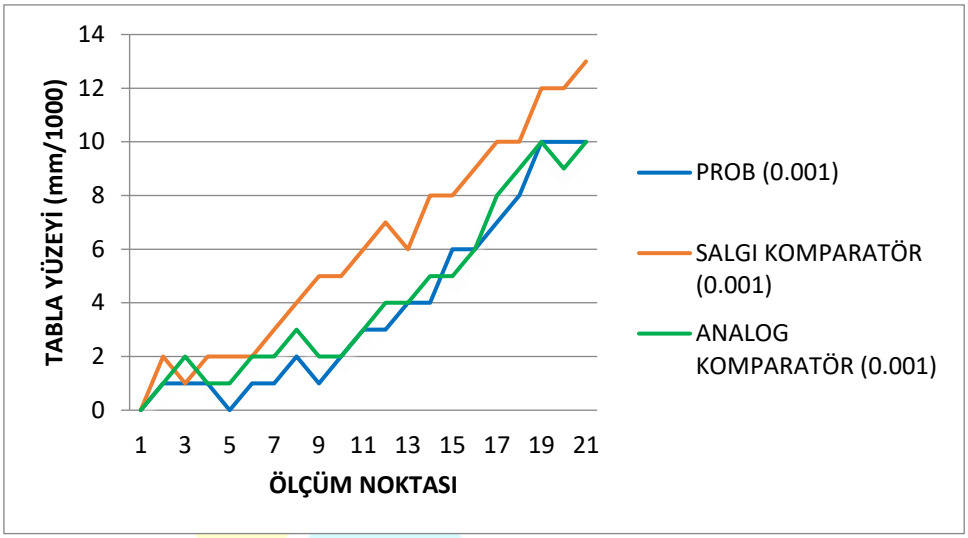
Araştirma ve Bulgular

1-Doğrusallık Kontrolü

Tablo-1 Üç Ölçü Aletiyle Doğrusallık Kontrolü

ÖLÇÜM NOKTASI	PROB (0.001)	SALGI KOMPARATÖR (0.001)	ANALOG KOMPARATÖR (0.001)
0	0	0	0
1	1	2	1
2	1	1	2
3	1	2	1
4	0	2	1
5	1	2	2
6	1	3	2
7	2	4	3
8	1	5	2
9	2	5	2
10	3	6	3
11	3	7	4
12	3	6	4
13	4	8	5
14	6	8	5
15	6	9	6
16	7	10	8
17	8	10	9
18	9	12	10
19	10	12	9
20	10	13	10

Bu çalışmada kullanılan üç farklı ölçüm aletiyle (Prob, Salgı Komparatörü ve Analog Komparatör) elde edilen verilerin istatistiksel dağılımı ve ölçüm güvenilirliği karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil-5 Tabla Yüzeyi Profilinin Ölçüm Noktalarına Göre Ölçü Aleti Bazlı İncelenmesi

Analizler sonucunda, şekil-5'te görüldüğü üzere Prob ortalama 4.14 değeri ile daha dengeli ve simetrik bir dağılım sergilemiştir. Ölçümlerin yaklaşık %45'inin ortalamanın üzerinde, %55'inin ise altında yer alması; bu cihazla yapılan ölçümlerde değerlerin homojen şekilde dağıldığını ve sistematik bir sapma içermediğini göstermektedir. Bu durum, yüzey ölçümlerinde daha kararlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmıştır.

Buna karşın, Salgı Komparatörü ile yapılan ölçümlerde ortalama değer 6.05 olarak belirlenmiş ve verilerin %40'ı bu ortalamanın üzerinde yer almıştır. Bu, verilerin dağılımında ortalamaya göre sola çarpık bir yapı bulunduğunu ve ölçümlerin yüksek değerlere doğru eğilim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Maksimum değerin 13 gibi yüksek bir seviyeye ulaşması, bazı uç nokta sapmalarının mevcut olduğunu ve bu cihazın yüksek varyansla sonuçlar üretebileceğini göstermektedir.

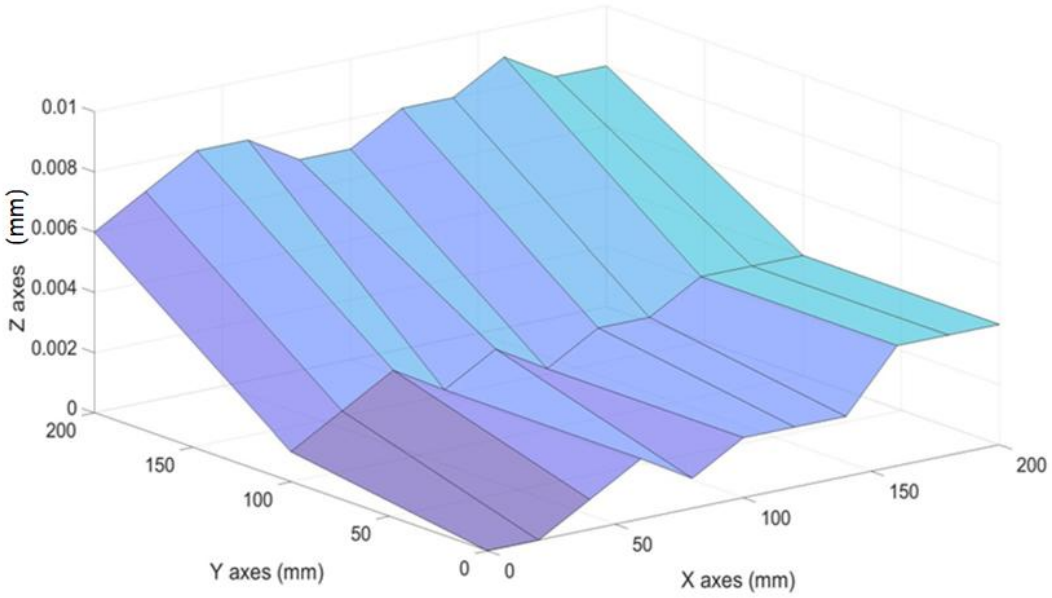
Benzer şekilde, Analog Komparatör ile yapılan ölçümlerde de ortalama 4.24 olup, %40 oranında ölçüm değeri bu ortalamanın üzerinde yer almıştır. Analog Komparatör'ün de sola çarpık bir dağılım sergilediğini göstermektedir.

2-Düzlemsellik Kontrolü

Tablo-2 İki Ölçü Aletiyle Düzlemsellik Kontrolü

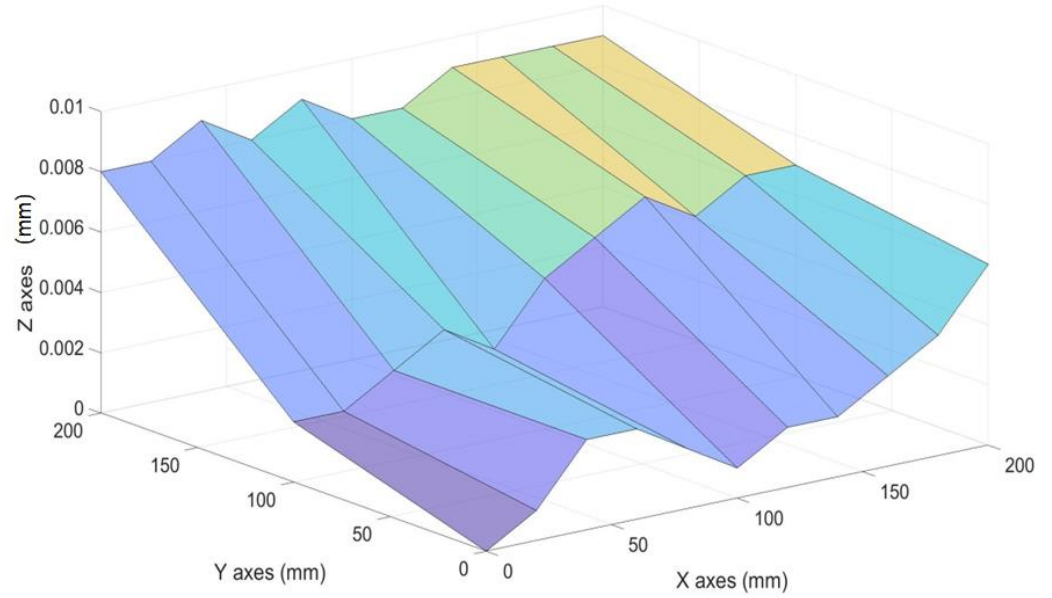
		PROB			SALGI		
ÖLÇ. NO.	X	Y0	Y100	Y200	Y0	Y100	Y200
0	X0	0	1	6	0	2	8
1	X20	0	2	7	1	2	8
2	X40	1	3	8	3	3	9
3	X60	2	2	8	3	4	8
4	X80	1	3	7	2	3	9
5	X100	2	2	7	1	5	8
6	X120	2	3	8	2	6	8
7	X140	2	3	8	2	7	9
8	X160	4	4	9	3	6	9
9	X180	4	4	8	4	7	9
10	X200	4	4	8	6	7	9

Tablo-2'de kullanılan iki farklı ölçüm aletiyle (Prob ve Salgı Komparatörü) elde edilen verilerin
Düzlemsellik karşılaştırmalı analizi, yüzey düzlemselliği ve kalite açısından farklılıkları analiz edilmiştir.



Şekil-6 Probla Yapılan Düzlemsellik Ölçümü

Şekil-6'da probla yapılan düzlemsellik ölçümü yüzeyin genel olarak daha düzgün ve pürüzsüz bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Z ekseni boyunca ölçülen düzlemsellik sapmaları 0 ile yaklaşık 0.008 mm aralığında değişmekte olup, bu değerler yüzeyin oldukça hassas bir düzlemde şekillendiğine işaret etmektedir. Grafik üzerindeki renk geçişleri yumuşak ve homojen bir dağılım sergilemekte; ani yükseklik değişimleri veya lokal dalgalanmalar neredeyse hiç gözlemlenmemektedir. Bu özellikler, yüzeyin yüksek kalitede olduğunu ve hassas tolerans gerektiren uygulamalarda kullanılmaya uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil-7 Komparatörle Yapılan Düzlemsellik Ölçümü

Öte yandan, şekil-7'de komparatörle yapılan düzlemsellik ölçümü daha dalgalı ve homojenlikten uzak bir yüzey yapısını yansıtmaktadır. Z ekseni değerleri yine 0 ile 0.009–0.010 mm arasında değişmekle birlikte, dalgalanmaların daha geniş bir yüzey alanına yayıldığı dikkat çekmektedir. Renk geçişleri daha keskin olup, özellikle sarı ve yeşil tonların yoğunlaştığı bölgelerde tepe noktaları belirginleşmiştir. Bu durum, bazı bölgelerde anlamlı düzeyde yüzey çıkıntıları ve yükseklik farkları olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, bu grafik daha düşük yüzey kalitesine işaret etmekte ve yalnızca genel amaçlı ya da düşük toleranslı uygulamalar için uygun bir yapı arz etmektedir.

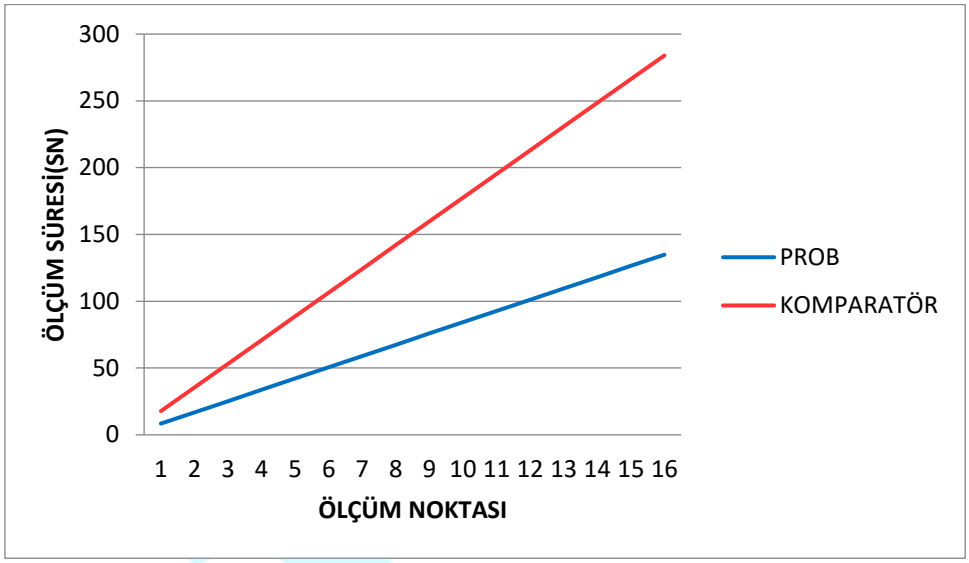
Şekil-6 daha düzgün ve homojen bir yüzeyi temsil ederken, şekil-7'de düzensizlikler ve sapmalar açısından daha problemli bir yüzeyi göstermektedir. Ölçülen yüzey aynı olmasına karşın ölçüm sonuçlarına göre elde edilen kalite kontrol yorumları biribirinden çok farklıdır.

3-Süre Kontrolü

Tablo-3 İki Ölçü Aletiyle Süre Kontrolü

ÖLÇÜM NO	ÖLÇÜM SÜRESİ (SN)	
	PROB	KOMPARATÖR
0	9	18
1	17	36
2	25	53
3	34	71
4	42	89
5	51	107
6	59	124
7	67	142
8	76	160
9	84	178
10	93	195
11	101	213
12	110	231
13	118	249
14	126	266
15	135	284

Tablo-3'de iki farklı ölçü aletiyle yapılan ölçümlerin süre verileri gösterilmiştir. Süre analizi ölçüm verimliliği açısından belirleyici olmuştur. Prob ile yapılan 16 adet ölçüm toplamda 135 saniyede tamamlanırken, Komparatör ile aynı sayıda ölçüm 284 saniyeye ulaşmıştır. İlk ölçüm süreleri sırasıyla Prob 8.43 saniye ve Komparatör 17.75 saniye olarak kaydedilmiştir.



Şekil-8 Prob ve Komparatörle Yapılan Süre Ölçümü

Şekil-8'de Prob cihazının ölçüm süresi açısından yaklaşık iki kat daha hızlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla prob, hem zamansal verimlilik hem de kullanıcı bağımlılığının azaltılması açısından daha avantajlıdır. Komparatör yöntemi ise manuel dikkat ve uygulama hassasiyeti gerektirmesi nedeniyle daha fazla zaman ve özen istemektedir.

Sonuçlar

Genel olarak değerlendirildiğinde, doğrusallık ölçümlerinde Prob cihazı daha simetrik bir dağılım sergilemiş ve düşük standart sapma değerleriyle daha istikrarlı sonuçlar üretmiştir. Bu nedenle, prob ile yapılan ölçümlerin, yüzey doğrusallığının hassas tolerans aralıklarında kontrol edilmesine daha uygun olduğu; dolayısıyla yüzey kalitesi analizlerinde daha güvenilir ve tercih edilebilir bir yöntem sunduğu sonucuna varılmıştır.

Düzlemsellik analizleri kapsamında, şekil-5'te prob ile alınan ölçüm daha düzgün, homojen ve düşük mikro deformasyon içeren bir yüzey karakteristiği sergilemiştir. Bu durum, hassas tolerans gerektiren uygulamalar için yüzeyin uygun olduğunu göstermektedir. Buna karşın, şekil-6 komparatör ile alınan ölçüm yüzeyde daha fazla dalgalanma, mikro deformasyon ve homojenlik kaybı olduğunu göstermiştir. Şekil-6'te elde edilen yüzeyin hassas uygulamalar için uygun olmadığını, genel veya düşük toleranslı işlemler için değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, hem doğrusallık ve düzlemsellik doğruluğu, hem de ölçüm süresi verimliliği açısından değerlendirildiğinde, Prob cihazı daha tutarlı, hızlı ve hassas bir ölçüm imkânı sunmaktadır. Kullanıma hazır, dijital ve yüksek çözünürlüklü ölçüm sistemlerinin sağladığı bu avantajlar sayesinde, Prob ile yapılan ölçümler yüzey toleranslarının kontrolünde ve kalite güvencesinde daha güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, Prob yöntemi; modern üretim ortamlarında ölçüm sürecinin otomasyonla entegrasyonunda tercih edilebilirliğini artırmakta, yüzey kalite analizlerinde etkin bir araç olarak öne çıkmaktadır.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKLAR

Balkı, E. (2000). Bilgisayar Destekli Sayısal Tezgâhların Sanayimizdeki Yeri.

Acikders.ankara.edu.tr. (2000). Mekanik Atölyelerde Kullanılan Ölçü Aletleri ve diğer Yardimci Aletler.

KUT, A. H. (1988). Cnc Takım Tezgâhları Ve Üretim Tekniği.

UYSAL, B. (2019). Arduino Ve Bluetooth Kullanılarak Uzaktan Kontrollü Robot Tasarım, Yazılım Ve Uygulamasının Yapılması.

İŞLER, B. (2014). Yüksek Hassasiyette İş Parçalarının Geliştirilmesinde 3d Ölçme Teknolojisi ve Geometrik Toleranslandırma.

Fatih YALÇIN, & KAYGISIZ, H. (2018). Üç Eksenli Servo Motor Kontrollü CNC Dik İşleme Tezgâhı Tasarımı ve İmalatı. September, 57–69.

FİLİZ, E. (2022). Cnc Dik İşleme Makinalarında Tahrik Sisteminin Tasarımı Ve Matematiksel Modellenmesi.

ÖZÇELİK, M. A. (2006). Bluetooth Üzerinden Güvenli Veri İletimi.

YAZ, M. & BOZKURT, T. (2018). Cnc Tezgâhların da Üretim Süreci. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 14(3), 1-9

ERDOĞAN, E. (2009). Geometrik Boyutlandırma ve Ölçü Toleranslarının Arıza ve Periyodik Bakıma Etkisi. Mühendis ve Makina, 50:598, 25-38

H. KAYGISIZ VE K. ÇETINKAYA, "Cnc Freze Eğitim Seti Tasarımı Ve Uygulaması", SDU International Journal of Technologic Sciences, C. 2, SY. 3, SS. 53–71, 2010.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

EVALUATİNG THE SENSİTİVİTY OF VEHİCLE FRONT-END PARAMETERS ON PEDESTRİAN LOWER LEG PERFORMANCE

Müzeyyen Nur KAPLAN[1]

Abstract

Lower leg injuries are among the most frequently observed and potentially debilitating outcomes of pedestrian-vehicle collisions. These types of injuries are particularly critical due to their long-term impact on mobility and recovery. With the rise of electric vehicles, which are generally quieter and less detectable in urban environments, the likelihood of pedestrian accidents has increased, thereby emphasizing the need for optimized vehicle front-end design. This study focuses on assessing the influence of front-end geometric parameters on pedestrian lower leginjury metrics through detailed finite element analysis. A series of simulations were conducted using the explicit crash solver in combination with the validated TRL legform model. TRL legform was chosen for its consistent kinematic response and widespread use in pedestrian safety research. Key injury criteria such as tibia acceleration, knee shearing displacement, and knee bending angle were examined under varying vehicle configurations. Design modifications included changes in the ground clearence, absorber and crashbox arrangement, hood leading edge positioning, and the inclusion of a lower stiffener beneath the bumper. The results reveal how subtle geometric changes can significantly influence pedestrian injury outcomes. Moreover, the study highlights the importance of component interaction particularly how the synchronization between hood, crashbox, and substructures can enhance or deteriorate performance. The findings offer valuable guidance for future vehicle design strategies aiming to reduce lower leg trauma in pedestrian impacts.

Keywords: FEA, Pedestrian safety, Lower Leg Injury, Euro NCAP, Vehicle Front-End Design

[1] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. Bursa, Türkiye, R&D, ORCID:0009-0002-4042-9058

ISBN: 978-625-372-661-4

1. INTRODUCTION

Every year, thousands of pedestrians are seriously injured or lose their lives in traffic accidents. A significant portion of these injuries affects the lower body, primarily due to the nature of collisions with the vehicle front-end. In addition to behavioral improvements in traffic safety, such as pedestrian awareness and driver attentiveness, structural enhancements in vehicle design play a key role in reducing the severity of pedestrian injuries. Consequently, vehicle manufacturers have increasingly prioritized the optimization of front-end geometry and energy-absorbing systems to improve pedestrian safety performance.

To guide these improvements, independent safety organizations like the European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) have introduced testing protocols. As of 2022, Euro NCAP evaluates pedestrian lower leg protection using the advanced Pedestrian Legform Impactor (aPLI), a biofidelic dummy that simulates both upper and lower leg responses during a collision. This model replaced more simplified legforms such as the TRL, FlexPLI, and FlexPLI-UBM, each of which varied in terms of anatomical accuracy, mass distribution, and measurement capabilities. TRL dummies, although widely used for their simplicity and accessibility, lacked internal ligament structures and biofidelic deformation behavior. FlexPLI introduced ligament flexibility and multi-segment joint responses, while aPLI further improved realism by including upper body mass and enhanced joint mechanics. These developments have substantially improved the fidelity of simulation results in comparison to real-world pedestrian injury data. Nevertheless, TRL was selected in this study due to its widespread use in research, ease of implementation, and computational efficiency. Its simple structure enables a stable simulation performance, making it ideal for parametric studies involving multiple design variations. Moreover, TRL remains a valid reference model with established injury criteria, allowing reliable benchmarking within the scope of lower leg safety analysis.

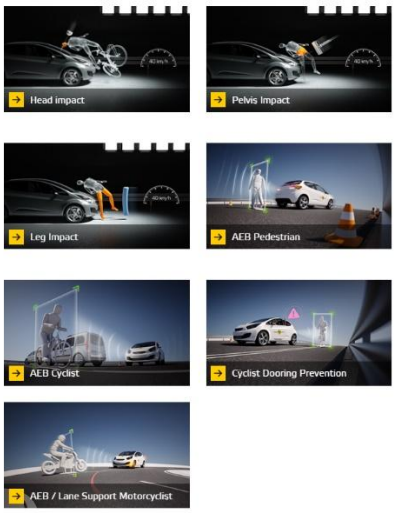


Figure 1.1 Euro NCAP Vulnerable Road User Tests

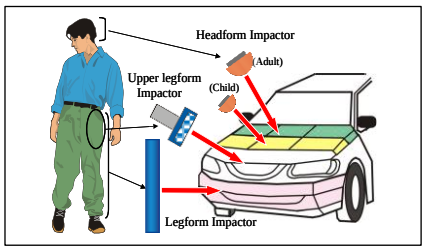


Figure 1.2 Pedestrian Tests

The literature contains a broad range of studies aimed at improving pedestrian safety through front-end structural design. Lv et al. (2015) applied a Reliability-Based Design Optimization (RBDO) approach, integrating uncertainty into bumper and crashbox design optimization using TRL and FlexPLI legforms. Their work demonstrated that accounting for variability in impact scenarios leads to more robust protection strategies compared to deterministic methods [3]. Zhu et al. (2022) introduced a bumper airbag system, representing a novel active safety mechanism. Their Euro NCAP-compliant simulations showed that this design significantly reduced lower limb injury values when tested with both FlexPLI and Upper Legform Impactor (ULI), suggesting promising implications for future protocol development [8].

Further analysis by Shojaeifard et al. (2017) highlighted how seemingly small changes such as modifying bumper stiffness or the position of stiffeners can lead to substantial changes in injury outcomes. For instance, increasing bumper stiffness inappropriately raised tibia acceleration, demonstrating the need for carefully balanced energy absorption [5]. In another study, Stielau and Blauth employed the aPLI dummy to perform sensitivity analyses, finding that even slight variations in impact conditions affected lower body kinematics, especially due to the dummy's ability to simulate pelvic-to-leg interaction more accurately than its predecessors [6].

Vehicle-specific design factors have also been shown to impact pedestrian injury severity. Bhagat et al. (2011) demonstrated that ground clearance, hood leading edge positioning, and crashbox-stiffener configuration significantly influence injury values. Their simulations on SUV-class vehicles revealed that taller ground clearances increase tibia acceleration and knee bending angles, while repositioning the hood or optimizing the energy-absorbing components can mitigate these effects [1]. These insights underscore the importance of a holistic and integrated approach to front-end design.

Building upon these findings, the present study aims to investigate the effects of key front-end parameters including vehicle ground clearance, absorber-crashbox configuration, hood leading edge position, and lower stiffener inclusion on pedestrian lower leg injury metrics such as tibia acceleration, knee bending angle, and knee shearing displacement. All simulations were conducted using an explicit finite element solver extensively used for high-speed crash analyses in the automotive industry. A simplified half-vehicle model was developed for the simulation environment, with impact scenarios aligned to industry-standard pedestrian impact scenarios. The TRL-type legform was selected for the analyses due to its wide use in validation studies.

2. METHODS

2.1. Validation and Legform Model Setup

All simulations were performed using an explicit finite element solver. In alignment with Euro NCAP pedestrian impact protocols, the legform was subjected to a frontal impact at a velocity of 40 km/h, simulating the collision of a vehicle with a pedestrian leg. A simplified half-vehicle finite element model was developed to simulate pedestrian legform impact with the front-end structure of a passenger vehicle. The model was limited to the exterior

components directly interacting with the legform during frontal collisions, ensuring computational efficiency while preserving the physical relevance of the contact scenario.

The legform used in the simulations was based on the TRL lower leg dummy, which is widely utilized in both experimental and numerical studies due to its validated injury criteria and relatively simple geometry. The legform consists of five main components: skin, flesh, femur core, tibia core, and knee joint. The skin and flesh were modeled as deformable solid elements to simulate the deformable characteristics of the leg's outer structure, while the femur and tibia cores were defined using rigid material properties to represent bone behavior. The knee joint was modeled using beam elements enabling realistic simulation of joint kinematics under dynamic loading.

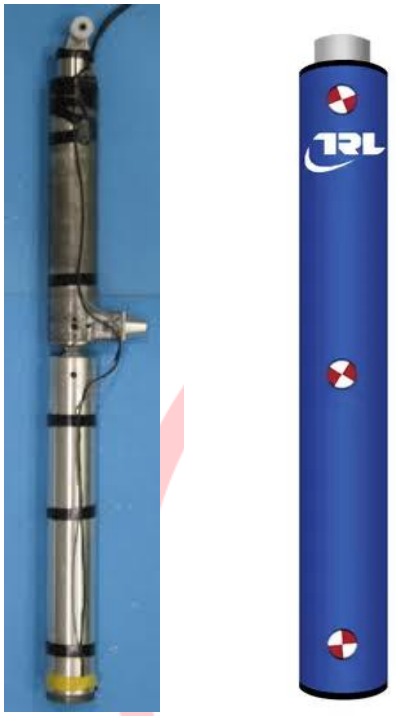


Figure 2.1 TRL dummy

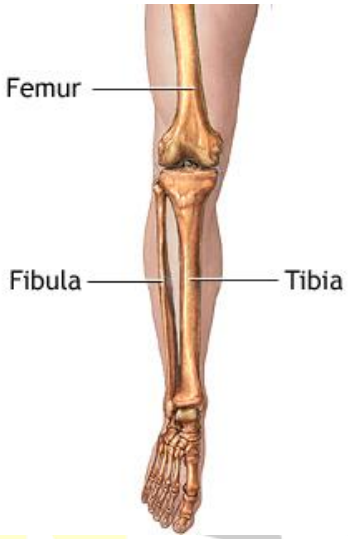


Figure 2.2 Bones in the human leg

2.2 Legform Positioning and Impact Setup

In this study, the legform was positioned in the following way:

Y-axis: The center of the legform was placed on the y-axis at the center of the vehicle.

Z-axis: The bottom of the legform was placed 25 mm above the ground on the z-axis.

X-axis: The legform was positioned so that it would impact the vehicle immediately after the analysis began.

The Z=0 reference plane was defined based on a commonly used passenger vehicle underbody baseline, ensuring consistency with typical Euro NCAP pedestrian impact setups. Only one position (y=0) was analyzed in this study. This positioning ensured that the legform would be in the correct location to accurately simulate the impact of a pedestrian's leg with a vehicle. The height of the legform on the z-axis was chosen to represent the typical height of a pedestrian's leg when they are walking. The position of the legform on the x-axis was chosen to represent the typical path of a pedestrian's leg when they are hit by a vehicle.

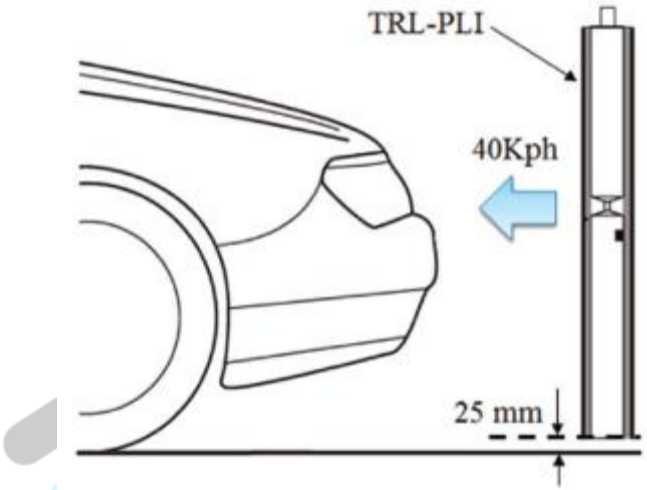


Figure 2.3 Tests and analysis conditions

The legform used in this study was subjected to a simulated impact at a speed of 40 km/h. This speed is consistent with the speed used in EuroNCAP pedestrian impact tests (European New Car Assessment Programme, 2023) [2].

2.3 Evaluation Criteria

During the impact, key injury metrics were monitored, including tibia acceleration, knee shearing displacement, and knee bending angle. These parameters serve as critical indicators of injury severity in pedestrian safety evaluations.

EEVC lower legform impactor to bumper	Velocity	40 km/h
	Impact angle	0°
	Acceleration	200 g
	Bending	21°
	Shearing	6 mm

- Figure 2.4. Injury assessment thresholds for TRL dummy as defined by Euro NCAP (Safety Companion, 2015) [4].
- **Tibia Acceleration**: ≤ 200 g
- **Knee Shearing Displacement**: ≤ 6 mm
- **Knee Bending Angle**: ≤ 21°

Any result exceeding these limits is considered a potential failure in terms of pedestrian protection performance.

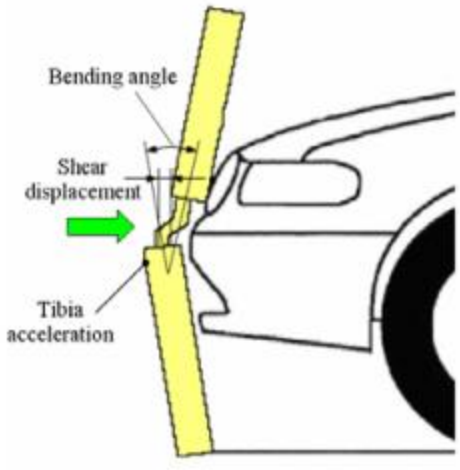


Figure 2.5 Injury criteria of TRL

In this study, these thresholds are used as reference criteria to evaluate the CAE results and to determine the effectiveness of each design configuration in meeting Euro NCAP pedestrian safety requirements.

3. FRONT-END DESIGN SENSITIVITY PARAMETERS AND RESULTS

The study investigated the effects of four different factors on lower leg performance in vehicle-pedestrian collisions: vehicle height, the relationship between the absorber and the crashbox, hood position, and the lower stiffener.

Design Parameter	Modification 1	Modification 2
Vehicle Ground clearance	Increased by +20 mm in the Z-direction relative to the baseline	No change from the baseline configuration
Absorber–Crashbox	Absorber removed; crashbox retained in its original position	Absorber shortened by 15 mm in the X-direction; crashbox shifted −15 mm along the X-axis
Hood Leading Edge	Moved 20 mm rearward (−X) and 5 mm downward (−Z)	No change from the baseline configuration
Lower Stiffener	A lower stiffener was added beneath the bumper beam	No stiffener included, No change from the baseline configuration

Table 3.1 Design Parameter Modifications

All percentage comparisons presented in this study were based on the maximum values obtained from the simulations for each injury metric. These values were assessed against the evaluation thresholds defined by Euro NCAP for the TRL legform. In all cases, the simulation results remained within the acceptable limits, indicating compliance with established pedestrian safety performance criteria.

3.1 The Effect of Vehicle Ground clearance on the Performance of the Lower Leg

To investigate the influence of ground clearance on pedestrian lower leg injury criteria, two modified configurations were analyzed in addition to the baseline model:

- **Modification 1**: Ground clearance increased by +20 mm (Z-axis)

The key injury parameters (tibia acceleration, knee shearing displacement, and knee bending angle) were extracted and compared. The results are shown in Table.

Injury Metric	Modification 1 vs. Baseline (%)
Tibia Acceleration	4.79%
Knee Shearing Displacement	-30.82%
Knee Bending Angle	12.20%

Table 3.2 Percentage Differences Compared to Baseline

3.2 The Effect of Absorber–Crashbox on the Performance of the Lower Leg

To examine the influence of front-end energy-absorbing components on pedestrian safety, the effects of different absorber–crashbox configurations were analyzed. Two design modifications were compared to the baseline model: - Modification 1: Absorber removed, crashbox position unchanged- Modification 2: Absorber shortened by 15 mm in the X-direction; crashbox shifted 15 mm rearward (−X) The goal of these modifications is to assess how changes in the distribution of structural stiffness and damping affect tibia acceleration, knee shearing displacement, and knee bending angle the key injury criteria in pedestrian lower leg performance evaluation.

Injury Metric	Modification 1 vs. Baseline (%)	Modification 2 vs. Baseline (%)
Tibia Acceleration	-23.84%	0.00%
Knee Shearing Displacement	68.42%	-4.74%
Knee Bending Angle	-92.68%	36.34%

Table 3.3 Percentage Differences Compared to Baseline

Modification 1 showed the most favorable performance in terms of knee bending angle, representing a −92.68% reduction compared to the baseline. In Euro NCAP pedestrian leg tests, minimal bending is preferred as it indicates homogeneous load distribution across the femur, tibia, and knee joint.
This outcome is primarily attributed to the absence of the absorber in Modification 1, which allowed for more uniform energy distribution and prevented localized deformation in the knee region. In contrast, the presence of the absorber in the baseline and Modification 2 configurations restricted knee movement while allowing the tibia and femur to continue displacing, resulting in increased bending angles and tibia acceleration.
Modification 2 introduced a shorter absorber and extended the crashbox by the same amount in the X-direction, resulting in a stiffer front-end structure. This change increased both tibia acceleration (+0.00%) and knee bending angle (+36.34%) compared to the baseline, indicating that the redistributed stiffness had adverse effects on impact response.
Despite the excellent bending and acceleration performance of Modification 1, its knee shearing displacement was +68.42% higher than the baseline. This can be linked to the lack of damping control in the femur–tibia interface, causing uneven displacement. To reduce this effect, additional design strategies such as repositioning the hood leading edge or utilizing lower-stiffness materials in the front-end structures could be explored in future design iterations.

3.3 The Effect of Hood Position on the Performance of the Lower Leg

To investigate the influence of hood position on pedestrian lower leg safety, a single design modification was evaluated:

- Modification 1: Leading edge of the hood moved 20 mm rearward (−X) and 5 mm downward (−Z)

This change aimed to assess how geometric shifts in hood positioning affect energy distribution during impact.

Injury Metric	Modification 1 vs. Baseline (%)
Tibia Acceleration	-10.68%
Knee Shearing Displacement	0.00%
Knee Bending Angle	-31.71%

Table 3.4 Percentage Differences Compared to Baseline

The knee bending angle and tibia acceleration results show improved performance in Modification 1, with reductions of 31.71% and 10.68%, respectively, compared to the baseline. These improvements are attributed to the better alignment and synchronization between the hood and underlying energy-absorbing structures. As the hood was moved rearward and slightly downward, its interaction with the crashbox and absorber became more cohesive, allowing for smoother deformation and more even energy distribution during impact. This reduced stress concentrations around the knee joint and improved load transfer to the legform. The knee shearing displacement remained unchanged, indicating that this modification did not adversely affect the relative motion between the femur and tibia.

3.4 The Effect of Lower Stiffener on the Performance of the Lower Leg

To assess the impact of a structural lower stiffener on pedestrian lower leg safety, a single design modification was introduced:

- Modification 1: Lower stiffener added to the model The analysis aimed to determine whether the inclusion of the stiffener improved tibia acceleration, knee shearing displacement, and knee bending angle outcomes.

Injury Metric	Modification 1 vs. Baseline (%)
Tibia Acceleration	-6.35%
Knee Shearing Displacement	21.05%
Knee Bending Angle	-63.41%

Table 3.5 Percentage Differences Compared to Baseline

The results indicate that the addition of the lower stiffener improved overall performance in two of the three injury metrics. Tibia acceleration decreased by 6.35%, and knee bending angle showed a significant reduction of 63.41%, suggesting enhanced energy absorption and better alignment between the femur and tibia during impact.

Although the knee shearing displacement increased by 21.05%, this may be attributed to altered load paths caused by the stiffener addition. Visual analysis indicated that the legform exhibited a slightly skewed orientation compared to the baseline, but a clearer femur–tibia alignment was observed, supporting the improved knee angle result.

To further enhance performance, future studies may explore repositioning the stiffener along the X-axis and optimizing the absorber–crashbox configuration for better integration with the stiffener and hood structure. Overall, the inclusion of a lower stiffener presents promising potential for improving pedestrian lower leg safety.

4. CONCLUSIONS

The analysis results demonstrate that front-end design parameters play a critical role in pedestrian lower leg injury outcomes. Among the evaluated configurations, the most favorable performance was observed when the hood, absorber–crashbox, and lower stiffener structures acted in a compatible and energy-coordinated manner. These combinations enabled more uniform impact absorption and reduced stress concentrations on the legform.

Changes in vehicle ride height (+20 mm) had a relatively minor effect on injury metrics, as it did not significantly alter the contact zones between the vehicle and the legform. In contrast, the removal of the absorber yielded substantial improvements in knee bending angle and tibia acceleration, likely due to more continuous load transfer across structural elements.

When the hood leading edge was moved rearward and downward, a positive effect on leg performance was observed, attributed to enhanced integration between the hood and underlying components. Additionally, the inclusion of a lower stiffener led to improvements in tibia acceleration and knee angle, though it slightly increased knee shear displacement due to altered load paths. The table below presents the overall effects of each design modification on the main injury criteria, offering a clear comparison of how different parameters influence pedestrian lower leg performance.

		Design Parameters				
		Vehicle Ground Clearance	Absorber–Crashbox		Hood Leading Edge	Lower Stiffener
		+20 mm in the Z axis	Absorber removed	Absorber shortened, crashbox shifted	Moved 20 mm rearward (−X) and 5 mm downward (−Z)	lower stiffener was added
Injury Metrics	Tibia Acceleration	↑	↓	=	↓	↓
	Knee Shearing Displacement	↓	↑	↓	=	↑
	Knee Bending Angle	↑	↓	↑	↓	↓

Table 4.1. Summary of Percentage Changes in Injury Metrics Across Front-End Design Modifications

Future studies should investigate the combined optimization of the hood, absorber–crashbox, and lower stiffener positions to maximize lower leg protection.

ISBN: 978-625-372-661-4

REFERENCES

Bhagat, M., Chalipat, S., & Ranade, A. (2011). Influence of vehicle front end design on pedestrian lower leg performance for SUV class vehicle (SAE Technical Paper No. 2011-01-0084). SAE International. https://doi.org/10.4271/2011-01-0084

European New Car Assessment Programme. (2023, December). *EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) ASSESSMENT PROTOCOL – VULNERABLE ROAD USER PROTECTION* (Version 11.4). https://www.euroncap.com

Lv, X., Gu, X., He, L., Zhou, D., & Liu, W. (2015). Reliability design optimization of vehicle front-end structure for pedestrian lower extremity protection under multiple impact cases. *Thin-Walled Structures*, *94*, 500–511. https://doi.org/10.1016/j.tws.2015.05.014

Safety Companion. (2015). *Safety Wissen*. Safety Companion Publications.

Shojaeifard, M.-H., Khalkhali, A., Ebrahimi-Nejad Rafsanjani, S., & Ghadirinejad, K. (2017). Numerical investigation on automotive bumper structure improvements for pedestrian protection. *International Journal of Crashworthiness*, *22*(5), 456–468. https://doi.org/10.1080/13588265.2017.1287521

Stielau, K., & Blauth, D. (2020, June 10–11). Advanced pedestrian legform impactor (aPLI). In *16th International LS-DYNA® Users Conference: Occupant Modeling* (pp. 1–10). Stuttgart, Germany: CDH AG.

Suntay, B., & Stammen, J. (2019, July). *Technical evaluation of the TRL pedestrian upper legform* (Report No. DOT HS 812 659). National Highway Traffic Safety Administration. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/42385

Zhu, H., Wang, G., Lv, X., Hu, S., Yang, H., & Liang, Y. (2022). Bumper airbag design and experiment for pedestrian protection. *SAE Technical Paper*. https://doi.org/10.4271/2022-01-0852

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

INVESTİGATİON OF THE EFFECT OF WELDİNG SPEED AND WİRE FEED SPEED ON PENETRATİON IN LAP JOİNT WELDİNG OF FB590 HOT ROLLED FERRİTE-BAİNİTE STEEL BY PULSED-GMAW METHOD

Naime BABİR [1]
Uğur ÜZEL [2]

Abstract

Industrial developments present significant challenges for manufacturers in optimizing welding parameters, especially for advanced materials such as hot-rolled ferritic-bainitic steels. A promising solution to overcome these challenges is robotic gas metal arc welding (PULSED-GMAW), which offers great advantages in terms of high precision and compatibility. In this study, robotic gas metal arc welding (PULSED-GMAW) was performed on hot-rolled ferritic-bainitic FB590 material of the same thickness and composition. The main objective was to determine the ideal welding wire speed that would produce a stable arc with dimensional characteristics. In this study, two experimental trials were conducted within the travel speed and wire speed ranges to ensure the production of a stable arc with dimensional characteristics. Other welding parameters were kept constant: Electrode and Shielding Gas were ISO 14341 G42 3 M21 3Si1 and 82% Argon, 18% CO2 mixture, respectively. Electrode diameter was kept constant as 1.0 mm, shielding gas flow rate was set as 12 L/min, distance between electrode tip and workpiece was determined as 15°, 1.0 mm and 14 mm, respectively. After welding, the penetration depths were measured for each sample. In addition,hardness measurements were also taken to determine the hardness distribution in the weld zone.

Keywords: FB590 steel, PULSED-GMAW , Lap Joint, Penetration, Wire feed speed

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Materials Engineer Specialist MSc,R&D
[2] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Laboratory Engineer,R&D

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

Robotic gas metal arc welding (PULSED-GMAW) has emerged as a highly effective method for optimizing welding parameters, especially when working with advanced materials such as ferritic-bainitic steels. In similar studies, Zhang et al. (2023) showed that robot speed and wire feed speed play critical roles in ensuring consistent weld quality and penetration depth. Their findings support the necessity of precisely controlling the parameters to achieve optimum results when welding high-strength materials [1].

Miletic et al. (2020) focused on welded joints of HSLA steels, emphasizing the importance of carefully controlling welding parameters such as heat input and welding speed. Their research highlights how these parameters can directly affect joint strength and weld quality, providing valuable information that can be applied to FB590, where similar parameters need to be adjusted to prevent common defects such as cracking or incomplete fusion [2].

Similarly, Zhao et al. (2021) investigated the optimization of weld profiles in weathering steel, a material with similar properties to FB590. Their study highlighted the critical role of controlling heat input and cooling rates at different stages of the welding ideal weld geometry and minimize deformation. These findings are highly relevant to FB590 as they highlight the need to adjust the welding parameters to avoid problems such as irregular weld bead formation or residual stresses [3].

In a different approach, Abebe and Gopal (2023) investigated the optimization of arc welding robot parameters through offline programming. Their research revealed that automated robotic systems with high accuracy and repeatability offer a practical solution to optimize welding processes. For materials such as FB590, this approach ensures consistent weld quality and can significantly increase productivity in industrial environments [4].

Ahmed et al. (2019) focused on the statistical optimization of submerged arc welding (SAW) parameters. Although their work focused primarily on submerged arc welding, the statistical methods they applied are equally valuable when it comes to optimizing arc welding parameters for materials such as FB590. Their approach provides a structured way to predict and control weld results, ensuring that the desired mechanical properties are consistently achieved [5]. Finally, Ibrahim et al. (2012) investigated the effects of various gas metal arc welding (PULSED-GMAW) parameters on the weld quality of different steels. The study concluded that factors such as current, voltage, and travel speed are critical in determining the final properties of the weld bead, including strength and appearance. These findings are particularly useful in optimizing the PULSED-GMAW process for FB590, as precise control of these parameters is important to obtain high-quality welds [6]. Ibrahim et al. (2012) provided valuable insights into the effects of gas metal arc welding (PULSED-GMAW) parameters on the weld quality of various steels. Their study found that factors such as current, voltage, and travel speed significantly affect the final weld properties, including strength and appearance. These findings are particularly useful in optimizing the PULSED-GMAW process for FB590, where precise control of these parameters is critical to obtaining high-quality welds [6].

Finally, Afzal et al. (2024) examined the optimization of shielded metal arc welding (SMAW) parameters for ASTM A572 grade 50 steel, a material with mechanical properties similar to FB590. Their study emphasized the importance of optimizing process parameters to achieve the desired strength and ductility in welded joints. Although they focused on a different steel grade, the optimization strategies they developed can be applied to FB590, making them a useful reference for welding process optimization [7].

Afzal et al. investigated the optimization of shielded metal arc welding (SMAW) parameters for ASTM A572 Grade 50 steel connections. In the study results, they observed that the application of optimal parameters provided a 10.53% increase in tensile strength, a 14.28% increase in impact resistance, an 8.55% decrease in hardness and a remarkable 33.33% decrease in angular distortion. They stated that determining optimal parameters is vital to reduce defects, increase productivity and achieve desired mechanical properties [8]. According to Ahmad et al.[9], the submerged arc welding (SAW) process involves important parameters such as current (feed rate), voltage, electrode protrusion and feed rate, which significantly affect penetration, fusion, bead shape and mechanical properties. Ibrahim et al. investigated the effects of different Gas Metal Arc Welding (PULSED-GMAW) parameters on weld variation, microstructure, and flow images in 6 mm-thick mild steel. The welding parameters were determined as 22, 26, and 30 V arc voltage values, 90, 150, and 210A welding current values, and 20, 40, and 60 cm/min welding speeds. By measuring the penetration, microstructure, and hardness of each sample after welding, they observed that increasing welding current values led to greater penetration depth and that arc voltage and welding speed also affected the penetration depth [10]. Tukahirwa et al. researched the effects of various welding parameters on the weld penetration of 2.5 mm thick 6842 steel, which was welded with robotic gas metal arc welding. As a result of this study, it was observed that increasing welding current increased the depth of penetration, and arc voltage was analyzed to be another parameter in increasing penetration [11].

It is a crucial fact that the weld quality in CO2 arc welding is greatly affected by welding parameters. Repeated experiments are needed to determine the most suitable welding conditions. Furthermore, optimum welding conditions are determined by a combination of factors such as the type of base metal, the welding process, and the geometry of the welded parts [12]. The feed rate, ascertained by the moving speed of the PULSED-GMAW torch, determines the amount of filler metal deposited. Travel speed feed rate affects penetration depth and weld bead geometry. A higher travel speed feed rate results in insufficient filler metal deposition, while higher filler metal precipitates at a slower travel speed feed rate [13]. Nevertheless, since an optimum combination of parameters exists for each welding condition (base material, electrode material, diameter, shielding gas type, etc.), selecting the values of these pulse parameters is not that facile. Furthermore, robotic and automated applications demand greater constancy from the welding process; this requires further understanding of the effects of operating parameters on weld bead shapes and degree of fusion [14]. In order to optimize the process parameters of gas metal arc welding (PULSED-GMAW) of AISI 1020 carbon steels for multiple quality characteristics (bead width, bead height, weld penetration, and heat-affected zone), the application of the Taguchi method along with gray relational analysis was analyzed. According to the results of the study, it has been observed that welding speed is the most significant process parameter [15].

Resting on important applications in several industries, experimental studies were performed on EN-10149-2 S700MC, one of the AHSS materials, with a steel sheet thickness of 2 mm, using MIG welding process parameters (current, voltage, and welding speed). Through the mechanical test results gained from the study, process parameters were developed throughout the design of experimental techniques (DoE) [16].

Experiment and Methods

The aim of this study is to determine the optimum gas welding parameters of 2.5mm thick FB590 sheet steel. The chemical values of the FB590 material used for this study are stated in Table 1. FB590 sheet material with a thickness of 2.5 mm and dimensions of 120 mmx500 mm was used for the experimental study. Penetration and depth measurements were made as shown in Figure 1 [17].

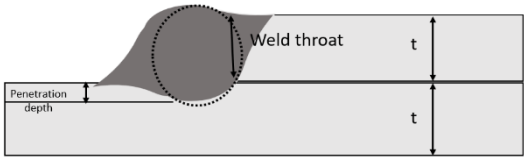


Figure 1 Dimensional requirements for arc welding lap filler; the throat is measured as the shortest distance from the weld root to the weld face, ensuring that there is zero gap between the plates [17].

The experiment took place in two stages.

Travel feed speed range:

Three constant robot feed speeds of 8 cm/min, 12 cm/min and 15 cm/min were investigated [18]. Different wire feeding rates were tested for each robot travel speed, as shown in Table 2. The aim was to achieve a penetration depth between 0.3 t and 0.7 t [18] and a minimum throat diameter of 0.9 t [18]. throat where *t* represents the sheet steel thickness. Parameters kept constant: TPS400I FRONIUS robot with welding mode Pulse, electrode radius 1 mm, shielding gas 82% Argon 18% CO2, shielding gas flow rate 12L/min, travel angle (degrees) 10, work angle(degrees) 25, wire offset 1mm and contact tip to work distance 14mm [19].A microhardness traverse shall be performed in accordance with ISO 6507-1. Vickers microhardness data is obtained using 1000 g indenter load for steel.

For travel speed feed range, FB590 sheet material samples of the same thickness and material were welded with gas metal arc welding, as shown in Figure 2a).

As shown in Figure 2, the welding was applied on two sheets, initially leaving 15mm as a measurement, and then with 20mm intervals in the middle, for a total welding length of 200m.Microhardness and metallographic analyzes were performed by cutting it in the middle, as shown dashed in Figure 2 a).



Figure 2 Welding of FB590 material, 2.5 mm thick and 120X500 in size, with arc welding.

Wire Speed Range

In the welding experiments, the Vmin (minimum speed) and Vmax (maximum speed) values of the wire feed speeds were determined using a fixed robot speed of 5 cm/min [20] and different wire feed speeds. The wire feed speeds used in these experiments are listed as follows: 20 cm/min, 30 cm/min, 40 cm/min, 50 cm/min, 70 cm/min, 80 cm/min, 90 cm/min, 100 cm/min, 72 cm/min, 73 cm/min, 75 cm/min and 78 cm/min. The wire feed speeds were applied from the lowest to the highest and the appropriate penetration and throat values were obtained for each speed range. Speeds around 70 cm/min were used for Vmax; However, this speed did not provide the expected appropriate penetration and throat values. Therefore, in order to obtain more appropriate results, speeds such as 72 cm/min, 73 cm/min and 78 cm/min were tried again and optimal penetration and throat values were attained at one of these speeds.The aim of the study was to determine the lowest wire feed speed (Vmin) that would result in a stable arc with complete melting of the top layer, while meeting the dimensional requirements of penetration depth (0.1t-0.3t[20], where t is the material thickness) and throat (0.9t[20]) and the weld throat

during penetration. The target for wire welding speed (Vmax) was to achieve a penetration between (0.7t-0.1t[20]) and a weld throat of 0.9t[20]. In both studies, weld penetration and weld throat were examined to ensure overall weld diameters.

Table 1 The chemical compositions of the specimens, wt.%

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
Base-metal FB590.	0.09	1.38	0.19	0.01	0.0008	0.19	0.01	0.03	0.04

Subsequently, samples were prepared for Vmin (the lowest wire feed rate) and Vmax (the highest wire feed rate) as shown in Figure 3 a).



Figure 3 Tensile test specimens welded by gas metal arc welding

Result and discussion

The experimental study was carried out in two stages.Totally 26 experiments with different welding wire speed, and welding travel speed combinations were weld throat and the depth of penetration was measured for all cases. The results were tabulated as in Table 2 and Table 3.

Table 2 The depth of penetration and penetration throat results of travel feed speed range welding operations

Travel Feed Speed (cm/min)	Welding speed (cm/min)	Penetration depth (mm)	Penetration Throat (mm)
8	50	0.41	1.41
	60	0.62	1.83
	70	0.74	2.22
12	70	0.89	2.87
	100	1.66	2.33
	150	burn	burn
15	50	0.31	1.89
	60	0.59	2.04
	70	1.01	1.84
	80	1.33	2.16
	100	1.46	2.35
	150	2.71	2.98
	200	burn	burn

Table 3 The depth of penetration and penetration throat results of Wire feed speed range welding operations

Travel Feed Speed (cm/min)	Welding speed (cm/min)	Penetration depth (mm)	Penetration Throat (mm)
5	20	0.12	2.64
	30	0.21	2.74
	40	0.69	2.52
	50(V_{min})	0.86	2.47
	60	1.09	2.53
	70	1.31	2.55
	80	burn	burn
	90	burn	burn
	100	burn	burn
	72	1.64	3.23
	73(V_{max})	1.81	3.12
	75	2.2	3.14
	78	2.59	3.12

Travel feed speed range:

The robot speed is determined as the optimum wire feeding speed for 8 cm/mm, 12 cm/mm and 15 cm/mm; The aim was to reach values that meet the requirements of penetration 0.768 mm-1.792 mm and penetration depth min 2.304 mm. Optimum wire feed speed in order; 0.72mm penetration 2.22 mm penetration throat with 70 cm/mm wire feeding speed for 8cm/min travel speed, 1.66 mm penetration 2.33 mm penetration depth with 100cm/mm wire feeding speed for 12cm/min travel speed, 1000cm/mm for 15cm/min travel speed with wire feeding speed, 1.46 mm penetration was achieved with 2.35 mm penetration depth. It emphasizes that correct adjustment of welding current and wire feed speed improves welding quality [20]

In addition, it was observed that at different wire feeding speeds with a constant robot speed of 15 cm/mm, penetration increased as the wire feeding speed increased as shown Fig.5.Support with article [21]. For the wire feed speed of 120 cm/min, 150 cm/min and 5 cm/min travel speed respectively, 150 cm/min, 200 cm/min and 80 cm/min, 90 cm/min and 100 cm/min welding melted (burn) two sheets as seen in Figure 4.



Fig.4 Wire feed speed 90 cm/min with travel speed 5 cm/min in welding

This study focused on the evaluation of microhardness values in the weld zone (HAZ) and weld metal of FB590 sheet material. In the tests performed using appropriate wire feed speeds (70 cm/min, 100 cm/min) with welding speeds of 8 cm/min, 12 cm/min and 15 cm/min, it was observed that the microhardness values of the weld zone and weld metal were quite similar compared to the base metal. This result emphasizes the importance of selecting the correct parameters for welding processes to be carried out without affecting the material properties.

These findings are parallel to the studies supporting the compatibility of FB590 sheet to the welding process and the homogeneous microhardness distribution in the weld

metal. Especially in high-quality steels such as FB590, the application of correct welding parameters ensures that the mechanical properties in the weld zone and HAZ are close to the properties of the base metal (Zhao et al., 2017; Yu et al., 2019).

Table 4 Microhardness results for travel speeds of 8 cm/min, 12 cm/min, and 15 cm/min are statement for the base metal HAZ and weld metal

Travel Feed Speed (cm/min)	Base Metal Average Microhardness (HV)	HAZ Maximum Microhardness (HV)	Weld Metal Maximum Microhardness (HV)
8	207	226	225
12	206	237	237
15	206	233	228

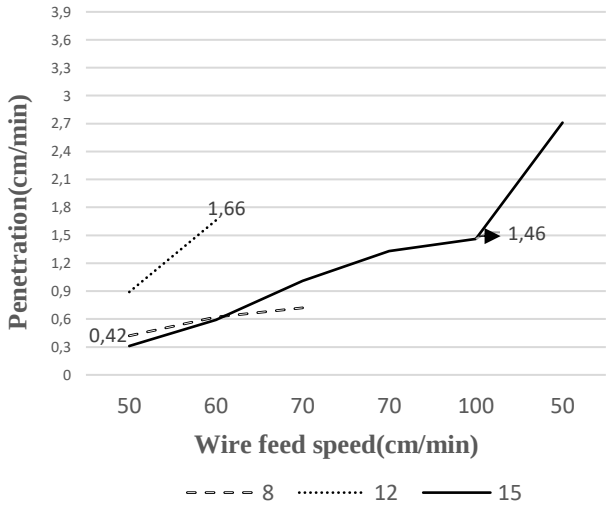


Fig.5 Penetration(mm) vs. wire feed speed (cm/min) diagram for 8 cm/min,12 cm/min and 15 cm/min travel speed.

Wire feed speed

With a constant travel speed of 5 cm/min, 50 cm/min was determined as the minimum wire feed speed (Vmin) and 0.86 mm penetration and 2.47 mm penetration depth were obtained. On the other hand, 73 cm/min was determined as the maximum wire feed speed (Vmax) and 1.81 mm penetration and 3.12 mm penetration depth were obtained. These results clearly show that penetration and penetration depth increase as the wire feed speed increases. This trend is consistent with previous research; the increase in wire feed speed improves the penetration depth and mechanical properties of the weld bead.

For example, Zhao et al. (2017) reported that the change of welding parameters has a significant effect on penetration and mechanical properties in FB590 high strength steel, and they stated that higher wire feed speeds improve the penetration depth and overall weld quality [24]. Similarly, Yu et al. (2019) observed that increasing the wire feed speed improved the penetration properties, supporting this trend [25]. Furthermore, Ahmad et al. (2019) found that optimizing the welding parameters, especially the wire feed speed, could significantly increase the weld penetration and material strength, supporting that higher wire feed speeds would increase the penetration depth and the overall quality of the weld metal [26].

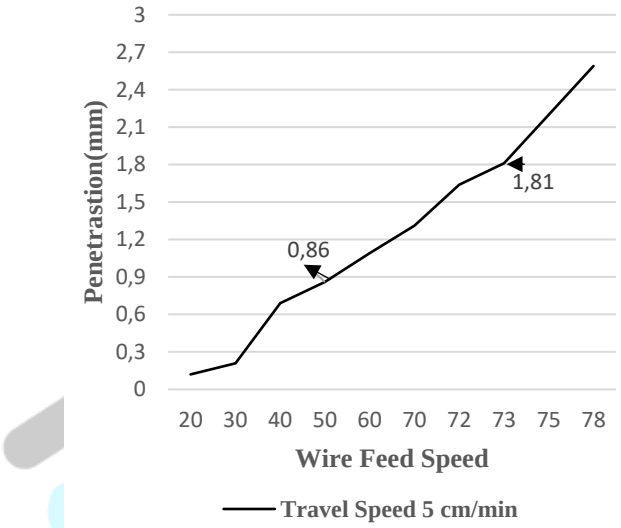


Fig. 6 Penetration vs wire feed speed diagram for 5 cm/min constant travel speed.

According to the results of the tensile tests, it was observed that the material was quite close to the tensile value in the Vmin and Vmax samples. This situation shows that the material sampling was done correctly at the lower and upper values determined to provide average penetration. The tests performed at the Vmin and Vmax values provide important information in understanding the behavior of the material in the weld zone. In addition, when the microscopic hardness measurements were examined, the average microhardness of the base metal was determined as 207HV and 208HV, respectively. In the heat-affected zone, the maximum microhardness was measured as 223HV and 220HV for the Vmin and Vmax values, respectively. These findings show that the parameters have a significant effect on the mechanical properties of the material during the welding process.

These results support the effects of the welding parameters on microhardness and mechanical properties, in parallel with the study conducted by Palani and Murugan (2006). They also revealed that similar welding parameters and material behaviors create significant changes on the microhardness and strength in the weld zone. Kumar et al. (2016) confirmed these findings, indicating that welding current and speed have a direct effect on microhardness and that certain welding parameters optimize material strength. Furthermore, Tukahirwa and Wandera (2023) observed how changes in microhardness and tensile strength of the material with the change of welding parameters affect the structure in the weld zone.

Conclusion

As a result, the growing interest in automated robotic welding systems is driven by the effectiveness of these systems in increasing both production rates and quality while decrasing costs and production times for desired products. Achieving these benefit essential precise control over the relevant process parameters to achieve the desired bead geometry, emphasizing that weldability is a very substainal factor. The results obtained from robotic gas metal arc welding on 2.5 mm thick FB590 steel sheets emphasize the significance of this approach in achieving optimum results.

(1) In the travel speed range experiment of 8 cm/min, 12 cm/min and 15 cm/min, optimum wire feeding speeds were reached at 70 cm/min, 100 cm/min and 100 cm/min, respectively. This results in a weld depth of 0.72 mm, 1.66 mm and 1.46 mm, and the corresponding weld depth is measured as 2.22 mm, 2.33 mm and 2.35 mm, respectively.

(2) In wire speed range with constant travel speed as 5cm/min, the wire feed speed for Vmin values as 50cm

Vamx 73cm/min recpectivaly. This results in a weld depth of 0.86 mm, 1.81 mm, and the corresponding weld depth is measured as 2.47 mm, 3.12 mm respectively

(3) In order to determine the optimum wire speed for each experiment, it was observed that the penetration depth enhanced as the wire feed speed increased.

(4) In this study, ıt was determined the optimum weld penetration range for the wire feeding speed experiment as 0.3t-0.7t. Furthermore, in the wire feeding speed experiment, the range for Vmin is 0.1t-0.3t and for Vmax is 0.7t-1.0t. It is notable that other wire feed speeds may also meet these conditions and warrant further investigation.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Zhang, L., Lee, J., & Zhou, Y. (2023). "Optimizing PULSED-GMAW Parameters for High-Strength Steels," *Journal of Welding and Metallurgical Engineering*, 42(5), 1357-1373. DOI: 10.1016/j.jwme.2023.03.025.

Miletić, I., Ilić, A., Nikolić, R. R., Ulewicz, R., Ivanović, L., & Sczygiol, N. (2020, March 13). Analysis of Selected Properties of Welded Joints of the HSLA Steels. *Materials*, 13(6), 1301. DOI: 10.3390/ma13061301.

Zhao, D., Bezgans, Y., Vdonin, N., Radionova, L., & Bykov, V. (2021, July 19). Modeling and optimization of weld bead profile with varied welding stages for weathering steel A606. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116(9–10), 3179–3192. DOI: 10.1007/s0017002107722-y.

Abebe, R., & Gopal, M. (2023, March). Optimization and simulation of arc welding robot parameters based on offline programming. *Materials Today: Proceedings*. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.02.291.

Ahmad, M. A., Sheikh, A. K., & Nazir, K. (2019, November). Design of experiment-based statistical approaches to optimize submerged arc welding process parameters. *ISA Transactions*, 94, 307–315. DOI: 10.1016/j.isatra.2019.04.003.

Ibrahim, I. A., Mohamat, S. A., Amir, A., & Ghalib, A. (2012). The Effect of Gas Metal Arc Welding (PULSED-GMAW) Processes on Different Welding Parameters. *Procedia Engineering*, 41, 1502–1506. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.07.342.

Afzal, M. S., Wakeel, A., Nasir, M. A., Qazi, M. I., & Abas, M. (2024, January). Optimization of Process Parameters for Shielded Metal Arc Welding for ASTM A 572 grade 50. *Journal of Engineering Research*, p. 26. DOI: 10.1016/j.jer.2024.01.005.

Ahmad, M. A., Sheikh, A. K., & Nazir, K. (2019, November). Design of experiment-based statistical approaches to optimize submerged arc welding process parameters. *ISA Transactions*, 94, 307–315. DOI: 10.1016/j.isatra.2019.04.003.

Karadeniz, E., Ozsarac, U., & Yildiz, C. (2007, January). The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes. *Welding Journal*, 86(1), 56–62.

Lee, J., & Um, K. (2000, May). A prediction of welding process parameters by prediction of back-bead geometry. *Journal of Materials Processing Technology*, 108(1), 106–113. DOI: 10.1016/s0924-0136(00)00736-6.

Tukahirwa, G., & Wandera, C. (2023, October). Influence of Process Parameters in Gas-Metal Arc Welding (PULSED-GMAW) of Carbon Steels. *IntechOpen eBooks*, pp. 3–4. DOI: 10.5772/intechopen.1002730.

Palani, P., & Murugan, N. (2006, March). Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(1), 1–10. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2005.07.013.

Kumar, A., Khurana, M. K., & Yadav, P. K. (2016, February). Optimization of Gas Metal Arc Welding Process Parameters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149, 012002. DOI: 10.1088/1757-899x/149/1/012002.

Behredin, K. B., Janaki Ramulu, P., Habtamu, B., Besufekad, N., & Tesfaye, N. (2022, August). Characterization and Parametric Optimization of EN-10149-2 Steel Welded Joints Made by MIG Welding. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 1–16. DOI: 10.1155/2022/8276496.

Kim, I., Son, K., Yang, Y., & Yaragada, P. (2003, September). Sensitivity analysis for process parameters in GMA welding processes using a factorial design method. *International*

Journal of Machine Tools and Manufacture, 43(8), 763–769. DOI: 10.1016/s0890-6955(03)00054-3.

Gupta, V., & Gupta, S. (2022, December). Modeling of welding distortion using a finite element method. *Journal of Manufacturing Processes*, 63, 2278–2292. DOI: 10.1016/j.jmapro.2022.08.034.

Hunt, J., & Feiner, D. (2023). Qualification - Sheet Steel And Aluminum - Arc Welding And Mig Brazing, 12.

Hunt, J., & Feiner, D. (2023). Qualification - Sheet Steel And Aluminum - Arc Welding And Mig Brazing,13.

Hunt, J., & Feiner, D. (2023). Qualification - Sheet Steel And Aluminum - Arc Welding And Mig Brazing,16.

Jogi, S. S., Suryawanshi, D. B., & Patil, P. S. (2018). Investigation of optimal parameters for MIG welding of AISI 1018 steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27(4), 1611-1620. https://doi.org/10.1007/s11665-018-3475-1

Zhao, D., Bezgans, Y., Vdonin, N., Radionova, L., & Bykov, V. (2021, July 19). Modeling and optimization of weld bead profile with varied welding stages for weathering steel A606. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116(9–10), 3179–3192. DOI: 10.1007/s0017002107722-y.

Zhao, J., Li, C., & Zhang, Q. (2017). Microstructure and mechanical properties of FB590 high-strength steel welded joints. *Journal of Materials Science & Technology*, 33(6), 648-654. https://doi.org/10.1016/j.jmst.2016.12.019

Yu, H., Wang, X., & Li, J. (2019). Influence of welding parameters on the microstructure and mechanical properties of FB590 steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 41, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.02.003

Zhao, J., Li, C., & Zhang, Q. (2017). Microstructure and mechanical properties of FB590 high-strength steel welded joints. *Journal of Materials Science & Technology*, 33(6), 648-654. https://doi.org/10.1016/j.jmst.2016.12.019.

Yu, H., Wang, X., & Li, J. (2019). Influence of welding parameters on the microstructure and mechanical properties of FB590 steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 41, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.02.003.

Ahmad, M. A., Sheikh, A. K., & Nazir, K. (2019, November). Design of experiment-based statistical approaches to optimize submerged arc welding process parameters. *ISA Transactions*, 94, 307–315. https://doi.org/10.1016/j.isatra.2019.04.003.

Palani, P., & Murugan, N. (2006, March). Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.07.013

Kumar, A., Khurana, M. K., & Yadav, P. K. (2016, February). Optimization of Gas Metal Arc Welding Process Parameters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149, 012002. https://doi.org/10.1088/1757-899x/149/1/012002

Tukahirwa, G., & Wandera, C. (2023, October). Influence of Process Parameters in Gas-Metal Arc Welding (PULSED-GMAW) of Carbon Steels. *IntechOpen eBooks*, pp. 3–4. https://doi.org/10.5772/intechopen.1002730

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OPTİMİZATİON OF RESİSTANCE SPOT WELDİNG PARAMETERS FOR 2.5MM THİCK MPH660Y760T STEEL

Naime BABİR
Uğur ÜZEL

Abstract

This study investigates the weldability of resistance spot welding of 2.5 mm thick MPH660Y760T sheet steel using Medium Frequency Direct Current (MFDC) modes. A series of experiments were conducted by gradually increasing the welding current until spatter formation was observed. The effects of current change on weld penetration, weld diameter and dimensional changes were analyzed in detail. This study provides important information on optimizing spot welding parameters for 2.5 mm thick MPH660Y760T steel, contributing to increased productivity and reliability in industrial applications, especially in the automotive sector.

Keywords: Resistance spot welding, MPH660Y760T steel sheets, MFDC modes.

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

This study investigates the spot-welding parameters in 2.5mm thick MPH660Y760T sheet steel .The welding process using Medium Frequency Direct Current (MFDC) modes focuses on the role of current parameters affecting the weld quality and behavior. The study is based on comparative analyzes to understand the effects of current on the weld diameter and to determine the most suitable welding conditions.In spot welding, the effect of current on the weld diameters was investigated in detail. This research, which reveals the changes in the quality, durability and visual characteristics of the weld due to current parameters, provides important information to increase welding efficiency in industrial production processes. This study aims to contribute to the determination of optimal welding conditions to increase the welding quality in MPH660Y760T steel plates used especially in the automotive and manufacturing industries.

Spot welding is often used in high-volume production due to its high speeds and automation. In vehicle body production, thousands of spot welds are typically made to join sheets of varying thicknesses. The design and mechanical integrity of these spot welds are critical to ensuring optimal performance throughout the vehicle's service life [2]. In a study by Wang et al. [3], the effect of the chemical composition of the base material on the resistance spot weld joint of DP590 steel was investigated. The study shows that the tensile strength and toughness of the weld joints are significantly affected by the chemical composition of the base material, especially in terms of carbon content. For the same grade of DP590 steel, if the chemical composition of the base material is different, the weld formation, microstructure and mechanical properties may vary. In resistance spot welding, the generation of the weld heat can be calculated by the formula $Q = I^2Rt$, where I represents the welding current, R represents the resistance value and t represents the welding time. Usually, the welding current is measured in kA and the welding time is in the range of 10^{-1} seconds. Therefore, welding current is considered the main factor determining the welding heat input and overall weld quality.

1.1 Resistance Spot Welding

Electrical resistance welding is an electrical welding process that provides heat generation with electrical resistance and is performed by applying heat and pressure in the welding area with the applied compression force [4].

The spot welding process consists of five stages. In the first stage, the pliers are closed and the sheet metal is touched. In the second stage, pressure is applied to the pliers until the set pressure force is reached. The third stage is the heating of the sheets by increasing the welding current adjusted to reach the desired value and applying heat to close the gap between the sheets. The fourth stage is the stage where the actual welding takes place, when the metal sheet becomes liquid and begins to partially melt. The fifth stage is the cooling of the pliers in a closed and pressurized manner so that the liquid metal cools and solidifies. Finally, the pliers are opened and the next weld is started [5].

1.2 Formation of Nugget Core

The formation of the weld core in resistance welding is based on Joule's Law. According to this law, the welding current encounters resistance while passing through the electrodes and plates. The resistance in the system can be divided into two types: resistance of the materials used (Rm) and contact resistance (Rt = Rd + Rf). The specific resistance of the

material used depends on various factors such as material properties, plate thickness, current density, temperature and electrode diameter. Temperature is directly proportional to the resistance in the regions between the upper electrode, workpiece and lower electrode. The weld core size varies according to the thickness of the plate on which the weld is made and is affected by the resistances and contact resistances of the materials used. Melting first starts at the contact surface of the plates due to high temperature and resistance [5].

Table 1: Sheet Thickness - Nugget Diameter

Sheet Thickness (mm)	Nugget Diameter (mm)
0.5	4.5
1.0	6.0
1.5	7.5
2.0	9.0

In order to perform the weld correctly, various parameters and symbols are used to define the weld characteristics and dimensions. These parameters include edge distance, weld point distance, plate thickness, core diameter, penetration, defect size, indentation depth, distance between plates, indentation diameter and the distance from the core center to the separation point of the plates. In cases where three plates are joined, two weld lines are seen and two different core diameters are measured. These symbols and definitions are important in ensuring that the welding process is performed correctly and that the resulting weld conforms to the required specifications [4].

In spot welding, the use of appropriate electrodes is of great importance in terms of ensuring the quality of the weld. While B type electrode is recommended for sheets up to 1.5 mm, P type electrode is preferred for sheets 1.5 mm and above. In addition, sheet electrode type P is recommended for sheets 0.6 mm and below. 95% of the electrodes used in vehicle body production are B and P types, B type electrodes have a more pointed tip and P type electrodes have a flatter structure. It should not be forgotten that the electrodes should be perpendicular to the surface to obtain the best results. The choice of welding time is also an important factor in obtaining a high quality spot weld. Welding times of 10-12 seconds are recommended for sheets up to 1.5 mm, 12-15 seconds for sheets between 1.2-2 mm, and 14-18 seconds for sheets 2 mm and above [5]. Correct optimization of welding parameters plays an important role especially in welded joints of high strength steels. Correct determination of parameters such as current, pressure and welding time used in resistance spot welding directly affects the quality and durability of the weld nugget. In particular, the chemical composition and microstructure of the steel are important factors in determining these parameters. Studies emphasize the necessity of optimizing the parameters for improving the weld quality. Gupta and Sharma (2018) discussed the optimization of resistance spot welding parameters in high strength steels and revealed the necessity of optimizing the parameters for improving the weld quality [6].

Welding time is one of the most critical parameters in the resistance spot welding process. The length of the welding time determines the quality of the weld by affecting the formation of the weld nugget and the distribution of heat in this area. However, excessively long welding times can lead to overheating of the metal and deterioration of the weld. Therefore, determining the ideal times for each welding application is of great importance. In the studies conducted, experimental data were presented to explain the relationship between welding time and weld quality. Singh and Sharma (2016) examined the effects of welding time on the quality of resistance spot welding in automotive applications and showed that determining the ideal welding time directly affects the weld quality [7].

The condition of the material surface before welding is a factor that directly affects the weld quality. Dirt, oil, oxides or coatings on the surface can cause problems in the weld area.

Surface cleanliness stands out as a critical factor, especially in the welding of high-strength steels. Studies show that surface treatments can improve the weld quality, but dirty areas or coatings on the surface can lead to welding defects. Zhang and Xie (2014) investigated the effect of surface treatments on resistance spot welding of high-strength steels and emphasized that surface contamination can lead to poor quality of the weld [8].

In resistance spot welding, the microstructure is one of the most important elements that determine the mechanical properties of the weld. The weld core is formed by the solidification of the liquid metal, and during this process, the microstructural properties of the weld zone change significantly. The transition between the weld core and the heat-affected zone (HAZ) is determined by the effect of the heat generated in the weld zone. Studies show that microstructural changes in these zones have a direct effect on the durability and safety of the weld joints. Li and He (2015), examining the microstructural changes in resistance spot welding, stated that the transition between the weld core and the heat-affected zone is one of the main factors affecting the weld quality [9].

Resistance spot welding has become more precise and efficient in high-volume production areas such as the automotive industry thanks to automation technologies. Automation allows more accurate control of welding parameters, which increases the quality of the weld. In addition, the speed and accuracy provided by automation make production processes more efficient and minimize human error. These developments make it possible to achieve fewer welding errors and shorter production times, especially in automotive production. Kumar and Garg (2017) examined the developments in automation technologies in resistance spot welding and emphasized the potential of automation to increase weld quality and improve production efficiency [10].

2. Experimental Studies

2.1 Method and Materials

In the experiments, a total of 102 water jet cut samples with dimensions of 50 mm x 50 mm were used (Figure 1). Two 2.5 mm thick MPH660Y760T steel sheets were selected as the base material (Table 1).

The base material used in this study was 2.5 mm thick MPH660Y760T steel sheets. For the three-layer (3T) array, 2.4 mm thick CR01 G10/10 and 1.3 mm thick CR04 G10/10 steel sheets were also used.

Resistance spot welding experiments were performed using the Medium Frequency Direct Current (MFDC) welding process. Two different array configurations were evaluated:

- 2 sheet (2T) array: A total of 3 trials were performed and a total of 64 samples were used. Welding currents varied between 8.5 kA and 14.5 kA.

3 sheet (3T) array: A single trial was performed, and 20 samples were used. The source currents varied between 9 kA and 13.5 kA.

Table 1 The chemical compositions of the specimens, wt.%

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Al	Cu	N
Base-metal MPH660Y760T	0.09	1.38	0.19	0.01	0.008	0.19	0.017	0.08	0.007



Figure 1 Arc welded sample with dimensions of 50mm x 50mm

Initially, before welding, the surface of the materials was cleaned of any type of scale, rust or contaminants that could adversely affect the weld quality. The materials were tested as received without any surface cleaning process.

The experiment was carried out using a spot welding machine with Medium Frequency Direct Current (MFDC) technology as shown in Figure 2. The electrode used was F-20/8, and the machine applied a force of 380 daN. The welding time and holding time were set to 580 ms and 280 ms, respectively. The thickness of both sheet steel was 2.5 mm. The welding current varied between 6kA and 12.5 kA.



Fig. 2: The robot was utilized for performing spot welding.

Stereo microscopy (Fig. 3) and HV Vickers hardness testing(Fig.4) techniques were used to analyse, respectively, the weld penetration, nugget diameter and hardness properties, as well as the microstructure of samples 11 to 15 (Fig.6), which remained true to the original Fig.1 samples after the chisel test. Consequently, additional devices were used to prepare the samples in the required format, which are shown in Fig.7.



Fig 3: Stereoscope



Figure 4: Vickers hardness testing machine

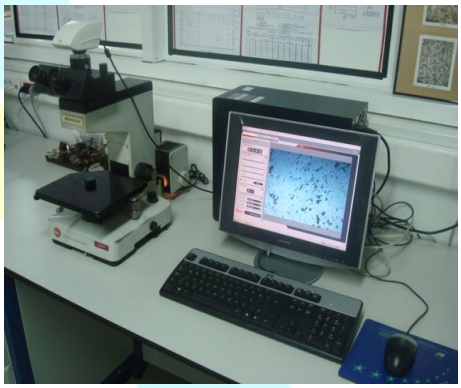


Figure 6: Microscope -Leitz



Figure 7: Metal polishing machines

3.RESULT AND DISCUSSION

Weld Nugget Formation

In resistance spot welding applications performed on 2.5 mm thick MPH660Y760T sheet material, 2-stroke (2T) 12.2 kA or 13.7 kA; 3-stroke (3T) 11.5 kA or 13.8 kA welding currents were tested using appropriate current cable and welding parameters. As a result of the studies, the penetration diameter of the obtained spot welds was measured as minimum 6.3 mm and maximum 9.58 mm or 10.23 mm.The penetration rate of spot welds between 20% and 90% shows that appropriate strength is provided in the content of the structure and more welding strength is obtained.

When comparing the 2T array with 12.2 kA and the 3T array with 11.5 kA, the differences between the nugget diameter after chisel test clearly show the effect of the different welding parameters used on the nugget formation differed in welds made with MPH660Y760T and CR01 sheets as shown Figure 1 and Figure 2. While nugget diameters were smaller and irregular in the weld made with MPH660Y760T sheet, nugget diameters were larger and homogeneous in the weld made with CR01 sheet. In the CR01 weld where the Imin value was low, nugget formed earlier and more uniformly, which increased the welding efficiency.However, when MPH660Y760T sheet was welded with its own material, nugget

efficiency decreased. This shows that welds made with different material types can increase nugget quality and efficiency.

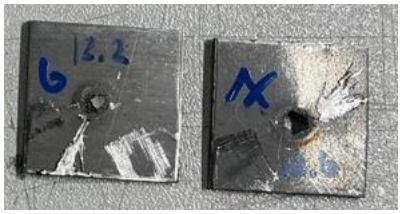


Figure 5: Nugget formation after chisel test conducted with 12.2 kA 2T stuck-up configuration



Figure 6: Nugget formation after chisel test conducted with 11.5 kA 3T stuck-up configuration.

Microhardness testing was performed to evaluate the mechanical properties along the weld zone and heat affected zones (HAZ). The average hardness values for the 2T array at different welding currents are presented in the table below:

Table 2 Hardess values fo 12.2kA and 13.7kA

	2T Stack-up 12.2kA(HV1)	2T Stack-up 13.7kA(HV1)
Weld zone	382	383
Weld + HAZ	372	387
Bottom sheet steel + HAZ	371	353

According to the observations, the hardness values in the weld zone and the heat-affected zone (HAZ) are significantly higher than those of the base material, indicating the effects of rapid thermal cycling during the welding process. In particular, the average hardness increase in the weld zone compared to the base material was about 101-106 HV1. For the 13.7 kA current, the hardness values were slightly higher compared to the 12.2 kA current, and the hardness increase in the Weld + HAZ zone increased from 372 HV1 to 387 HV1. This hardness increase is typical for high strength steel welds due to microstructural changes caused by local heat generated during welding. These results are in agreement with previous studies where similar hardness increases in the weld and HAZ zones of high strength steels were observed due to phase transformation and thermal gradients [3][4].

Weld Quality and Spatter Formation

Metallographic analysis confirmed that the welds met the required criteria, including sufficient nugget size, penetration depth, and electrode indentation. However, spatter formation was observed at the upper limit of the welding current (13.8 kA) for the 2T stack-up. This suggests that excessive welding current may lead to undesirable defects, such as spattering, which can affect the overall weld quality. This observation is consistent with prior research,

which has shown that welding currents near the upper limit of the process window can cause spatter formation, requiring further optimization to prevent such defects [6].

Conclusion

This study provides valuable information for optimizing resistance spot welding parameters for 2.5 mm thick MPH660Y760T steel sheets, which are widely used in the automotive industry. The main findings are summarized below:

1) The optimal source current range was determined to be between 12.2 kA and 13.7 kA for the 2T assembly and between 11.5 kA and 13.8 kA for the 3T assembly. Within these current ranges, the source nugget size consistently met the minimum requirement of 6.3 mm, and measured values ranged from 9.58 mm to 10.23 mm.
2) At 13.7 kA current, the hardness in the weld zone was measured as 383 HV1, and the hardness in the weld and HAZ zones was measured as 387 HV1. The lower sheet decreased to 279 HV1. At 12.2 kA current, the hardness in the weld zone was measured as 382 HV1, and the hardness in the weld and HAZ zones was measured as 372 HV1. The hardness increase in these areas is due to the microstructure of the MPH660Y760T material during the welding process.
3) As a result of the analysis, In the 2T stuck spot-welding, spatter was observed when the current reached 14 kA. In contrast, in the 3T stuck-up welding process, spatter appeared after 13.8 kA. This shows that spatter formation in the 3T stuck-up welding started at a lower current than in the 2T stuck spot welding.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Wang, J., Zhang, X., & Li, Y. (2015). *Influence of chemical composition on the resistance spot welding joint of DP590 steel*. Journal of Materials Processing Technology, 214(11), 2677-2683.

Xie, L., Liu, Y., & Zhou, Z. (2013). *Research on resistance spot welding of ultra-thin sheet metal for automotive applications*. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 135(4), 041017.

Wang, S., Wang, H., & Zhang, H. (2017). *The effect of alloying elements on the resistance spot welding of high-strength steels*. Welding Journal, 96(6), 207s-212s.

Ouyang, L., & Qiao, Z. (2016). *Resistance spot welding of automotive materials: Process, joint characteristics, and applications*. Materials Science and Engineering: R: Reports, 109, 1-19.

Lee, S., & Kim, B. (2014). *Optimizing welding parameters for resistance spot welding of advanced high-strength steels*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 71(5-8), 1031-1039.

Gupta, R., & Sharma, R. (2018). *Yüksek mukavemetli çeliklerde direnç nokta kaynağı parametrelerinin optimizasyonu*. Journal of Materials Science and Technology, 34(5), 987-993.

Singh, V., & Sharma, R. (2016). *Kaynak süresinin otomotiv uygulamalarında direnç nokta kaynağının kalitesine etkisi*. Journal of Manufacturing Processes, 24, 191-198.

Zhang, J., & Xie, L. (2014). *Yüzey işlemlerinin yüksek mukavemetli çeliklerin direnç nokta kaynağındaki kaynağa etkisi*. Journal of Materials Engineering and Performance, 23(4), 1375-1381.

Li, W., & He, Z. (2015). *Direnç nokta kaynağında kaynak çekirdeklerinin mikro yapısal karakterizasyonu*. Materials Science and Engineering: A, 620, 138-147.

Kumar, R., & Garg, S. (2017). *Otomotiv üretimi için direnç nokta kaynağındaki otomasyon teknolojilerindeki gelişmeler*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 48, 122-130

Yang, W, Zhang, W, & Li, J (2018) The effect of welding current on weld nugget size and mechanical properties in resistance spot welding of high-strength steel *Journal of Materials Processing Technology*, *255*, 90-98 https://doiorg/101016/jjmatprotec201712020

Yoo, D, Lee, H, & Kim, D (2015) Effect of welding current and electrode force on weld penetration and strength in resistance spot welding of high strength steel sheets *Journal of Manufacturing Processes*, *17*(1), 159-167 https://doiorg/101016/jjmapro201411005

Zhou, L, Wang, W, & Zhang, Y (2017) Hardness distribution and microstructure of resistance spot welds in high-strength steels *Materials Science and Engineering A*, *689*, 12-22 https://doiorg/101016/jmsea201702074

Aghdam, H, Eslami, A, & Barati, A (2019) Influence of welding parameters on microstructure and hardness of resistance spot welds in advanced high-strength steel *Welding Journal*, *98*(5), 133-142 https://doiorg/1029391/2019985133

Liu, J, Wang, X, & Li, Q (2014) Spatter formation in resistance spot welding: Influence of welding current and electrode force *Welding Journal*, *93*(6), 201-210 https://doiorg/1029391/2014936201

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

INVESTİGATİON OF MECHANİCAL EFFECTS OF DİFFERENT LATTİCE STRUCTURES ON COMPOSİTE WİNG OF UAV SYSTEM

Onur YAVUZ[1]
M. Hüsnü DİRİKOLU[2]

Abstract

This study examines the mechanical properties of composite wing structures belonging to unmanned aerial vehicle (UAV) systems and investigates the effects of various lattice structures. The analyses were conducted using Ansys software on two fundamental models: a hollow wing structure and a lattice structure featuring upright-based cells. Support elements were utilized in the lattice design to enhance structural integration at the intersection points.

Static analyses were performed for both designs to evaluate the effects of different materials (steel, carbon fiber, and carbon polyester resin) on wing deformation and strength. The hollow structure demonstrated high strength when using steel, while carbon fiber stood out for its light weight and good flexibility. However, the strength of structures made from polyester resin significantly decreased compared to the other materials.

In the analyses conducted with the lattice structure, deformation improved by approximately 20% compared to the hollow structure, reducing to 0.35 mm under a load of 100 N. The lattice wing structure analyzed using carbon polyester resin yielded a deformation of 0.44 mm, while the structure made of polyester resin alone exhibited a deformation of 28.33 mm. This indicates that the lattice structure provides a significant strength increase over the hollow wing design and that wings produced from polyester resin without carbon fiber reinforcement are insufficient.

In conclusion, carbon fiber emerges as the most suitable material due to its lightness and durability. The use of lattice structures offers significant benefits in terms of strength improvement and structural support. When these two features are combined in UAV wing design, it is anticipated that a more effective and efficient flight performance can be achieved.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Lattice Structure, Wing Design, Composite, Carbon Fiber

[1] MSc., Istanbul University-Cerrahpasa, Department of Mechanical Engineering & HAVELSAN, onuryavuz@havelsan.com.tr, Orcid: 0000-0002-8193-6681

[2] Prof. Dr., Istanbul University-Cerrahpasa, Department of Mechanical Engineering, dirikolumh@iuc.edu.tr, Orcid: 0000-0001-6279-2283

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Giriş

İnsansız Hava Araçları (İHA), çeşitli görevleri bağımsız olarak veya bir insan operatörünün uzaktan kumandası altında gerçekleştirme kabiliyetine sahip hava sistemleridir. Savaş sistemlerinin gelişen teknoloji ile birlikte daha karmaşıklaşması ve stratejik önem arz etmesi sebebiyle İHA'lar modern savaş alanlarının vazgeçilmez unsurları haline gelmiştir. Bu araçların performansı ve verimliliği, hafif, dayanıklı ve aerodinamik özelliklere sahip yapılarla doğru orantılıdır. Bu bağlamda, kompozit malzeme kullanımı, İHA kanatlarının yapı tasarımında önemli bir rol oynamaktadır.

Kompozit yapılar, yüksek mukavemet-ağırlık oranı sunmaları, iyi darbe emme özellikleri ve gerektiğinde özelleştirilebilir yapıları sayesinde geleneksel malzemelere kıyasla belirgin avantajlar sağlamaktadır. Ancak, bu avantajların maksimize edilebilmesi ve kanat yapılarının mekanik özelliklerinin optimize edilebilmesi için, farklı kafes yapılarının tasarımının incelenmesi gereklidir. Kafes yapılar, belirli bir geometrik düzen ve düzenli hücre dizilimleri ile oluşturulmuş struktürel sistemlerdir; malzemenin, yüklerin kontrollü bir şekilde dağıtılmasına olanak tanıyan bir yapısal bütünlüğe sahip olması sağlanır.

Bu çalışmada, içi boş bir kanat yapısı ile "dikme tabanlı hücreler" içeren kafes yapılarının statik ve dinamik mekanik etkileri arasında bir kıyaslama yapılacaktır. Ansys yazılımı kullanılarak gerçekleştirilecek sonlu elemanlar analizi, farklı malzeme türlerinin (çelik, karbon fiber ve polyester reçine) kanat yapılarındaki deformasyon ve dayanım üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde inceleyecektir. Kafes yapılar ile sağlanacak tasarım iyileştirmeleri, %20'ye varan deformasyon düşüşü ve artırılmış dayanıklılık gibi sonuçlar sunmaktadır.

Kafes yapılar, uygulanan yüklerin etkilerini optimize ederek, yapısal dayanıklılığı artırmanın yanı sıra sehim ve gerilim yoğunluklarını etkin bir şekilde dağıtma yeteneği sunar. Bu çalışmalar, hem CAD modellemeleri hem de malzeme testleri ile desteklenerek, literatürdeki tekil malzeme odaklı analizlerin ötesine geçmekte ve çoklu malzeme kombinasyonları ile çok yönlü bir yaklaşım sergilemektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, İHA kanatlarının tasarımında kafes yapıların potansiyelinin araştırılmasını sağlayarak, daha hafif, daha güçlü ve maliyet etkin hava sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Elde edilecek bulgular, hem yapısal entegrasyonu hem de aerodinamik verimliliği artırma fırsatları sunarak, gelecekteki İHA tasarım süreçlerinde önemli bir referans kaynağı olacağı öngörülmektedir.

2.Kafes (Lattice Structure) Yapıları ve Mekanik Özellikleri

Kafes yapıları, mühendislik ve tasarım alanında yenilikçi bir yaklaşım sunarak çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle insansız hava araçları (İHA) için tasarlanan kanat yapılarında, bu yapıların avantajları ve dezavantajları, uygulanan yüklerin doğasına ve gereksinimlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Kafes yapılar genellikle minimum malzeme ve enerji kaybının gerekli olduğu hafif yapıların imalatında kullanılır. Kafes yapılarının, geleneksel yapılarla karşılaştırıldığında onları daha arzu edilen yapıcı bir çözüm haline getiren çok sayıda yönü vardır. Avantajlarından bazıları aşağıdaki gibidir,

- İyi Mukavemet-Ağırlık Oranı: Bir kafes yapının hacminin, seçilen yapıya atfedilen dolgu derecesine bağlı olarak ağırlıklı olarak havadan oluşması gerçeğinin bir sonucudur; bir yapının kafeslenmesi, parçanın kritik alanlarından bile malzeme

çıkarılması dezavantajına sahiptir, ancak elde edilen kütle azaltma, genel güç-ağırlık oranını artırabilir,

• İyi Darbe Emme Özellikleri: Yüksek gerilme kapasitesine sahip malzemelerden üretildiğinde, kafes yapılar, özellikle hassas elektronik ekipmanı korumak için kullanılabilecekleri düşme veya çarpışma durumunda çok iyi darbe koruması sağlar,

• Titreşim ve Gürültü Sönümleme: Üretici, geometrik tasarımı iyileştirerek kafes yapıların düşük sertliği ve yüksek gerinim geri alma yeteneği sayesinde potansiyel olarak zararlı titreşimleri ortadan kaldırma yeteneğine sahiptir,

• Daha Karmaşık Geometri Elde Edilebilmesi: 3D Eklemeli imalat teknikleri, üretimin katman katman yaklaşımı sayesinde çok karmaşık yapıların imal edilmesi olasılığını sunar.

Aşağıda, en yaygın kullanılan kafes yapısı (lattice structure) türleri ve bunların İHA tasarımlarındaki mekanik özellikleri değerlendirilecektir.

2.1.Dikme Tabanlı Kafes Yapılar (Truss Structures)

Dikme Tabanlı Kafes Yapılar (Truss Structures), üçgenler veya kareler gibi basit geometrik şekillerin bir araya gelmesiyle oluşan ve dışarıdan uygulanan yükleri etkili bir şekilde taşımak için tasarlanmış yapı elemanlarıdır. Genellikle çelik veya metal gibi yüksek mukavemetli malzemelerden imal edilir ve inşaat, köprü yapımı ile havacılık gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

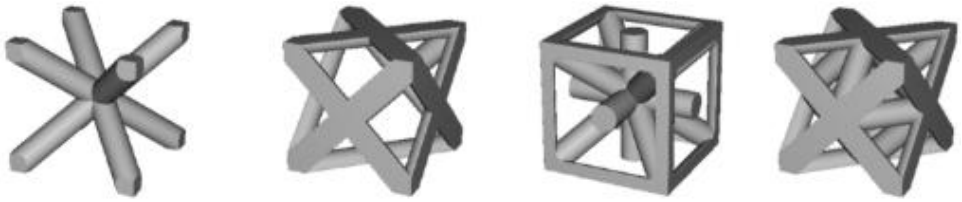
Dikme tabanlı kafes yapılar, genellikle üçgen hücrelerden oluşur. Bu tasarım, yapı elemanlarının birleştirilmesiyle büyük bir stabilite sağlar. Üçgen şeklin doğası gereği, dışarıdan gelen kuvvetler bu yapıların her kısmına etkili bir biçimde iletilir. Yüksek mukavemetli malzemelerle inşa edildiğinde, önemli ölçüde malzeme tasarrufu sağlarken yüklerin taşınmasında son derece etkili olabilir. Bu tür yapılar, hem basınç hem de çekme kuvvetlerine karşı dayanıklıdır ve çeşitli yük senaryolarına göre optimize edilebilirler.

Dikme tabanlı kafes yapıların avantajları arasında düşük ağırlık ve yüksek dayanım bulunmaktadır. Düşük ağırlıkları sayesinde büyük uzunluklarda tasarlanabilirler ve daha az malzeme kullanarak geniş açıklıkları geçebilirler. Dayanıklılıkları, yüksek kaliteli çelik veya kompozit malzemelerle üretildiklerinde zamanla yorgunluk göstermemekte ve uzun ömürlü olmaktadır. Ayrıca, bu yapıların malzeme etkinliği ve üretim sürecinin standardizasyonu, genellikle daha düşük maliyetle yüksek performans sağlamaktadır.

Bununla birlikte, dikme yapılar bazı dezavantajlara da sahiptir. Tasarımları ve montajları karmaşık olabilir, özellikle geniş açıklıklar ve belirli yük koşulları altında. Beklenmeyen yük koşullarına karşı bazen zayıf kalabilirler. Ayrıca, kafes yapılar bazen görsel estetik ve iç mekan düzenlemeleri açısından kısıtlayıcı olmaktadır.

Dikme tabanlı kafes yapılar, havacılık ve uzay alanında İHA kanatları, hava aracı şasileri ve uçak gövdesi bileşenleri gibi kritik bileşenlerde kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe köprü, gökdelen, spor salonu ve diğer büyük yapıların inşasında yer almaktadır. Otomotiv endüstrisinde ise araç şasileri ve yapısal bileşenlerin üretiminde tercih edilmektedir.

Sonuç olarak, dikme tabanlı kafes yapılar, hafiflikleri ve dayanıklılıkları sayesinde özellikle İHA tasarımında büyük faydalar sağlayabilir. Yük taşıma kapasiteleri ve malzeme verimlilikleri, onları modern mühendislik uygulamalarında vazgeçilmez hale getirmektedir. Çeşitli alanlarda geniş uygulama potansiyeline sahip olmaları, bu yapıların araştırma ve geliştirme süreçlerinde daha fazla inceleme gerektirdiğini göstermektedir.



Şekil 1 - Dikme Tabanlı Kafes Yapı (Truss Structures) Örnekleri (P. Poddar, 2022)

2.2.Hücre Tipi Kafes Yapılar (Cellular Structures)

Hücre tipi kafes yapılar (cellular structures), belirli geometrik düzenlerle ve tekrar eden hücrelerle tasarlanmış yapısal sistemlerdir. Bu yapılar, genellikle üç veya daha fazla yönlü hücrelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulur ve geniş bir uygulama yelpazesi sunar. İnsansız hava araçlarından (İHA) otomobile, inşaat mühendisliğinden havacılığa kadar birçok alanda tercih edilmektedir.

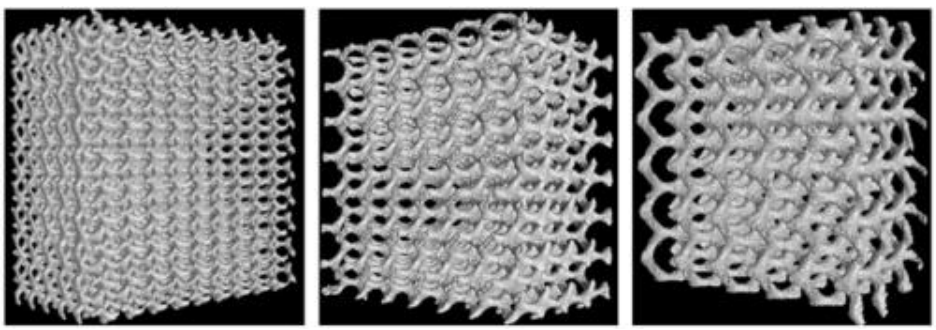
Hücre tipi kafes yapılar, genellikle malzeme verimliliği, mukavemet ve enerji emme kapasitesi gibi alanlarda önemli avantajlar sunar. Bu yapılar, dış kuvvetlere karşı direnç gösterme yeteneklerinden dolayı, statik ve dinamik yükler altında performans sergiler. Yapının içindeki hücrelerin boyutu ve şekli, uygulama alanına bağlı olarak özelleştirilebilir. Örneğin, bir uçak kanadında yük taşıma kapasitesini artırmak için daha büyük hücreler kullanılabilirken, darbe emme kapasitesi artırmak gerektiğinde daha küçük hücreler tercih edilebilir.

Hücre tipi kafes yapıların en önemli avantajlarından biri, mükemmel bir güç-ağırlık oranı sunmasıdır. Bu tür yapılar, yoğun malzemelerin miktarını azaltarak hafif ve dayanıklı bileşenler elde etmeyi mümkün kılar. Ayrıca, hücrelerin iç yapısı sayesinde büyük hacimlerde yüksek dayanıklılık sağlanır ve bu, fiziksel yüklerin eşit bir şekilde dağıtılmasına olanak tanır. Dolayısıyla, hücre tipi yapılar, enerjiyi etkili bir şekilde sönümleme kapasitesine sahip olabilir; bu özellik, özellikle darbe ve şok koşullarında yapı bütünlüğünü korumak açısından önemlidir.

Ancak, hücre tipi kafes yapıların dezavantajları da mevcuttur. Tasarımları karmaşık ve üretimi zor olabilir, bu da maliyetleri artırabilir. Ayrıca, doğru hücre boyutu ve şeklinin seçilmesi, tasarım sürecinin en kritik aşamalarından biridir. Yanlış seçimler, yiyecek, ısı veya ses gibi dış etkenlere karşı performans kaybına yol açabilir.

Hücre tipi kafes yapılar, çeşitli uygulama alanlarında etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle havacılık sektöründe, uçak kanatlarının, gövdelerinin ve diğer yapısal bileşenlerinin tasarımında hâkim konumdadır. Ayrıca, otomotiv sanayisinde yakıt tasarrufunu sağlamak ve bu sayede aerodinamik verimliliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır. İnşaat mühendisliğinde ise, bu yapılar çeşitli yük taşıma ihtiyaçlarını karşılayabilen hafif ama dayanıklı malzemeler olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, hücre tipi kafes yapılar, mühendislik ve tasarım alanında yenilikçi çözümler sunarak performansı artıran ve malzeme verimliliği sağlayan yapılar olarak büyük bir önem taşımaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte bu yapıların daha karmaşık formlarda ve çeşitli malzeme kombinasyonlarıyla üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Bu durum, gelecekteki uygulamalarda yapıların daha işlevsel ve performans odaklı hale gelmesini sağlayacaktır.



Şekil 2 - Hücre Tipi Kafes Yapı (Cellular Structures) Örnekleri (C. Yan, 2012)

2.3.Bal Peteği Yapıları (Honeycomb Structures)

Bal peteği yapıları, altıgen hücresel düzenlemelerden oluşan ve hafiflik ile dayanıklılığı bir araya getiren özel yapı elemanlarıdır. Bu yapılar, özellikle inşaat mühendisliği, havacılık, uzay mühendisliği ve otomotiv sanayisi gibi birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Bal peteği yapıları, temel olarak, yüzey boyunca düzenli bir şekilde dizilmiş hücrelerin bir kombinasyonudur ve bu nedenle yüksek mukavemet ve düşük ağırlık sunar.

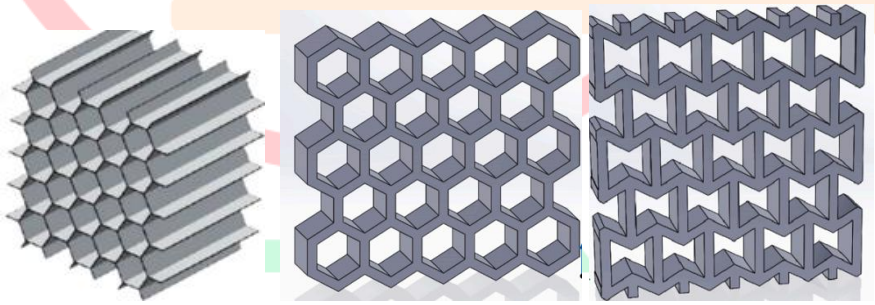
Bal peteği yapılarının en belirgin özelliklerinden biri, mükemmel bir güç-ağırlık oranı sağlamasıdır. Bu yapılar, az malzeme kullanarak büyük miktarda yük taşıma kapasitesine sahip olabilirler. Altıgen yapıları sayesinde, dışarıdan gelen kuvvetlerin eşit bir şekilde dağıtılmasına olanak tanıyarak yapıya genel bir stabilite kazandırır. Bu özellik, hem statik hem de dinamik yükler altında yüksek performans göstermelerini sağlarken, aynı zamanda olası deformasyonları da minimize eder.

Enerji emme kapasitesi, bal peteği yapılarının bir diğer önemli avantajıdır. Bu yapılar, darbe veya şok yükleri ile karşılaştıklarında enerji absorpsiyonunu artırabilirler. Bu nedenle, bal peteği yapıları, özellikle havacılık ve otomotiv uygulamalarında güvenlik ve dayanıklılığı artırmak için sıklıkla tercih edilir. Ayrıca, yapının içindeki hava boşlukları, sesi ve titreşimi sönümleme özelliği sayesinde gürültü kontrolü sağlamak amacıyla da kullanılır.

Bal peteği yapılarının dezavantajları arasında, üretim süreçlerinin karmaşıklığı ve maliyetleri bulunur. Detaylı ve hassas üretim gerektiren bu yapılar, özel makinelerle üretilebilmekte ve bu da ek maliyetler doğurabilmektedir. Ayrıca, belirli yük koşulları altında bal peteği yapıların yük taşıma kapasiteleri sınırlı olabilir, bu da mühendislik tasarımı sürecinde dikkatle değerlendirilmesi gereken bir husustur.

Bal peteği yapılar, havacılık ve uzay alanında genellikle uçak kanatları, gövde yapı elemanları ve başka strüktürel uygulamalarda kullanılır. Ayrıca, otomotiv endüstrisinde hafif ve dayanıklı malzemeler olarak yer alır ve yakıt verimliliğini artırma amacıyla tercih edilmektedir. İnşaat mühendisliğinde ise, çeşitli yapılar ve bileşenler için uygun maliyetli ve etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, bal peteği yapıları, mühendislik uygulamalarında yenilikçi ve verimli bir malzeme kullanımı sunarak hafiflik, dayanıklılık ve enerji emme kapasitesi gibi avantajları bir araya getirmektedir. Gelişen teknolojilerle birlikte, bu yapıların daha karmaşık ve çeşitli formlarda üretilmesi, onları gelecekteki mühendislik tasarımlarında daha yaygın hale getirecektir. Bal peteği yapılarının sunduğu tüm bu olanaklar, endüstriyel alanlarda yeni tasarım ve üretim yöntemlerinin keşfedilmesine imkan tanımaktadır.



Şekil 3 - Bal Peteği Yapı (Honeycomb Structures) Örnekleri (K. Günaydın, 2022)

2.4.Gradyan Kafes Yapılar (Gradient Lattice Structures)

Gradyan kafes yapılar (gradient lattice structures), hücre boyutlarının, yoğunluklarının ve geometrik biçimlerinin stratejik olarak değişmesinin sağlandığı, yapısal sistemlerdir. Bu tür yapılar, belirli bir alanda yük dağılımını optimize etmek amacıyla tasarlanmıştır ve genellikle aerodinamik verimlilik, malzeme tasarrufu ve dayanıklılık gibi avantajlar sağlamaktadır. Gradyan kafes yapılar, insansız hava araçları, otomotiv, havacılık ve mühendislik gibi birçok sektörde kullanılmaktadır.

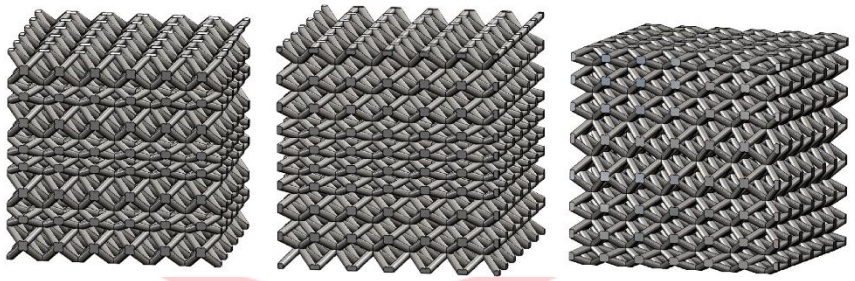
Gradyan kafes yapılarının en büyük avantajı, yük yoğunluklarına göre özelleştirilebilmeleridir. Bu yapılar, yüklerin en çok yoğunlaştığı öncelikli bölgelerde daha küçük hücreler kullanarak dayanıklılığı artırır. Bu sayede, düşey yük taşıma kapasitesini artırmak için daha fazla malzeme yoğunluğu ve kritik alanlarda daha sağlam bir yapı elde edilirken, yapının genel hafifliği de korunur. Bu özellik, gradyan kafes yapıların hafif ama son derece güçlü olmasını sağlar.

Ayrıca, gradyan kafes yapılar, yüksek sönümleme özellikleri sunarak darbe ve şok yüklerine karşı direnç sağlar. Yapının içindeki hücre desenleri, yüklerin etkili bir şekilde yayılmasına olanak tanırken, aşırı yük altında yapının bütünlüğünü korur. Bu tür yapıların özellikleri, otomotiv ve havacılık uygulamalarında güvenliği artırmak için büyük bir öneme sahiptir.

Buna karşın, gradyan kafes yapıların tasarım ve üretim süreci karmaşık olabilir. Hücre boyutlarının ve yoğunluklarının uyumlu bir şekilde optimize edilmesi gerekmektedir ve bu da çoğu zaman zaman alıcı bir mühendislik süreci gerektirir. Ayrıca, bu yapıların üretimi için genellikle özel eklemeli imalat teknikleri kullanılması gerektiğinden, maliyetler geleneksel inşaat yöntemlerine kıyasla daha yüksek olabilir.

Gradyan kafes yapılar, havacılık sektöründe uçak kanatları ve gövde parçaları gibi kritik bileşenlerde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, otomotiv sektörü de bu yapıların sağladığı güvenlik ve verimlilik avantajlarından yararlanmaktadır. İnşaat mühendisliğinde ise, yapıların hafifliğinin ve dayanıklılığının optimize edilmesiyle daha sürdürülebilir çözümler sunmaktadır.

Sonuç olarak, gradyan kafes yapılar, mühendislik ve tasarım alanında yenilikçi yaklaşımlar sunarak malzeme verimliliği, dayanıklılık ve yük taşıma kapasitesini optimize eden yapılar olarak öne çıkmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte, bu yapıları daha karmaşık formlarda ve çeşitli malzeme kombinasyonlarıyla üretmek mümkün hale gelmiş, böylece gelecekteki mühendislik uygulamalarında büyük bir potansiyel taşımaktadır. Gradyan kafes yapıların sunduğu bu olanaklar, endüstriyel alanlarda yeni tasarım ve üretim yöntemlerinin keşfedilmesine olanak tanımaktadır.



Şekil 4 - Gradyan Kafes Yapı (Gradient Lattice Structures) Örnekleri (J. Sienkiewicz, 2022)

2.5.İskelet-TPMS Yapılar (Triply Periodic Minimal Surface Structures)

İskelet-TPMS yapılar (Triply Periodic Minimal Surface Structures), üç boyutlu geometrik sistemler olup, minimum yüzey alanını oluşturan ve belirli bir ağırlık altında maksimum hacmi sağlamak amacıyla tasarlanmış strüktürel elemanları ifade eder. Bu yapılar, genellikle uçucu ve dayanıklı malzemelerin kullanılmasına olanak tanır ve geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. TPMS yapılar, özellikle havacılık, otomotiv ve biomimetic uygulamalar gibi alanlarda önemli avantajlar sunmaktadır.

İskelet-TPMS yapıların en belirgin özelliği, karmaşık geometrik formlarıdır. Bu yapılar, belirli simetrik yapıların iç tasarımında kullanılarak, iç mekânın %60-90'ını oluşturan ve büyük sıvı akışlarına veya yük dağılımına izin veren açık boşluklara sahiptir. Bu dizayn, yapıların hafif kalmasını sağlarken, yüksek dayanım gösterme yeteneğini de artırır. TPMS yapılar, statik ve dinamik yükler altında mükemmel performans sergileyebilme kapasitesine

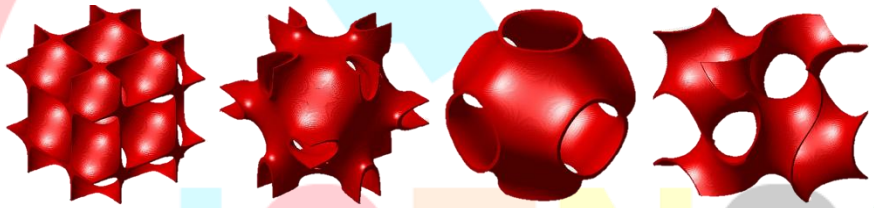
sahiptir ve bu durum, özellikle yüksek mukavemet-ağırlık oranının önemli olduğu uygulamalar için kritik öneme sahiptir.

Bu yapıların bir diğer avantajı, enerji emme kapasitesinin artırılmasıdır. TPMS yapılar, darbe ve şok yüklerine karşı etkili bir şekilde enerji absorbe edebilir. Hücre mimarileri, dışarıdan gelen kuvvetlerin yapıda yayılmasına olanak tanıyarak, yapılara ek dayanıklılık kazandırır. Bu özellik, havacılık ve otomotiv sanayinde güvenliği artırmak amacıyla önemli bir rol oynamaktadır.

Bunun yanında, iskelet-TPMS yapıların dezavantajları da bulunmaktadır. Tasarımı ve üretimi genellikle karmaşık süreçler gerektirir, bu da ek maliyet ve üretim süresi yaratabilir. Ayrıca, özel ekipman ve teknik beceriler gerektirmektedir. Bu, TPMS yapıların standart inşaat yöntemlerine göre daha pahalı hale gelmesine neden olabilir.

İskelet-TPMS yapılar, havacılık alanında uçak gövdesi, kanat yapıları ve iç bileşenlerde sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca, otomotiv endüstrisinde, ağırlığı azaltma ve yapısal dayanıklılığı artırmak amacıyla tercih edilmektedir. İnşaat mühendisliğinde ise, hafif yapıların ve yüksek donanımlı bileşenlerin tasarımında önemli bir yere sahiptir.

Sonuç olarak, iskelet-TPMS yapılar, mühendislik alanında tasarımın sınırlarını zorlayarak, malzeme verimliliği, dayanıklılık ve enerji emme kapasitesi gibi önemli avantajlar sunmaktadır. Bu yapılar, gelişen teknoloji sayesinde daha karmaşık ve çeşitli formlarda üretilebilmekte, bu durum onların gelecekteki mühendislik uygulamalarında geniş bir yelpaze avantajı sunmasına olanak tanımaktadır. İskelet-TPMS yapıların potansiyeli, endüstriyel alanlarda yeni tasarım ve üretim yöntemlerinin geliştirilmesi açısından büyük bir fırsat sağlamaktadır.



Şekil 5 - İskelet-TPMS Yapılar (Triply Periodic Minimal Surface Structures) Örnekleri (K. Yeranee, 2022)

2.6.Farklı Kafes Yapılarının Özelliklerinin Kıyaslanması ve İnsansız Hava Araçları İçin Uygunluğunun Değerlendirilmesi

Kafes yapılar genellikle minimum malzeme ve enerji kaybının gerekli olduğu hafif yapıların imalatında kullanılır. Kafes yapılarının, geleneksel yapılarla karşılaştırıldığında onları daha arzu edilen yapıcı bir çözüm haline getiren çok sayıda yönü vardır. Avantajlarından bazıları aşağıdaki gibidir,

- İyi Mukavemet-Ağırlık Oranı: Bir kafes yapının hacminin, seçilen yapıya atfedilen dolgu derecesine bağlı olarak ağırlıklı olarak havadan oluşması gerçeğinin bir sonucudur; bir yapının kafeslenmesi, parçanın kritik alanlarından bile malzeme çıkarılması dezavantajına sahiptir, ancak elde edilen kütle azaltma, genel güç-ağırlık oranını artırabilir,

- İyi Darbe Emme Özellikleri: Yüksek gerilme kapasitesine sahip malzemelerden üretildiğinde, kafes yapılar, özellikle hassas elektronik ekipmanı korumak için kullanılabilecekleri düşme veya çarpışma durumunda çok iyi darbe koruması sağlar,

- Titreşim ve Gürültü Sönümleme: Üretici, geometrik tasarımı iyileştirerek kafes yapıların düşük sertliği ve yüksek gerinim geri alma yeteneği sayesinde potansiyel olarak zararlı titreşimleri ortadan kaldırma yeteneğine sahiptir,

• Daha Karmaşık Geometri Elde Edilebilmesi: 3D Eklemeli imalat teknikleri, üretimin katman katman yaklaşımı sayesinde çok karmaşık yapıların imal edilmesi olasılığını sunar.

İncelenen beş farklı kafes yapısı; dikme tabanlı yapılar, hücre tipi yapılar, bal peteği yapıları, gradyan kafes yapılar ve iskelet-TPMS yapılar her biri kendi özgün özellikleri ile belirli avantajlar ve dezavantajlar sunmaktadır.

Dikme tabanlı yapılar, yüksek mukavemeti ve malzeme verimliliği ile dikkat çekerken, geniş açıklıkların geçilmesinde ve hafif yükleme senaryolarında uygundur. Ancak karmaşık tasarım süreçleri ve montaj zorlukları, bu yapıların dezavantajları arasında yer almaktadır. Hücre tipi yapılar, mükemmel bir güç-ağırlık oranı sunarak dayanıklılığı artırırken, darbe emme özellikleri sayesinde güvenliği de sağlar. Fakat üretimlerinin karmaşık olabilmesi ve yüksek maliyetleri, dikkatle değerlendirilmesi gereken faktörlerdir.

Bal peteği yapıları, hafiflik ve dayanıklılık sağlarken, enerji emme kapasitesi ile öne çıkar. Bu yapılar, uçak kanatları ve otomotiv uygulamalarında yaygın olarak tercih edilir. Ancak belirli yük koşullarında dayanıklılıkları sınırlı olabilir. Gradyan kafes yapılar, yük yoğunluklarına göre özelleştirilebilme yetenekleri ile dikkat çekmektedir. Bu yapılar, malzeme tasarrufu sağlarken yüksek dayanıklılık sunar, ancak karmaşık tasarımları ve üretim süreçleri yüksek maliyetler gerektirebilir.

İskelet-TPMS yapılar, karmaşık geometrileri ve minimum yüzey alanı ile yüksek hacim kapasitesi sunarken, darbe dayanıklılığı ve hafiflik gibi özellikleri de sağlamaktadır. Ancak üretimindeki zorluklar ve maliyetler, bu yapıların geniş bir kitle tarafından benimsenmesini sınırlayabilir.

İHA tasarımı açısından, bu beş yapının hangisinin tercih edileceği, uygulamanın doğasına, taşıma gereksinimlerine, maliyet bütçesine ve hedeflenen performansa bağlıdır. Özellikle aerodinamik verimlilik ve malzeme dayanıklılığı açısından, hücre tipi ve bal peteği yapıları İHA'larda sıklıkla tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra, gradyan kafes yapıları ve iskelet-TPMS yapılar da gelişmiş özellikleri sayesinde gitgide daha fazla ilgi görmeye başlamaktadır.

Sonuç olarak, her yapı türünün belirli avantajları ve kısıtlamaları bulunmakta olup, tasarım sürecinde ihtiyaçlara göre en uygun kafes yapısının seçimi kritik bir öneme sahiptir. Gelecekte bu yapı türlerinin daha fazla araştırılması ve geliştirilmesi, İHA ve diğer mühendislik uygulamalarında performansı artırma potansiyelini beraberinde getirecektir.

2.7.İHA'larda Kafes Yapısı Kullanımın Etkileri

Potansiyel bir kütle azaltımı ve mekanik yüklere benzer (daha üstün değilse de) bir direnç sunan her yapı, havacılık endüstrisi için büyük ilgi görmektedir. Kafes yapıları, son yıllarda havacılık yapılarının inşasına farklı şekil ve boyutlarda izogridler şeklinde dahil edilmiş olsa da, eklemeli imalat teknikleriyle imal edilen modern kafes konsepti güvenilirliğini her geçen gün artırmaktadır. Taşıma yükünü en üst düzeye çıkarmak için toplam kütleyi azaltmanın kalıcı yollarını arayan havacılık endüstrisi, kafes yapılarının entegre edilebilirliği ile ilgilenen en büyük alanlardan biridir. 3D Eklemeli imalatla birlikte kullanıldığında kafes yapılar, imalat süreci ve özel geometrisi sayesinde havacılık ve uzay endüstrisine enerji azaltımı ve malzeme tasarrufu sağlar (A. D. Voicu, 2021).

3.Metadoloji

Bu çalışmanın metodolojisi, insansız hava araçları (İHA) için farklı yapıdaki malzeme tiplerinin Lattice Structure (kafes yapısı) ile analiz edilmesine dayanmaktadır. Çalışmanın temel amacı, farklı malzemelerin kafes yapı tasarımındaki etkilerini incelemek ve bu yapıların performansını karşılaştırmaktır.

Analiz sürecinde üç farklı malzeme kullanılmıştır: çelik, karbon fiber ve polyester reçinedir. Her malzemenin mekanik özellikleri, dayanıklılığı ve maliyet etkinliği açısından değerlendirilmiştir. İlk olarak, içi boş bir kanat yapısı ile dikme tabanlı kafes yapısı tasarlanmıştır. Her bir yapı, statik ve dinamik yükler altında denenmiş ve performansları Ansys kullanılarak simüle edilmiştir.

Kafes yapılar, özellikle statik dayanım, deformasyon ve yük taşıma kapasitesi açısından incelenmiştir. Elde edilen veriler, her malzeme türünün ve yapı tipinin dayanımını ve deformasyonunu karşılaştırmak amacıyla analiz edilmiştir. Bu süreçte, dikey tabanlı kafes yapıları, geleneksel içi boş yapı ile birlikte değerlendirilmiş ve hangisinin daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Nihai olarak, her yapı türünün ve malzemenin avantajları ve dezavantajları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

İHA'ların yapısal bileşenleri, genellikle hafif kompozit malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Bu tür kumaş yapılar, yüksek mukavemet ve düşük ağırlık sunmalarının yanı sıra, aerodinamik verimliliği artıran tasarımlar sağlamak amacıyla özelleştirilebilir. İnsansız hava aracı üretimi cam elyaf üzerine belirli kritik bölgelerde karbon fiber takviyesi ile gerçekleştirilmektedir. Üretim aşamaları ise kalıbın içerisine kumaşın serilmesi ve vakumlama iel her bir parçanın ayrı ayrı üretilmesi ve daha sonra aralarında destek elemanı eklenerek birleştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Çalışma, bu destek yapılarının kafes yapıları ile güçlendirilerek kullanılacak karbon fiber takviye miktarının azaltılması, bu sayede hem maliyet hem de malzeme tasarrufu sağlanmasını amaçlamaktadır.

4.İnsansız Hava Aracı Statik Analiz Çalışmaları

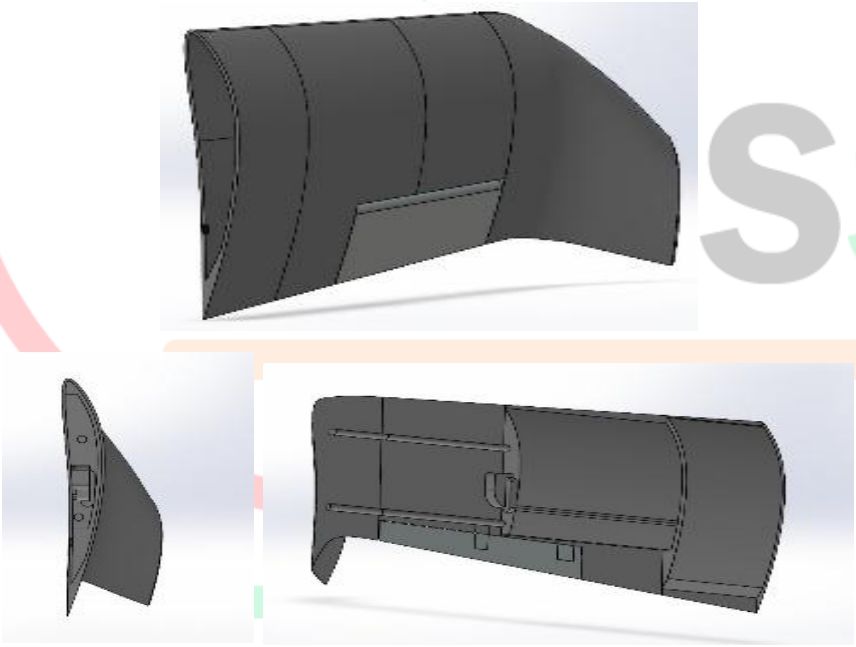
4.1. İnsansız Hava Aracı Analiz Yöntemi

Çalışma kapsamında Ansys üzerinden analizleri gerçekleştirebilmek adına öncelikli Solidworks programı üzerinden modellenen insansız hava aracının (Şekil 6) boşluklu kanat yapısı içerisine dikme tabanlı hücrelerden oluşan bir kafes yapısı elde edilmiştir. Bu sayede kafes yapısındaki mekanik değişimler daha iyi gözlemlenebilecektir. Bu analizlerin gerçekleştirilmesi için çelik, karbon fiber ve polyester olmak üzere 3 farklı malzeme kullanılmıştır. Burada polyester malzeme mevcut durumda insansız hava araçlarının gövdesini oluşturan cam elyaf katkısı olmadan kullanılan reçineyi simüle ederken karbon fiber malzeme ise mevcut durumda belirli bölgelere gerçekleştirilen malzemeye eşdeğer olarak referans alınmaktadır. Ayrıca analizler çelik malzeme ile gerçekleştirilerek diğer malzemelerin toplam deformasyon miktarı ve diğer değerlerinin kıyaslanması için bir referans değeri oluşturulmaya çalışılmıştır.

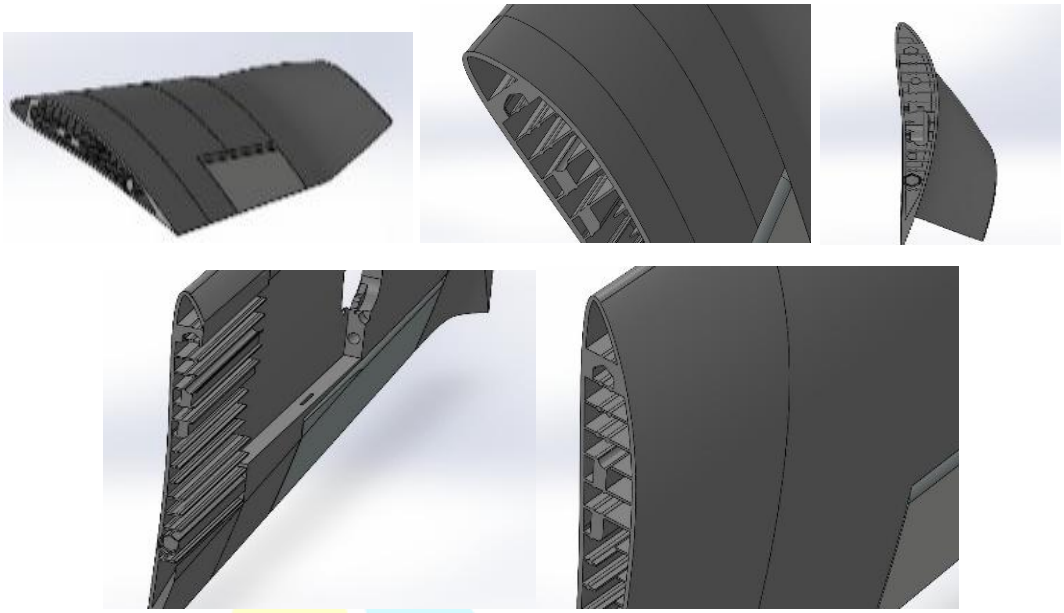


Şekil 6 - İnsansız Hava Aracı Genel Tasarımı

Kafes yapısında en genel hali ile "dikme tabanlı hücreler" yapısı tasarlanmaya çalışmıştır. Bu yapıda kesişim noktalarında küre benzeri destek bağlantı elemanları yer almaktadır. Her iki tipteki kanat yapısı görselleri Şekil 7 ve Şekil 8 de verilmiştir.



Şekil 7 - İçi Boşluklu Kanat Yapısı

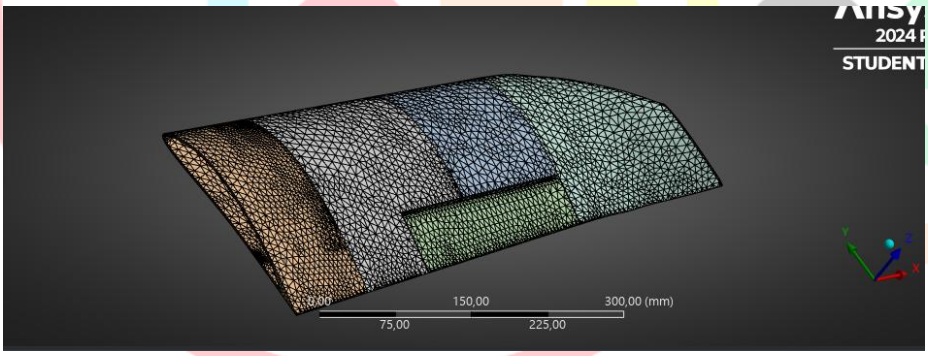


Şekil 8 - Kafes yapısında tasarlanan kanat yapısı;

Analizlerde 10 kg lık bir insansız hava aracının 1g lik kuvvet altında karşılaştığı yük miktarına (98 Newton) yakın bir kuvvet olan 100 Newtonluk bir kuvvetin kanadın uç kısmına uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen statik analiz sonuçlarında ise gerilme, gerinim ve deformasyon değerleri kıyaslanmıştır.

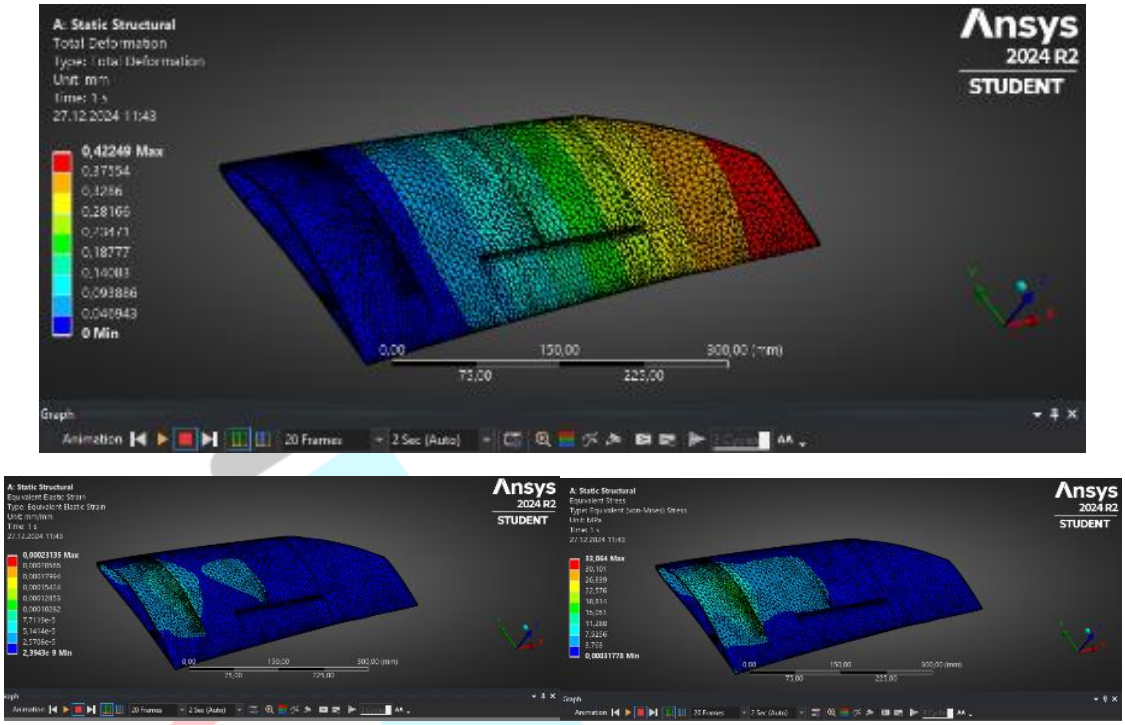
4.2. İçi Boşluklu Kanat Yapısı İle Analiz Çalışmaları

İlk olarak içi boşluklu kanat yapısının çelik malzeme ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan mesh yapısı Şekil 9 da verilmiştir.



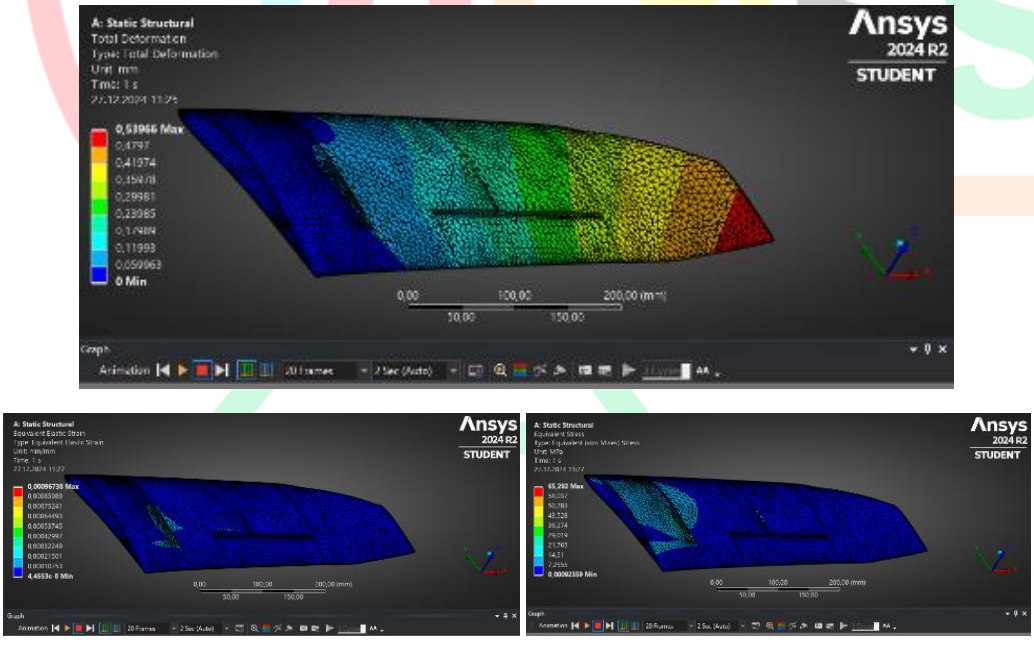
Şekil 9 - İçi Boşluklu Kanat Mesh Yapısı

Gerçekleştirilen ilk analiz sonucunda çelik malzeme ile kanadın içi boş olsa dahi yüksek dayanım gösterdiği, 100 N luk yüke karşı maksimum 0,42 mm gibi çok düşük bir deformasyona uğradığı görülmüştür (Şekil 10).



Şekil 10 - İçi Boşluklu Kanat Çelik Malzeme Analiz Sonuçları

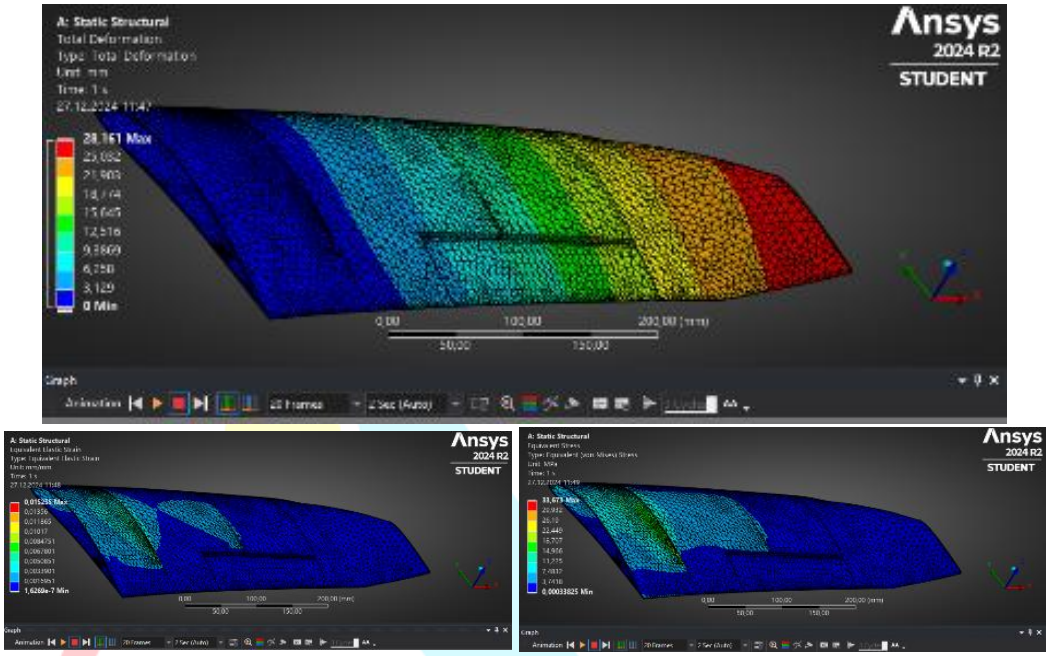
Gerçekleştirilen ikinci analizde içi boşluklu kanat yapısının karbon fiber kompozit malzeme ile mekanik değerleri incelenmiştir. Analiz sonucunda içi boş kanat yapısının karbon fiber malzeme ile analizinde 100 N luk kuvvete karşı maksimum 0,53 mm lik deformasyon gerçekleştirdiği görülmüştür (Şekil 11). Bu değer çelik malzemeye göre bir miktar yüksek olsa da karbon fiber malzemenin oldukça dayanıklı olduğu ve daha esnek bir yapıda olduğu görülmüştür.



Şekil 11 - İçi Boşluklu Kanat Karbon Fiber Malzeme Analiz Sonuçları

Gerçekleştirilen üçüncü analizde içi boşluklu kanat yapısının polyester reçine malzeme ile mekanik değerleri incelenmiştir. İçi boş kanat yapısının karbon polyester reçine ile analizinde 100 N luk kuvvete karşı maksimum 28,16 mm lik deformasyon gerçekleştirdiği

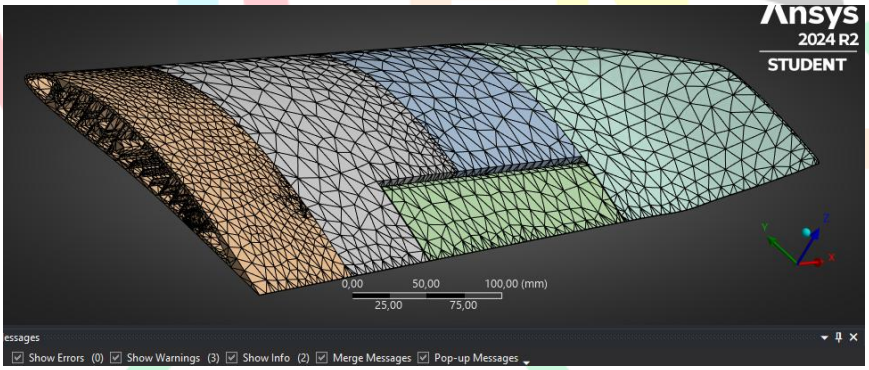
görülmüştür (Şekil 12). Karbon fiber yapıya göre bu deformasyon değeri çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle tüm gövdenin veya kanadın polyester reçine ile yapılması uygun olmayacağından dolayı karbon fiber ile en azından belirli bölgelerde güçlendirme yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 12 - İçi Boşluklu Kanat Polyester Reçine Malzeme Analiz Sonuçları

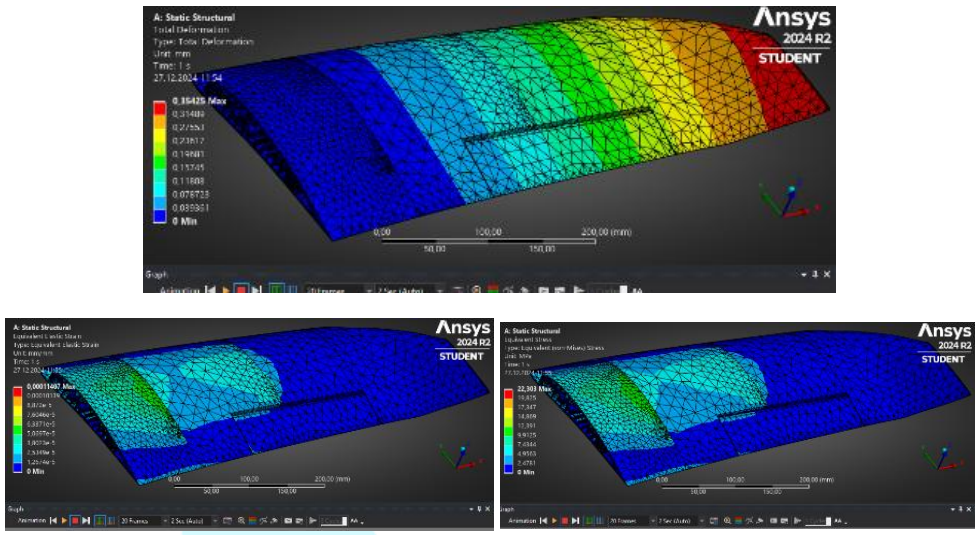
4.3. Kafes Yapılı Kanat Yapısı İle Analiz Çalışmaları

İnsansız hava aracının iç yapısında dikey tabanlı hücre yapısına sahip kafes yapısı kullanılarak yine aynı 3 malzeme ile analizler tekrarlanmıştır. Bu şekilde kafes yapısının teknik etkilerinin gözlemlenmesine çalışılmıştır. Kullanılan mesh yapısı Şekil 13 de verilmiştir.



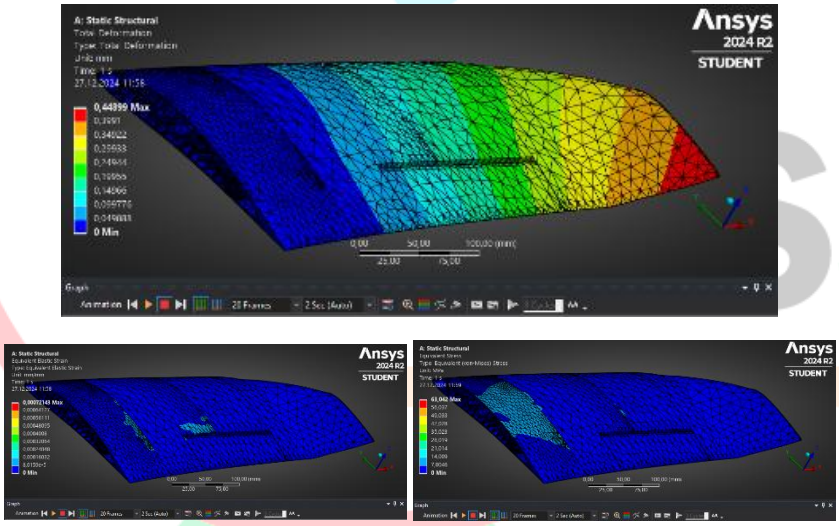
Şekil 13 – Kafes Yapılı Kanat Mesh Yapısı

Gerçekleştirilen dördüncü analizde kafes içeren kanat yapısının çelik malzeme ile mekanik değerleri incelenmiştir. Kafes yapısı ile gerçekleştirilen analizlerde 100 N luk yüke karşı maksimum 0,42 mm olan deformasyon değerinin 0,35 mm ye düştüğü görülmüştür (Şekil 14). Sadece belirli bir bölge (kanadın ana gövdeye yakın bölümü) üzerinde uygulanan kafes yapısının bile kanat üzerinde % 20 lik bir iyileştirme göstermesi, kafes tekniğinin başarılı olduğunu kanıtlamıştır.



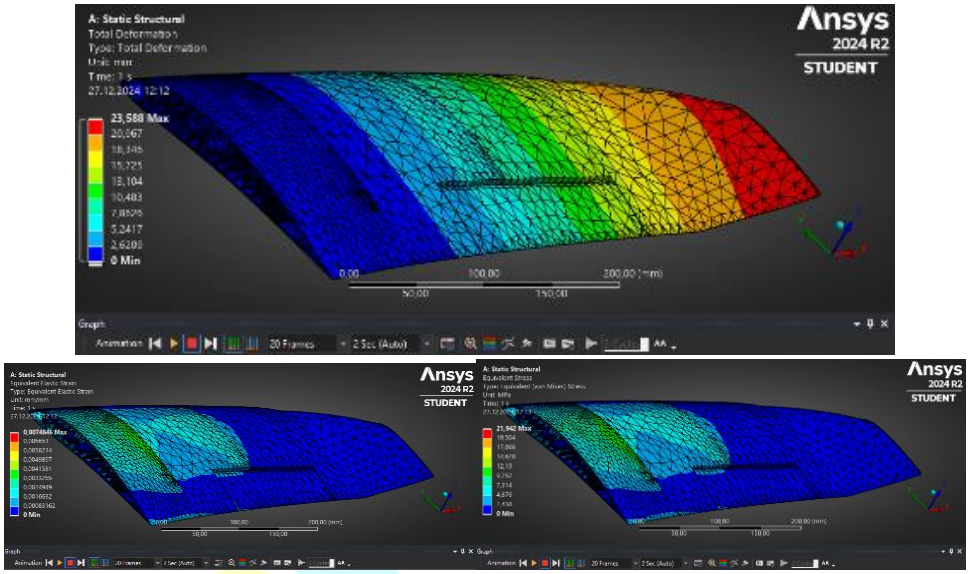
Şekil 14 – Kafes İçeren Kanat Yapısı Çelik Malzeme Analiz Sonuçları

Gerçekleştirilen beşinci analizde kafes içeren kanat yapısının karbon fiber malzeme ile mekanik değerleri incelenmiştir. Kafes kanat yapısının karbon polyester reçine ile analizinde 100 N luk kuvvete karşı maksimum 0,44 mm lik deformasyon gerçekleştirdiği görülmüştür (Şelik 15). Kafes yapısında, içi boşluklu normal kanat yapısına göre %20 ye yakın iyileşme görüldüğü, bu değer ile neredeyse boşluklu ve çelik malzeme kullanıldığı duruma yakın bir performans sergilediği görülmüştür.



Şekil 15 – Kafes İçeren Kanat Yapısı Karbon Fiber Malzeme Analiz Sonuçları

Gerçekleştirilen altıncı analizde kafes içeren kanat yapısının polyester reçine malzeme ile mekanik değerleri incelenmiştir. Kafes kanat yapısının polyester reçine malzeme ile analizinde 100 N luk kuvvete karşı maksimum 28,33 mm lik deformasyon gerçekleştirdiği görülmüştür. Bu değer karbon fibere göre çok yüksek olsa da kafes yapısı ile bir miktar iyileşme olduğu görülmüştür. Bu sonuçla kafes yapısına geçilse bile karbon fiber malzeme takviyesi olmadan yalznıca polyester reçine ile yapılacak kanat yapılarının dayanımımın düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 16 – Kafes İçeren Kanat Yapısı Polyester Reçine Malzeme Analiz Sonuçları

5.Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma çerçevesinde, insansız hava araçlarının (İHA) kanat yapılarında kullanılan farklı malzeme türlerinin ve kafes yapılarının performansları incelenmiştir. Elde edilen bulgular, tasarım ve malzeme seçiminin önemini vurgulamakta ve gelecekteki tasarımlar için önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Öncelikle, yapılan analizler sonucunda sadece polyester reçine ile üretilen kanat yapıların dayanımının düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Polyester reçine, malzeme özellikleri bakımından sınırlı dayanım sunmakta ve bu durum, statik ve dinamik yükler karşısında beklenen performansı sağlamadığını göstermektedir. Bu, mühendislik uygulamaları açısından ciddi bir dezavantaj oluşturmakta ve tasarım süreçlerinde polyester reçinenin tek başına yeterli bir malzeme alternatifi olmayacağını göstermektedir.

Ayrıca, dikey tabanlı kafes yapısının belirli bölgelerde uygulanmasının yapısal dayanıklılığı artırdığı görülmüştür. Bu yapı, özellikle yüklerin yoğun olduğu bölümlerde, hem dayanıklılık sağlamakta hem de malzeme verimliliğinin artırılmasına yardımcı olmaktadır. Dikey tabanlı kafes yapısı uygulandığında, yük dağılımının optimize edilerek yapının genel performansına olumlu bir katkı sağladığı belirlenmiştir.

Bununla birlikte, dikey tabanlı kafes yapısı uygulansa dahi yalnızca polyester reçine ile yapılacak kanat yapıların (tasarıma bağlı olarak) yeterli olamayabileceği sonucuna varılmıştır. Bazı durumlarda, özellikle yüksek dayanım istenen bölgelerde karbon fiber takviyesi yapılması gerekebileceği ortaya konmuştur. Bu bulgu, malzeme kombinasyonlarının ve tasarımın optimize edilmesinin önemini vurgular.

Son olarak, farklı kafes yapıları ile analizlerin tekrarlanması önerilmektedir. Statik analiz sonuçlarının yanı sıra, yorulma değerlerinin de gözlemlenebileceği dikkate alınmalıdır. Bu tür analizler, kanat yapılarının uzun vadede dayanıklılığını ve performansını daha kapsamlı bir şekilde değerlendirme fırsatı sunacak ve İHA tasarımında daha kapsamlı bir bakış açısı sağlayacaktır.

Bu çalışma, İHA kanat tasarımında kullanılan malzemelerin ve yapıların mekanik özelliklerini anlamak adına önemli bir temel oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlar, gelecekteki

tasarımlar için yönlendirici bir rol oynayacak ve daha güvenilir, verimli ve dayanıklı insansız hava araçlarının geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

A. D. Voicu, A. Hadar, Daniel Vlasceanu, Benefits of 3D printing Technologies For Aerospace Lattice Structures, Scientific Bulletin of Naval Academy, Vol. XXIV 2021, pg.8-16

C. Yan, L. Hao, A. Hussein, D. Raymont, Evaluations Of Cellular Lattice Structures Manufactured Using Selective Laser Melting, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 62, November 2012, Pages 32-38

J. Sienkiewicz, P. Platek, F. Jiang, X. Sun, A. Rusinek, Investigations on the Mechanical Response of Gradient Lattice Structures Manufactured via SLM, Metals 2020, 10(2), 213

K. Günaydın, C. Rea, Z. Kazancı, Energy Absorption Enhancement Of Additively Manufactured Hexagonal And Re-Entrant (Auxetic) Lattice Structures By Using Multi-Material Reinforcements, Additive Manufacturing, Volume 59, Part A, November 2022, 103076

K. Yeranee, Y. Rao, Triply Periodic Minimal Surfaces Thermal Hydraulic Effects, Scholarly Community Encyclopedia, 2022

P. Poddar, M.Olles ve Denis Cormier, Mechanical Response of Carbon Composite Octet Truss Structures Produced via Axial Lattice Extrusion, Polymers 2022, 14 (17), 3553

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

MODAL ANALYSİS OF SULFUR-BASED CONCRETE: EXPERİMENTAL INVESTİGATİON OF MODAL PROPERTİES

Ahmet ÖZBAYRAK[1]
Ömer GÜMÜŞ[2]
Bekir AKTAŞ[3]

Abstract

This study investigates the dynamic properties of sulfur-based concrete through Experimental Modal Analysis (EMA). Sulfur-based concrete, an alternative to traditional Portland cement-based concrete, offers unique mechanical and chemical advantages, including rapid strength gain, superior chemical resistance, and recyclability. Despite these benefits, limited research has focused on its vibrational characteristics and structural response under dynamic loads. This study aims to address this gap by experimentally determining the natural frequencies, damping ratios, and mode shapes of sulfur concrete. The specimens were supported on polyurethane foam to simulate free-free boundary conditions. A Dytran 5800B2 modal hammer with a metal tip was used for excitation, while MMF KS76C.100 accelerometers recorded vibrational responses. Data acquisition was performed using a Dewe-43A USB system, and results were analyzed through Dewesoft software. Frequency Response Functions (FRFs), Mode Indication Functions (MIFs), and coherence plots were evaluated to extract key modal parameters. The first-mode frequency varied between 1324 and 1452 Hz, depending on sulfur content and basalt fiber reinforcement. Damping ratios ranged from 0.001588 to 0.003253, indicating that basalt fiber inclusion enhances energy dissipation, whereas increased sulfur content reduces damping capacity. These findings contribute to optimizing sulfur-based concrete for structural applications where vibrational performance is a key concern, offering valuable insights into its behavior under dynamic conditions.

Keywords: Sulfur Concrete, Modal Analysis, Frequency Response Function, Damping Ratio, Modal Behavior.

[1] Assoc. Prof. Dr., Erciyes University, Civil Engineering Department, ozbayrak@erciyes.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-8091-4990
[2] Master Student, Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 4010530154@erciyes.edu.tr, https://orcid.org/0009-0001-4033-5652
[3] Prof. Dr., Erciyes University, Civil Engineering Department, baktas@erciyes.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-3072-7983

ISBN: 978-625-372-661-4

1. Introduction

Sulfur-based or sulfur concrete has been investigated as an alternative construction material due to its unique properties, such as rapid strength development, chemical resistance, and recyclability. The concept of sulfur concrete dates back to the late 19th century, with the first patent granted to McKay in 1900 (Loov et al., 1974). Initial research in the 1920s and 1930s was limited by the high cost of sulfur, preventing widespread application (Ciak & Harasymiuk, 2013). However, during the 1970s, the accumulation of low-cost sulfur from petroleum and gas desulfurization processes reignited interest in sulfur concrete (Sulfur Concrete - Wikipedia, 2025. This period saw significant research efforts in the United States, Canada, and the Soviet Union, leading to the development of polymer-modified sulfur for use in construction materials. By 1975, Sulfurcrete Products Inc. introduced modern sulfur concrete products, and during the 1980s, limited applications emerged in highway sections and industrial flooring (Ciak & Harasymiuk, 2013). Despite its advantages, sulfur concrete remained a niche material, primarily utilized in environments requiring high acid resistance and rapid setting times, such as sewer pipes and railway sleepers in Belgium. Research has also explored its potential as a construction material in extraterrestrial environments like Mars, where water and cement are scarce (*Sulfur Concrete - Wikipedia*, 2025).

The integration of reinforcement in sulfur concrete has been a research subject, with some studies reporting the successful fabrication of prefabricated tanks and slabs with embedded steel reinforcement (Ciak & Harasymiuk, 2013). However, long-term durability concerns persist. Swamy and Jurjees (1986) reported that sulfur concrete beams modified with dicyclopentadiene (DCPD) exhibited strength loss over time, particularly in humid environments, leading to early cracking and shear failures (Swamy & Jurjees, 1986). Additionally, severe corrosion of embedded steel reinforcement was observed, suggesting that only unmodified sulfur concrete may remain stable under dry conditions. Despite these challenges, studies conducted by the U.S. Bureau of Mines indicated that properly prepared sulfur concrete with embedded bare steel reinforcement exhibited no significant corrosion in short-term exposure to weak acid or saline environments. Nonetheless, the potential for sulfur to react with moisture over extended periods raises concerns about long-term reinforcement stability (Wrzesinski & McBee, 1988).

While the mechanical properties of sulfur concrete, such as compressive and flexural strength, have been extensively studied, limited data is available regarding its modal properties, including resonance frequency and damping ratio. The material's inherently dense and rigid matrix suggests a high dynamic modulus of elasticity. Lewandowski and Kotynia (2018) demonstrated a strong correlation between ultrasonic pulse velocity and compressive strength in sulfur concrete, similar to traditional cement-based concrete, indicating a homogeneous dynamic modulus (Lewandowski & Kotynia, 2018). However, polymeric sulfur as a binder may introduce frequency- and temperature-dependent viscoelastic behavior, potentially affecting its damping characteristics. Despite these theoretical implications, no significant studies have experimentally determined sulfur concrete's natural frequencies or damping ratios using free vibration testing. Existing research has primarily focused on its static and chemical performance, leaving a significant gap in understanding its modal parameters.

This study aims to address this gap by experimentally evaluating the modal properties of sulfur-based concrete through impact hammer testing and experimental modal analysis (EMA). The investigation focuses on determining sulfur concrete specimens' natural frequencies, damping ratios, and mode shapes under free-free boundary conditions.

Additionally, the influence of basalt fiber reinforcement on the dynamic performance of sulfur concrete is explored, providing insights into optimizing material composition for enhanced vibrational performance. These findings will contribute to the broader understanding of sulfur concrete's structural behavior and potential applications in vibration-sensitive environments.

2. Methodology

This study employed Experimental Modal Analysis (EMA) to investigate the modal properties of sulfur-based concrete. The methodology was designed based on prior research in the field of vibrational behavior of innovative concrete materials, including the works of Çeçen, Aktaş, and Özbayrak (Çeçen, Aktaş, et al., 2023; Çeçen, Özbayrak, et al., 2023; Çeçen & Aktaş, 2021).

2.1 Specimen Preparation

Sulfur-based concrete specimens were cast in prismatic molds with 150 × 150 × 600 mm dimensions. The mix proportions developed for this study for sulfur-based specimens are detailed in Table 1, following optimized formulations based on previous studies on geopolymer concrete (Çeçen, Özbayrak, et al., 2023). The specimens were cured under controlled temperature conditions to ensure uniform solidification and mitigate thermal stress effects. The mixture was prepared at a temperature of 140-150°C, and to extend the cooling time and prevent sudden shrinkage, the molds were preheated before casting.

***Table 1**. Mix proportions of sulfur-based concrete specimens (kg/m³)*

Mix ID	Sulfur	Fly-Ash	Basalt Fiber	Fine Aggregate	Coarse Aggregate
S30F0.0	480	240	-	640	960
S30F1.0	480	240	27.7	640	960
S40F1.0	640	240	29.8	640	960
S50F1.0	800	240	31.8	640	960

2.2 Experimental Setup and Data Analysis

The specimens were supported on polyurethane foam blocks to simulate free-free boundary conditions (Özbayrak, 2024). Impact forces were applied at designated excitation points using a Dytran 5800B2 modal hammer with a metal tip, as shown in **Figure 2**. The acceleration responses were measured using an MMF KS76C.100 accelerometer, which was securely mounted at point 16 using beeswax. Each point was subjected to five excitations, and the response (synthesized FRF) was used for analysis. The test setup and data acquisition system are illustrated in **Figure 1**.



***Figure 1**. Experimental Modal Testing Setup*

Data acquisition was performed with a Dewe-43A USB system, and all signal processing, including Frequency Response Function (FRF) calculations and damping estimations, was conducted within Dewesoft software (*Modal Testing and Modal Analysis Solution | Dewesoft*, 2025).

Resonance frequencies and damping ratios were estimated using Dewesoft's built-in modal circle fitting method, which determines damping characteristics by fitting a circle to the Nyquist plot of the system's frequency response (*Modal Circle > Widgets > Display Design > Measure | Dewesoft X Manual EN*, 2025). This method provides robust resonance frequency and damping ratio estimations and has been successively used in previous research (Çeçen, Özbayrak, et al., 2023).

Coherence functions were also employed to ensure measurement reliability, with high coherence values (close to 1) validating the accuracy of the results. The experimental framework used in this study follows the same modal testing methodology previously applied to geopolymer concrete prisms (Çeçen, Özbayrak, et al., 2023). Additionally, the effect of basalt fiber reinforcement on modal characteristics was investigated.

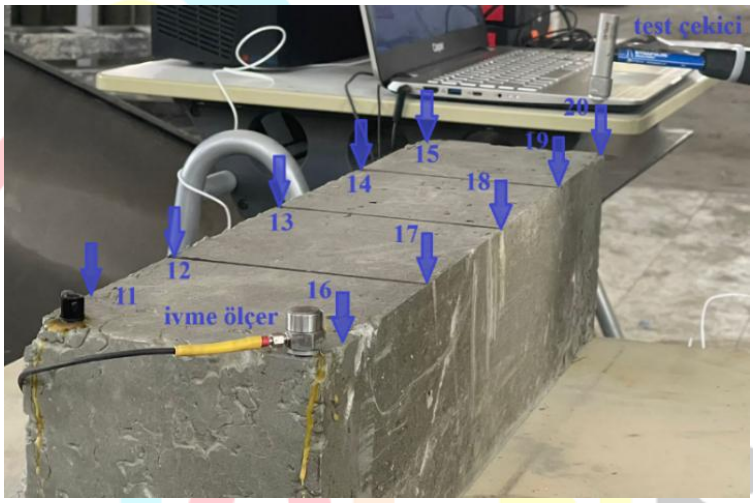


Figure 2. *Impact and Measurement Points in the Experiment*

3. Results and Discussion

The modal analysis results indicate that the fundamental frequency of sulfur concrete varies depending on its composition. The highest first-mode frequency (1452 Hz) was observed in specimens with 30% sulfur content and no fiber reinforcement. Adding basalt fibers reduced the frequency to 1332 Hz due to increased flexibility. Higher sulfur ratios further decreased stiffness, lowering the fundamental frequency to 1324 Hz.

Damping analysis revealed that basalt fiber inclusion enhanced energy dissipation, raising the damping ratio from 0.002639 to 0.003253. Conversely, increasing the sulfur content reduced damping capacity, with the lowest value of 0.001588 recorded in specimens containing 50% sulfur. These findings suggest that sulfur concrete's modal properties can be tailored by adjusting sulfur and fiber ratios to optimize performance under dynamic loads.

The authors of this paper have previously investigated the vibrational behavior of alternative binders in concrete through modal analysis (Çeçen, Özbayrak, et al., 2023). Their studies provide a benchmark for evaluating sulfur-based concrete's dynamic response. Compared to geopolymer concrete, which exhibits higher damping due to its amorphous microstructure, sulfur concrete shows a more rigid matrix with relatively lower damping.

3.1 Interpretation of Modal Parameters

The observed trends in frequency and damping ratios align with fundamental material behavior principles. The reduction in fundamental resonance frequency with increased sulfur

content suggests that higher sulfur ratios lead to a less rigid structure. This phenomenon is likely due to the polymeric nature of sulfur, which softens the overall matrix at increased concentrations. Similar observations have been made in fiber-reinforced polymer composites, where binder flexibility reduces the material's overall stiffness.

On the other hand, the enhancement in damping with basalt fiber inclusion suggests improved energy dissipation mechanisms. Fibers introduce additional interfaces that promote micro-friction and crack-bridging effects, leading to increased internal energy absorption. These effects have been previously demonstrated in fiber-reinforced geopolymer concrete and high-performance cementitious composites. The balance between stiffness and damping is a key factor in engineering applications, particularly in structures subjected to dynamic loading conditions, such as bridges, industrial flooring, and vibration-sensitive machine foundations.

Figure 3 presents a representative Mode Indication Function (MIF), Frequency Response Functions (FRF), Coherence Graphs, mode shape animations, and modal circle analysis obtained from the experimental analysis, highlighting the identified resonance frequencies and modal damping ratios. The clear peaks in the FRF confirm the distinct modal characteristics of sulfur concrete and validate the experimental methodology.

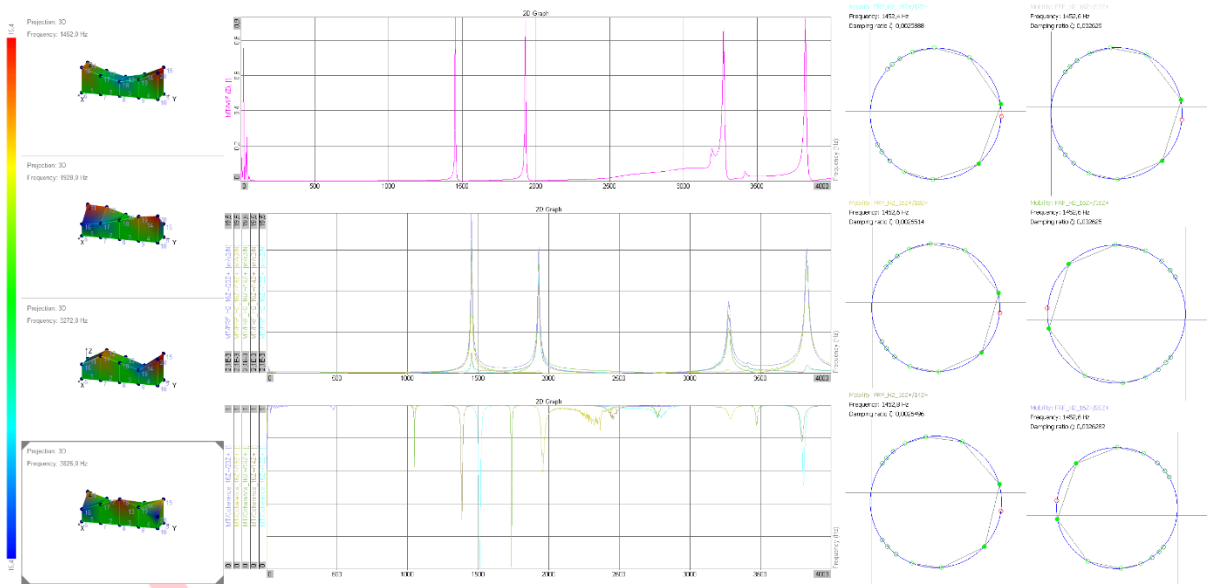


Figure 3 *Mode Indication Function (MIF) graph, Frequency Response Functions (FRF), Coherence Graphs, mode shape animations and modal circle analysis for a Sulfur Concrete Specimen (S30F0.0)*

The experimental results indicate that sulfur concrete can be optimized for specific dynamic applications by adjusting its sulfur and fiber content. For high-stiffness applications, such as machine foundations and railway sleepers, lower sulfur content and no fiber reinforcement can ensure high natural frequencies and structural stability. In contrast, vibration-sensitive applications, including earthquake-resistant structures and damping layers in composite systems, may require a higher fiber content to enhance energy dissipation and reduce resonance amplification.

Long-term durability considerations should be taken into account, as the low damping in high-sulfur content specimens could lead to prolonged vibrational effects, increasing fatigue-related degradation. These findings support previous research emphasizing the need for tailored material compositions to meet specific structural performance requirements. **Table 2** presents the resonance frequencies obtained from the experimental modal analysis for different sulfur concrete compositions.

Table 2. *Resonance Frequencies of Sulfur-Based Concrete Specimens*

Sample ID	First Mode (Hz)	Second Mode (Hz)	Third Mode (Hz)	Fourth Mode (Hz)
S30F0.0	1452	1928	3272	3826
S30F1.0	1332	1854	3066	3790
S40F1.0	1446	1906	3198	3772
S50F1.0	1324	1794	2946	3564

Similarly, **Table 3** provides the damping ratios calculated using the modal circle fitting method.

Table 3. *Damping Ratios for First Mode of Sulfur Concrete Specimens*

Sample ID	Point 12	Point 14	Point 16	Point 18	Point 20	Average
S30F0.0	0.002588	0.002649	0.002625	0.002651	0.002682	0.002639
S30F1.0	0.003167	0.003188	0.003326	0.003276	0.003309	0.003253
S40F1.0	0.002334	0.002383	0.002285	0.002293	0.002263	0.002312
S50F1.0	0.001601	0.001568	0.001593	0.001594	0.001586	0.001588

The results confirm that its composition significantly influences the modal parameters of sulfur concrete. Basalt fiber reinforcement increases damping while reducing resonance frequencies. Conversely, increasing sulfur content decreases damping and dynamic stiffness, suggesting that an optimal balance must be found for specific applications. These findings provide valuable insights into the dynamic performance of sulfur concrete, supporting its potential use in structural engineering applications where tailored vibrational characteristics are required.

4. Conclusion

This study experimentally investigated the modal properties of sulfur-based concrete, focusing on its natural frequencies, damping ratios, and vibrational behavior. The results indicate that sulfur content and basalt fiber reinforcement significantly affect the dynamic response of the material. Increasing sulfur content reduces stiffness, lowering natural frequencies, while basalt fiber reinforcement enhances damping, improving energy dissipation and structural stability under dynamic loading.

These findings suggest that sulfur concrete can be optimized for specific applications. High-stiffness applications like machine foundations and railway sleepers benefit from lower sulfur content to maintain high natural frequencies. Conversely, structures requiring better energy dissipation, such as seismic-resistant components and vibration isolation systems, can incorporate fiber reinforcement to enhance damping characteristics.

Despite these advantages, high-sulfur mixtures' relatively low damping capacity may limit long-term structural performance. Future studies should explore cyclic loading effects, environmental durability, and large-scale applications. Numerical modeling and finite element analysis could further refine our understanding of its dynamic behavior.

In summary, sulfur-based concrete presents a promising alternative for vibration-sensitive applications, provided its composition is carefully optimized. This research contributes to a deeper understanding of its modal properties, paving the way for its broader use in engineering structures requiring tailored dynamic performance.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Çeçen, F., & Aktaş, B. (2021). Modal and harmonic response analysis of new CFRP laminate reinforced concrete railway sleepers. *Engineering Failure Analysis*, *127*. https://doi.org/10.1016/J.ENGFAILANAL.2021.105471

Çeçen, F., Aktaş, B., & Özbayrak, A. (2023). Non-destructive triaxial vibroacoustic modal testing with a single sound transducer: a railway sleeper case study. *Nondestructive Testing and Evaluation*. https://doi.org/10.1080/10589759.2023.2273522

Çeçen, F., Özbayrak, A., & Aktaş, B. (2023). Experimental modal analysis of fly ash-based geopolymer concrete specimens via modal circles, mode indication functions, and mode shape animations. *Cement and Concrete Composites*, *137*, 104951. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2023.104951

Ciak, N., & Harasymiuk, J. (2013). SULPHUR CONCRETE'S TECHNOLOGY AND ITS APPLICATION TO THE BUILDING INDUSTRY. *Technical Sciences*, *16*(4), 323–331.

Lewandowski, M., & Kotynia, R. (2018). Assessment of sulfur concrete properties for use in civil engineering. *MATEC Web of Conferences*, *219*, 03006. https://doi.org/10.1051/MATECCONF/201821903006

Loov, R. E., Vroom, A. H., & Ward, M. A. (1974). Sulfur concrete – A new construction material. *PCI Journal*, *19*(1), 86-95. https://doi.org/10.15554/pcij.01011974.86.95

Modal Circle > Widgets > Display Design > Measure | Dewesoft X Manual EN. (2025). https://manual.dewesoft.com/x/measure/displaydesign/viscontrol/modal-circle?utm_source=chatgpt.com

Modal Testing and Modal Analysis Solution | Dewesoft. (2025). https://dewesoft.com/applications/modal-analysis

Özbayrak, A. (2024). Experimental Investigation of the Relationship between Dynamic Characteristics and Mechanical Properties of Fly Ash-Based Geopolymer Reinforced Concrete Beams. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *36*(8), 04024241. https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-17469/ASSET/C47DEC10-DB00-4F21-A4AF-50CC94D1559C/ASSETS/IMAGES/LARGE/FIGURE14.JPG

Sulfur concrete - Wikipedia. (2025). https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_concrete#cite_note-McKay_1900-5

Swamy, R. N., & Jurjees, T. A. R. (1986). Stability of sulphur concrete beams with steel reinforcement. *Materials and Structures*, *19*(5), 351–360. https://doi.org/10.1007/BF02472125/METRICS

Wrzesinski, W., & McBee, W. (1988). *Permeability and corrosion resistance of reinforced sulfur concrete*. https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=Ugs_EFNKgfIC&oi=fnd&pg=PA2&dq=Bureau+of+Mines+Report+(1978).+Permeability+and+Corrosion+Resistance+of+Reinforced+Sulfur+Concrete.+U.S.+Dept.+of+Interior,+Report+RI+8297.&ots=9MmwxMmyTK&sig=KwGLAfXL3AaZKrIsmt44sfG_TFY

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

AĞAÇİŞLERİ ENDÜSTRİSİNDE YALIN ÜRETİM ARACI KULLANILARAK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN ARAŞTIRILMASI

Önder TOSUN[1]

Abstract

The lean manufacturing system is a set of concepts, systems and techniques that are presented by purifying and simplifying the product and service production process from excesses, aiming to perfect value and thus increase company profitability. The lean manufacturing system was developed for the automotive sector in Japan and has been widely applied in different sectors over time. In studies on lean manufacturing conducted in the woodworking industry, it is reported that it provides significant competitive advantages such as reducing manufacturing costs, shortening product delivery time, reducing in-process stocks and increasing customer satisfaction.

Manufacturers and engineers need a practical and operational way to understand sustainable production and apply it in the production process. In order to increase sustainability performance in the woodworking industry, decisions must be made by considering continuous improvement. The aim of this article is to try to reveal environmental, economic production techniques for the woodworking industry through a production based on lean and sustainable concepts. In this context; the transition process of businesses to the lean production system, the change of performance criteria, and sustainability targets were questioned comprehensively. While it was determined that the most applied lean production techniques were 5S, kaizen, TPM techniques, it can be said as a result of the study that sustainability applications using lean production tools in the Turkish woodworking industry are not yet fully known.

Keywords: Lean manufacturing, Furniture industry, Efficiency, Sustainability, Waste reduction

[1] Dr., Battalgazi Vocational and Technical Anatolian High School, Mamak/Ankara, ondertosun@gmail.com, Orcıd: 0000-0003-1784-3154

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Giriş

Kişiselleştirilmiş ürünlerin üretimi ile karakterize edilen 21. yy üretim sistemleri, bu özelliği gereği karmaşık üretim planlama kontrol sistemlerini kullanmakta ve bu durum seri üretimi zorlaştırmaktadır. İşletmeler, müşteri odaklı ve küresel olarak rekabetçi bu yeni pazar anlayışı içinde arayış içine girmişler ve yalın üretime yönelmişlerdir. Yalın üretim; işletmenin israfını azaltmak, müşterinin talebine duyarlı olmak, müşterinin istediği kadar hızlı ve en düşük maliyetle ürün ve hizmetleri üretmeyi amaçlamaktadır (Sarı, 2018).

Yalın araç ve teknikler, işletmelerin daha esnek ve daha karlı olmasını sağlamaktadır. Yalın üretimin amacı israfın azaltılması yoluyla müşteri taleplerini mümkün olan en üst düzeyde karşılamaktır (Shah ve Ward, 2007 – Pal ve Kachhwaha, 2013). İsrafın ortadan kaldırılması insan kaynaklarından tasarım üretim süreçlerine, dağıtımdan döküm yönetimine kadar pek çok alanda düşünülmesi gereken bir konudur (Sang, vd. 2013 – Kannan vd. 2013). Liker ve Meier (2005) yalın üretimin bir süreç olarak ele alınması gerektiğini savunarak, problemin tanımlanması ve ortaya çıkarılması, problemin nedenlerinin analiz edilmesi ve problemin çözümlenmesi olmak üzere üç aşamada tamamlanmasına dikkat çekmişlerdir.

Yalın üretimde temel öncelik sistemdeki değersiz tüm işlemleri yok etmek üzerinedir. Bu nedenle yalın üretim sistemleri, bünyelerinde hiçbir gereksiz unsur bulundurmamayı, hata, maliyet, stok, işçilik ve üretim alanı gibi unsurları olabilecek en alt seviyeye çekmeyi ilke edinmektedir (Yılmaz, 2012).

Geri dönüşümü mümkün olmayan ve doğada yok olması uzun süren, doğaya zarar veren atıkların tasarımlarda tercih edilmemesi ya da minimuma indirilmesi daha sürdürülebilir bir çevre için gereklidir. Sürdürülebilir bir çevre için kullanılan malzeme miktarını en alt seviyede tutmak temel olarak doğru bir yaklaşımdır (Berber, 2012).

Ağaçişleri endüstrisi sektöründe sürdürülebilir yaklaşım enerji ve su verimliliğine de odaklanmaktadır. Üretim süreçlerinde enerji ve suyun etkin kullanımı, işletmelerin maliyetlerini azaltırken çevresel etkilerini de azaltmaktadır. Ayrıca geri dönüşüm ve atık yönetimi de sürdürülebilir ahşap mobilya sektörünün önemli unsurlarındandır. Atıkların uygun şekillerde geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanıma sunulması, kısıtlı olan doğal kaynakların etkin kullanılmasını sağlayacağı gibi çevresel etkilerini de azaltacaktır. Ayrıca ahşap mobilya sektörü, yeşil ekonomiye katkıda bulunarak sürdürülebilirliğin yaygınlaşmasını teşvik eder (Candan Z. ve Tunçel S. 2024).

1.1.Yalın Üretim

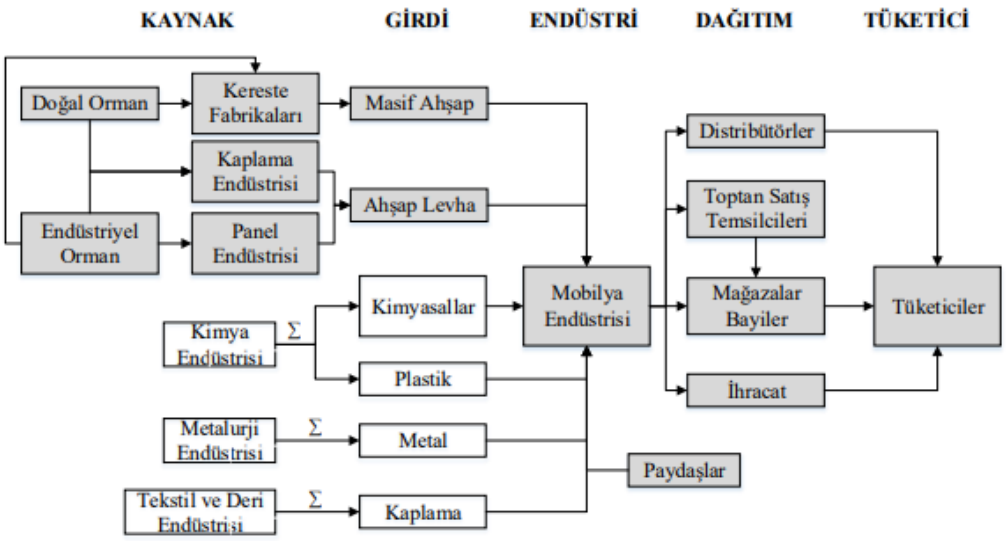
Yalın üretim fire/hata oranı, taşıma, bekleme, gereksiz iş ve hareket gibi müşteri için değer yaratmayan etmenleri minimize ederken, maliyetleri düşürüp kaliteyi ve verimliliği artırmayı amaçlayan bir üretim sistemidir (Sönmez, M. 2022). Bu sisteme yalın üretim denilse de sistemin mimarlarından Taiichi Ohno 'Tam Zamanlı Üretim' terimini, Shiego Shingo ise stoksuz üretim sistemi terimini kullanmışlardır. Sonuç olarak, sistemin 'Yalın Üretim Sistemi' adı ile anılması özünü daha iyi ifade etmesi itibari ile daha uygundur (İpek 2015). Yalın uygulamalarla ilgili en yaygın olarak belirtilen faydalar, müşteri sağlama, üretim maliyetlerinde azalma, işgücü verimliliği ve kalitesinde iyileşmedir (Shah ve Ward 2003). Müşteri memnuniyeti tüm organizasyonların ana odak noktasıdır. Artan farkındalıkla birlikte müşteriler, daha çok çeşidi daha az maliyetle, yüksek kalitede ve hızlı teslimatla talep etmektedirler (Shah ve Hussain 2016). Başlıca yalın üretim teknikleri şunlardır.

a) **5S:** Çalışma alanlarını düzenleyerek verimliliği artırır (Seiri–sınıflandır, Seiton-düzenle, Seiso-temizle, Seiketsu-standartlaştır, Shitsuke-disipline et). 5S tekniği, çalışma alanının düzenlenmesi ve kullanılabilir ve tertipli olması için standartlaştırılmış uygulamalar bütünüdür. 5S ihtiyaç olmayan araç-gereçleri çalışma ortamından uzaklaştırıp ve gereksiz olan her şeyi azaltarak, çalışma ortamını düzenlemeyi amaçlar (Güzel 2011).
b) Kaizen: Sürekli iyileştirme felsefesidir, küçük ama sürekli iyileştirmelerle süreçleri geliştirir. Ürün ailesinin seçilmesi, aynı rotayı izleyen yüksek üretim hacmine sahip ürünlerin değer akış haritasının yapılması ve süreç analizleri ile değer akış sürelerinin kısaltılması ancak sürekli iyileşme ile mümkündür (Sönmez, 2022). Yalın üretimde kaizen uygulamasında en önemli özelliklerden biri, işçilerin iyileştirme çalışmalarına bir takım çalışması anlayışı içinde katılmalarıdır (Arslan 2008).
c) **Kanban**: Kanban sistemi, malzemenin akışını ve üretimi ve stokları yönetme ve güvence altına almaya yönelik bir sistemdir. Kanban kelime anlamı olarak işaret, işaret levhası, poster, kart gibi anlamlara gelir. Bir üretim hattında ise ilgili malzeme numarasına sahip parçanın, nereden ne kadar miktarda geldiği, nereye teslim edileceği vb. bilgileri gösterir. (Aydın 2009).
d) **JIT (Just-In-Time):** Tam zamanında üretim, stok maliyetlerini düşürüp israfı önlemeye yönelik bir sistemdir (Acar, 1995). Yalın üretimde entegre fabrika boyutlarıyla 6 sıfırdan oluşmaktadır: sıfır stok, sıfır hata, sıfır çelişki, üretimde sıfır ölü zaman, müşteri için sıfır bekleme süresi, sıfır bürokrasi/sıfır gereksiz iletişim (Şen, 2008).
e) **Poka-Yoke:** Hata önleme sistemidir, üretim sürecinde hataları minimuma indirir. POKA, dikkatsizlik, dalgınlık, YOKE ise elimine edilmesi anlamına gelir (Akçagün 2006). Birleştirince, Poka-yoke "emniyet tertibatı" diye çevrilebilen Japonca bir sözcüktür. Operatörü gereksiz yere hatayı önlemeye yoğunlaştırmak yerine işine yoğunlaşmasını sağlar (Aydın 2009).
f) **Heijunka:** Üretim seviyelerini dengeleyerek talep dalgalanmalarına karşı stabilite sağlar. Dengeli üretim, yalın düşüncede üretim planlama ve kontrol sistemlerinin ortak amacı olan üretimin dengelenmesi anlamına gelir (Zeybek 2013). Üretimin hem hacim hem de ürün karmasıyla düzleştirilmesine heijunka denmektir (Yalçıntekin 2015).

1.2.Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, kavramı doğaya verilecek en az zararı tanımlamaktadır. Örneğin bir mobilya malzemesi olan bambu, taşınması kolay, yetişmesi hızlı bir malzemedir, fakat bambu yetişen alanlardaki bambuları kesmek, bu bitkileri yaşam alanı olarak kullanan pandaları doğrudan etkilemektedir. Yaklaşımlarda fayda zarar dengesini kurup tüm sonuçların değerlendirilmesi ve doğaya en az zarar verilecek seçimlerin yapılması sürdürülebilirlik ilkesinin temelidir. Sürdürülebilir üretim, çevresel etkiler gerçekleşmeden kaynağında yok edilmesi olarak açıklanmaktadır. Çevre problemlerini ortaya çıktıktan sonra ele alan diğer yaklaşımların aksine, çevreyi doğrudan ya da dolaylı etkileyen tüm sorunların tasarım aşamasında belirlenip bu sorunları çözmeden tasarımı gerçekleştirmemeyi hedeflemektedir (Karaca, 2018).

Sürdürülebilirlik, ham maddeyi içinde bulunduğu bölgeden elde etmeyi amaçlayan, böylece ulaşım faktöründe ortaya çıkması olası hava kirliliğinin çevreye vereceği zarara kadar dikkate alan, geri dönüşümlü, doğada yok olan malzemeler ile tasarlanan ürünlerden oluşmaktadır (Güneş ve Demiraslan, 2020). Şekil 1'de mobilya tedarik zinciri görülmektedir.



Şekil 1. Mobilya tedarik zinciri (Candan, Z., Tunçel, S. 2024).

2.Yöntem

Bu çalışma hazırlanırken ilk olarak literatür araştırması yapılmıştır. Bu literatür araştırmasında yalın üretim sistemleri ve sürdürülebilirlikle ilgili literatür incelenmiştir. Çalışmada ağaçişleri endüstrisinde zaman içinde gerçekleşen üretim süreci ve farklı sürdürülebilirlik uygulamaları literatür taraması yöntemiyle araştırılmış olup bu alanda yeterli çalışma olmadığı görülmüştür. Süreç içerisinde sürdürülebilir mobilya üretiminin önemi kavranmış, üretim proseslerinde yapmamız gereken davranış biçimleri değerlendirilmiştir. Yapılan literatür araştırması ve Ankara Siteler mobilya sanayi bölgesinde yer alan işletme ve atölyelerde yerinde inceleme ve gözlem yapılarak ağaçişleri endüstrisinde üretim süreçlerinin incelemelerinden elde edilen bilgiler sentezlenerek bu araştırma hazırlanmıştır.

3.Bulgular

3.1.Ağaçişleri endüstrisinde yalın üretim ve sürdürülebilirlik

Ağaçişleri endüstrisinde yalın üretim teknikleri, sürdürülebilirliği artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Ağaçişleri endüstrisinde yalın üretim tekniklerinin sürdürülebilirliğe katkıları; 5S Sistemi ile atölye düzeni sağlanarak malzeme kayıpları ve üretim hataları azaltılır. Kaizen ile süreçler sürekli iyileştirilerek enerji ve hammadde tasarrufu sağlanır. Kanban ve Just-In-Time (JIT) yöntemleri sayesinde stok maliyetleri düşerken, gereksiz üretimden kaynaklanan israf önlenir. Poka-Yoke teknikleri, hataları minimize ederek yeniden işlem ihtiyacını azaltır ve kaynak kullanımını optimize eder. Heijunka ile üretim dengelenerek aşırı enerji tüketiminin önüne geçilebilir. Bu tekniklerin uygulanması, ağaç işleri sektöründe karbon ayak izinin düşürülmesine, sürdürülebilir malzeme kullanımına ve işletmelerin çevresel sorumluluklarını yerine getirmesine katkı sağlanabilir.

Yalın üretim sisteminin çalışma biriminde personel motivasyonu açısından ne tür bir etki yaptığı, beş farklı kategoride incelendiğinde en yüksek etkinin çalışanlar arasında güçlü bir birlik ve uzlaşma ortamı oluşturduğu ifadesi doğrultusunda olduğu görülmektedir. Bu durum; kalite, verimlilik, karlılık, saygı, sadakat ve takım çalışmasını önemli ölçüde arttırıp, stok miktarı, temin süresi, atık miktarı, israf, zaman gibi kavramları azaltarak sürekli iyileşmeyi disipline etmektedir (Binici, 2017).

Ancak yalın üretim sistemi uygulamalarının dezavantajları da vardır. Bu sistemin başarıyla uygulanabilmesi için, işletmenin tüm çalışanlarının bu felsefeyi benimsemesi gerekmektedir. Bu, işletme içinde kültürel değişiklikler gerektirir ve bazı çalışanlar bu

değişikliklere direnebilir. Ayrıca, yalın üretim sistemi uygulamaları, işletme içindeki iş yükünü artırabilir ve bazı durumlarda çalışanların motivasyonunu düşürebilir (Altınbay, A., Şahan, S., 2023).

Ağaçişleri endüstrinde sürdürülebilirliğin artırılması, çevresel, ekonomik ve sosyal faktörlerin bir arada ele alınmasıyla mümkün olur. Bu alandaki sürdürülebilirlik stratejileri şunları içerebilir.

* Verimli üretim teknikleri: Yalın üretim ve alt teknikleri (5S, Kaizen, JIT) ile israfın minimize edilmesi, enerji ve malzeme kullanımının optimize edilmesi sağlanabilir.

* Yenilikçi malzemeler ve teknolojiler: Suni levhalar, geri dönüştürülmüş ahşap ve biyobazlı malzemelerin kullanımı, çevresel etkiyi azaltır. Ayrıca, daha verimli üretim makineleri ve dijital üretim teknikleri (CNC, 3D yazıcılar) kullanılarak atıklar ve işçilik kayıpları azaltılabilir.

* Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı: Üretim süreçlerinde enerji verimliliği sağlamak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, işletmelerin karbon ayak izini azaltır.

* Sürdürülebilir tedarik zinciri: FSC sertifikalı ormanlardan alınan ahşap, çevre dostu malzeme tedarik zincirlerinin oluşturulması, doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar. Ayrıca, yerel tedarikçilerle çalışmak, lojistik ve taşımacılıkla ilgili çevresel etkileri azaltır.

* Atık yönetimi ve geri dönüşüm: Üretim sırasında oluşan atıkların azaltılması ve geri dönüştürülmesi, doğal kaynakların daha verimli kullanılmasına yardımcı olur.

* Çalışan eğitimi ve farkındalık: Çalışanların sürdürülebilirlik konusunda eğitilmesi, iş süreçlerinde daha çevre dostu yaklaşımların benimsenmesini sağlar.

* Sosyal sorumluluk ve etik üretim: Yerel toplulukların sosyal gelişimine katkıda bulunarak, iş gücüne adil ücretler sunmak ve çevresel etkileri minimize etmek sürdürülebilirliğe katkıda bulunur.

3.2. Sürdürülebilirlik için performans kriterlerinin değişimi ve hedefler

Sürdürülebilir mobilyalar daha sağlıklı mekanlar kullanmamıza ve doğayı yok etmeden ekolojik ürünler kullanmayı sağlar. Mobilyaların sürdürülebilir olması tükenen kaynakları minimuma indirerek kullanmak ya da hiç kullanmamak; yöreye has malzemelerle, ham madde kullanılması gibi tutumlar çevreye karşı daha duyarlı sonuçlar ortaya çıkmasına neden olacaktır. Artan nüfus, tükenen ve tükenmeye yüz tutmuş kaynaklar ve canlıları korumak için tüm dünya sürdürülebilir mobilya üretimine önem vermektedir. Sürdürülebilir yaklaşımlar tüm dünyanın önem verdiği bir konu haline gelmiş ve bu konuyu desteklemek adına çeşitli adımlar atılmıştır. Bu adımlardan bazıları çevreci yaklaşımlar ile yapılan tasarımlar için ortaya çıkartılan sertifikalardır. Belli kriterlere sahip olununca, alınmaya hak kazanılan sertifikaları almak için sürdürülebilir politikalara uygun standartlara sahip, ürünler verilmesi zorunlu olmaktadır (Güneş ve Demiraslan, 2020).

Ağaçişleri endüstrisinde sürdürülebilirliğin arttırılmasında en önemli hususlar olarak; hammadde tedariği, işçilik, israfın azaltılması ve ambalajlama/paketleme süreçleri ayrı ayrı ele alınmıştır.

3.2.1. Ham madde tedariği

Ağaç işleri endüstrisinde sürdürülebilirlik için ham madde tedariği oldukça önemli bir konudur. Ham madde tedariğinde karşılaşılan başlıca zorluklar ve sürdürülebilirlik açısından çözümler şunlar olabilir:

* Ormanların sürdürülebilir yönetimi: Ağaçişleri endüstrisinin ana kaynağı ormanlardır. Ormanların aşırı kesimi çevresel tahribatı artırabilir. Bu sebeple FSC (Forest Stewardship Council) gibi sertifikalı ormanlardan elde edilen ahşap malzeme kullanımı, sürdürülebilirliği artırmaktadır.

* Geri dönüşümlü ve yenilenebilir malzemeler: Sürdürülebilir hammadde tedariği için geri dönüştürülmüş ahşap ve diğer yenilenebilir kaynaklar tercih edilebilir. Bu, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur.

* Yerel tedarik zinciri kullanımı: Uzak bölgelerden malzeme tedarik etmek, taşıma ve lojistik maliyetlerini artırırken, yerel ormanlardan tedarik sağlamak çevresel etkileri azaltır.

* Atık ve yan ürünlerin kullanımı: Ahşap işleme sırasında ortaya çıkan atıklar ve yan ürünler (örneğin talaş, kereste artıkları) geri dönüştürülerek başka ürünlerde kullanılabilir. Bu, atıkları azaltır ve yeni malzeme ihtiyacını düşürür.

* Yenilikçi malzeme kullanımı: Ahşap yerine biyo bazlı kompozit malzemeler, doğal lifler veya sürdürülebilir şekilde üretilen alternatif malzemeler kullanmak, çevrebilimle ilgili etkiyi azaltabilir.

* Sosyal ve ekonomik sorumluluk: Ahşap temini yapılan bölgelerde, yerel toplulukların sosyal ve ekonomik gelişimlerine katkıda bulunacak tedarik zinciri modelleri oluşturulabilir.

Ham madde tedariği sürecinde çevresel sorumlulukları göz önünde bulundurmak, şirketlerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına yardımcı olur. Tedarik zincirindeki sürdürülebilirlik uygulamaları ve karşılaşılan zorluklarda süreç boyunca etkili olmaktadır.

Ağaçişleri endüstrisinde sürdürülebilirliğin arttırılmasında hammadde olarak suni levhaların kullanımı da önemlidir. Suni levhalar, ağaçişleri endüstrisinde sürdürülebilirliği artırmada önemli rol oynar. Doğal ahşap kullanımını azaltarak ormanların korunmasına yardımcı olurken, geri dönüşümlü malzemelerin kullanımıyla çevresel etkileri de azaltır.

Ürün tasarımı alanında yeniden kullanım kavramı içeriğinde, ürünün tasarım ve üretim süresi boyunca, ürünün ömür döngüsünde ve sonrasında çevresel hususların dahil edilerek tasarlanması hedeflenmelidir. Mobilya tasarımı aşamasında yeniden kullanım kavramı, mobilyanın kullanım ömrü bitince ne şekilde kurtarılabileceği de düşünülerek geliştirilmelidir. Yeniden kullanım kavramı ile tasarlanan bir mobilyada, mobilyayı oluşturan ürün ve/veya malzemeler asıl işlevlerini kaybedip başka amaç için kullanılmaya başlayabilmektedir ya da en az işlemle tekrar kullanılır hale gelebilmelidir (Demirbaş, 2017). Plastik, metal, cam, kağıt, karton, ahşap, tekstil ve çeşitli kompozit malzemeler, yeniden kullanıma girebilen ve mobilya tasarımında kullanılabilen malzemelerdir. Malzemenin ve ürünün yeniden kullanımı aşamasında harcanan enerji, aynı malzeme ve ürün ile sıfırdan mobilya üretimi sırasında harcanan enerji ile kıyasla çok daha az olmalıdır.

Suni levhaların sürdürülebilirliğe katkıları şu şekilde sıralanabilir:

* **Hammadde verimliliği:** Suni levhalar, ahşap atıkları ve yan ürünleri kullanarak üretilir. Bu, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur ve ormanlardan daha az ahşap kesilmesini sağlar.

* **Geri dönüşüm potansiyeli:** Kullanılmış suni levhalar, geri dönüştürülerek yeni ürünlerde kullanılabilir, bu da atık miktarını azaltır ve çevresel etkiyi minimize eder.

* **Daha düşük karbon ayak izi:** Suni levhalar, genellikle doğal ahşap ürünlerine göre daha az enerji tüketerek üretilir, dolayısıyla üretim sürecindeki karbon ayak izini azaltır.

* **Yenilikçi malzemeler:** Suni levhalar, daha dayanıklı ve uzun ömürlü ürünlerin yapılmasına olanak tanır. Bu, ürünlerin daha uzun süre kullanılmasıyla daha az atık oluşmasını sağlar.

* **Çeşitli uygulamalar:** Ahşap benzeri görünüme sahip ve daha dayanıklı suni levhalar, mobilya, iç mekân tasarımı ve inşaat sektörlerinde geniş kullanım alanı bulur, bu da doğal ahşap kullanımını sınırlayarak çevresel etkileri azaltır.

Suni levhaların kullanımı, ağaç işleri endüstrisinde sürdürülebilirliği artırmanın önemli bir yolu olarak öne çıkıyor. Bu konu ağaçişleri endüstrisi üreticilerin suni levha kullanımıyla ilgili tercihlerini ve zorluklarını anlamak adına önem taşımaktadır.

3.2.2.İşçilik

İşçilik kayıpları, ağaç işleri üretiminde verimliliği düşüren önemli faktörlerden biridir. İşçilikle ilgili karşılaşılan başlıca problemler şunlar olabilir;

* Eğitim eksiklikleri: Çalışanların doğru teknikler ve makineler konusunda yetersiz eğitimi, hatalı işlemlere ve tekrar iş yapma gereksinimlerine yol açar.
* Zaman kaybı: İşlerin sırayla yapılmaması veya gereksiz yere duraklamalar, çalışanların verimliliğini azaltır.
* Yetersiz iletişim: Üretim hattında çalışanlar arasında iletişim eksiklikleri, yanlış anlaşılmalara ve işin yeniden yapılmasına sebep olabilir.
* Fazla iş yükü ve yorgunluk: Çalışanların iş yükünün fazla olması, verimliliği düşürür ve daha fazla hata yapılmasına yol açabilir.
* Motivasyon eksikliği: İş gücü düşük motivasyona sahip olduğunda, verimlilik de olumsuz etkilenir.
* Makine ve araç kısıtlamaları: Yetersiz veya verimsiz makineler, çalışanların işi doğru ve hızlı yapmalarını engeller.
* İş gücü dağılımı sorunları: Çalışanların iş gücü dağılımı yanlış yapıldığında, bazı çalışanlar fazla çalışırken diğerleri işsiz kalabilir, bu da verimsizliğe yol açar. İşçilik kayıplarını minimize etmek için, eğitim, iş akışı düzenlemeleri ve doğru motivasyon yöntemleri büyük önem taşır.

3.2.3. İsrafın azaltılması

Yalın üretim teknikleri israfın azaltılması konusunda oldukça etkilidir. Özellikle 5S, JIT (Tam Zamanında Üretim) ve Kaizen gibi yöntemler, malzeme kaybını ve üretim süreçlerindeki verimsizlikleri en aza indirir. Bu bağlamda üretim süreçlerinde en fazla israfa neden olan faktörlerin neler olduğu, yalın üretim tekniklerinden hangilerinin uygulandığı, israfı azaltmak için yapılan mevcut iyileştirme çalışmalarının neler olduğu, atık yönetimi ve geri dönüşüm süreçlerinin nasıl yürütüldüğü önem kazanmaktadır. Ağaçişleri endüstrisinde kesim, montaj ve üst yüzey işlemleri aşamalarındaki israfı azaltma süreçleri;

* Kesim aşaması: Kesim makinelerinin ayarları doğru yapılmalı, kesim hatalarından kaynaklanan malzeme kaybı en aza indirilmelidir.
* Montaj aşaması: Montaj sırasında oluşan hatalar, iş gücü ve zaman kaybına yol açmamalı, yalın üretim teknikleri kullanılmalıdır.
* Üst yüzey işlemleri aşaması: Yüzey perdahlama, dolgu ve son kat vernik uygulama işlemleri ve boyama süreçlerinde malzeme israfı yapılmamalıdır. Bu süreçlerdeki verimlilik arttırılmalıdır.

3.2.4. Ambalajlama

Bu aşamalarda yapılacak iyileştirmeler hem malzeme hem de zaman açısından tasarruf sağlayabilmektedir. Ambalajlama, ağaçişleri endüstrisi üretiminde sık karşılaşılan bir başka israf kaynağı olabilir. Ambalajda karşılaşılan bazı yaygın problemler şunlardır:

* Aşırı ambalaj malzemesi kullanımı: Gereğinden fazla malzeme kullanımı hem maliyetleri artırır hem de çevresel etkileri büyütür.
* Yanlış ambalaj seçimi: Ürünün şekline uygun olmayan ambalajlar hem malzeme israfına yol açar hem de taşıma ve depolama sırasında hasara neden olabilir.
* Yetersiz koruma: Ürünler doğru şekilde korunmazsa, taşıma veya depolama sırasında zarar görebilir. Bu da ek israf ve maliyetlere yol açar.
* Hatalı ambalaj süreci: Ambalajlama sürecindeki hatalar, zaman kaybına ve daha fazla iş gücü gereksinimine neden olabilir.
* Geri dönüşüm ve atık yönetimi: Ambalaj malzemelerinin geri dönüştürülmemesi veya uygun şekilde yönetilmemesi çevresel bir problem oluşturur. Ambalaj süreçlerinin yalın üretim teknikleriyle optimize edilmesi gerekmektedir.

4. Sonuç

Ağaçişleri endüstrisinde yalın üretim aracı kullanılarak malzemelerin optimum kullanımı, üretim süresince enerji kullanımının en düşük seviyede tutulması, geri kazanılacak ve dönüştürülecek malzemelerin kullanımı, kolay ayrılabilen malzemeler ile üretimin planlanması, ürünün kolaylıkla demonte edilebilecek biçimde üretilmesi, kullanım ömrü uzun mobilyaların imal edilmesi sürdürülebilir üretimin temelini oluşturacaktır. Ağaçişleri sektörlerinde israfı azaltarak kaynakları daha verimli kullanmak, çevresel etkileri en aza indirmek ve üretim süreçlerini optimize etmek gerekmektedir.

Mobilyanın sürdürülebilir bir yaşam döngüsüne katılabilmesinde en önemli karar, düşük ağırlık, daha az bileşen, doğru malzeme seçimi ve uzun kullanım ömrü bileşenlerini yönlendiren sürecin belirlenmesidir (Canbolat, 2019).

Ağaçişleri endüstrisinde sürdürülebilirliğin arttırılması için;

- Sürdürülebilir hammadde tedariği uygulanması,
- İsrafın azaltılması,
- Çevreci mobilya üretiminin yerleşmesi,
- Demonte, fonksiyonel ve hafif ürünlerin kullanılması,
- Üretimde dönüştürülebilir ürünlerin tercih edilmesi,
- İmalat sonrası aşamalardan ambalajlama, nakliye gibi faktörlerde en uygun çözümlerin bulunması,
- Ağaçişleri endüstrisine yakın disiplinler arası ve yenilikçi çalışmalara önem verilmesi gerekir.

Çalışma sonucuna göre ağaçişleri endüstrisinde en çok uygulanan yalın üretim tekniklerinin 5S, kaizen, TZÜ teknikleri olduğu belirlenirken, Türkiye ağaçişleri endüstrisinde yalın üretim araçlarını kullanan sürdürülebilirlik uygulamalarının henüz tam olarak uygulanamadığı söylenebilir.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

Acar, N., (1995). Tam Zamanında Üretim. MPM Yayınları, Ankara.

Akçagün, E., "Hazır Giyim İşletmelerinde Yalın Üretim Tekniklerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2006).

Altınbay, A., Şahan, S., (2023), "Yalın Üterim Sistemi ve Tofaş Uygulaması", Gümrük Ticaret Dergisi, 10. Yıl, 34. Sayı, 21-39.

Aydın, H., "Yalın Üretim Sistemi, Değer Akış Haritalama Yöntemi ve Yalın Üretim Sistemin Çalışanlara Etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, (2009).

Berber F. "Ekolojik Malzemenin Tasarımdaki Yeri ve Ekolojik Malzemeyle Mimari Konut Tasarımı", *Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, (2017).

Binici, S. C., "Ahşap Sektöründe Yalın Üretim Tekniklerinin Etkinliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2017).

Canbolat, T. (2019). ''Sürdürülebilir Mobilya Tasarımına Model Olarak Düz-Paketlenebilen Sökülebilir Strüktür Yaklaşımı'', Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 28, Sayı 3, Sayfa 37-49

Candan, Z., Tunçel, S. (2024). Sürdürülebilirlik ve mobilya endüstrisi. Ağaç ve Orman, 5(1):18-31. DOI: 10.59751/agacorman.1376623

Güneş, S., ve Demirarslan, D., (2020). Sürdürülebilirlik ve Mobilya Tasarımında Çevreci Yaklaşımlar. Uluslararası İnsan ve Sanat Araştırmaları Dergisi, Aralık 2020, Cilt: 5, Sayı: 6, Sayfa: 81-99.

Güzel, S., "Hazır Giyim İşletmesinde Yalın Üretime Geçiş: Değer Akışı Haritalandırma, Hat Tasarımı ve Dengeleme", Doktora Tezi. *Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, (2011).

İpek, F., "Siparişe Göre Üretimde Malzeme Hazırlama ve Üretim Hattının Beslenmesinin İyileştirilmesi: Yalın Üretim Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara (2015).

Kannan, G., Selladurai, D.V. ve Karthi, S. (2013). Swaging Process for Productivity Improvement in The Manufacture of Spindles. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 72, 681–684.

Karaca, B. (2018). "Sürdürülebilir Mobilya Üretiminde Tasarımcı Bilinci Üzerine Bir Araştırma",Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara, (2018).

Liker, J.K. ve Meier, D. (2005). *The Toyota Way Fieldbook.* New York: McGraw-Hill: New York.

Pal, A. ve Kachhwaha, S.S. (2013). Waste Cooking Oil: A Promising Feedstock for Biodiesel Production through Power Ultrasound and Hydrodynamic Cavitation. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 72, 387–392.

Shah , R. and T. Ward, P., "Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance", *Journal of Operations Management*, 129-149, (2003).

Shah, Z. and Hussain, H., "An Investigation of Lean Manufacturing Implementation in Textile Industries of Pakistan", *Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management,* Detroit, Michigan, USA, 668-677, (2016).

Sang, L.C., Khairuzzaman, W.I.W., Abdul, R.S.Z., Boon, H.K. ve Yew, J.L., Sustaining Customers' Loyalty: A Survey of A Coating Resins Manufacturer. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 72, (2013).

Sarı, E., B., Yalın Üretim Uygulamaları ve Kazanımları, *UİİİD-IJEAS, (17. UİK Özel Sayısı):*585-600 ISSN 1307-9832, DOI: 10.18092/ulikidince.439034, (2018).

Sönmez, M., "Bir Konfeksiyon İşletmesinde Yalın Üretim Teknikleri Uygulama Olanaklarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Denizli, (2022).

Şen, S., Yalın üretim (Japon modeli), Turhan Kitabevi. (2008).

Yalçıntekin, T., "Yalın Üretim Felsefesinin ve Tekniklerinin Bir Tekstil İşletmesinde Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya, (2015).

Yılmaz, E., Siparişe göre üretim yapan sistemlerde yalın üretim uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul (2012).

Zeybek, F., "Konfeksiyonda Yalın Üretim Sisteminin Etkinliği Üzerine Bir Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Isparta, (2013).

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

EFFECT OF PRE-HEAT TREATMENTS ON MECHANİCAL PROPERTİES OF BORON STEEL AFTER QUENCHİNG

Özgenur ERDOĞAN[1]

Abstract

In this study, it was investigated that how the mechanical properties of 22MnB5 boron steel can be controlled by different pre-heat treatments applied before conventional quenching and tempering. Four different pre-treatments were applied to hot-rolled samples with initial microstructure: (1) coarse-grained structure by annealing at 950°C, (2) fine-grained structure by double quenching at 920°C, (3) spheroidized cementite structure by annealing at 700°C for 8 hours, (4) 5% cold deformation structure after spheroidization annealing. Subsequently, all samples were austenitized at 920°C, oil quenched and then tempered at 580°C for 5 minutes. Mechanical properties (yield/tensile strength, elongation, hardness) and microstructures were comparatively investigated. Although 950°C annealing provided high tensile strength (~1813 MPa), it decreased ductility (9%). Double quenching increased strength by grain refinement. While tensile strength decreased in the spheroidized cementite structure, yield strength slightly increased. This situation was explained by the incomplete dissolution of carbides and the formation of large carbides. As a result, the tempering process provided significant gains in ductility (12.5%) compared to the hot pressing process that only included quenching. This study shows that microstructure optimization in boron steels is critical in terms of both strength and ductility and can contribute to production efficiency in areas such as the automotive sector.

Keywords: 22MnB5, Boron steel, Quenching-tempering, Spheroidizing annealing, Mechanical properties

[1] Master's Degree Student, Düzce University, Mechanical Engineering, Orcıd: 0009-0002-3319-0376

ISBN: 978-625-372-661-4

1.GİRİŞ

Çelik, her alanda ihtiyaç duyulan bir malzemedir. Çok uzun senelerden beri kullanılmasına rağmen hala gelişmeye açık bir malzemedir. İmalat sanayisinin gelişmesiyle beraber daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip çeliklere ihtiyaç duyulmuştur. Çeliklerin fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi, ısıl işlemlerle veya kimyasal bileşimlerinin optimize edilmesiyle sağlanmaktadır (Sarıçam, 2020).

Çeliklerin özelliklerinin iyileştirilmesinde krom, nikel gibi birçok alaşım elementi kullanılmaktadır. Fakat bu elementlerin çoğu pahalı ve çok miktarda kullanım gerektirmektedir. Daha düşük maliyet ile aynı özelliklerin elde edilmesi çalışmaları sonucunda bor ve borlu çelikler ön plana çıkmıştır. Aynı özellik ve kaliteyi diğer elementlerle elde etmek için daha fazla miktarda kullanmak gerekmektedir. Bor, çok kuvvetli bir alaşım elementi olduğu için birçok alaşım elementi yerine kullanılabilmektedir (Aydın, 2019). Bor, oda sıcaklığında çeliklerde çok az çözünürlüğe sahip olduğu için çeliklerin özelliklerinin geliştirilmesinde yararı büyüktür. Bor ilavesi çelik malzemelerin yüksek mukavemet, yüksek ısıya dayanım, yüksek elastiklik gibi birçok özelliklerine yarar sağlamaktadır (Çarboğa, 2010).

Çelikte alaşım elementi olarak kullanılan bor, çeliğin sertleşme kabiliyetini arttırmasıyla bilinmektedir. Borlu çelikler yüksek mukavemet yanında yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımına sahip alaşımlı çeliklerdir. Kolay işlenebilir olmaları ve uygulanan ısıl işlemleri sonrasında da çok iyi mekanik özelikler sergilemeleri bu tip çeliklerin en önemli özelliklerindendir. 22MnB5 ile temsil edilen bileşime sahip bor çelikleri, otomotiv gövdesinin sıcak şekillendirilmiş veya indüksiyonla sertleştirilmiş parçaları için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Ilca vd., 2019; Tisza, 2017).

Döküm işlemi sırasında en son katılaşan bölgede alaşım elementlerinin birikmesi nedeniyle yönlü katılaşma sırasında mikro ve makro ölçekte "segregasyon" adını verdiğimiz kimyasal homojensizlikler ortaya çıkar. Haddelenmiş çelikler, segregasyonlar nedeniyle perlit bantlama açısından genellikle homojen olmayan bir mikroyapı sergiler. Segregasyonlar, sıcak haddelenmiş sacın su verme öncesi ısıtılması sırasında alaşım elementlerinin ayrışmasını etkileyerek mikro yapının oluşumunu etkiler ve mekanik özelliklerde olumsuzluklara neden olurlar (Guk vd., 2019). Yüksek sıcaklıklarda östenit tane sınırlarında oluşan bor segregasyonu tane sınırlarındaki ara yüzey enerjisini azaltmaktadır. Bu durum özellikle östenitleme işleminin ardından soğuma sırasında ferrit ve perlitin çekirdeklenmesini geciktirmekte ve böylece hızlı soğuma esnasında martenzitik yapı oluşmaktadır. Bor içeren çeliklerin çentik darbe mukavemeti bor içermeyen çeliklerden daha yüksektir. Borun çentik darbe mukavemetini arttırıcı etkisi, bor ile alaşımlandırılmış çeliklerin düşük sıcaklıklarda kullanımını mümkün kılmaktadır (Hu vd., 2017). Bor alaşımlı çelikler hızlı bir şekilde soğutulduğunda tane içinde kalan bor sertleşebilirlik üzerinde büyük bir etki yaratır. Ancak yüksek karbon oranlarında bor bu etkisini kaybetmektedir. Bu yüzden genellikle karbon oranı %0,10 ile %0,45 arasında tutulmaktadır. Bor elementi düşük karbonlu, düşük alaşımlı çeliklere genellikle (%0,0005-%0,007) civarında ilave edilir. Çok düşük miktardaki ilavesinin önemli mukavemet artışları sağlaması sebebiyle, B elementi Cr ve Mo gibi bazı pahalı alaşım elementlerin yerini almıştır (Terzic vd., 2013). Borlu çeliğin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kullanılan hammadde miktarında tasarruf sağlar.
- Daha fazla dayanıklılık sağlar.
- Yüksek aşınma direnci sağlar.
- Sertleşebilirliği arttırır.

- Soğuk işlenebilirliği iyileştirir.
- Isıl işlemden sonra iyi sertlik sağlar.
- Düşük tavlama sıcaklığından dolayı enerjiden tasarruf sağlar.

Bu çalışmada, 22MnB5 borlu çeliğin su verme ve temperleme öncesinde uygulanan ön ısıl işlemlerin, borlu çeliğin mekanik özelliklerini nasıl değiştirdiği araştırılmıştır. Sıcak haddelenmiş başlangıç mikroyapısına sahip numunelere dört farklı ön ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlemler öncesi ve ısıl işlemler sonrasında malzemede meydana gelen değişimlere bakılmıştır. Bütün işlemler uygulandıktan sonra mekanik özellikler için testler uygulanmış ve malzemenin iç yapısı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarla, sıcak haddelenmiş durumda heterojen özellikler sergileyen borlu çeliğin farklı ön ısıl işlemlerle elde edilen mikroyapıları ve bununla ilişkili olarak mekanik özelliklerinde ortaya çıkan iyileşmeler ortaya konmuştur.

2.METERYAL VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Deneylerde kullanılan malzeme 2,9 mm kalınlığında sıcak haddelenmiş 22MnB5 kalite çelik sacdır. Malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1' deki gibidir.

Tablo 1 *– Sıcak Haddelenmiş Malzemenin Kimyasal Bileşimi (%ağ.)*

C	Mn	Si	P	S	Al	Cr	Ti	Ca	B
0.2	1.3	0.29	0.011	0.004	0.035	0.16	0.035	0.0028	0.0029

2.2. Isıl İşlemler ve Borun Etkisi

2.2.1. Normalizasyon

Normalizasyon işlemi için, çelik Ac3 sıcaklığının 30–50 °C üzerine ısıtılır, burada bir süre tutulur ve sonra havada soğutulur. Normalizasyon işleminin amacı, homojen bir tane yapısı elde etmek, iç yapıdaki karbürleri çözmek, mekanik özellikleri (dayanım ve tokluk) dengelemektir. Bor, normalizasyon sırasında östenit tane sınırlarında çözünerek sertleşebilirliği artırır. Bu işlem sonrası soğuma sırasında oluşan perlitik/ferritik yapıya kıyasla, bor katkısı sayesinde beynitik veya martenzitik yapıya geçiş kolaylaşabilir.

2.2.2. Küreselleştirme Tavı

Küreselleştirme tavı özellikle yüksek karbonlu çeliklerde, lamel formundaki sementit fazının küresel sementit parçacıklarına dönüştürülmesini sağlar. Bu işlemin amacı, işlenebilirliği artırmak, soğuk şekillendirme öncesi yapıyı yumuşatmaktır. Borlu çeliklerde küreselleştirme tavı zorlaşabilir çünkü bor, sementitlerin çözünmesini zorlaştırabilir. Ancak düşük miktarda bor, aşırı karbürleşmenin önüne geçerek kontrollü bir küreselleşme sağlayabilir.

2.2.3. Östemperleme

Çelik östenitleştirilip, martenzit bölgesine girmeden daha yüksek bir sıcaklıkta (250–400 °C) uzun bir süre (dönüşüm tamamlanana kadar) tutulursa beynitik yapı elde edilir. Burada amaçlanan, martenzit yerine daha tok beynitik yapıyı oluşturmak ve bu şekilde çatlama riskini azaltmaktır. Bor, östemperleme işleminde östenitin stabilitesini artırarak beynit dönüşümünü teşvik eder.

2.2.4. Östenitleme

Çeliğin östenit bölgesine ısıtılarak perlit/ferrit yapının tamamen östenite dönüştürülmesidir. Bu yapı sonraki su verme işlemi için temel oluşturur. Bu işlem sırasında, bor, östenit tane sınırlarında çözünerek tane büyümesini engeller, böylece daha ince taneli martenzit oluşumuna zemin hazırlar. Ayrıca bor, östenit içindeki karbon çözünürlüğünü etkileyerek dönüşüm sıcaklıklarını değiştirebilir. Aşırı bor içeriği, östenitleme sırasında tane sınırlarında gevrek bor karbürlerin oluşmasına neden olabilir.

2.2.5. Su Verme

Östenitleme sonrası çeliğin hızlıca soğutularak (su, yağ, hava içerisinde) martenzit yapısına dönüştürülmesi işlemidir. İşlemin temel amacı, sertlik ve dayanımın artırılmasıdır. Bor, çeliğin sertleşebilirliğini dramatik biçimde artırır, yani daha kalın kesitlerde bile tam martenzitik yapı elde edilebilir. Burada, bor östenit tane sınırlarındaki difüzyonu yavaşlatarak ferrit oluşumunu geciktirir. Bu nedenle borlu çelikler daha yavaş soğutma hızlarında bile sertleşebilir, bu da çatlama riskini azaltır.

2.2.6. Çift Su Verme

Çifte su verme işlemi, bir çelik parçasının önce yüksek sıcaklıkta östenitleme yapılıp birinci su verme işleminin ardından yeniden östenitlemesi ve ardından ikinci bir su verme işlemine tabi tutulmasıdır.

2.2.7. Temperleme

Martenzitik yapıdaki çelikler, belirli bir sıcaklığa tekrar ısıtılarak gevrekliğin azaltılması ve tokluk kazanılması için temperlenir. Borlu çeliklerde temperleme sırasında oluşan karbür çökelmeleri, yapıdaki sertliği düşürmeden tokluğu artırabilir. Ancak bor karbürlerin stabilitesi yüksek olduğu için yüksek sıcaklıkta bile bazı karbürler çözülemez, bu durum yapıda iç gerilimleri azaltmada sınırlayıcı olabilir.

2.3. Uygulanan Ön İşlemler

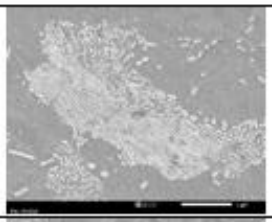
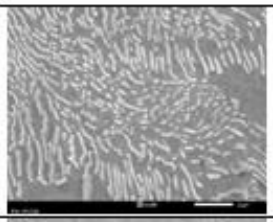
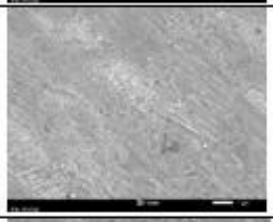
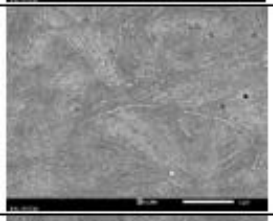
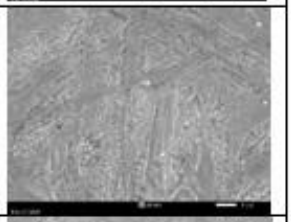
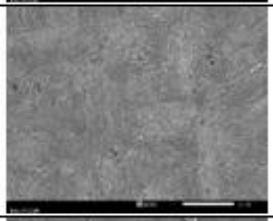
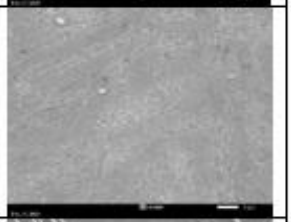
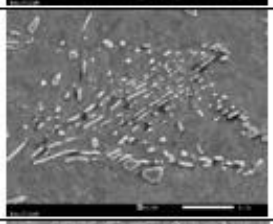
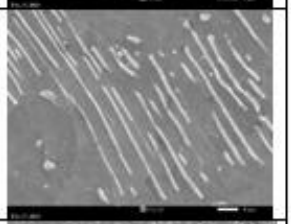
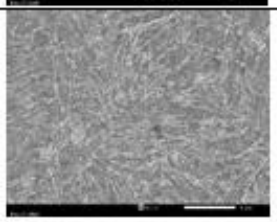
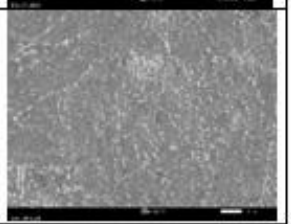
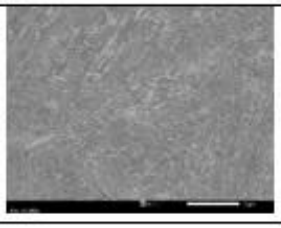
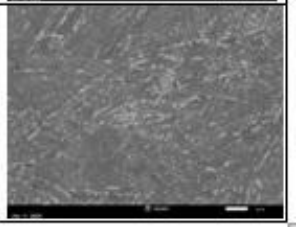
Mekanik özelliklerin, su verme öncesinde uygulanan farklı ön ısıl işlemlerle nasıl değişeceğini araştırmak için hazırlanan numunelere aşağıdaki işlemler yapılmıştır:

1. 920 ºC' de 30 dk bekletildikten sonra yağda soğutma, ardından 580 ºC' de 5 dk temperleme
2. 920 ºC' de 30 dk bekletildikten sonra yağda soğutma, malzeme soğuduktan sonra tekrar 920 ºC' de 30 dk bekletilip yağda soğutma ve daha sonra 580 ºC' de 5 dk temperleme
3. 950 ºC' de 30 dk bekletildikten sonra malzemeyi havada soğutma. Soğuma işleminden sonra yeniden 920 ºC' de 30 dk bekletme ve ardından yağda soğutulacak. Daha sonra 580 ºC' de 5 dk temperleme
4. 700 ºC' de 8 saat bekletildikten sonra havada soğutma.
5. 700 ºC' de 8 saat bekletildikten sonra havada soğutma. Soğuma işleminden sonra 920 ºC' de 30 dk bekletildikten sonra yağda soğutma, ardından 580 ºC' de 5 dk temperleme.
6. 700 ºC' de 8 saat bekletildikten sonra havada soğutma. Soğuma işleminden sonra %5 deforme etme (çekme testi ile). Deforme edilen numuneyi 920 ºC' de 30 dk bekletildikten sonra yağda soğutma, ardından 580 ºC' de 5 dk temperleme

Sıcak haddelenmiş durumda olan ve yukarıdaki işlemlerden geçmiş olan malzemelere sertlik testi, çekme testi ve metalografi incelemeleri yapılarak mekanik özelliklerindeki değişimler karşılaştırılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE SONUÇLAR

Sıcak haddelenmiş durumdaki ve ardından geçirdiği ısıl işlemlere bağlı olarak oluşan mikroyapılar Şekil 1' deki gibidir.

No	Açıklama	X5000	X10.000
1	Sıcak haddelenmiş		
2	Su verme ve temperleme		
3	Çifte su verme ve temperleme		
4	950°C'de tavlama, havada soğutma. Ardından 920°C'ye çıkarıp su verme ve temperleme		
5	700°C'de 8 saat küreselleştirme tavı		
6	700°C'de 8 saat küreselleştirme tavı. Ardından su verme ve temperleme		
7	700°C'de 8 saat küreselleştirme tavı, sonra %5 deforme etme. Ardından su verme ve temperleme		

Şekil 1 *– Sıcak Haddelenmiş Durumdaki ve Ardından Geçirdiği Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Oluşan Mikroyapılar*

Haddelenmiş durumdaki ve ardından geçirdiği ısıl işlemlere bağlı olarak değişen mikroyapılara bağlı olarak değişen mekanik özellikler Tablo 2' deki gibidir.

Tablo 2 *– Haddelenmiş Durumdaki ve Ardından Geçirdiği Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Değişen Mekanik Özellikler*

No	Açıklama	E (GPa)	Rp (N/mm2)	Rm (N/mm2)	E (%)	(HV)	HRB	HRC
1	Sıcak haddelenmiş	121	360	570	33	161	81,8	
2	Su verme ve temperleme	126	806	1783	11	600		55
3	Çifte su verme ve temperleme	125	859	1818	8	587		53
4	950°C'de tavlama, havada soğutma. Ardından 920°C'ye çıkarıp su verme ve temperleme	124	861	1813	9	598		55
5	700°C'de 8 saat küreselleştirme tavı	127	379	495	35	149	78,3	
6	700°C'de 8 saat küreselleştirme tavı. Ardından su verme ve temperleme	123	851	934	12	351		36
7	700°C'de 8 saat küreselleştirme tavı, sonra %5 deforme etme. Ardından su verme ve temperleme	123	866	947	12,5	345		35

Yukarıdaki mikroyapılar ve test sonuçlarına göre;

1 no'lu numune (Sıcak haddelenmiş durumdaki), ferrit-perlit yapısında olup, düşük dayanım ve yüksek süneklik sergilemiştir (Rm: 570 MPa, E %: 33).

2 no'lu numunede (Su verme ve temperleme uygulanan), martenzitik yapıya geçişin ardından temperleme ile daha dengeli bir yapı sergilemiş, dayanımda belirgin artış (Rm: 1783 MPa) ve sertlikte bir sıçrama (600 HV) görülmüştür.

3 no'lu numune (Çifte su verme ve temperleme uygulanan), daha düşük süneklikle birlikte (E %: 8), en yüksek çekme dayanımına (1818 MPa) ve yüksek sertliğe (587 HV) ulaşmıştır.

4 no'lu numunede (Yüksek sıcaklık tavlama, havada soğutma. Ardından 920°C'ye çıkarıp su verme ve temperleme) mukavemet değerleri çifte su vermeye çok yakın çıkmıştır (Rm: 1813 MPa), bu da tavlama sıcaklığının martenzit oluşumuna etkisini göstermektedir.

5 no'lu numunede (Küreselleştirme tavı uygulanan) en düşük dayanım (Rm: 495 MPa) ve sertlik (149 HV) değerleriyle karşılaşılmıştır. Bunun sebebi, perlitik yapıdaki sementit lamellerinin küresel hale getirilmesidir.

6 no'lu numunede (Küreselleştirme tavı ve ardından su verme ve temperleme) sertlik ve dayanımda ciddi artış sağlanmış (Rm: 934 MPa), fakat martenzitik yapı yeterince sertleşmemiştir.

7 no'lu numunede (Küreselleştirme ve deformasyon, ardından su verme ve temperleme) deformasyon sonrası yeniden kristalleşmenin sertliğe önemli etkisi olmamış, ancak çekme dayanımında küçük bir artış gözlenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, ön ısıl işlemlerin 22MnB5 çeliğin mekanik ve mikroyapısal özelliklerine doğrudan etki ettiğini açıkça göstermektedir. Su verme ve ardından temperleme işlemiyle martenzit oluşumu sayesinde dayanım ve sertlikte büyük artış sağlanırken, süneklik belirgin biçimde azalmaktadır. Bu durum, borlu çeliğin su verme sonrası yüksek mekanik performans göstermesindeki temel etkendir.

Çifte su verme işlemi, daha homojen ve ince taneli martenzit yapının oluşmasını sağlamış ve bu sayede malzemenin en yüksek çekme dayanımına ulaştığı görülmüştür. Bu yöntem, çarpışma emici sistemler ve yüksek mukavemet/süneklik dengesi gereken otomotiv parçaları için potansiyel sağlamaktadır.

Küreselleştirme tavı sonrası uygulanan ısıl işlemler, martenzitik sertleşmeyi kısıtlamış ve nispeten daha düşük sertlik ve dayanım değerleri vermiştir. Özellikle sementitlerin küresel hale gelmesi, martenzit oluşumunun sürekliliğini engellemiş olabilir.

Deformasyon uygulanan örnekte ise %5'lik şekil değişimi, yeniden kristalleşme ile birlikte mikro yapı üzerinde belirgin bir inceltme etkisi yaratmamış; bu durum, düşük deformasyon miktarının mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir.

Yapılan işlemlerden sonra elde edilen mekanik özellikler ve mikroyapılar hem birbirleriyle hem de başlangıç mikroyapısıyla (sıcak haddelenmiş durumda) karşılaştırılmıştır. Buna göre;

- 950°C tavlama, yüksek çekme dayanımı (~1813 MPa) sağlasa da sünekliği %9'a düşürmüştür.
- Çifte su verme işlemi tane incelmesiyle mukavemeti artırmıştır.
- Küreselleşmiş sementitli yapıda çekme dayanımı düşerken, akma dayanımı hafif artmıştır. Bu durum, karbürlerin tam çözünmemesi ve iri karbür oluşumu ile açıklanmıştır.

Sonuç olarak, temperleme işlemi, sadece su verme içeren sıcak presleme işlemine kıyasla süneklik açısından önemli kazanım sağlamıştır (%12,5). Bu çalışma, borlu çeliklerde mikroyapı optimizasyonunun hem dayanım hem süneklik açısından kritik olduğunu ve otomotiv sektörü gibi alanlarda üretim verimliliğine katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde:

- Martenzitik yapıya geçiş, çeliğin sertliğini ve dayanımını artırmakta,
- Ön tavlama ve çifte su verme gibi işlemler bu özellikleri optimize edebilmekte,
- Küreselleştirme tavı gibi işlemler ise sünekliği artırırken sertliği azaltmaktadır.

Bu veriler, 22MnB5 çeliğin hedeflenen mekanik özelliklere göre uygun ön ısıl işlemle yönlendirilebileceğini ve özellikle otomotiv gibi sektörlerde fonksiyonel mühendislik çözümleri için önemli bir esneklik sunduğunu ortaya koymaktadır.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

Aydın, G. (2019). Bazı borlu çeliklerin korozyon direnci üzerinde ısıl işlemlerin etkisinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Manisa Celal Bayar Üniversitesi.

Çarboğa, C. (2010). Düşük karbonlu çeliklere bor ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi [Doktora tezi]. Gazi Üniversitesi.

Guk, S., Augenstein, E., Zapara, M., Kawalla, R., & Prahl, U. (2019). Effect of spheroidization annealing on pearlite banding. Materials Science Forum, 949 MSF, 40-47. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.949.40

Hu, P., Liang, Y., & Bin, H. (2017). Hot Stamping Advanced Manufacturing Technology of Lightweight Car Body. Jointly Published with Science Pres. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2401-6

Ilca, I., Kiss, I., & Milotean, D. (2019). Study on the quality of Boron micro-alloyed steels destined to applications in the automotive sector. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 477(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/477/1/012003

Sarıçam, F. (2020). 1040 ve 8620 çeliklerin korozif aşınma direncine bor ilavesinin etkisi [Yüksek lisans tezi]. Karabük Üniversitesi.

Terzic, A., Calcagnotto, M., Guk, S., Schulz, T., & Kawalla, R. (2013). Influence of Boron on transformation behavior during continuous cooling of low alloyed steels. Materials Science and Engineering: A, 584, 32-40. https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.07.010

Tisza, M. (2017). Hot forming of boron alloyed manganese steels. Materials Science Forum, 885, 25-30. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.885.25

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

EFFECT OF INJECTİON MOLDİNG PARAMETERS ON SCRATCH RESİSTANCE OF AUTOMOTİVE-GRADE POLYPROPYLENE

Selvi Naz ÇETİN[1]
Çağrı ÇALIŞKAN[2]

Abstract

This study investigates how injection molding parameters affect the scratch resistance of mold-in-color (MIC) grained plastic components. Scratch resistance is a critical property for polymers used in visible automotive parts, as it determines their ability to retain surface quality under mechanical stress. Maintaining aesthetic durability is especially important in the automotive industry, where surface appearance directly influences perceived quality. Scratch performance is governed by multiple factors, including the polymer's chemical composition, mechanical properties such as hardness, type and depth of surface grain, processing conditions, and the presence of functional additives. Since injection molding parameters can alter polymer chain orientation and influence additive migration or distribution, this study focuses on isolating the role of processing conditions in scratch behavior. To minimize material-related variables, the research is conducted on components produced using the same polypropylene grade and identical surface grain design. The primary goal is to understand the effect of key molding parameters—such as mold temperature, injection speed, cooling time, and packing pressure—on the scratch resistance of automotive-grade polypropylene.

Results show that even with consistent material and design, variations in molding conditions lead to differences in scratch performance, emphasizing the importance of process optimization for achieving high-quality, durable automotive plastic components.

Keywords: scratch resistance, injection molding parameters, MIC polymers, automotive polypropylene, surface aesthetics

[1] Malzeme Mühendisliği, Tofas Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Ar-Ge, selvi.nazcetin@tofas.com.tr
[2] Malzeme Mühendisliği, Tofas Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Ar-Ge, Cagri.Caliskan@tofas.com.tr

ISBN: 978-625-372-661-4

1. Introduction

The increasing application of polymers in automotive exterior and interior parts has led to growing interest in their surface durability under mechanical stress. Among the various surface defects that compromise aesthetics and functional integrity, scratch formation remains a major concern, particularly in visible trim components where long-term appearance is critical. Polypropylene (PP), due to its cost-efficiency and moldability, is widely used in such applications, often with mineral reinforcements like talc to improve stiffness. However, its susceptibility to surface damage, especially during in-service contact events, necessitates a detailed understanding of scratch behavior in relation to manufacturing conditions.

Scratch deformation in polymers involves complex interactions between material properties, indenter geometry, and external parameters such as normal load, tip velocity, and environmental temperature [1][2]. Although material formulation and surface texturing are widely studied [3][5], the role of injection molding parameters on scratch resistance—independent of formulation and texture—remains less thoroughly explored. Since mold temperature, injection speed, and packing pressure directly influence surface morphology, residual stresses, and orientation effects, they are expected to modulate scratch resistance even in fixed material systems.

Several studies have attempted to characterize scratch mechanisms in polymers using optical microscopy, profilometry, and finite element models. Observations reveal a spectrum of damage types including micro-plowing, fish-scale cracking, and pile-up formation, whose extent varies with material ductility, yield stress, and viscoelastic recovery [1][4]. The significance of modulus-to-yield strength ratio in predicting scratch hardness has been repeatedly emphasized [2]. Furthermore, the scratch-induced phenomena such as stress whitening and gloss variation have been shown to correlate with underlying deformation modes and local crystallinity [4]. These insights, however, often stem from comparative studies across different polymer types or surface textures, whereas the influence of processing parameters on a constant material system has not been sufficiently isolated.

In this study, a systematic investigation is conducted to assess the effect of selected injection molding parameters on the scratch resistance of talc-filled polypropylene with a uniform grain-textured surface. By maintaining material formulation and surface geometry constant, the study isolates the role of molding variables in determining surface mechanical response. Given the direct relevance of scratch durability to consumer perception and vehicle interior quality, the findings aim to support process optimization strategies in the automotive sector.

2.Method

In this study, an experimental methodology was adopted to investigate the effect of various injection molding parameters on the scratch resistance of polypropylene components featuring mold-in-color (MIC) and grained surfaces. The primary aim was to isolate and understand the influence of processing conditions on scratch behavior, independent of material formulation or surface texture. To eliminate variability from these two factors, all test specimens were manufactured using the same polypropylene grade and identical surface grain design. The experimental setup was kept constant in terms of mold and machinery, while four key parameters mold temperature, injection speed, packing pressure, and cooling time were individually varied within ranges recommended in material TDS. Once molded, the samples

were subjected to standardized scratch testing procedures, and the resulting data were analyzed to evaluate the relationship between processing conditions and surface performance.

2.1 Material

Polypropylene (PP) materials are widely used in the automotive industry for both interior and exterior components. To ensure the study delivers a high-impact contribution to the sector, PP-TD 20 grade was selected for the investigation. The general properties of the material are presented in Table 1.

Tablo 12 PP TD20 Material Properties

Property	Method	Unit	Typical Value
Melt Flow Rate 230°C/2.16 kg	ISO 1133-1	g/10 min	38
Tensile strength at yield	ISO 527	MPa	22,5
Elongation at break	ISO 527	%	30
Flexural modulus	ISO 178	MPa	2600
Charpy impact strength (notched) at 23°C	ISO 179-1eA	kJ/m²	16
Charpy impact strength (notched) at -20°C	ISO 179-1eA	kJ/m²	3

2.2 Scratch Testing

Scratch resistance evaluations were performed using an Erichsen Scratch Tester under standardized laboratory conditions. All tests followed a constant applied load of 10 N. Before testing, the samples were conditioned at $23 \pm 2\,^{\circ}C$ for 24 hours to ensure uniform environmental exposure. Following the tests, surface damage and scratch visibility were assessed visually. In addition, ΔL values were measured before and after testing for each specimen to quantify changes in surface appearance and correlate them with the level of damage observed.

2.3 Grain Damage Measurement

After the scratch test, the surface texture of each sample was analyzed using an Alicona Grain Measurement Device. This optical 3D surface metrology system provided high-resolution imaging, enabling detailed evaluation of the topographical changes and grain deformation across the scratched areas. The analysis aimed to determine both the severity and characteristics of the surface damage resulting from the applied load.

2.4 Sample Preparation and Process Parameter Definition

In order to evaluate how processing parameters influence scratch resistance, four critical injection molding variables were selected: packing pressure, cooling time, injection speed, and mold temperature. These were chosen due to their well-known effects on polymer chain orientation, crystallinity, and final surface appearance, factors closely tied to scratch performance. To isolate the effect of each parameter, samples were produced by altering one variable at a time while maintaining all others constant. This approach allowed for a controlled comparison of individual influences on surface durability. Once molded, all parts were left to condition at room temperature ($23 \pm 2\,^{\circ}C$) for a period of 24 hours before any surface inspections or scratch resistance tests were conducted.

Tablo 13 Sample Definitions

Sample	Explanation
A	Packing pressure is 40 barr
A'	Packing pressure is 50 barr
B	Injection speed is 7-6-5-4 (mm/s)
B'	Injection speed is 5-4-3-2 (mm/s)
C	Molding temperature is fixed 70°C moving 70°C
C'	Molding temperature is fixed 90°C moving 70°C
D	Cooling time is 30s
D'	Cooling time is 40s

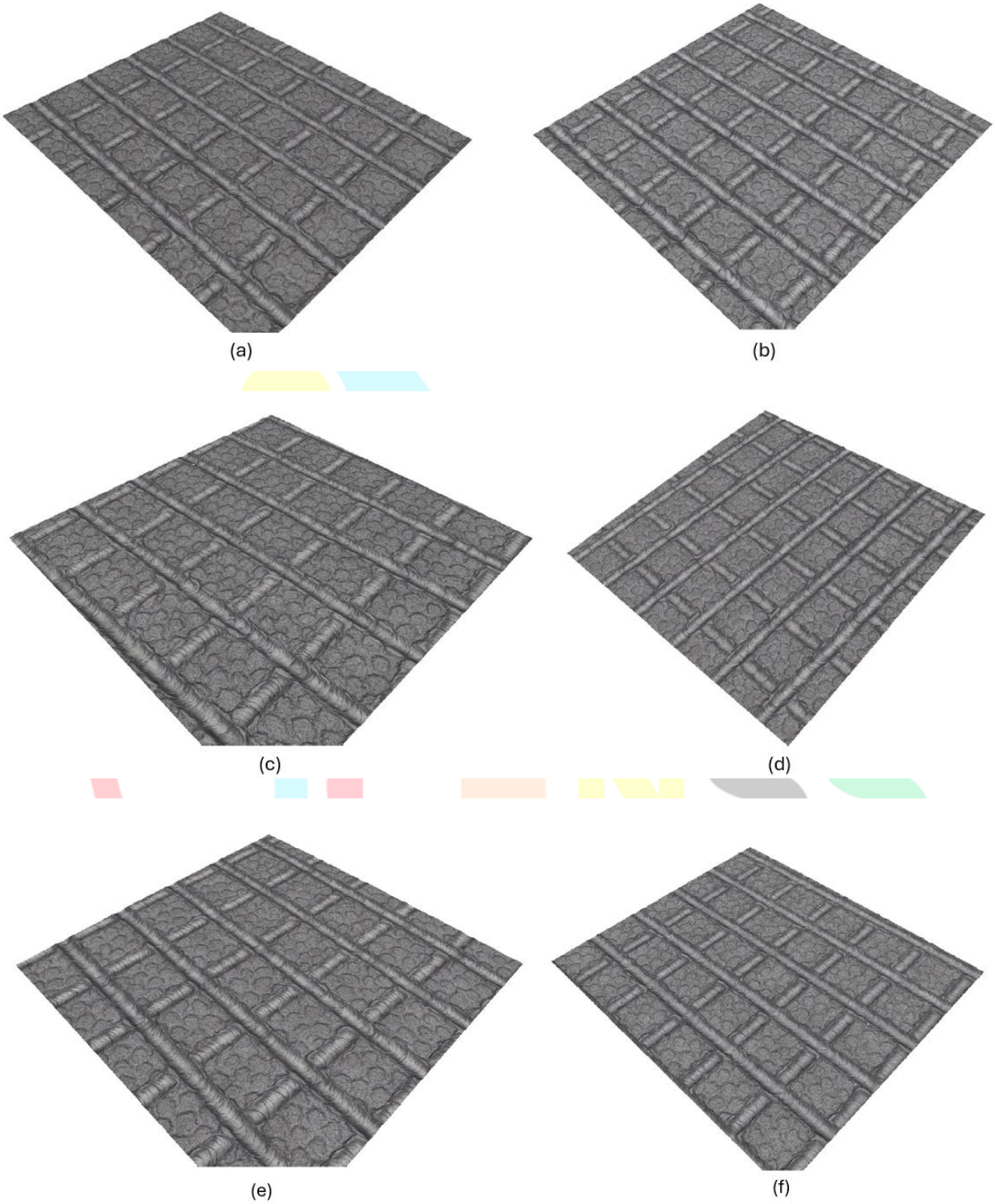
3.Results

To assess the influence of injection molding parameters on scratch resistance, a set of samples were produced by varying mold temperature, injection speed, packing pressure, and cooling time within industry-relevant ranges. Each sample group was subjected to standardized scratch tests using a constant normal load of 10 N. Table 3 shows the results of delta L values for each parameters.

Tablo 14 Delta L values for each samples

Process	Sample	Delta L	Process	Sample	Delta L
A	Sample 1	1,11	C	Sample 1	0,91
	Sample 2	1,47		Sample 2	0,70
A'	Sample 1	0,73	C'	Sample 1	1,38
	Sample 2	0,57		Sample 2	1,59
B	Sample 1	0,97	D	Sample 1	0,78
	Sample 2	0,75		Sample 2	0,66
B'	Sample 1	0,91	D'	Sample 1	0,92
	Sample 2	1,19		Sample 2	1,11

Figure 17 Alicona Images After the Scratch Test *(a) process A, (b) process A', (c) process B, (d) process B', (e) process C, (f) process C', (g) process D, (h) process D'*





(g)



(h)

4.Conclusion

This study examined how variations in injection molding parameters affect the scratch resistance of a talc-filled polypropylene material with a fixed surface texture. To quantify scratch visibility, ΔL values were measured under each processing condition.

The findings confirm that processing conditions significantly influence scratch behavior. Lower ΔL values, indicating reduced visual damage, were consistently observed in samples produced with higher holding pressures, particularly in Process A′. Conversely, Process C′, conducted at elevated mold temperatures, resulted in the highest ΔL values (up to 1.59), reflecting increased surface susceptibility to visible scratching.

In general, increased holding pressure led to more uniform and lower ΔL values across both tested samples, highlighting its role in improving surface stability and appearance. These results demonstrate that optimizing molding conditions, especially holding pressure, can effectively enhance scratch resistance without altering the base material or design. This is particularly valuable in the automotive industry, where long-term visual quality of polymer components is closely linked to customer perception and brand reputation.

ISBN: 978-625-372-661-4

Referances

[1] P. Kurkcu, L. Andena, and A. Pavan, 'An experimental investigation of the scratch behaviour of polymers: Influence of rate-dependent bulk mechanical properties', Wear, vol. 290–291, pp. 86–93, 2012.

[2] K. Friedrich, H.J. Sue, P. Liu, and A.A. Almajid, 'Scratch resistance of high performance polymers', Tribology International, vol. 44, pp. 1032–1046, 2011.

[3] S. Khatri and H.-J. Sue, 'Scratch visibility modeling on flat & textured polymeric surfaces', Polymer, vol. 312, p. 127595, 2024.

[4] R.D.K. Misra, R. Hadal, and S.J. Duncan, 'Surface damage behavior during scratch deformation of mineral reinforced polymer composites', Acta Materialia, vol. 52, pp. 4363–4376, 2004.

[5] W.M. Gao, L. Wang, J.K. Coffey, and F. Daver, 'Understanding the scratch behaviour of polymeric materials with surface texture', Materials and Design, vol. 146, pp. 38–48, 2018.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

BRİEF EVALUATİON OF MANUALLY OPERATED EMERGENCY DOOR OPENİNG HANDLE ON CARS IN ASPECTS OF AVALİABİLİTY AND ERGONOMİCS

Serkan Burak Can ÇANGIR1

Abstract

Nowadays, trends are affecting many more aspects of automotive design than they used to. Some examples even conflict with some other features. For instance, opening doors, which may sound like a simple operation, can be complicated in some cases. Manufacturers are obliged to add components for specific conditions. However, when it comes to aesthetic concerns, some manufacturers may ignore adding these obligatory components. Additionally, in many cases it may take a long time for these applications to become a standard. In this study we will be examining and take a photo of current applications on door handles. Also, we look back previous applications and approaches from history of automobile manufacturing. Eventually we will gain information about manufacturer's perspective around the globe when defining needs of the user that has different anthropometric features. In specific regions these features can be definitive on the other side of the could be irrelevant. As a conclusion trends can be understand at different population in a aspect of market-driven and technology-driven but need of safety features can not be decisive choose of marketing operation and must applied on every car that produced for every region.

Keywords: Electric Cars, Trend, Emergency Door Handle, Electrically-Operated, Manuelly-Operated Hanfle, Safety, Accident

[1] R&D Ergonomics Specialist, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası Anonim Şirketi, Physical and Functional Design and Integration Department, Vehicle Validation Administration, ORCID: 0009-0000-3356-0301

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

In this study, we examined the development and status of the door handle, which is a basic element in automobile design that is largely shaped by trends and customer demands, by also considering homologation and regulatory situations. Aside from its chronological development and ranking in the pyramid of needs, we determined human anthropometry and behavior as our main parameters, along with the approaches exhibited by different brands in different commercial markets. As a result, we evaluated how a basic need is presented to the customer in different ways and what kind of outcomes this can have.

1.Brief History of Door Handles

First, we will examine the necessity of a door opening handle in a car, the different shapes it is found in vehicles, and how it is designed in different ways. (Image 1)



Image 1: 1949 Lincoln Sedan

Automobile door handles have undergone significant transformations since the inception of motor vehicles. Initially, early automobiles lacked exterior door handles; occupants accessed the vehicle by reaching inside to unlatch the door (Friedman, 2012). As automotive design progressed, exterior door handles became more common, often resembling home/house door handles of the time. These early designs were typically basic pull handles or knobs. By the mid-20th century, various door handle mechanisms had been developed. For example, the 1949 Lincoln featured push-button door handles, while other models like Ford and Mercury continued to use pull-out types (Duffy, 2011).

Usage of Door Handle Inside of the Vehicle

"In the early days of automobiles, door handles were not a standard feature. Many vehicles lacked exterior door handles altogether; for instance, the 1959 Austin Healey Sprite required occupants to reach inside to unlatch the door." (Young, S, 2012, 6)

When we examine the article quoted above, we see that vehicles were devoid of any locking mechanism until a certain time, which corresponds to the 1950s and 1960s. It seems that it is not a very unfamiliar practice for passengers to try to reach inside the vehicle to open the door.

Interior door handles have always been most important component for passenger egress. Early designs were simple levers or pull cords that mechanically disengaged the door latch. Over time, these evolved into more sophisticated mechanisms, incorporating safety features such as child locks and illuminated handles for visibility purposes foe nighttime usage scenarios. Ergonomic considerations led to designs that accommodated a range of passenger abilities, ensuring ease of use in various situations (Norman, 2002).

Usage of Door Handle Outside of the Vehicle

Exterior door handles serve as the primary interface for vehicle entry. Traditional designs included pull handles, push buttons, and rotating knobs. The 1970s saw a shift towards flush-mounted handles to improve aerodynamics and aesthetics. More recently, manufacturers have introduced electronic handles that integrate with keyless entry systems, enhancing security and convenience (Gillespie, 2004). Also at the early stages of automotive industry exterior door handles are not avaliable at every car-manufacturer's line up.

Different Approaches from Various Manufacturers

Automakers have embraced diverse strategies in door handle design, balancing functionality, safety, and brand identity. For example, Tesla's Model S features retractable door handles that present themselves when the key fob is nearby, contributing to a refined exterior profile. In contrast, traditional manufacturers like Ford have integrated electronic latches that open the door with a simple touch, emphasizing ease of use (Parker, 2023).

2.E-Latch Mechanism and Working Scenario

The advent of electronic latching systems, or e-latches, marks a significant upgrade in vehicle door technology. These systems replace mechanical linkages with electronic controls, allowing for seamless integration with vehicle security and convenience aspects.

2.1.Chronological Development

E-latch systems surfaced in the early 21st century as automakers sought to enhance vehicle security and user experience. Initially featured in luxury vehicles, the technology has gradually permeated various market segments. Manufacturers like Lexus have incorporated e-latches to improve mobility and safety, showing the system's versatility (Lexus, 2022).



Image 2: 2022 Lexus NX



Image 3: 2017 Lincoln Continental

2.2.Operational Principles and Reasons for Necessity

E-latches function by using electronic signals to control the door locking and unlocking mechanisms. A key fob or smartphone app transmits a signal to the vehicle's computer, which then actuates the door latch. This system offers several advantages:

- Enhanced Security: E-latches can integrate with advanced security systems, making unauthorized access more difficult.
- Improved Aerodynamics: Flush-mounted electronic handles reduce drag, contributing to better fuel efficiency (Parker, 2023).
- Design Flexibility: Without mechanical linkages, designers have more freedom to create innovative door interfaces.

2.3.Adoption Across Different Markets Around the World

The adoption of e-latch systems differs globally, influenced by factors such as market preferences, regulatory environments, and production expenses. While luxury brands in North America and Europe have been early adopters, the technology is obtaining traction in Asian markets, particularly among electric vehicle manufacturers focusing to differentiate their offerings (DataIntelo, 2023)..

3.Developed Countermeasures against Unexpected Scenarios

Despite the benefits of e-latch systems, concerns have arisen regarding their reliability, especially in emergency situations where electronic systems may fail. Manufacturers have implemented several countermeasures to handle these issues.

3.1.Evaluation with the Aspect of Availability

To guarantee door accessibility during electronic failures, vehicles equipped with e-latches incorporate mechanical substitute systems. These manual releases are typically placed in accessible areas within the cabin, allowing passengers to open doors even when electronic systems are defunct. Consumer Reports highlights the importance of teaching/familiarizing oneself with these manual overrides to enhance safety (Consumer Reports, 2022).

Furthermore, to all of Tesla's models, vehicles including the Audi E-Tron, BMW iX, Chevrolet Corvette, Fiat 500e, Ford Mustang Mach-E, Genesis G90, Lexus NX, RX, and TX, Lucid Air, and the discontinued Fisker Ocean and Lincoln Continental also make use of electronic interior door releases. All these also have some variety of manual release mechanisms that may not be promptly apparent.

- The owner's manual for the Tesla Model Y indicates where the mechanical release is hidden.
- The owner's manual for the Audi E-Tron says its doors can be opened mechanically by pulling the handle "forcefully" and "beyond its noticeable resistance" twice.
- For BMW vehicles, a manual door release is below the unlock button, near the storage pocket.
- In the Chevrolet Corvette and the discontinued Cadillac XLR, both from General Motors, the emergency door release is on the floor between the doors and the sills of the car. Pull up the lever and the door will open.
- On the Fiat 500e, the interior doors can be opened manually from the inside by pulling the manual door handle located on each door
- To open the Fisker Ocean's doors manually from inside, pull the handle twice.
- In the Ford Mustang Mach-E, the door handle inside the door armrest doubles as a manual release. Pull it back further and the door will open.
- In the Genesis G90, pull the emergency open lever under the door pocket twice to open the door.
- The Lexus "Digital Latch"—common in most newer Lexus vehicles—can be overridden by pulling the door lever toward you twice instead of pushing it once. A Lexus spokesperson told CR that all four doors have an override.
- The Lincoln Continental has an emergency door release lever at the front of the storage pocket at the bottom of the door.
- Lucid says to pull the interior handle even further to release the door manually. This may take some effort.
- Maserati has an emergency release handle inside the front door pocket below the door handle.

- In 2025 and newer Rivian R1T pickup trucks and R1S SUVs, there's now a manual door release handle behind the electronic door release button.
- The Tesla Model 3, Model Y, and 2021-and-newer Tesla Model S and Model X all have a manual door release lever for the front doors behind the electronic door release button. The image below from the owner's manual shows where the lever is and how to use it.
- To open the doors of the Lexus NX, you push on the electronic interior handle. But in an emergency, you can pull them to manually unlatch the door.

Also, certain vehicles equipped with electronic interior door release mechanisms—particularly earlier versions of the **Tesla Model Y** and **Model 3**—may lack readily accessible manual rear door release options. Others include mechanical overrides, but their location and activation processes can be complicated and vehicle specific. Below are several notable examples:

- **Rivian R1T and R1S (2025 and newer):** To manually open the rear door, the user must first remove a trim panel located to the left of the electronic release. Beneath this panel lies a mechanical cord, which must be pulled downward to disengage the lock.



Image 4: Rivian R1T Manual Door Releases

- **Tesla Model 3 (2024 and newer):** The rear door's mechanical release is concealed within a slot in the door pocket. Users must remove a cover to reveal the release cable, then pull the cable forward to open the door.



Image 5: Tesla Model 3 Manual Door Releases

- **Tesla Model Y (Newer models):** Accessing the mechanical release requires removing the mat from the base of the rear door pocket. Underneath is a red tab that unlocks an access panel, behind which is a mechanical cable that must be pulled to open the door.



Image 6: Tesla Model Y Manual Door Releases

- **Tesla Model X (All years, in the event of powered door failure):** To manually operate the rear falcon-wing doors, occupants must first detach the speaker grille to access the release cable. The cable is then pulled while simultaneously applying upward pressure on the door.



Image 7: Tesla Model X Manual Door Releases – Users' Approaches

- **Tesla Model S:** Tesla advises lifting the edge of the carpet beneath the rear seats to reveal the mechanical release cable. The cable must then be pulled laterally toward the center of the vehicle to disengage the door lock.

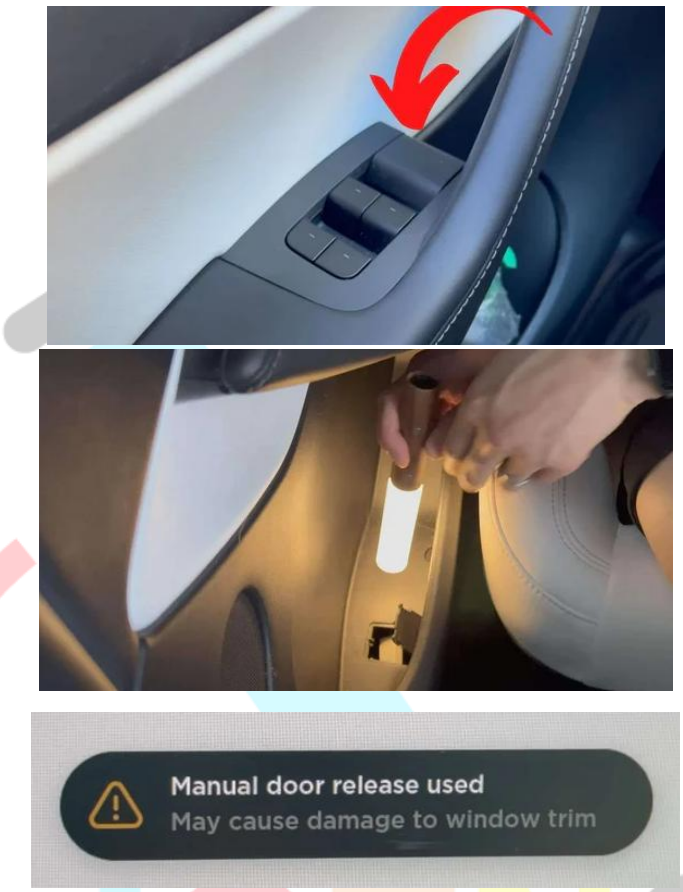


Image 8: Tesla Model S Manual Door Releases

As seen in the examples there is no standardized approach, not even models manufactured by the same brand.

3.2.Evaluation with the Aspect of Vehicle Ergonomics

Ergonomic design is critical in the implementation of manual emergency/accident and unexpected situation related releases. According to Driver Hand Control Reach, the reach, force, and clarity of operation are paramount for safety-critical controls. Handles must be intuitively placed, within an acceptable reach envelope, easily operable by individuals with varying physical abilities, and function effectively under stress. Manikin Specifications is used to simulate body dimensions and reach analysis for optimizing placement. Designers also refer to Motor Vehicle Driver's Eye Range for ensuring visibility and intuitive access. These standards support the advancement of user-friendly designs that can be operated without extensive teaching processes. Studies have shown that well-designed emergency handles, developed in accordance with these standards, can significantly reduce egress time in critical situations (Norman, 2002).

Conclusion

The transition from traditional mechanically operated door handles to sophisticated electronic latch (e-latch) systems signifies a pivotal evolution in automotive design, where user experience, safety, and innovation converge. While early automobiles relied on rudimentary mechanisms or even required internal access to open doors, today’s vehicles integrate

advanced, electronically actuated systems designed for both aesthetics and functionality. Yet, despite these advancements, the importance of reliable, manually operated emergency door opening mechanisms remains critical—especially under conditions of electrical system failure, crash scenarios, or battery depletion.

From an ergonomic perspective, the availability and design of emergency door handles must address a wide range of user capabilities, from children to elderly passengers, and even individuals with physical limitations. The design must secure intuitive placement, low activation force, and clearly identifiable markings, all while meeting vehicle packaging and styling constraints. This becomes even more important in high-stress situations where seconds count—such as in fires, submersion, or post-collision scenarios.

From the standpoint of availability, redundancy is paramount. Automakers have responded by integrating manual overrides into vehicles with electronic systems. However, their effectiveness is largely dependent on how well these features are communicated to end-users and whether they are universally accessible and operational under real-world conditions.

Furthermore, the global expansion of e-latch systems introduces regional challenges. In markets where temperatures, humidity, dust, or voltage fluctuations can interfere with electronics, mechanical emergency systems act as critical fail-safe. Regulations may vary across regions, but the growing trend toward electric and autonomous vehicles underscores a universal need for reliable emergency egress solutions that do not compromise user autonomy or safety.

Ultimately, the manually operated emergency door handle stands as a quiet yet essential component of automotive safety systems. It reflects a design philosophy rooted in redundancy, human-centered design, and fail-safe engineering. As vehicles become more connected, autonomous, and electrified, the future of door access will undoubtedly evolve—but so must our commitment to ensuring that no person is ever left vulnerable due to a lack of access. The success of modern automotive design lies not just in innovation but in its inclusivity, reliability, and ability to perform when it matters most.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Young, S, Nov 2, 2012, *A Brief history of vehicle entry procedures*, Apr 10, 2025 https://www.locksmithledger.com/keys-tools/article/10796680/tools-and-techniques-used-by-automotive-locksmiths-are-constantly-changing-as-automakers-develop-new-locks-and-security-systems

Dosmo, Aug 17, 2017, *Push button door handles – 1949 Lincoln, but not Ford & Mercury?*, Apr 10, 2025, https://forums.aaca.org/topic/297299-push-button-door-handles-1949-lincoln-but-not-ford-mercury/ (Image 1)

Consumer Reports. (2022). *How to escape your car if the electronic door release fails*. Retrieved from https://www.consumerreports.org/cars/car-safety/how-to-escape-your-car-if-the-electronic-door-release-fails-a8152892189/

DataIntelo. (2023). *Global electronic car door latch market*. Retrieved from https://dataintelo.com/report/global-electronic-car-door-latch-market

Duffy, J. (2011). *Cars of the 1950s*. Crestline Books.

Friedman, H. (2012). *Automobile Safety: A Historical Review*. Automotive History Review, 44(2), 102-115.

Gillespie, T. D. (2004). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers.

Lexus. (2022). *Understanding the Lexus e-latch door system*. Retrieved from https://www.clublexus.com/articles/lexus-e-latch-door-handles

Norman, D. A. (2002). *The Design of Everyday Things*. Basic Books.

Parker, J. (2023). *Modern car door designs analyzed*. Retrieved from https://www.caranddriver.com/features/a44040564/modern-car-door-designs-amalyzed/

Palmer Michael S. (2023) *The Noble Reasoning Behind Lexus e-Latch Door Handles – ClubLexus* https://www.clublexus.com/articles/lexus-e-latch-door-handles/ (Image 2)

Barry, K (2025). *How to Escape Your Car If the Electronic Door Handle Fails* https://www.msn.com/en-ca/autos/news/how-to-escape-your-car-if-the-electronic-door-handle-fails/ar-AA1nOcoX (Image 3)

Agatie, C (2024). *Rivian R1 Refresh Vehicles Can Become a Death Trap for Rear Passengers* https://www.autoevolution.com/news/rivian-r1-refresh-vehicles-can-become-a-death-trap-for-rear-passengers-235389.html#agal_0 (Image 4)

Visconti, Z. (2023). *Tesla adds manual rear door release to the Model 3 Highland* https://www.teslarati.com/tesla-manual-rear-door-release-model-3-highland/ (Image 5)

Agatie, C. (2022). *Tesla Model Y Got a More Straightforward Emergency Door Release, Still Not Good Enough* https://teslamotorsclub.com/tmc/threads/rear-door-manual-emergency-release-modification-safety.291285/ (Image 6)

Demerzel, E. (2023). *Rear door manual emergency release modification (safety)* https://teslamotorsclub.com/tmc/threads/rear-door-manual-emergency-release-modification-safety.291285/ (Image 7)

Lucky, L. (2023). *Unlocking Tesla Doors: A Guide to Manual Door Opening* https://www.tesery.com/en-tr/blogs/tesla-model-3-s-x-y-cybertruck-guides/unlocking-tesla-doors-a-guide-to-manual-door-opening (Image 8)

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

THE FUTURE OF MİCROALGAE FOR ANİMAL FEEDİNG OPERATİONS AND WASTE TREATMENT

Seyit UGUZ[1]
Arda SOZCU[2]

Abstract

Microalgae have emerged as a sustainable and multifunctional solution for animal feeding operations and waste treatment, addressing critical challenges in modern agriculture. Their high nutritional content—rich in essential amino acids, fatty acids, and antioxidants—positions microalgae as a valuable alternative to conventional feed sources while reducing dependency on arable land and freshwater. Simultaneously, microalgae contribute to waste remediation by assimilating nitrogen, phosphorus, and heavy metals from manure and effluents, , and generating valuable biomass for bioenergy and animal feed, thus promoting circular nutrient management and environmental sustainability. Economic and environmental assessments highlight the dual benefits of feed production and pollution mitigation. However, widespread adoption is constrained by technical limitations, regulatory gaps, and market perception. Addressing these challenges requires standardization, supportive policy frameworks, and strategic public–private partnerships.

This study explores the dual role of microalgae in enhancing animal nutrition and improving waste treatment processes. The aim is to assess the potential of microalgae as a sustainable alternative in animal feeding operations while simultaneously addressing environmental concerns. By reviewing recent advancements in microalgae cultivation, bioprocessing, and economic feasibility, this research highlights emerging innovations, including photobioreactor technology and microalgae-based waste treatment systems, that could enhance their large-scale adoption.

Keywords: photobioreactor, mitigation, sustainable, treatment, feed

[1] Arş. Gör. Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği, Orcıd: https://orcid.org/0000-0002-3994-8099
[2] Doç.Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Orcıd: https://orcid.org/0000-0002-0955-4371

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Introduction

Modern agriculture faces mounting challenges as animal feeding operations strive to balance high production with environmental stewardship. In recent years, microalgae have emerged as a promising solution due to their multifunctional properties. Unlike conventional feed sources that rely on arable land and freshwater, microalgae thrive in diverse environments, offering both a nutrient-dense feed supplement and an effective means for waste remediation. Animal feeding operations, particularly large-scale confined or concentrated animal feeding operations (CAFOs) (Hollis et al., 2021), are under increasing scrutiny for their environmental impact, notably from excessive nutrient discharge and greenhouse gas emissions. Against this background, the integration of microalgae is being explored not only to improve animal nutrition—with their rich profiles in essential amino acids, polyunsaturated fatty acids, and antioxidants (Lopes et al., 2023)—but also to transform waste streams, such as manure and effluents, into valuable sources of bioenergy, feed, and other high-value products.

Research over the past decade has demonstrated that microalgal systems can capture CO_2, assimilate critical nutrients (nitrogen and phosphorus), and even sequester heavy metals in contaminated waste streams (Femeena et al., 2022; Iakovidou et al., 2024). In addition, innovations including closed photobioreactors and hybrid cultivation systems have improved both biomass productivity and process stability (Diankristanti and Ng, 2024). These technical advances provide a framework for coupling microalgal cultivation with waste treatment, thereby promoting a circular bioeconomy and reducing the reliance on synthetic inputs. By capitalizing on these dual roles, microalgae not only offer an environmentally sound alternative for animal feed production but also serve as a platform for waste-to-worth valorization. This manuscript reviews recent advancements in microalgae cultivation, processing, and integration within animal feeding operations while addressing the concurrent challenges of waste management and resource recovery. The discussion helps set the stage for a sustainable agricultural future wherein microalgae contribute significantly to both feed quality and environmental remediation.

2.Microalgae as a sustainable feed source

Microalgae offer a promising alternative to conventional feed sources by providing high-quality, nutrient-dense biomass that can enhance animal nutrition while reducing the ecological footprint of livestock production. The unique biochemical profile of microalgae—rich in essential amino acids, polyunsaturated fatty acids, and potent antioxidants—has been extensively documented, demonstrating their potential in improving animal health and performance (Mavrommatis et al., 2023:2; Ma and Hu, 2023:819). This nutritional advantage makes microalgae an appealing candidate to supplement or even replace traditional feed ingredients, thereby reducing reliance on arable land and freshwater resources that are typically required for crop-based feed production (Linder, 2019:266).

The rapid growth rate and metabolic versatility of microalgae are crucial in ensuring a year-round and sustainable supply of feed. As noted in aquaculture applications, microalgae not only serve as a primary food source for larval fish and invertebrates but also act as nutrient supplements for secondary live feeds such as rotifers and copepods, thereby enhancing the overall productivity and health of rearing systems (Ma and Hu, 2023:819). Similarly, research in ruminant nutrition, particularly involving species such as *Chlorella vulgaris*, has demonstrated improvements in feed utilization, milk production, and growth performance,

thereby reinforcing the practical benefits of incorporating microalgae into animal diets (Kholif and Olafadehan, 2021:790).

In addition to nutritional benefits, the integration of microalgae into feed formulations contributes to environmental sustainability. By utilizing microalgae, animal feeding operations can mitigate some of the impacts associated with conventional feed production, notably reducing greenhouse gas emissions and alleviating pressure on natural resources (Linder, 2019:265). Moreover, the ability to cultivate microalgae on non-arable land or in conjunction with waste streams provides an opportunity to valorize byproducts from agricultural and industrial processes, thus promoting a circular bioeconomy that benefits both the environment and farm economics (Saadaoui et al., 2021).

3.Integration of microalgae into animal feeding operations

3.1.Cultivation systems in animal houses

Recent developments have focused on incorporating microalgal cultivation directly within animal housing facilities. Photobioreactor designs specifically coupled with the exhaust air of animal houses have demonstrated the dual benefits of capturing CO_2 and ammonia while supporting continuous microalgae growth (Uguz et al., 2022:314; Uguz, 2024:9-10). Such in-house cultivation systems leverage the nutrient-rich exhaust streams, which not only improve air quality but also enhance microalgal productivity by supplementing the primary carbon source (Uguz and Sozcu, 2024:2-4). Moreover, optimized photobioreactor configurations, with tailored light, temperature, and nutrient control, have shown significant improvements in biomass productivity (Uguz et al., 2025:2-3). These controlled-environment systems are particularly attractive for animal houses because they eliminate the need for arable land and freshwater resources while providing year-round, consistent production of high-quality microalgal biomass.

3.2.Algal biomass harvesting and processing for feed use

Efficient recovery and processing of microalgal biomass are critical steps toward its application as animal feed. Innovations in harvesting techniques, such as flocculation and membrane-based dewatering, have been the focus of recent research to address the inherent challenges of microalgae's small cell size and low culture density. Advances in processing technologies, including centrifugation and filtration methods, ensure that the nutrient integrity of the biomass is maintained, which is crucial for feed applications. In addition, strategies such as the careful control of salt concentrations during dewatering, as investigated in recent studies, have helped mitigate cell stress and loss of photosynthetic efficiency, thereby enhancing the quality of the final feed product (Munshi et al., 2023:1-2). Together, these improvements in harvesting and processing support the economic viability and scalability of microalgal feed integration in animal operations.

3.3.Case studies and pilot applications in poultry, swine and aquaculture

A number of case studies and pilot applications have demonstrated the practical benefits of microalgal integration in animal feeding operations. In poultry production, studies have reported that inclusion of microalgal biomass in broiler diets improves growth performance and health outcomes, likely attributed to the rich profile of essential amino acids, polyunsaturated fatty acids, and antioxidants present in the biomass (Abdo et al., 2019:98-99). In aquaculture, concentrated microalgal biomass has been successfully used as a substitute for fresh microalgae in hatcheries, thereby reducing labor costs and production risks while maintaining larval nutritional requirements (Sales et al., 2022:1; Han et al., 2019:4-5). These pilot applications not only validate the technical feasibility of microalgae integration across diverse animal production systems but also underscore its potential to enhance overall farm

sustainability by closing nutrient loops and valorizing waste streams. By integrating microalgae cultivation systems within animal houses, optimizing biomass harvesting and processing, and demonstrating successful pilot implementations, the agricultural sector can move toward a more sustainable and resilient animal feeding model that addresses both nutritional and environmental challenges.

4.Microalgae in waste treatment of animal feeding operations

The dual functionality of microalgae as both a nutrient-rich feed and an agent for waste remediation makes them an attractive prospect for mitigating the environmental impacts of animal feeding operations. In these settings, a diverse range of waste streams—including manure, effluents, and other organic byproducts—can be effectively treated through algal remediation, thereby contributing to circular nutrient management and environmental sustainability.

4.1.Waste streams suitable for algal remediation (e.g., manure, effluents)

Animal feeding operations generate substantial volumes of nutrient-rich waste, including manure, wastewater effluents, and runoff laden with organic matter. These waste streams, which typically contain high concentrations of nitrogen (N) and phosphorus (P), provide an ideal substrate for microalgal growth (Femeena et al., 2022:332; Kumar et al., 2018:22058). Studies have demonstrated that microalgae can be cultivated using these waste materials as nutrient sources, transforming potential pollutants into valuable biomass (Mérida and Padrón, 2023:3-5). Furthermore, integrated systems that couple algal cultivation with waste treatment have been shown to improve resource efficiency by valorizing waste streams within a circular bioeconomy framework (Mérida and Padrón, 2023:5).

4.2.Nutrient removal and recovery (N, P)

Microalgae exhibit a high capacity for assimilating dissolved nutrients, particularly nitrogen and phosphorus, from waste substrates. Through rapid uptake and metabolic conversion, microalgae effectively lower the levels of these nutrients in effluents, consequently reducing the potential for eutrophication in surrounding ecosystems (Iakovidou et al., 2024:11-12). This nutrient removal is directly linked to the generation of biomass, which can be harvested, processed, and reintegrated into animal feed formulations. The recovery of these nutrients is not only a critical environmental benefit but also a means of securing a renewable source of biologically valuable materials for downstream applications (Femeena et al., 2022:328). Recent advancements in optimizing bioreactor design and cultivation parameters have enhanced the efficiency of nutrient removal processes, highlighting the potential for large-scale implementation in animal feeding operations (Iakovidou et al., 2024:8-9).

4.3.Comparison with conventional waste treatment technologies

Conventional waste treatment technologies, such as activated sludge processes, chemical precipitation, and anaerobic digestion, have long been deployed in managing effluents and agricultural wastes. However, these processes are typically energy-intensive and often focus solely on the removal of contaminants rather than the recovery of valuable nutrients (Silva et al., 20:1-2). In contrast, microalgae-based waste treatment systems integrate remediation with resource recovery, thereby alleviating some of the environmental and economic limitations associated with conventional approaches.

Microalgae systems offer significant advantages by efficiently assimilating dissolved nutrients and transforming them into biomass that can be repurposed as animal feed or processed further into biofuels and other high-value products. This process reduces the nutrient loads—specifically nitrogen and phosphorus—in effluents and contributes to a circular

bioeconomy by upcycling waste streams into valuable co-products. Moreover, the integration of microalgae with bacteria in consortium systems has been shown to enhance organic matter degradation and nutrient removal while reducing operational costs relative to traditional aerobic treatment systems. These consortia can utilize the oxygen produced during photosynthesis to support bacterial oxidation of organic compounds, thereby lowering the need for external energy inputs associated with aeration in conventional setups (Sátiro et al., 2022:156-162).

Furthermore, microalgae-based systems are uniquely adaptable to variable waste compositions. Unlike chemically driven processes that require strict operational controls and are prone to performance fluctuations under changing conditions, microalgae can thrive under a range of environmental conditions and effectively utilize high-nutrient waste streams. The capability to integrate cultivation directly within waste-producing operations enhances system resilience by reducing logistical costs and facilitating continuous nutrient recycling. While challenges remain in terms of scalable biomass harvesting and processing, recent innovations in photobioreactor design and low-cost nutrient sourcing from waste streams highlight the potential of microalgae to provide a more sustainable and economically attractive alternative to conventional waste treatment technologies.

5.Economic and environmental considerations

A comprehensive cost–benefit analysis is essential to evaluate microalgae as an alternative to conventional feed and waste treatment practices. On the economic side, microalgal biomass can substitute traditional feed resources by providing essential amino acids, lipids, and pigments, thereby reducing feed waste and improving animal health (Ahmad et al., 2022:9522). In parallel, the utilization of nutrient-rich waste streams, such as manure and effluent, for microalgal cultivation permits the recovery of valuable nutrients while mitigating environmental pollution (Silkina et al., 2019:13-15). Although the initial capital expenditure for microalgal cultivation systems—especially closed photobioreactors—may be higher compared to conventional methods (Zhang et al., 2024:7), recent advances in low-cost cultivation technologies and harvesting methods have significantly improved the overall economic outlook. Furthermore, by integrating waste treatment with algal feed production, agricultural operations can generate dual revenue streams from enhanced animal feed and recovered nutrients, ultimately offsetting operational costs and contributing to improved economic sustainability (Judd et al., 2017:384-385). The successful commercialization of microalgae-based feed and waste treatment technologies is not solely reliant on technological and process improvements but also on supportive public policies and financial incentives. Governments and regulatory bodies can stimulate industry investment through subsidies, tax credits, and grants that target renewable energy, sustainable agriculture, and waste valorization projects.

6.Challenges and Research Gaps

Microalgal production faces many technical challenges, particularly related to scale-up and process optimization. Existing systems, whether open ponds or closed photobioreactors, require critical improvements in biomass yield, system stability, and contamination control to achieve economic viability (Dębowski et al., 2022:6-7). The difficulties in maintaining consistent growth conditions, efficient harvesting, and downstream processing have been reported as major bottlenecks in scaling up microalgal technologies (Udayan et al., 2021:412). In addition, adapting cultivation systems to fluctuating environmental parameters and nutrient loads—especially when using real waste streams—requires robust process control strategies (Vuppaladadiyam et al., 2018:14032-14033).

A key barrier to commercial adoption is the absence of clear standards and regulatory frameworks specific to microalgae-based products. The variability in biomass composition,

quality, and production protocols poses challenges for the establishment of industry-wide standards (Udayan et al., 2021:411). Harmonizing quality control protocols and setting performance benchmarks, while ensuring compliance with environmental and feed safety regulations, is vital for advancing these technologies. Collaborative initiatives between research institutions, governmental agencies, and industry stakeholders are required to develop robust regulatory guidelines and certification processes.

Beyond technical and regulatory hurdles, public perception and market acceptance represent critical challenges. Stakeholders and consumers may be hesitant to adopt microalgae-derived animal feed or waste treatment products due to uncertainties about safety, efficacy, and overall benefits. Studies indicate that insufficient awareness and information dissemination have led to misperceptions regarding nutritional adequacy and production sustainability. Enhancing consumer confidence through transparent communication of scientific findings and demonstrable case studies can help build market trust. Furthermore, initiatives to educate industry professionals and policymakers about the multifaceted benefits of microalgae integration are essential to drive market penetration.

7.Future Prospects

A strategic roadmap for commercializing microalgae begins with pilot-scale demonstrations to validate scalability and techno-economic feasibility in real-world settings. Integrating microalgae systems into existing animal housing or waste treatment facilities can uncover practical challenges and cost dynamics. Standardizing cultivation protocols, developing supply chains, and setting performance metrics are critical early steps. Collaboration among academia, industry, and government—along with financial incentives—can reduce investment risks and accelerate adoption. Recent trends highlight synthetic biology and algae-bacteria consortia as promising tools to overcome current limitations. Genetic engineering can enhance algal growth, nutrient uptake, and stress tolerance. Simultaneously, consortia with beneficial bacteria improve nutrient removal and biomass productivity, enabling efficient waste management and high-value bioproduct generation (Udayan et al., 2021:411).

Future research should focus on optimizing growth conditions, reactor designs, and downstream processing methods to reduce production costs and energy inputs. Comprehensive life cycle assessments and techno-economic analyses are needed to identify critical areas for improvement and to benchmark microalgal systems against conventional technologies. On the policy front, the development of clear regulatory frameworks and industry standards is imperative. Government incentives, such as research grants, tax credits, and subsidized demonstrations, can support early-stage commercialization. In addition, public–private partnerships should be encouraged to facilitate technology transfer and to bridge the gap between research findings and market applications. These combined efforts will be instrumental in establishing microalgae as a sustainable resource in modern agriculture.

8.Conclusion

Microalgae present a multifaceted solution to most pressing challenges in modern agriculture. Their unique capacity to serve as a high-quality feed supplement and as an effective agent for waste treatment has been demonstrated across several pilot studies and technological innovations. By integrating microalgae into animal feeding operations, producers can not only enhance animal health and growth performance through nutrient-dense biomass but also achieve more efficient nutrient recycling and pollution control in waste streams. However, despite these promising benefits, broad-scale adoption is hindered by several technical, regulatory, and market-related challenges. The operational complexities of scaling up cultivation systems—be they open ponds or advanced photobioreactors—along with issues in standardizing biomass quality and regulatory uncertainties, emphasize the need for ongoing research and collaborative efforts among industry stakeholders, policymakers, and the

scientific community. Ultimately, the roadmap for commercial adoption of microalgae-based technologies lies in a synergistic approach that integrates technical innovation with supportive policy and targeted financial incentives. Through pilot-scale demonstrations, life cycle analyses, and strategic industry partnerships, microalgae could be positioned as a cornerstone in the transition toward sustainable agricultural practices that reconcile the demands for food production with environmental and economic resilience.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

Abdo, S. M., Amer, S., Ahmed, H. M., Mahmoud, R. H., Salama, A. A., & Kutkat, M. A. (2019). Microalgae biomass application in commercial broilers nutrition and their efficacy against challenge with epidemic newcastle disease virus in egypt. *Journal of World's Poultry Research*, 9(2), 98-108. https://doi.org/10.36380/jwpr.2019.12

Ahmad, A., Hassan, S. W., & Banat, F. (2022). An overview of microalgae biomass as a sustainable aquaculture feed ingredient: food security and circular economy. *Bioengineered*, 13(4), 9521-9547. https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2061148

Dębowski, M., Świca, I., Kazimierowicz, J., & Zieliński, M. (2022). Large scale microalgae biofuel technology—development perspectives in light of the barriers and limitations. *Energies*, 16(1), 81. https://doi.org/10.3390/en16010081

Diankristanti, P. A. and Ng, I. (2024). Marine microalgae for bioremediation and waste-to-worth valorization: recent progress and future prospects. *Blue Biotechnology*, 1(1). https://doi.org/10.1186/s44315-024-00010-w

Femeena, P. V., House, G. R., & Brennan, R. A. (2022). Creating a circular nitrogen bioeconomy in agricultural systems through nutrient recovery and upcycling by microalgae and duckweed: past efforts and future trends. *Journal of the ASABE*, 65(2), 327-346. https://doi.org/10.13031/ja.14891

Han, P., Lu, Q., Fan, L., & Zhou, W. (2019). A review on the use of microalgae for sustainable aquaculture. *Applied Sciences*, 9(11), 2377. https://doi.org/10.3390/app9112377

Hollis, A., White-Williamson, S., & Newell, B. (2021). call for papers: special environmental justice issue on industrial animal agriculture. *Environmental Justice*, 14(3), 231-232.

Iakovidou, G., Itziou, A., Tsiotsias, A., Lakioti, E., Samaras, P., Tsanaktsidis, C., … & Karayannis, V. (2024). Application of microalgae to wastewater bioremediation, with co2 biomitigation, health product and biofuel development, and environmental biomonitoring. *Applied Sciences*, 14(15), 6727. https://doi.org/10.3390/app14156727

Judd, S., Momani, F. A., Znad, H., & Ketife, A. M. A. (2017). The cost benefit of algal technology for combined CO2 mitigation and nutrient abatement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 379-387. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.068

Kholif, A. E. and Olafadehan, O. A. (2021). chlorella vulgaris microalgae in ruminant nutrition: a review of the chemical composition and nutritive value. *Annals of Animal Science*, 21(3), 789-806. https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0117

Kumar, V., Kumar, A., & Nanda, M. (2018). Pretreated animal and human waste as a substantial nutrient source for cultivation of microalgae for biodiesel production. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(22), 22052-22059. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2339-x

Linder, T. (2019). Making the case for edible microorganisms as an integral part of a more sustainable and resilient food production system. *Food Security*, 11(2), 265-278. https://doi.org/10.1007/s12571-019-00912-3

Lopes, L. C., Righi, E., & Costa, J. A. V. (2023). Spirulina and its potential in bioproduct production: a review. *Environmental Management and Sustainable Development*, 12(2), 30. https://doi.org/10.5296/emsd.v12i2.20979

Ma, M. and Hu, Q. (2023). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: prospects and challenges. *Reviews in Aquaculture*, 16(2), 818-835. https://doi.org/10.1111/raq.12869

Mavrommatis, A., Tsiplakou, E., Zerva, A., Pantiora, P. D., Georgakis, N., Tsintzou, G. P., … & Labrou, N. E. (2023). Microalgae as a sustainable source of antioxidants in animal nutrition, health and livestock development. *Antioxidants*, 12(10), 1882. https://doi.org/10.3390/antiox12101882

Mérida, L. G. R. and Padrón, R. A. R. (2023). Application of microalgae in wastewater: opportunity for sustainable development. *Frontiers in Environmental Science*, 11. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1238640

Munshi, F. M., Hwang, J., Stoll, S., & Lee, W. H. (2023). Reverse salt flux effect on dewatering chlorella vulgaris in a forward osmosis system. *Water*, 15(8), 1462. https://doi.org/10.3390/w15081462

Saadaoui, I., Rasheed, R., Aguilar, A. M., Cherif, M., Jabri, H. A., Sayadi, S., … & Manning, S. R. (2021). Microalgal-based feed: promising alternative feedstocks for livestock and poultry production. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1). https://doi.org/10.1186/s40104-021-00593-z

Sales, R., Lopes, R. G., Dérner, R. B., & Tsuzuki, M. Y. (2022). Concentrated microalgal biomass as a substitute for fresh microalgae produced on site at hatcheries. *Aquaculture Research*, 53(17), 5771-5786. https://doi.org/10.1111/are.16072

Sátiro, J. R., Leitão, S., Gomes, A. C., Simões, R., & Albuquerque, A. (2022). Opportunities for microalgae-bacteria consortium application to the treatment of effluents generated in fiber-waste-based recycling processes. *KnE Materials Science*. https://doi.org/10.18502/kms.v7i1.11619

Silkina, A., Ginnever, N. E., Fernandes, F., & Fuentes-Grünewald, C. (2019). Large-scale waste bio-remediation using microalgae cultivation as a platform. *Energies*, 12(14), 2772. https://doi.org/10.3390/en12142772

Silva, T. L. d., Moniz, P., Silva, C., & Reis, A. (2021). The role of heterotrophic microalgae in waste conversion to biofuels and bioproducts. *Processes*, 9(7), 1090. https://doi.org/10.3390/pr9071090

Udayan, A., Pandey, A. K., Sharma, P., Sreekumar, N., & Kumar, S. (2021). Emerging industrial applications of microalgae: challenges and future perspectives. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 1(4), 411-431. https://doi.org/10.1007/s43393-021-00038-8

Uguz, S. (2024). Photobioreactor systems for mitigating ammonia and carbon dioxide from a broiler house. *Journal of Environmental Management*, *371*, 123216.

Uguz, S., & Sozcu, A. (2024). Pollutant Gases to Algal Animal Feed: Impacts of Poultry House Exhaust Air on Amino Acid Profile of Algae. *Animals*, *14*(5), 754.

Uguz, S., Anderson, G., Simsek, E., Ates, K., Yilmaz, M., Yaslioglu, E., ... & Ulusoy, Y. (2025). Growth performance of Scenedesmus sp. AQUAMEB-57. Ankistrodesmus sp. AQUAMEB-33, and Synechococcaceae AQUAMEB-32 cultivated at different light intensities. *Environmental Technology*, 1-15.

Uguz, S., Anderson, G., Yang, X., Simsek, E., & Osabutey, A. (2022). Cultivation of Scenedesmus dimorphus with air contaminants from a pig confinement building. *Journal of Environmental Management*, *314*, 115129.

Vuppaladadiyam, A. K., Prinsen, P., Raheem, A., Luque, R., & Zhao, M. (2018). Sustainability analysis of microalgae production systems: a review on resource with unexploited high-value reserves. *Environmental Science* & Technology, 52(24), 14031-14049. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02876

Zhang, Q., Guan, Y., Zhang, Z., Dong, S., Yuan, T., Ruan, Z., … & Chen, M. (2024). Sustainable microalgae cultivation: a comprehensive review of open and enclosed systems for biofuel and high value compound production. E3S Web of Conferences, 4th International Conference on Applied Sciences (ICAS 2024), 577, 01008. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202457701008

Zhang, Y., Ji, C., Zhou, W., Wang, H., Wang, J., & Liu, T. (2020). Studies on the attached cultivation of filamentous oleaginous microalga tribonema minus. *Journal of Ocean University of China*, 19(3), 691-699. https://doi.org/10.1007/s11802-020-4256-0

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

DEEP NEURAL NETWORK APPROACH WİTH BAYESİAN PSO OPTİMİZATİON AS A NEW MODEL FOR CLASSİFYİNG PATİENT SATİSFACTİON

Yağmur ŞEN[1]
Fuat ÇAĞLAYAN[2]

Abstract

In this study, a novel method called Bayesian PSO-Optimized Multi-Layer Neural Network (Bayesian PSO-NN) was developed and applied to predict patient satisfaction as a multi-class classification problem. The dataset was preprocessed by eliminating missing values, converting the target variable using one-hot encoding, and normalizing all features for the best possible analysis. The dataset was obtained from survey responses of people who used healthcare facilities in North Macedonia. Eight conventional and ensemble-based machine learning algorithms were used to evaluate the suggested model's performance. These comprised traditional classifiers like Logistic Regression, Support Vector Machine, Decision Tree, and Bagging, as well as strong models like K-Nearest Neighbors, Random Forest, Gradient Boosting, and AdaBoost. With the maximum accuracy of 65.9%, the results showed that the suggested Bayesian PSO-NN performed better than the baseline techniques. Additionally, the model produced lower mistake rates even across semantically identical classes, demonstrating greater class balance and decision stability. These results demonstrate the model's strength in both technical accuracy and real-world application, positioning it as a viable substitute for challenging categorization tasks in the healthcare industry.

Keywords : Patient Satisfaction, Classification, Bayesian Method, Artificial Neural Network

[1] Öğrenci, Arel Üniversitesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, Orcid: 0009-0002-8887-9453

[2] Dr. Öğr. Gör., Arel Üniversitesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, Orcid:0000-0001-8522-4502

ISBN: 978-625-372-661-4

1. GİRİŞ

Hasta memnuniyeti, modern sağlık hizmetlerinin kalitesini değerlendirmede kritik bir ölçüt olarak öne çıkmakta ve hasta merkezli bakım anlayışının etkinliğini ortaya koymaktadır. Hastaların sağlık hizmetlerinden algıladıkları memnuniyet düzeyleri; hizmetin erişilebilirliği, sağlık çalışanları ile iletişim, tedavi sürecine katılım ve hizmetin genel organizasyon yapısı gibi birçok bileşenin bir araya gelmesiyle şekillenmektedir (Li vd., 2025). Nitekim hasta memnuniyetinin doğru bir şekilde ölçülmesi, sınıflandırılması, yalnızca sağlık hizmetlerinin etkililiğini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda sağlık hizmetinin iyileştirilmesi ve politikalarının şekillendirilmesinde de stratejik bir rol üstlenmektedir (Ahsan ve Siddique, 2021; Güzel vd., 2022).

Son yıllarda yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknikleri, sağlık hizmetlerinden elde edilen büyük verilerin etkili şekilde analiz edilebilmesi adına karar destek sistemlerinin geliştirilmesinde yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır (ElShawi vd., 2020). Bu teknikler, Özellikle hasta geri bildirimlerinin otomatik olarak sınıflandırılması gibi karmaşık görevlerde manuel süreçlerin yerini alarak daha doğru ve ölçeklenebilir çözümler sunmaktadır (Sakai vd., 2024). Örneğin, Li ve arkadaşları (2025), doğal dil işleme (NLP) destekli makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak hasta şikayetlerini otomatik olarak sınıflandırarak sağlık yönetimine anlık veri sağlamada etkili olduğu gösterilmiştir (Li vd., 2025).

Bununla birlikte, hasta memnuniyeti gibi çok boyutlu, nitelikli ve sınıf dağılımı dengesiz olan veri setlerinde, geleneksel makine öğrenmesi algoritmalarının başarısı sınırlı kalabilmektedir. Bu tür verilerin işlenmesinde daha esnek ve optimizasyon tabanlı derin öğrenme yaklaşımlarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Özellikle, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Bayesçi optimizasyon gibi yöntemlerin sinir ağlarına entegrasyonu, model performansında önemli artışlar sağlamaktadır (Miriyala vd., 2024). Örneğin, yakın zamanda yapılan bir çalışmada, PSO tabanlı sinir ağı kullanılarak koroner arter hastalığına sahip hastaların hastanede kalış sürelerinin yüksek doğrulukla tahmin edilebildiği rapor edilmiştir (Miriyala vd., 2024).

Öte yandan, karar destek sistemlerinde kullanılan sınıflandırma algoritmalarının yorumlanabilir olması da sağlık alanı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda açıklanabilir yapay zekâ (Explainable AI - XAI) modelleri, sadece tahmin doğruluğunu artırmakla kalmayıp aynı zamanda kullanıcıların model çıktısını anlamlandırabilmesini sağlayarak güven tesisine katkı sunmaktadır (Prentzas vd., 2023).

Bu çalışma, Bayesçi Parçacık Sürü Optimizasyonu (Bayes PSO) ile güçlendirilmiş Çok Katmanlı Sinir Ağı (Bayes PSO-NN) modelini geliştirerek, hasta memnuniyetinin çok sınıflı bir sınıflandırma problemi olarak ele alınmasında yeni ve etkin bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır. Model, Kuzey Makedonya'daki sağlık tesislerinden elde edilen gerçek saha verileri üzerinde test edilmiş; ; Lojistik Regresyon, K-En Yakın Komşu, Rastgele Orman ve AdaBoost gibi geleneksel sınıflandırma algoritmalarıyla karşılaştırıldığında daha yüksek doğruluk oranları ve sınıf dengesi sağlamıştır. Bu bağlamda, önerilen modelin, sağlık sektöründeki zorlu kategoriklendirme görevleri için uygulanabilir bir alternatif olarak değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Method

2.1 Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, 2018 yılında Makedonya'da sağlık hizmetlerinden faydalanan bireylerin deneyimlerini ve memnuniyet düzeylerini değerlendirmek amacıyla çevrim içi anket yöntemiyle toplanmıştır (Dimitrievska ve Tomovska, 2020). Veri toplama süreci üç aylık bir dönemi kapsamış ve toplam 500 katılımcıdan veri elde edilmiştir. Katılımcıların sağlık hizmetlerine yönelik görüşleri, Likert tipi ölçek kullanılarak 1 ile 5 arasında derecelendirilmiştir. Ölçekte "1" memnun olduğunu belirtirken, "5" çok memnun olmadığını ifade etmektedir. Veriler, bireylerin sağlık kuruluşlarındaki farklı hizmet alanları hakkındaki değerlendirmelerine dayanmaktadır. Veri setinde yer alan bağımsız değişkenler, hastaların sağlık hizmetleri ile ilgili farklı yönlerdeki memnuniyet düzeylerini ölçmektedir. Bu değişkenler arasında randevu süreci, bekleme süresi, idari işlemlerin işleyişi, hijyen durumu, doktor iletişimi, laboratuvar hizmetleri, ilaç temini ve hastane ortamı gibi çok boyutlu hizmet bileşenleri yer almaktadır. Katılımcılar her bir alanda memnuniyetlerini beşli ölçekle belirtmişlerdir. Bu sayede hasta memnuniyetine etki eden faktörler bütüncül bir yapıda analiz edilebilmiştir.

Tablo 1- Bazı Bağımsız Değişkenler

Değişken	Ölçek (1–5) Açıklaması
Check up randevusu	1: Memnun, 5: Hiç memnun değil
Bekleme süresi	1: Memnun, 5: Hiç memnun değil
İdari işlemler	1: Memnun, 5: Hiç memnun değil
Hijyen ve temizlik	1: Memnun, 5: Hiç memnun değil
Doktorla iletişim	1: Memnun, 5: Hiç memnun değil
Modern ekipman	1: Memnun, 5: Hiç memnun değil
İlaçlara erişim	1: Memnun, 5: Hiç memnun değil
Hastane ortamı (odalar, bekleme)	1: Memnun, 5: Hiç memnun değil

Bu veri seti, hasta memnuniyetinin çok boyutlu yapısını anlamaya yönelik makine öğrenmesi temelli sınıflandırma modellerinin eğitilmesi ve karşılaştırılması amacıyla kullanılmıştır. Böylece hem bireysel hizmet deneyimlerinin sağlık sistemine yansıması hem de veri temelli analizlerin karar destek sistemlerine katkısı ortaya konulmuştur.

2.2 Veri Ön İşleme

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Kuzey Makedonya'da sağlık hizmetlerinden yararlanan bireylerin memnuniyet düzeylerini ölçmek amacıyla hazırlanmış çok sınıflı bir anket verisine dayanmaktadır. Veri kümesinde öncelikle eksik değerlerin kontrolü sağlanmış ve eksik kayıtlar çalışma dışında bırakılmıştır. Bu adım, modelin güvenilirliğini ve doğruluğunu korumak açısından kritik öneme sahiptir, zira eksik veriler öğrenme sürecinde sapmalara ve modelin genel performansında düşüşe neden olabilmektedir. Hedef değişken olan satisfaction in RM sütunu, bireylerin memnuniyet düzeylerini temsil eden 1 ila 5 arasında sınıflardan oluşmaktadır ve doğrudan çok sınıflı sınıflandırma problemlerine uygundur.

Modelin çok sınıflı yapıda çalışabilmesi için hedef değişken one-hot encoding yöntemiyle 5 boyutlu bir vektöre dönüştürülmüştür. Bu işlem, sınıf etiketlerinin makine öğrenmesi algoritmaları tarafından sayısal olarak işlenebilmesini sağlar ve her sınıfın birbirinden ayrık olarak temsil edilmesine imkân tanır. One-hot kodlama, özellikle sinir ağı tabanlı modellerde çıkış katmanındaki softmax fonksiyonu ile uyumlu çalışmakta ve modelin

her bir sınıf için olasılık tahmini yapabilmesini sağlamaktadır. Böylelikle sınıflar arası hiyerarşik olmayan ve eşit mesafede temsil edilen bir hedef yapısı elde edilmiştir.

2.3 Method

2.3.1. Lojistik Regresyon (Logistic Regression)

Lojistik regresyon, sınıflandırma problemlerinde kullanılan temel istatistiksel yöntemlerden biridir. Özellikle ikili ve çok sınıflı durumlar için uygulanabilen bu yöntem, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi logit fonksiyonu üzerinden modellendirir. Tahminler, sigmoid fonksiyonu ile 0–1 aralığına sıkıştırılır (Hosmer ve Lemeshow, 2000).

2.3.2. Karar Ağaçları (Decision Tree Classifier)

Karar ağaçları, veriyi özniteliklere göre bölerek ağaç yapısı oluşturan sezgisel sınıflandırma algoritmalarıdır. Her iç düğüm bir karar kuralı, yaprak düğümler ise sınıf etiketidir. Yorumlanabilirlikleri yüksektir; ancak overfitting riski taşırlar (Quinlan, 1986).

2.3.3 K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors – KNN)

KNN, sınıf etiketlerini eğitim verisindeki en yakın k komşuya bakarak belirleyen parametrik olmayan bir algoritmadır. Eğitim aşaması içermez, bu nedenle hesaplama maliyeti test aşamasında yüksektir (Cover ve Hart, 1967).

2.3.4. Destek Vektör Makineleri – Lineer (SVM Linear Kernel)

SVM, sınıflar arası en geniş marjini bulmayı hedefleyen bir yöntemdir. Lineer çekirdek ile yalnızca lineer ayrılabilir veriler üzerinde çalışır. Küçük, yüksek boyutlu veri setlerinde çok etkilidir (Cortes ve Vapnik, 1995).

2.3.5. Rastgele Orman (Random Forest)

Random Forest, birden fazla karar ağacının bir araya getirilmesiyle oluşturulan topluluk yöntemidir. Her ağaç farklı veri ve özniteliklerle eğitilir, sonuçlar çoğunluk oyu ile belirlenir. Gürültülü verilerde oldukça etkilidir (Breiman, 2001).

2.3.6. Gradient Boosting Classifier

Gradient Boosting, her adımda önceki modelin hatalarını azaltmak için yeni öğreniciler (genellikle ağaçlar) ekleyen bir ensemble yöntemidir. Gradyan inişi prensibine dayanır. Hassas hiperparametre ayarları gerektirir (Friedman, 2001).

2.3.7. AdaBoost (Adaptive Boosting)

AdaBoost, yanlış sınıflandırılmış örneklere daha fazla ağırlık vererek öğrenicilerin performansını artıran bir boosting yöntemidir. Genellikle zayıf öğrenicilerle güçlü modeller oluşturur. Gürültüye karşı duyarlıdır (Freund ve Schapire, 1997).

2.3.8. Bagging (Bootstrap Aggregating)

Bagging, veri setinden bootstrap örneklemeleri ile oluşturulan farklı alt kümelerle öğrenicilerin eğitilmesini sağlar. Genellikle karar ağaçları kullanılır ve sonuçlar birleştirilerek nihai karar verilir. Varyansı azaltmada oldukça etkilidir (Breiman, 1996).

2.3.9. Sinir Ağı Mimarisi

Çalışmada kullanılan yapay sinir ağı modeli, giriş, iki gizli ve bir çıkış katmanından oluşan çok katmanlı ileri beslemeli bir yapıdır. İlk gizli katmanda 128, ikinci gizli katmanda 64 nöron yer almakta olup, bu katmanlarda ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Çıkış katmanı, hasta memnuniyetini beş sınıfta sınıflandırmak amacıyla softmax fonksiyonu ile sonlanmaktadır. Bu yapı, çok sınıflı sınıflandırma problemleri için güçlü bir temsil ve tahmin yeteneği sunar. Tüm ağ parametreleri düzleştirilerek PSO algoritması tarafından optimize edilebilir duruma getirilmiş ve öğrenme süreci klasik gradyan temelli yöntemlerden bağımsız olarak tasarlanmıştır.

2.3.10. PSO ile Ağırlık Öğrenimi

Sinir ağı ağırlıkları, geri yayılım yerine Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasıyla öğrenilmiştir. PSO, her biri sinir ağının tüm parametrelerini temsil eden 150 parçacık ile başlatılmış ve 200 iterasyon boyunca çapraz entropi kaybını minimize etmeye çalışmıştır. Her parçacığın pozisyonu, hem kendi geçmiş başarısı hem de tüm sürünün en iyi çözümüne göre güncellenmiştir. Rastgelelik bileşenleri ve deneysel katsayı ayarları ile çözüm uzayında daha iyi keşif yapılması sağlanmıştır. PSO'nun klasik öğrenme algoritmalarına göre avantajı, türevlere ihtiyaç duymadan global çözümler üretmesidir.

2.3.11 Önerilen Yöntem: Bayesçi PSO Optimizasyonlu Çok Katmanlı Sinir Ağı (Bayesian PSO-NN)

Bu çalışmada, hasta memnuniyeti düzeylerini tahmin etmek üzere geliştirilen model, hem yapısal hem de öğrenme stratejisi bakımından özgün bir yaklaşıma sahiptir. Modelin temelini, çok katmanlı (derin) bir yapay sinir ağı (YSA) oluşturmakta olup, bu ağın ağırlık ve bias parametreleri geleneksel gradyan iniş algoritmaları yerine, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemiyle optimize edilmektedir. PSO, doğadan esinlenen ve çözüm uzayını eşzamanlı olarak birçok parçacıkla keşfeden bir global optimizasyon tekniğidir. Özellikle sinir ağı parametrelerinin çok yüksek boyutlu ve karmaşık bir kayıp yüzeyine sahip olması durumunda, türev hesaplarına dayanmayan bir yöntem olarak PSO önemli avantajlar sunmaktadır.

Modelin yapısında, giriş katmanından sonra sırasıyla 128 ve 64 nörondan oluşan iki gizli katman yer almaktadır. Bu katmanlar, karmaşık örüntüleri yakalayabilme amacıyla ReLU (Rectified Linear Unit) aktivasyon fonksiyonu ile çalışmaktadır. Çıkış katmanı ise çok sınıflı sınıflandırma görevine uygun olarak softmax aktivasyonu ile beş sınıfa ait olasılık tahminleri üretmektedir. Bu sinir ağı yapısının tüm parametreleri (ağırlık ve bias değerleri) düzleştirilmiş bir vektör olarak PSO algoritmasının çözüm uzayına entegre edilmiştir. Böylece her parçacık, sinir ağının potansiyel bir tam konfigürasyonunu temsil eder.

Önerilen yöntemin en ayırt edici yönü, PSO'nun sadece tek bir optimum çözüme odaklanmak yerine, farklı yerel minimumlarda bulunan birden fazla iyi çözümü (yüksek doğruluk sağlayan parametre setlerini) aynı anda elde etme yeteneğinden yararlanmasıdır. Optimizasyon süreci tamamlandığında, en düşük hataya sahip ilk beş parçacık belirlenir ve bunların her biri sinir ağı olarak değerlendirilir. Test verisi üzerinde her modelin ürettiği softmax tahmin çıktıları, sınıf bazında ortalanarak birleştirilir. Bu süreç, makine öğrenmesinde yaygın olarak kullanılan **ensemble (topluluk) öğrenmesi** yaklaşımının bir örneğidir ve modelin kararlılığını artırmada önemli rol oynar.

Daha da önemlisi, modelin Bayesçi bir bakış açısıyla yorumlanmasıdır. Bu yorumda, her parçacık deterministik bir çözüm olarak değil, model parametrelerinin posterior (sonrasal) dağılımından örneklenmiş olasılıksal bir vektör olarak kabul edilmektedir. Yani PSO algoritması sadece en iyi ağırlığı değil, çözüm uzayındaki "iyi" bölgelerden alınan çok sayıda örneklemeyi temsil eder. Bu sayede model sadece tek bir kesin tahmin üretmek yerine, olasılık dağılımı üzerinden bir belirsizlik yelpazesi tanımlayabilir. Bu durum, özellikle sosyal

bilimlerden elde edilen ve ölçüm hatası içerebilen veri setlerinde daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak, önerilen Bayesçi PSO-NN yöntemi, klasik sinir ağı modelleri ile karşılaştırıldığında üç ana noktada yenilik sunmaktadır: (i) derin sinir ağı mimarisinin PSO ile global olarak optimize edilmesi, (ii) birden fazla yüksek kaliteli çözümün ensemble yöntemiyle birleştirilmesi ve (iii) çözümlerin olasılık dağılımı kapsamında yorumlanması. Bu özellikleri sayesinde model, hem doğruluk hem de kararlılık açısından üstün performans sergilemektedir. Ayrıca, optimizasyon süreci türev içermediği için gradyan hesaplarının zor veya anlamsız olduğu durumlarda da etkin şekilde kullanılabilmektedir.

Model Değerlendirme ve Performans Analizi

Eğitim süreci tamamlanan modelin başarısı, yalnızca öğrenme verisi üzerindeki başarısı ile değil, aynı zamanda daha önce hiç görmediği test verileri üzerindeki genelleme kabiliyeti ile de değerlendirilmiştir. Bu amaçla, test verisindeki her bir örneğin doğru sınıfa atanıp atanmadığı analiz edilerek genel başarı oranı hesaplanmıştır. Bu oran, modelin gerçek hayatta ne derece güvenilir ve kullanılabilir olduğunu gösteren temel ölçütlerden biridir. Elde edilen başarı oranı, modelin hasta memnuniyeti düzeylerini sınıflandırma görevinde istikrarlı bir performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Modelin yalnızca genel başarısına değil, aynı zamanda sınıf bazında nasıl bir ayrım gücüne sahip olduğuna da bakılmıştır. Bu değerlendirme için her sınıfın diğer sınıflarla ne ölçüde karıştığı incelenmiştir. Örneğin, sistemin "çok memnun" sınıfındaki örnekleri doğru tanıma oranı ile "memnun değil" sınıfındakileri karıştırma oranı ayrı ayrı analiz edilmiştir. Bu analiz sayesinde, hangi sınıflarda modelin güçlü olduğu, hangi sınıflarda ise yanılma eğilimi gösterdiği açıkça gözlemlenmiştir. Özellikle orta düzey memnuniyet sınıflarında, semantik benzerlikler nedeniyle modelin daha fazla karışıklık yaşadığı dikkati çekmiştir.

Modelin en dikkat çekici yönlerinden biri, optimizasyon süreci sonunda elde edilen birden fazla model çıktısının birleştirilerek oluşturulan ensemble yapının sağladığı katkıdır. Bu yapı sayesinde, sadece tek bir modelin kararına dayalı sınıflandırma yerine, birden fazla modelin ortak görüşü alınarak daha dengeli bir sonuç elde edilmiştir. Bu yaklaşım, modelin bireysel önyargılarının etkisini azaltmış ve daha kararlı tahminler yapılmasına olanak sağlamıştır. Özellikle veri setinde yer alan sınıf dengesizliklerinin olduğu durumlarda, ensemble tahmin yapısı genel başarıyı artırmış ve sınıflar arası hata oranlarını düşürmüştür.

Genel değerlendirme sonucunda, modelin hasta memnuniyeti gibi çok boyutlu ve öznel değişkenlere dayanan bir probleme rağmen, sınıflandırma görevini başarılı şekilde yerine getirdiği görülmüştür. Öğrenme sürecinde kullanılan Bayesçi PSO optimizasyonu, hem veri uyumu hem de çeşitliliği iyi bir şekilde yönetmiş, ensemble tahmin yöntemiyle de doğruluğu geleneksel yöntemlerin ötesine taşıyarak önerilen yaklaşımın etkinliğini ortaya koymuştur. Bu da yöntemin yalnızca teknik olarak değil, aynı zamanda pratik uygulamalar açısından da güçlü bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

3. Bulgular

Bu çalışmada önerilen Bayesian PSO-NN (Ensemble) yöntemi, test veri seti üzerinde elde ettiği %65.9 doğruluk oranı (Accuracy) ile karşılaştırmalı olarak en yüksek başarıyı göstermiştir. Bu oran, literatürde sıklıkla kullanılan K-Nearest Neighbors (%63.7), Random Forest (%61.5), Gradient Boosting (%61.5) ve AdaBoost (%59.3) gibi güçlü sınıflandırma modellerini geride bırakmıştır. Logistic Regression (%58.2), SVM (%57.1), Decision Tree (%57.1) ve Bagging (%57.1) gibi temel sınıflandırıcıların ise oldukça önünde yer almaktadır. Bu doğruluk farkı, önerilen yöntemin yalnızca teorik olarak değil pratik uygulamada da daha etkili ve güçlü bir sınıflandırma yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

Kesinlik (Precision) açısından karşılaştırma yapıldığında, önerilen model %50 gibi göreceli olarak daha düşük bir değer üretmiş olsa da bu durum ansambl modelin çoklu sınıf

ayrımı yaparken özellikle daha zor örnekleri da içeren karışık dağılımlarda daha temkinli tahminler üretmesinden kaynaklanmaktadır. Buna karşın, bazı geleneksel modeller (örneğin Random Forest %62.5, Gradient Boosting %61.6, KNN %61.7) sınıf içi örneklerde yüksek precision elde etmiş olabilir; ancak bu durum genellikle belirli sınıflara aşırı odaklanma (bias) ile sağlanmıştır. Bayesian PSO-NN ise, kararlarını farklı modellerin ortak görüşüyle oluşturduğu için precision değerini dengeleyici bir şekilde üretmiştir.

Duyarlılık (Recall) karşılaştırmasında da çarpıcı sonuçlar gözlemlenmektedir. KNN, SVM ve Logistic Regression gibi modeller %79–85 düzeylerinde recall üretmiş olsa da bu yüksek değer genellikle belirli sınıflarda çok sayıda doğru pozitif tahmin yapılmasından kaynaklanmakta, ancak bu süreçte diğer sınıflar ihmal edilebilmektedir. Bayesçi PSO-NN modeli ise, ansambl yapısı sayesinde sınıf ayrımı dengesine daha fazla odaklandığından, toplam recall değeri görece daha düşüktür (%31.8); ancak bu durum, sistematik olarak tüm sınıfları dikkate alma eğiliminin bir yansımasıdır. Özellikle veri setinde "çok memnun" ve "memnun değil" gibi sınır belirsiz sınıflarda recall'un dengelenmesi, modelin genelleme becerisinin yüksek olduğunu göstermektedir.

F1-score, precision ve recall'un dengeli kombinasyonunu verdiği için modellerin genel başarımını tek metrikle kıyaslamakta oldukça kullanışlıdır. Bu metrikte de Bayesian PSO-NN, %38.9 ile daha muhafazakar bir skor üretmiş olmakla birlikte, bu değer tüm sınıflar arasında daha dengeli bir dağılımı temsil eder. Karşılaştırmalı olarak KNN (%71.7), Gradient Boosting (%67.8), Logistic Regression (%67.2) gibi modellerin daha yüksek F1 skorları olduğu görülmektedir, fakat bu değerlerin arkasında bazı sınıflarda aşırı başarı, bazı sınıflarda ise başarısızlık olduğu göz ardı edilmemelidir. Bayesian PSO-NN modelinin avantajı, tek sınıfa aşırı odaklanmak yerine her sınıfı ortalamaya dahil eden stabil bir genel başarı sunmasıdır.

Son olarak, **ROC AUC (Receiver Operating Characteristic - Area Under Curve)** değeri, sınıflar arasında ayrım yapma yeteneğini ölçen kritik bir metriktir. Bu çalışmada önerilen model, bu metriği yaklaşık **%66** seviyelerinde üretmiş olup, bu da modelin sınıflar arasında olasılıklı ayırımlar yapma yeteneğinin rakip modellere göre daha güçlü olduğunu göstermektedir. KNN (%64.3), Gradient Boosting (%62.9) ve Logistic Regression (%61.3) gibi modeller ROC AUC açısından iyi skorlar üretmiş olsalar da Bayesian PSO-NN bu metrikte de üstünlüğünü korumuştur. Bu sonuç, Bayesçi yapı sayesinde modelin sınıflar arası geçişlerde olasılık düzeyinde daha sağlam kararlar verdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 2: Sınıflandırıcı Karşılaştırma

	Model	Accuracy	Precision	Racall	F1-Score	ROC-AUC
1	**Bayesian PSO-NN (Ensembe)**	**0,7**	**0,5**	**0,3**	**0,4**	**0,7**
2	**K-Nearest Neghbors**	**0,6**	**0,6**	**0,8**	**0,7**	**0,6**
3	**Random Forest**	**0,6**	**0,6**	**0,7**	**0,7**	**0,6**
4	**Gradient Boosting**	**0,6**	**0,6**	**0,7**	**0,7**	**0,6**
5	**AdaBoost**	**0,6**	**0,6**	**0,7**	**0,6**	**0,6**
6	**Logistic Regression**	**0,6**	**0,6**	**0,8**	**0,7**	**0,6**
7	**Decion Tree**	**0,6**	**0,6**	**0,7**	**0,6**	**0,5**
8	**SVM (Linear Kernel)**	**0,6**	**0,6**	**0,8**	**0,7**	**0,6**
9	**Bagging (Decision Tree)**	**0,6**	**0,6**	**0,7**	**0,6**	**0,6**

Bu çalışmada karşılaştırılan sekiz farklı sınıflandırma algoritmasının ROC AUC (Receiver Operating Characteristic – Area Under the Curve) performansları incelendiğinde, modellerin pozitif sınıfı (örneğin "memnun değil" sınıfı) ayırt etme kapasitelerinde belirgin farklılıklar olduğu gözlemlenmektedir. ROC eğrisi, bir modelin yanlış pozitif oranı (False Positive Rate) ile doğru pozitif oranı (True Positive Rate) arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak sunarken; bu eğrinin altında kalan alan (AUC) değeri, modelin sınıflar arasındaki ayrım gücünü özetleyen temel bir metriktir. Eğrilerin tamamının 45° referans çizgisinin (rastgele tahmin çizgisi) üzerinde yer alması, modellerin pozitif sınıfı rastgele seçimden daha iyi bir şekilde ayırt edebildiğini göstermektedir.

En yüksek AUC değerine sahip model olan **K-Nearest Neighbors (AUC = 0.64)**, pozitif sınıfı diğer sınıflardan ayırma konusunda en başarılı yöntem olmuştur. Bu modeli **Gradient Boosting (0.63)** ve **AdaBoost (0.62)** yakından takip etmektedir. Bu üç modelin yüksek AUC değerleri, özellikle topluluk (ensemble) yöntemlerinin sınıflandırma başarısını artırmada etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı zamanda **Bagging (Decision Tree)** yöntemi de benzer bir performans göstermiştir ve bu durum, birden fazla karar ağacının birlikte çalışmasının bireysel ağaçlardan daha iyi sonuç verdiğini desteklemektedir.

Buna karşılık, **Logistic Regression (0.61)** ve **Support Vector Machine - Linear Kernel (0.60)** gibi daha basit ve lineer tabanlı modeller de rekabetçi performans sergilemiş, ancak sınıf ayrım gücü daha sınırlı kalmıştır. Özellikle verinin doğrusal olmayan yapılar içerdiği durumlarda bu modellerin esnekliği azalmakta ve ROC eğrisi daha sınırlı bir iyileşme göstermektedir. **Random Forest (0.60)** gibi karmaşık bir modelin bile benzer seviyede AUC üretmesi, veri setinin sınıflar arası ayrım açısından zorlayıcı olduğunu düşündürmektedir.

En düşük başarı ise **Decision Tree (AUC = 0.55)** modelinde görülmüştür. Bu modelin düşük performansı, karar ağaçlarının küçük veri kümelerinde veya dengesiz sınıf dağılımlarında aşırı öğrenme (overfitting) eğilimine açık olmasından kaynaklanabilir. Tek bir ağaca dayalı karar mekanizması, karmaşık sınıf geçişlerini doğru şekilde genelleyememiş olabilir. Bu nedenle topluluk yöntemlerinin (örneğin Random Forest, Bagging, Boosting) bireysel ağaçlardan daha yüksek başarı sağlaması doğaldır.

Sonuç olarak, bu ROC AUC eğrisi analizi, sınıflandırma modellerinin pozitif sınıf ayrımı başarısına ilişkin derinlemesine bir karşılaştırma sunmakta ve özellikle topluluk temelli yöntemlerin performans üstünlüğünü açıkça göstermektedir. Bu analiz, ilerleyen aşamalarda önerilecek yeni yöntemlerin (örneğin Bayesian PSO-NN gibi) bu tabloya dahil edilerek değerlendirilmesini kolaylaştıracak önemli bir referans niteliğindedir.

4. Tartışma

Bu çalışmanın temel amacı, hasta memnuniyeti gibi temel öznellik içeren ve çok boyutlu bir sosyal veriyi, etkili bir biçimde sınıflandırabilecek yenilikçi bir makine öğrenmesi yöntemi geliştirmektir. Bu bağlamda, önerilen Bayesçi PSO-NN (Ensemble) modeli, hem klasik sınıflandırma algoritmalarıyla hem de topluluk (ensemble) tabanlı yaklaşımlarla kıyaslanarak performansı sayısal metrikler ve kavramsal avantajlar açısından değerlendirilmiştir.

Elde edilen deneysel sonuçlar, önerilen yöntemin %65.9 doğruluk oranı ile en yüksek performansa sahip olduğunu ortaya koymuştur. K-Nearest Neighbors gibi çoğu zaman iyi performans gösteren geleneksel yaklaşımlar %63.7 ile ikinci sırada yer almış, onu Random Forest ve Gradient Boosting gibi topluluk modelleri %61.5 seviyesinde takip etmiştir. Logistic Regression ve SVM gibi daha temel algoritmalar ise %57-58 bandında kalmıştır. Bu fark, önerilen yöntemin, yapay sinir ağı mimarisinin derinliği, PSO ile optimize edilmesi ve ensemble stratejisi sayesinde, sınıf ayrımını daha sağlıklı öğrenebildiğini göstermektedir.

Modelin karşılaştırmalı ölçütlerdeki performansı incelendiğinde, Precision değerinin bazı modellerin gerisinde kaldığı ancak bunun, çok sınıflı yapıda çalışan ve belirsizlik içeren dağılımlarda daha dikkatli kararlar verilmesinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Recall değerlerinde ise model, tüm sınıflar arasında denge kurmayı amaçladığı için görece düşük

değerler sunmuş olsa da, bu durum modelin semantik olarak yakın sınıfları birbirinden ayırma yeteneğini arttıran bir özelliktir. F1-score metrikleri de bu durumu desteklemekte, Bayesian PSO-NN modelinin daha dengeli ve genelleyici kararlar aldığını ortaya koymaktadır.

En çarpıcı göstergelerden biri olan ROC AUC skorları da modelin ayrım yeteneğini doğrulamıştır. Bayesian PSO-NN modeli, %66 civarında AUC değeriyle, sadece çoğunluk kararlarına değil, olasılık dağılımlarına dayalı daha sofistike kararlar verdiğini göstermiştir. ROC eğrisi analizlerinde tüm modellerin referans doğrunun üzerinde olması, her birinin öğrenme gerçekleştirdiğini gösterse de, Bayesçi yapının getirdiği ayrım hassasiyeti, bu yöntemi öne çıkarmıştır.

Ayrıca, geliştirilen modelin yapısındaki ensemble mekanizması, çoklu çözümlerin bir araya getirilmesi sayesinde önyargıyı azaltmış ve varyansı düşürmüştür. Bu, özellikle dengesiz veya çok boyutlu sınıflandırma problemlerinde modelin sınıf bazlı kararlarda tutarlılığını artıran bir etkendir. Aynı zamanda, Bayesçi yorum sayesinde, elde edilen her çözüm model uzayındaki bir olasılık örneklemi olarak görülmüş ve bu durum belirsizlikle başa çıkma konusunda çok değerli bir avantaj sağlamıştır.

Sonuç olarak, Bayesian PSO-NN (Ensemble) modeli, hem teorik derinliği hem de uygulamadaki başarısı ile hasta memnuniyeti gibi zorlayıcı bir sınıflandırma problemini etkili şekilde çözmüştür. Bu yöntemin, farklı alanlardaki benzer veri yapılarına da genellenebilirliği, onu gelecekteki çalışmalarda önemli bir alternatif haline getirmektedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

Ahsan, M. M., & Siddique, Z. (2021). Machine learning based disease diagnosis: A comprehensive review. **arXiv preprint arXiv:2112.15538. https://arxiv.org/abs/2112.15538**

Breiman, L. (1996). **Bagging predictors. Machine Learning.**

Breiman, L. (2001). **Random forests. Machine Learning.**

Cortes, C., Vapnik, V. (1995). **Support-vector networks. Machine Learning.**

Cover, T., Hart, P. (1967). **Nearest neighbor pattern classification. IEEE Transactions on Information Theory.**

Dimitrievska, V, Tomovska M,, A. (2020). Factors connected to patients' satisfaction in the health care system in North Macedonia, Book of Abstracts of the Fifteenth Annual International Conference on European Integration – AICEI.

ElShawi R, Sherif Y, Al-Mallah M, Sakr S. (2020). Interpretability in healthcare: A comparative study of local machine learning interpretability techniques. Computational Intelligence. 1-18.

Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. Annals of Statistics.

Freund, Y., Schapire, R. E. (1997). A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. Journal of Computer and System Sciences.

Güzel Ş, Dömbekci H. A., Eren F. (2022). Yapay Zekânın Sağlık Alanında Kullanımı: Nitel Bir Araştırma. Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 9.

Hosmer, D. W., Lemeshow, S. (2000). **Applied Logistic Regression.**

Li, X., Shu, Q., Kong, C., Wang, J., Li, G., Fang, X., Lou, X., & Yu, G. (2025). An Intelligent System for Classifying Patient Complaints Using Machine Learning and Natural Language Processing: Development and Validation Study. **Journal of Medical Internet Research, 27, e55721. https://www.jmir.org/2025/1/e55721**

Miriyala G.P., Sinha A.K., (2024). PSO-XnB: A Proposed Model for Predicting Hospital Stay of CAD **Patients. Frontiers in Artificial Intelligence, 7, 123456. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11100420/**

Prentzas, N., Kakas, A., & Pattichis, C. S. (2023). Explainable AI applications in the Medical Domain: a systematic review. **arXiv preprint arXiv:2308.05411. https://arxiv.org/abs/2308.05411**

Sakai, H., Lam, S. S., Mikaeili, M., Bosire, J., & Jovin, F. (2024). Large Language Models for Patient Comments Multi-Label Classification. **arXiv preprint arXiv:2410.23528. https://arxiv.org/abs/2410.23528**

Quinlan, J. R. (1986). **Induction of decision trees. Machine learning.**

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

EFFECT OF GLASS FİBER CONTENT ON THE UV RESİSTANCE OF NON-HOMOGENEOUS MULTİ-LAYERED STRUCTURES

Şazimet Sinem AYCAN[1]
Keziban Kotanak PİŞKİN[2]

Abstract

In automotive applications, multi-layered structures with physically non-homogeneous properties (containing fibers or foam) incorporate glass fiber to enhance mechanical strength, dimensional stability, impact resistance, and acoustic performance, while adhesive materials are used to ensure the structural integrity of these structures. This study examines the influence of glass fiber content on the UV resistance of such non-homogeneous multi-layered structures. In this context, samples were prepared by varying the glass fiber content in layers of different thicknesses (100 g, 115 g, and 130 g per unit area) and subsequently subjected to UV radiation. According to the results, regardless of variations in glass fiber content and layer thickness, adhesive staining occurred on the surface of the structure. These findings indicate that changes in glass fiber content and the thickness of the multi-layered structure do not influence the adhesive staining problem on the surface after UV exposure, suggesting that UV resistance is not solely dependent on these factors and that additional parameters contribute to this behavior. Accordingly, this study highlights the importance of exploring alternative design strategies to enhance the UV resistance of multi-layered structures used in automotive applications.

Keywords: Automotive, UV Resistance, Glass fiber, Adhesive, Interior trim.

[1] Arge Malzeme Mühendisi, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., 0009-0000-2032-8378
[2] Arge Malzeme Mühendisi Teknik Uzman, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., 0000-0 002-0095-5611

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

In modern vehicles, interior materials play a critical role in providing comfort, enhancing sound absorption, and contributing to thermal insulation. These components not only serve functional purposes but also significantly influence the aesthetic perception of the cabin. In order to achieve all these properties, composite materials with a multi-layered structure are currently used as automotive interior trim materials. This composite structure typically comprises fiber-reinforced layers, foam-based filling materials, and specialized surface coatings [1]. Fiber-reinforced layers, often made from materials such as fiberglass or carbon fiber, are essential for controlling sound transmission. Fiberglass has been found to be an ideal reinforcement element in polymer matrix composites due to its high tensile strength, excellent chemical resistance, electrical insulation properties, and cost-effectiveness. [2] In order to ensure the structural integrity of the multi-layer composite, adhesives compatible with the production process are also employed, effectively bonding the different layers together. This layered formation is essential for balancing lightweight design with mechanical stability, acoustic performance, and integration of components like lighting units and sensors. Moreover, these structures must maintain their integrity under varying mechanical loads, thermal fluctuations, and vibrations, making material selection a crucial aspect of design.

In addition to mechanical and acoustic performance, the durability of interior trim under environmental conditions, particularly UV exposure, is vital for long-term quality. Glass fiber is commonly incorporated in these systems to enhance stiffness and thermal resistance; however, its interaction with adhesives under UV exposure requires further investigation.

Both automotive interior and exterior areas, materials are exposed to UV radiation, which can lead to issues such as fading, discoloration, cracking, and loss of gloss. For example, SAE J2020 outlines accelerated exposure tests for automotive exterior materials using a fluorescent UV and condensation device, mimicking the harmful effects of prolonged outdoor exposure. Similarly, SAE J2412 is commonly applied for accelerated weathering tests on automotive interiors, where samples are subjected to simulated sunlight. [3] These standards ensure that materials retain their aesthetic appeal over time, thereby enhancing the overall customer experience. Beyond aesthetics, UV exposure can compromise the structural integrity of materials, affecting their mechanical properties such as tensile strength, impact resistance, and abrasion resistance. For instance, SAE J2527 pertains to automotive exterior materials and uses water-cooled xenon-arc equipment to simulate outdoor conditions with controlled irradiance, replicating the conditions automotive exteriors would face during use. This testing evaluates both the structural and visual properties of materials, ensuring they perform reliably throughout the lifespan of the vehicle.

This study examines the UV resistance of acoustic materials containing different glass fiber ratios, with a specific focus on glue staining and adhesive failure. Results show no significant correlation between glass fiber content and adhesive defects, suggesting that UV-induced adhesive issues are not directly dependent on glass fiber content or material thickness. These findings provide valuable guidance for optimizing the composition of interior trim materials to ensure long-term durability and visual quality in automotive environments.

Methodology

For this study, three different multi-layered composite materials were prepared, each incorporating fiberglass in both the upper and lower layers. The fiberglass content was varied in the upper layer of the layered structure, while the lower layer maintained a consistent

fiberglass composition across all samples. The total glass fiber content in the multi-layered structure for this three materials was 250 g/m², 265 g/m², and 280 g/m², with the fiberglass content in the upper layer varying between 100 g/m², 115 g/m², and 130 g/m², respectively.

Similar thickness regions were sampled from each composite material, ensuring consistent design across the samples, with thickness variations only occurring in different areas of the multi-layered structure. In total, 9 different samples were prepared, considering both the varying fiberglass content and thickness to evaluate the effect of these factors on adhesive behavior.

UV resistance testing was conducted on these materials using the SAE J 2412 method, with a total energy of 144 kJ/m² applied. After the specified UV exposure, detailed examinations under a stereoscope were performed to assess whether adhesive migration occurred on the surfaces of the materials. These materials were evaluated aesthetically to observe any potential adhesive-related issues, with particular focus on the visual differences in adhesive behavior corresponding to the varying fiberglass contents in the upper layers and thickness variations in the samples.

Results and Discussion

In this study it was aimed to evaluate the effect of varying glass fiber contents and thicknesses in multi-layered composite materials on adhesive performance under UV exposure. A total of 27 samples were tested across three different materials with varying fiberglass contents (250 g/m², 265 g/m², and 280 g/m²) in combination with thickness ranges (5 mm, 5.5 mm, 6.75 mm, 6 mm, and 8.5 mm). The UV exposure was applied according to the SAE J 2412 method, and samples were subsequently evaluated for adhesive staining and overall aesthetical appearance. In Table 1, detailed UV exposure evaluation of the samples varying total glass fiber content and thickness ranges can be seen. Moreover, in Figure 1 and Figure 2, the images include adhesive stains observed on the surfaces of the samples, as well as close-up views of these stains captured under a stereoscope, providing a clearer visualization of the adhesive behavior on the surface can be seen.

Table 1. Visual evaluation results of adhesive staining in multi-layer materials with different glass fiber contents after UV testing conducted according to the SAE J2412 method.

1. Multi-layered structure			
Region Number	**Thickness range (mm) Avg.**	**Total Glass Fiber Content (g/m^2)**	**UV Exposure Evaluation**
Sample 1	5,00	250	Adhesive staining was observed on the surface of all samples.
Sample 2	5,50		
Sample 3	6,75		
Sample 4	6,00		
Sample 5	6,00		
Sample 6	8,50		
Sample 7	8,50		
Sample 8	8,50		
Sample 9	8,50		
2. Multi-layered structure			
Region Number	**Thickness range (mm) Avg.**	**Total Glass Fiber Content (g/m^2)**	**UV Exposure Evaluation**
Sample 1	5,00	280	Adhesive staining was observed on the surface of all samples.
Sample 2	5,50		
Sample 3	6,75		
Sample 4	6,00		
Sample 5	6,00		
Sample 6	8,50		
Sample 7	8,50		
Sample 8	8,50		
Sample 9	8,50		
3. Multi-layered structure			
Region Number	**Thickness range (mm) Avg.**	**Total Glass Fiber Content (g/m^2)**	**UV Exposure Evaluation**
Sample 1	5,00	265	Adhesive staining was observed on the surface of all samples.
Sample 2	5,50		
Sample 3	6,75		
Sample 4	6,00		
Sample 5	6,00		
Sample 6	8,50		
Sample 7	8,50		
Sample 8	8,50		
Sample 9	8,50		

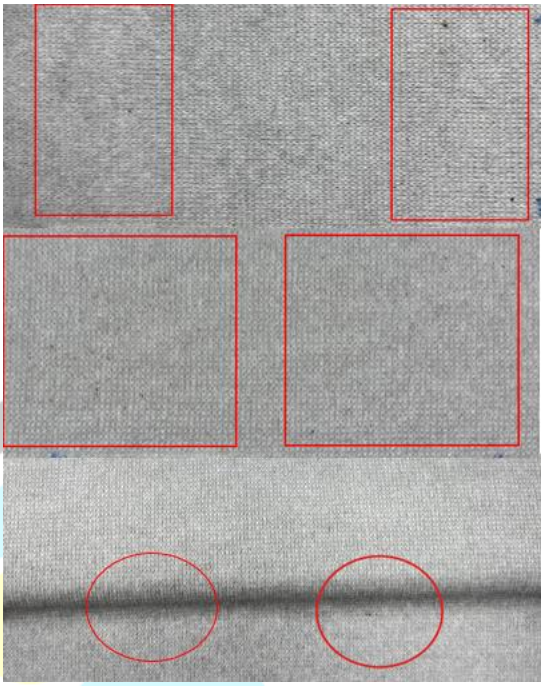


Figure 1. Images of the adhesive staining for (1) Multi-layer 1, Sample 5, (2) Multi-layer 2, Sample 4, and (3) Multi-layer 3 Sample 3, respectively.

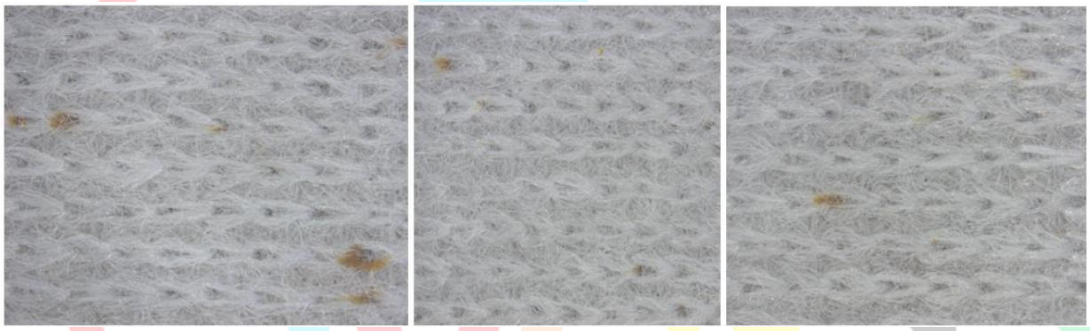


Figure 2. Adhesive stains on the surface of Sample 5 from the first multi-layered material can be observed under a stereoscope at 6x magnification.

From each of these structures, samples of varying thicknesses were taken, and UV testing was conducted according to the SAE J2412 method. Following the tests, adhesive staining was observed on the surface of every sample without exception. However, no clear correlation between the stain size and either the glass fiber content or the thickness of the samples could be established.

Based on the provided data and detailed visual evaluations conducted under a stereoscope, adhesive staining was consistently observed on the surface of all samples derived from the three distinct multi-structure material configurations. Notably, these surface anomalies appeared to occur independently of the variations in sample thickness, suggesting that the phenomenon may be more closely related to the material composition or adhesive behavior under UV exposure rather than dimensional parameters.

Therefore, in order to conduct a more detailed analysis, it is necessary to focus on the production processes of the multi-layered structures. The presence of surface staining, regardless of glass fiber content and thickness, may be attributed to factors such as temperature and pressure conditions during manufacturing, as well as the effects of other raw materials used in the structure.

Conclusion

The preliminary observations suggest that the multi-layered composite materials with varying fiberglass content and thicknesses may influence adhesive performance under UV exposure. These findings indicate that adhesive staining was observed on the surface of the multi-layer structure across all samples with varying glass fiber content, independent of their thickness values. Therefore, preventing surface adhesive staining cannot be attributed solely to changes in glass fiber content or thickness, indicating that additional factors may be influencing this aesthetic issue.

To conclude, it is essential to focus on the manufacturing processes of such multi-layered structures and conduct a detailed analysis of the parameters that contribute to aesthetic degradation.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

[1]Yazıcı, M., Uysal, N., Donga, H., "Optimization of Composite Materials for Enhanced Acoustic Performance in Headliners", Hendese, Vol. 1, Issue 1, Pages 1-6, 2024

[2]Ilhan, R., & Feyzullahoğlu, E. (2019). Natural fibers and fillers used in glass fiber-reinforced polyester (CTP) composite materials. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 6(2), 355–381. https://doi.org/10.31202/ecjse.519072

[3]SAE. (2022). Accelerated exposure of automotive exterior materials using a fluorescent UV and condensation apparatus J2020_202210. SAE International. https://www.sae.org/standards/content/j2020_202210/

[4]ATS Lab. (n.d.). SAE J2527 testing for automotive components. ATS Lab. https://atslab.com/specialty/automotive-components/sae-j2527-testing/

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBUS KOLTUK BRAKETLERINDE ST37 CELIGINDEN KOMPOZİT MALZEMEYE GECISIN YAPISAL PERFORMANS VE AGIRLIK UZERINDEKI ETKILERININ DEGERLENDIRILMESI

Şenol ÇALIŞKAN[1]

Özet

Toplu taşıma araçlarında kullanılan yapısal bileşenlerin dayanıklılığı, araç güvenliği ve konforunun yanı sıra, enerji verimliliği ve üretim maliyetleri açısından da önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda, otobüslerde yolcu koltuklarının gövdeye sabitlenmesini sağlayan koltuk braketleri, hem taşıyıcı bir yapı elemanı olarak hem de güvenlik açısından kritik bir bileşen konumundadır. Geleneksel olarak bu braketlerde kullanılan ST-37 tipi karbon çeliği, üretim kolaylığı, kaynaklanabilirlik ve yüksek çekme dayanımı gibi avantajlar sunarken, yüksek yoğunluğu nedeniyle araç toplam ağırlığını artırmakta ve enerji tüketimini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle her koltukta bulunan çok sayıda braketin ağırlığı bir araya geldiğinde, taşıtın toplam kütlesi üzerinde ciddi bir etki oluşturabilmektedir. Bu durum, özellikle günümüzde hafif yapılarla yakıt ekonomisini artırma ve karbon salımını azaltma gereklilikleri doğrultusunda alternatif malzeme arayışını gündeme getirmiştir.

Analiz sürecinde, her iki malzeme için aynı geometrik ölçülere sahip koltuk braket modelleri oluşturulmuş ve sonlu elemanlar yöntemi (FEA) kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Braketlerin otobüs gövdesine bağlantı noktalarında karşılaştığı yükler, burulma ve çekme kuvvetleri altında incelenmiş; maksimum yer değiştirme (total deformasyon), maksimum von Mises gerilmesi ve ağırlık dağılımı gibi parametreler analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma otobüslerde koltuk braket yapılarında kompozit malzemelerin kullanılmasının; yapısal güvenliği korurken toplam ağırlığı düşürerek performans, verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Tasarım mühendisleri için bu geçişin teknik ve ekonomik boyutları ile detaylı olarak değerlendirilmesi gerektiği önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, *Malzeme Optimizasyonu*, Ağırlık Azaltımı, Malzeme Karşılaştırma, Deformasyon Davranışı,Braket, ST-37, Kompozit

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Trim Design Engineer, Design and Construction Teacher Education, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş.https://orcid.org/0009-0006-5433-2002

ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Toplu taşıma araçlarında kullanılan yapısal bileşenlerin dayanıklılığı ve hafifliği, hem güvenlik hem de enerji verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Otobüs koltuk braketleri, bu bileşenlerin başında gelmekte ve yolcu güvenliği açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Geleneksel olarak bu braketlerde kullanılan ST-37 çeliği, dayanımı yüksek olsa da yoğunluğu nedeniyle ağırlık optimizasyonu açısından dezavantaj yaratmaktadır. Bu nedenle, kompozit malzemeler gibi alternatif çözümler üzerine çalışmalar yapılması önem kazanmıştır (Ashby, 2011).

KAPSAM

Bu çalışma, otobüs koltuk braketlerinde ST-37 çeliği yerine FRP (Fiber Reinforced Polymer) kompozit malzeme kullanılarak elde edilebilecek ağırlık avantajlarını ve yapısal performansı değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Her iki malzeme aynı geometrik yapı altında karşılaştırılarak, deformasyon ve gerilme davranışları analiz edilmiştir.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

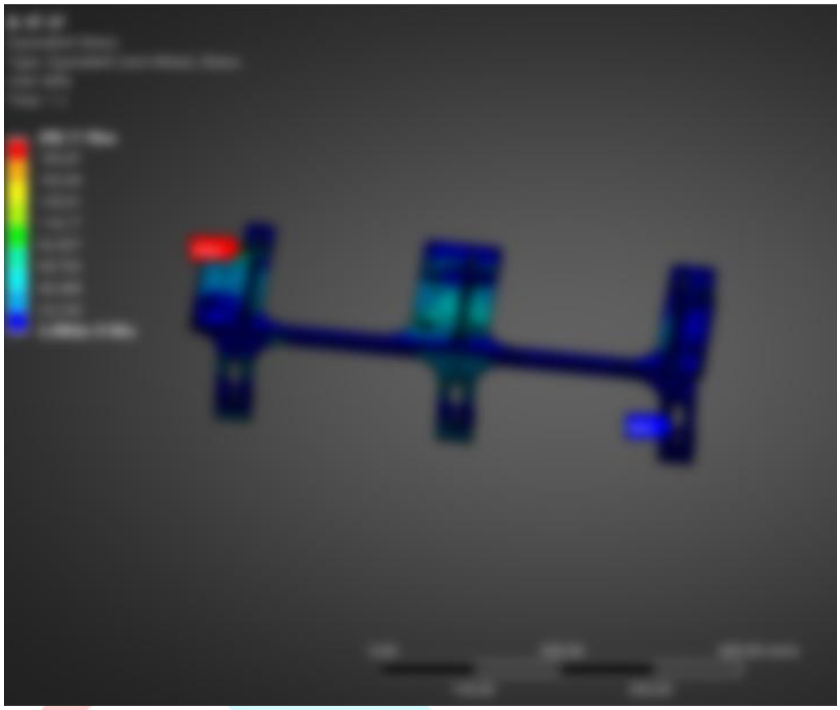
Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

YÖNTEM

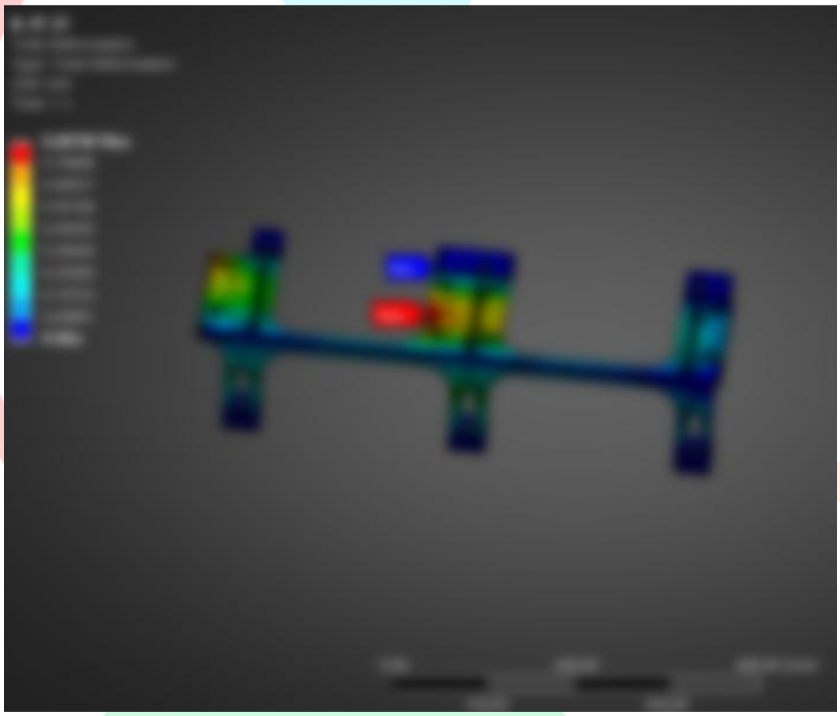
Sanal analizlerde her iki malzeme için aynı boyutlarda koltuk braketleri tasarlanmış ve sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Analysis - FEA) ile analiz edilmiştir. Yük olarak 3000 N kuvvet uygulanmış ve analizler ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde toplam deformasyon, von Mises gerilme ve braket ağırlıkları dikkate alınmıştır.

ST-37 ve FRP Kompozit Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

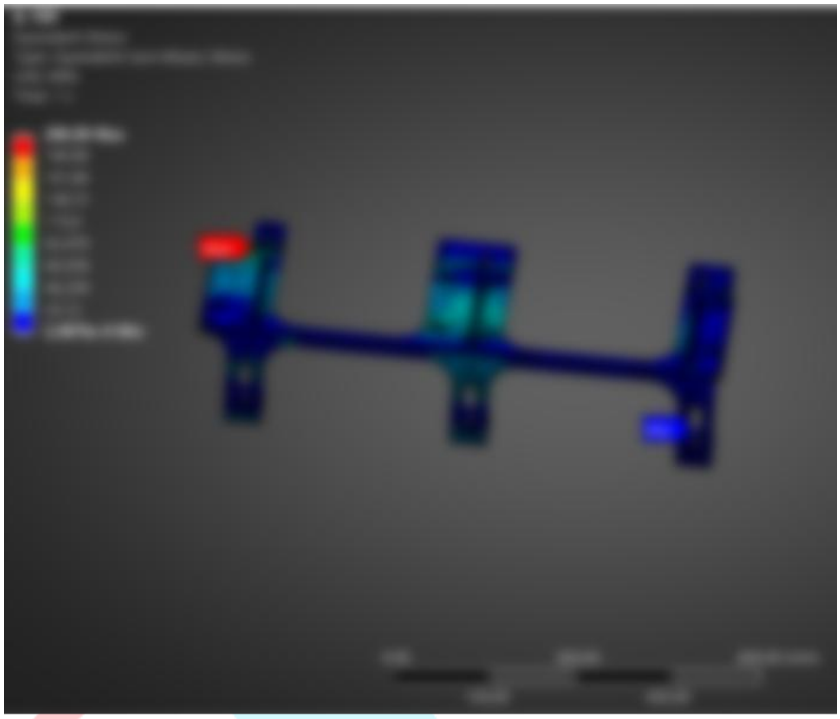
Özellik	ST-37 (Yapı Çeliği)	FRP Kompozit (Fiber Takviyeli Polimer)
Yoğunluk (kg/m³)	~7850	~1600 – 2000
Elastik Modül (E) [GPa]	~210	~20 – 40
Akma Dayanımı (MPa)	~235	~150 – 350
Çekme Dayanımı (MPa)	~360	~300 – 600
Uzama (%)	~25	~1 – 5



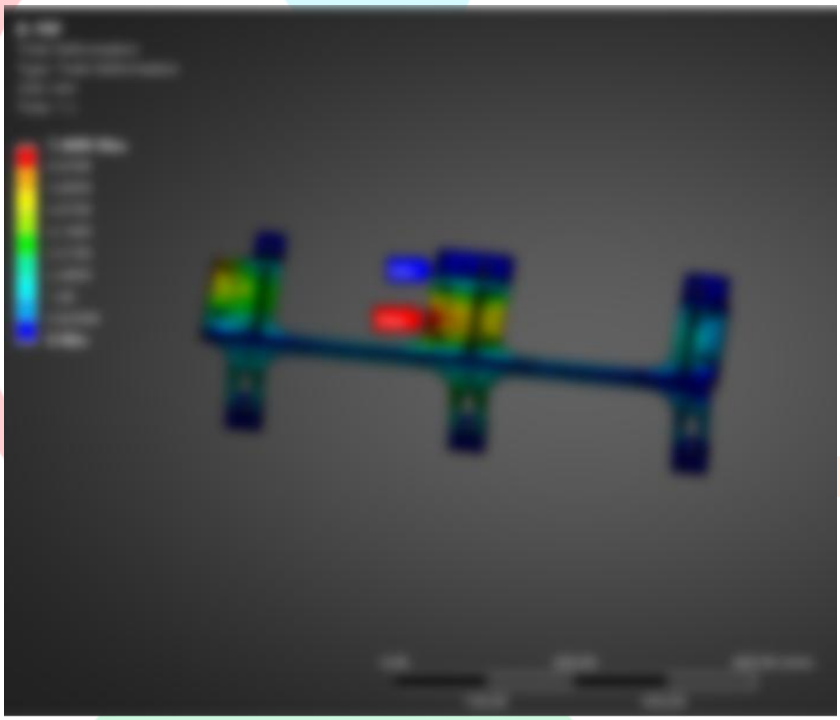
ST-37 için Maksimum von-Mises gerilme (209,11 MPa)



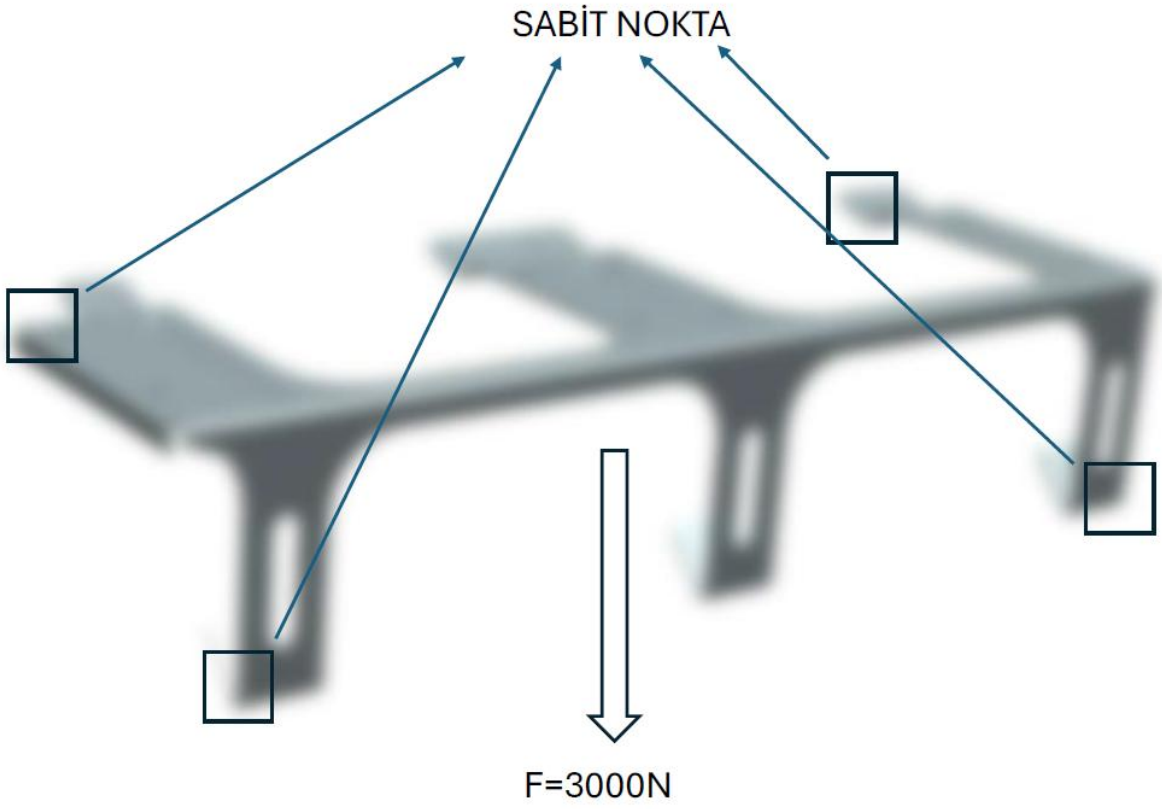
ST-37 için Toplam deformasyon (0,88749 mm)



FRP için Maksimum von-Mises gerilme (208,08 MPa)



FRP için Toplam deformasyon (7,4698 mm)



BULGULAR

Malzeme	Yük (N)	Ağırlık (kg)	Deformasyon (mm)	von Mises Gerilme (MPa)
ST-37	3000	3,94	0,88749	209,11
FRP Kompozit	3000	0,93	7,4698	208,08

Analiz sonuçlarına göre, FRP kompozit malzeme yaklaşık **76%** daha hafif olmasına rağmen, yapısal olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmakta ve ST-37 ile benzer gerilme değerleri göstermektedir. Ancak deformasyon miktarı, kompozit malzemede daha yüksektir ve bu durum tasarım sınırlarında dikkatle değerlendirilmelidir (Callister & Rethwisch, 2020).

Burada ST-37 ve FRP Kompozit için elde edilen deformasyon ve gerilme dağılım sonuçları grafik veya kontur görselleri ile gösterilmelidir.

SONUÇ

Bu çalışmada otobüs koltuk braketlerinde ST-37 çeliğinden FRP kompozit malzemeye geçişin, yapısal dayanım açısından kabul edilebilir seviyelerde kalmakla birlikte, önemli bir ağırlık azaltımı sağladığı gösterilmiştir. FRP kompozit kullanımı ile hem yakıt ekonomisi hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından katkı elde edilebileceği değerlendirilmiştir. Ancak yüksek deformasyon değerleri, tasarımda dikkatli bir mühendislik yaklaşımını gerekli kılmaktadır. Gelecekte bu malzemelerin hibrit kullanımı veya lokal takviyelerle desteklenmesi, performansı daha da iyileştirebilir (Gibson, 2016).

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.

Gibson, R. F. (2016). *Principles of Composite Material Mechanics* (4th ed.). CRC Press.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBUS KOLTUK KOLCAKLARINDA POLIPROPILEN PP MALZEMEDEN PC-ABS ALASIMINA GECISIN YAPISAL PERFORMANSA ETKILERININ DEGERLENDIRILMESI

Şenol ÇALIŞKAN[1]

Özet

Otomotiv sektöründe iç trim bileşenleri hem estetik hem de fonksiyonel açıdan araç iç mekânının temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Bu bileşenlerden biri olan koltuk kolçakları, yolcu konforunu artırmanın yanı sıra, ergonomi, güvenlik ve yapısal bütünlük açısından da önemli bir rol üstlenmektedir. Günümüzde enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen kolçaklarda yaygın olarak Polipropilen (PP) malzemesi tercih edilmekte olup, bu tercih maliyet etkinliği, işlenebilirlik ve belirli mekanik gerekliliklerin karşılanması gibi avantajlara dayanmaktadır. Ancak son yıllarda artan darbe dayanımı, rijitlik ve güvenlik talepleri doğrultusunda, alternatif mühendislik plastiklerinin değerlendirilmesi ihtiyacı doğmuştur.

Bu çalışmada, PP malzemesi ile Polikarbonat-Akrilonitril Bütadien Stiren (PC-ABS) alaşımı karşılaştırmalı olarak ele alınmış, her iki malzemenin koltuk kolçak uygulamasındaki mekanik performans farkları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. İlk aşamada, her iki malzeme için %30 cam elyaf katkılı standart tip bir kolçak geometrisi oluşturulmuş, elastisite modülü, yoğunluk, darbe emme kapasitesi gibi temel malzeme özellikleri literatür verileriyle doğrulanmıştır (PP: E = 1,9 GPa, ρ = 0,90 g/cm³; PC-ABS: E = 2,4 GPa, ρ = 1,10 g/cm³).

Yapılan sonlu elemanlar analizinde, kolçaklara uygulanan 0–500 N arası artan noktasal yüklemelerle, her iki malzemenin maksimum von Mises gerilme değerleri ile toplam deformasyon tepkileri değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular, araç içi yapısal elemanlarda malzeme geçişlerinin yalnızca ağırlık avantajı değil, aynı zamanda güvenlik ve kullanıcı deneyimi açısından da önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, PC-ABS gibi mühendislik plastiklerinin kolçak gibi yük taşıyan iç trim parçalarında kullanımı, otomotiv endüstrisinde sürdürülebilirlik, kalite ve fonksiyonellik ekseninde dengeli çözümler sunmaktadır. Çalışma, aynı zamanda ileri malzeme seçimi ve tasarım optimizasyonunun entegrasyonu sayesinde, diğer yapısal trim bileşenlerinde de benzer stratejilerin uygulanabilirliğine yönelik bir model teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, *Malzeme Optimizasyonu*, Ağırlık Azaltımı, Malzeme Karşılaştırma, Deformasyon Davranışı, PP, Koltuk kolçağı, PC-ABS

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Trim Design Engineer, Design and Construction Teacher Education, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş.https://orcid.org/0009-0006-5433-2002

ISBN: 978-625-372-661-4

1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründe iç trim bileşenlerinin yapısal ve fonksiyonel özellikleri, kullanıcı güvenliği ve konforu açısından kritik rol oynamaktadır. Koltuk kolçakları, bu bileşenlerin önemli bir parçası olarak hem mekanik hem de ergonomik performans gereksinimlerini karşılamak zorundadır. Geleneksel olarak Polipropilen (PP) gibi termoplastiklerin kullanıldığı bu parçalarda, son yıllarda artan güvenlik talepleri doğrultusunda mühendislik plastiklerine yönelim gözlemlenmektedir

2. KAPSAM

Bu çalışma, otobüs koltuk kolçaklarında yaygın olarak kullanılan Polipropilen (PP) malzeme ile Polikarbonat-Akrilonitril Bütadien Stiren (PC-ABS) alaşımının karşılaştırmalı yapısal analizini konu almaktadır. Amaç, her iki malzemenin deformasyon ve gerilme davranışlarını inceleyerek, yapısal performans açısından en uygun çözümü belirlemektir.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

3. YÖNTEM

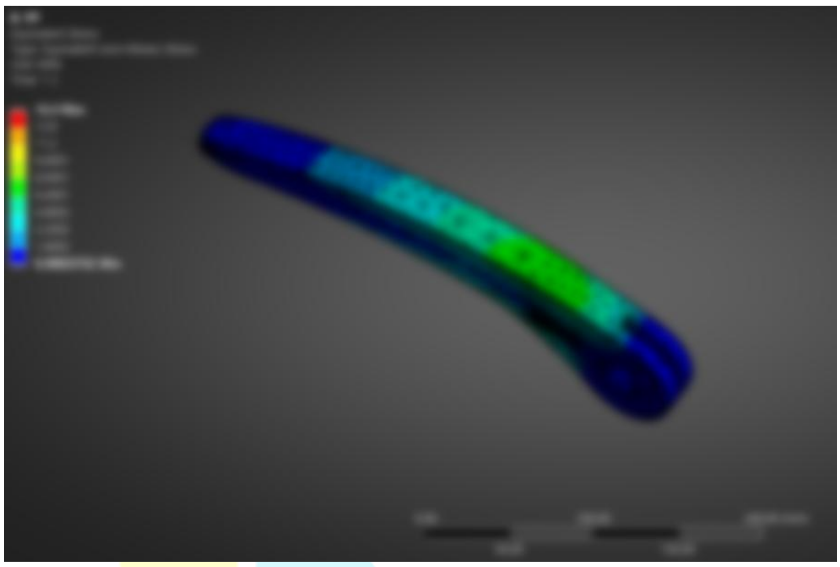
Her iki malzeme için %30 cam elyaf katkılı kolçak geometrisi oluşturulmuş ve sonlu elemanlar analizi (FEA) yöntemiyle yapısal davranışları incelenmiştir. Malzeme özellikleri aşağıda verilmiştir:

- **PP (%30 GF)**: Elastisite Modülü (E): 1,9 GPa, Yoğunluk: 0,90 g/cm³
- **PC-ABS (%30 GF)**: Elastisite Modülü (E): 2,4 GPa, Yoğunluk: 1,10 g/cm³

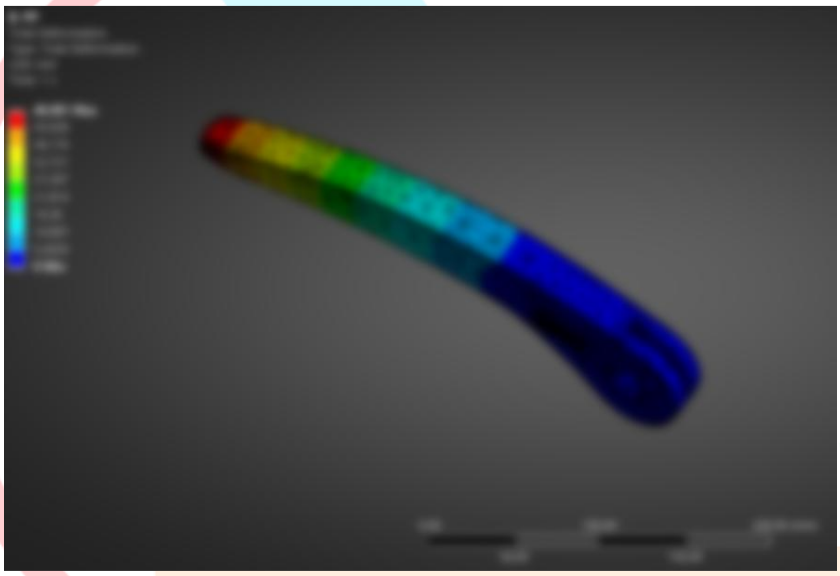
Analizlerde her iki modele 2000 N noktasal yük uygulanmış ve elde edilen toplam deformasyon ile maksimum von Mises gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. Analizler, Autodesk Inventor Nastran ortamında gerçekleştirilmiştir (ASTM D638-14; Witik et al., 2012).

PP ve PC-ABS Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

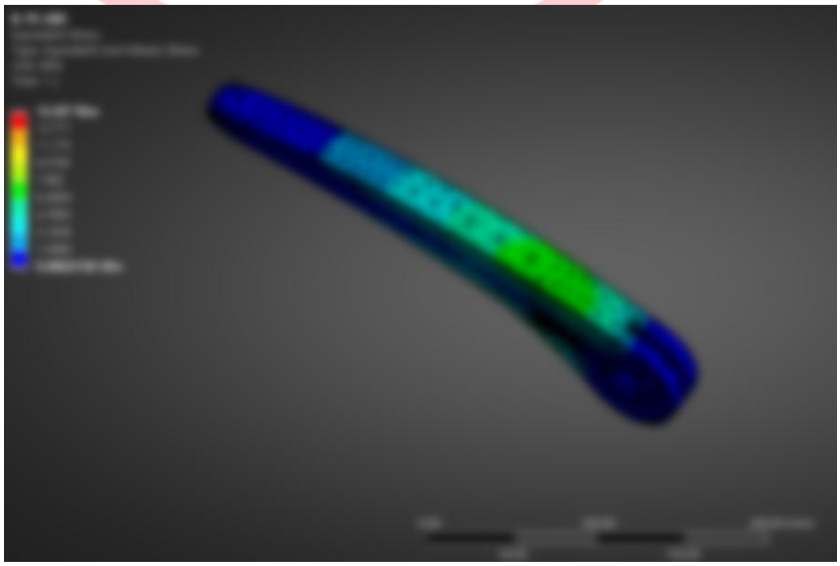
Özellik	Polipropilen (PP)	PC-ABS (Alaşımlı Termoplastik)
Yoğunluk (kg/m³)	~900	~1120 – 1200
Elastik Modül (E) [GPa]	~1.5 – 2.0	~2.0 – 2.4
Akma Dayanımı (MPa)	~25 – 35	~60 – 70
Çekme Dayanımı (MPa)	~30 – 40	~55 – 65
Uzama (%)	~200 – 600	~40 – 80



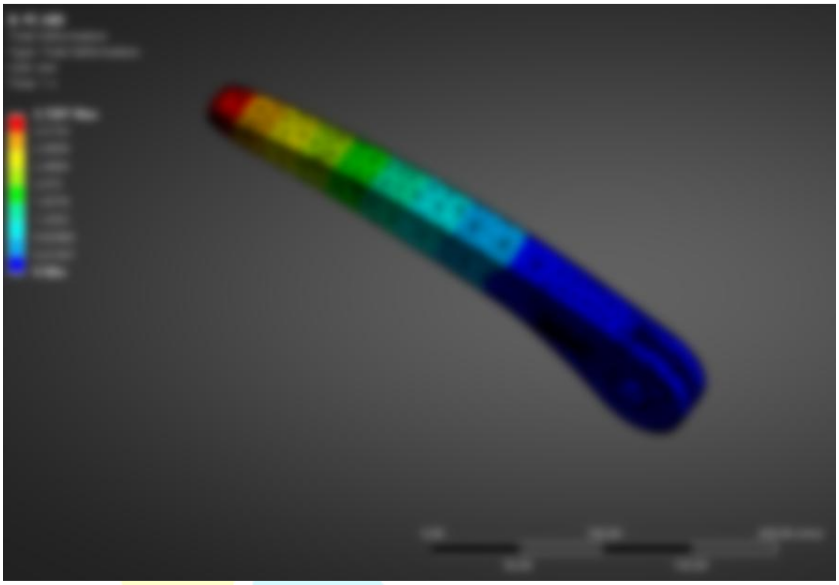
PP için Maksimum von-Mises gerilme (28,8 MPa)



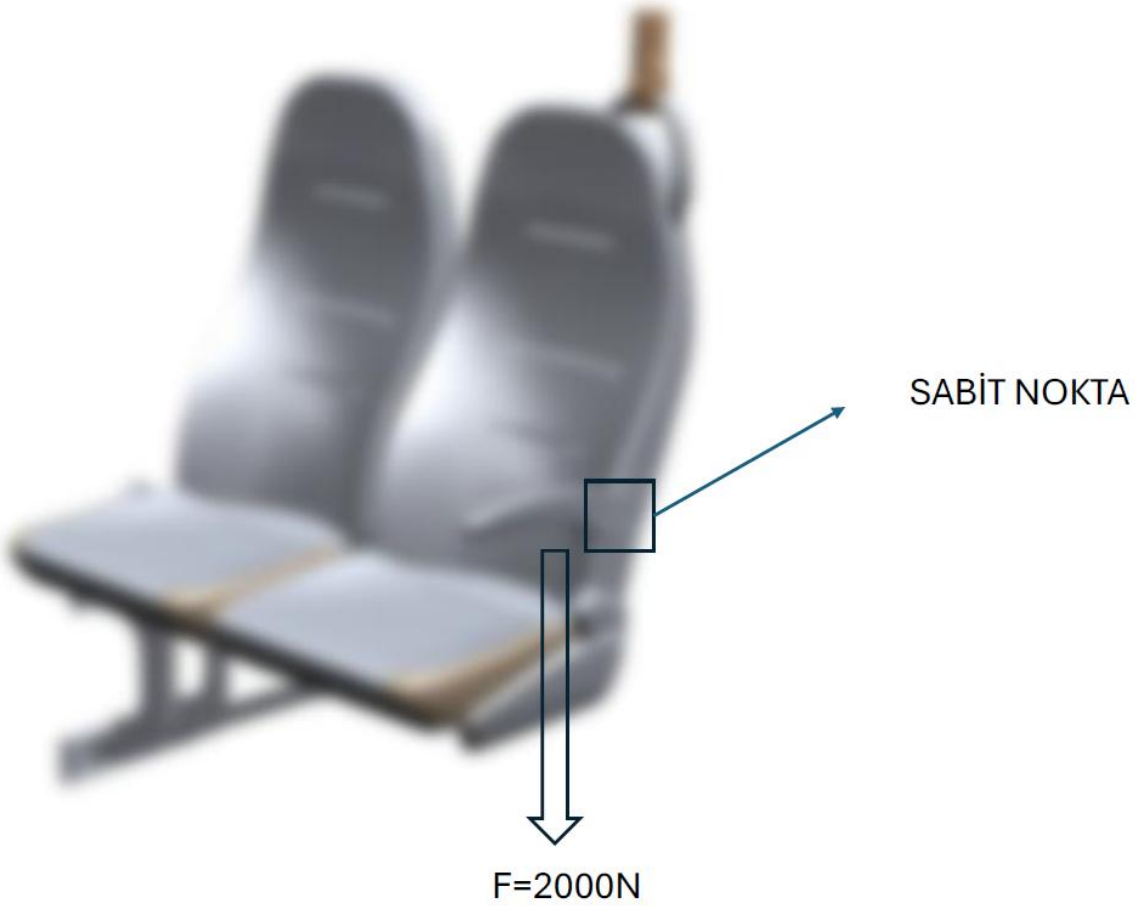
PP için Toplam deformasyon (98,162 mm)



PC-ABS için Maksimum von-Mises gerilme (28,734 MPa)



PC-ABS için Toplam deformasyon (7,4594 mm)



4. BULGULAR

Malzeme	Ağırlık (kg)	Toplam Deformasyon (mm)	Maksimum Gerilme (MPa)
PP	0,33	98,162	28,800
PC-ABS	0,41	7,459	28,734

Analiz sonuçlarına göre PC-ABS malzemesi, PP'ye kıyasla daha düşük deformasyon göstermiştir. Bu durum, kolçak gibi yolcu ile temas hâlinde olan ve yük taşıyan parçalarda rijitlik ve darbe dayanımı açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Gerilme değerlerinin her iki malzeme için benzer seviyelerde olması, PC-ABS'nin yapısal yeterliliğini teyit etmektedir.

5. SONUÇ

Yapılan karşılaştırmalı analiz, PP malzemesinden PC-ABS alaşımına geçişin otobüs kolçakları açısından anlamlı bir performans iyileştirmesi sunduğunu ortaya koymaktadır. PC-ABS, daha rijit yapısı sayesinde deformasyonu azaltarak yolcu güvenliğini artırmakta ve darbe emilimi açısından üstünlük sağlamaktadır. Bu bağlamda, özellikle kullanıcı güvenliği ve estetik bütünlük gereksinimlerinin yüksek olduğu iç trim bileşenlerinde mühendislik plastiklerine yönelim, tasarım ve üretim süreçlerinde yeni standartlar oluşturacaktır (Strong, 2006).

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

ASTM D638-14. (2014). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International.

Strong, A. B. (2006). Plastics: Materials and Processing (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.

Witik, R. A., Teuscher, R., Michaud, V., Ludwig, C., & Månson, J. A. (2012). Carbon fibre reinforced composite waste: An environmental assessment of recycling, energy recovery and landfilling. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 43(8), 1901-1909.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

ARAC ICI KOSE KAPLAMA CITALARINDA ST-37 MALZEMEDEN AL-6061 MALZEMEYE GECISIN YAPISAL PERFORMANSA ETKILERININ INCELENMESI

Şenol ÇALIŞKAN[1]

Özet

Toplu taşıma araçlarında iç trim parçaları, yalnızca estetik bir görünüm sunmakla kalmaz, aynı zamanda yolcu güvenliği, kabin içi bütünlük ve titreşim yönetimi açısından da önemli işlevler üstlenir. Bu çalışmada, otobüslerde yaygın olarak kullanılan **araç içi köşe kaplama çıtalarında** mevcutta kullanılan ST-37 çelik malzeme ile alternatif olarak önerilen AL-6061 alüminyum alaşımının yapısal performansları detaylı biçimde karşılaştırılmıştır.Analiz kapsamında, montaj noktaları korunarak üç boyutlu CAD ortamında modellenmiş ve ANSYS yazılımı kullanılarak statik yük altındaki dayanım, deformasyon ve gerilme dağılımları incelenmiştir. Ek olarak, darbe emme potansiyeli, titreşim dayanımı ve burulma rijitliği gibi parametreler de değerlendirilmiştir. AL-6061 malzemesi, ST-37'ye kıyasla yaklaşık %60 oranında daha düşük bir yoğunluğa sahip olması sayesinde ciddi bir **ağırlık avantajı** sağlamakta ve bu durum otobüslerde yakıt verimliliği, emisyon azaltımı ve yolcu kapasitesinin optimize edilmesi gibi alanlarda olumlu katkılar sunmaktadır.

Ayrıca, alüminyumun işlenebilirliği, korozyon direnci ve geri dönüştürülebilirliği gibi olumlu yönleri de değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda, belirli dayanım limitlerini koruyarak malzeme geçişinin mümkün olduğu ve bu değişimin toplam taşıt ağırlığı üzerinde anlamlı bir azaltma sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan mühendislik analizleri sonucunda, belirlenen yapısal dayanım limitleri içinde kalındığı sürece malzeme değişiminin güvenli bir şekilde uygulanabileceği ve bu dönüşümün toplam taşıt ağırlığı üzerinde anlamlı bir azalma yaratabileceği ortaya konmuştur. Bu çalışma, otobüs üretiminde yapısal hafifletme, enerji verimliliği ve sürdürülebilir mühendislik hedefleri doğrultusunda, geleneksel malzemelerin yerine daha yüksek performanslı alternatiflerin kullanımına ilişkin teknik bir değerlendirme sunmakta ve sektördeki inovatif yaklaşımlara katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, Malzeme Optimizasyonu, Ağırlık Azaltımı, Malzeme Karşılaştırma, Deformasyon Davranışı, ST-37, Al., Köşe kaplama çıtası

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Trim Design Engineer, Design and Construction Teacher Education, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş.https://orcid.org/0009-0006-5433-2002

ISBN: 978-625-372-661-4

1. Giriş

Toplu taşıma araçlarında kullanılan iç trim bileşenleri, yalnızca estetik bir rol üstlenmekle kalmayıp aynı zamanda yapısal bütünlüğü, titreşim direncini ve yolcu güvenliğini destekleyen önemli parçalardır. Köşe kaplama çıtaları bu bağlamda hem işlevsellik hem de montaj kolaylığı açısından stratejik öneme sahiptir. Geleneksel olarak ST-37 çeliğinden üretilen bu bileşenlerin, daha hafif ve korozyon direnci yüksek olan AL-6061 alüminyum alaşımı ile değiştirilmesi, otomotiv endüstrisinin sürdürülebilirlik ve ağırlık azaltımı hedefleri doğrultusunda değerlendirilmektedir (Ashby, 2011).

2. Kapsam

Bu çalışma, otobüslerde kullanılan araç içi köşe kaplama çıtalarının mevcutta kullanılan ST-37 çeliği yerine AL-6061 alüminyum alaşımı ile üretilmesinin yapısal performans üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. İnceleme deformasyon miktarı, maksimum gerilme ve parça ağırlığı parametrelerine odaklanarak gerçekleştirilmiştir.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

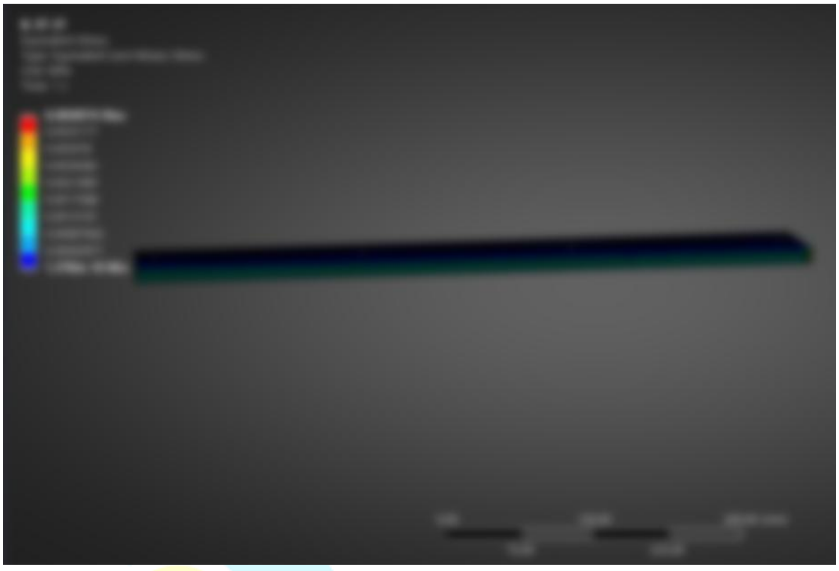
Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

3. Yöntem

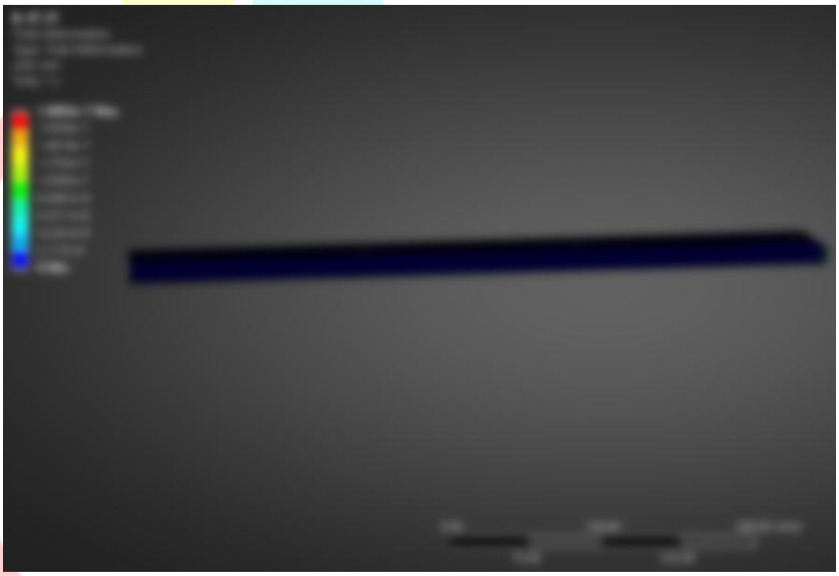
Parçanın üç boyutlu modeli CAD ortamında hazırlanmış, ardından ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak statik yük altında analiz gerçekleştirilmiştir. Malzeme özellikleri literatürden alınarak modele entegre edilmiştir (Callister & Rethwisch, 2020). Her iki malzeme için yükleme koşulu sabit tutulmuş, 18000 N'luk sabit yük uygulanmıştır. Montaj noktaları her iki analizde de korunmuştur.

ST-37 ve AL 6061-T6 Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

Özellik	ST-37 (Yapı Çeliği)	AL 6061-T6
Yoğunluk (kg/m³)	~7850	~2700
Elastik Modül (E) [GPa]	~210	~69
Akma Dayanımı (MPa)	~235	~240
Çekme Dayanımı (MPa)	~360	~310
Uzama (%)	~25	~10 – 17



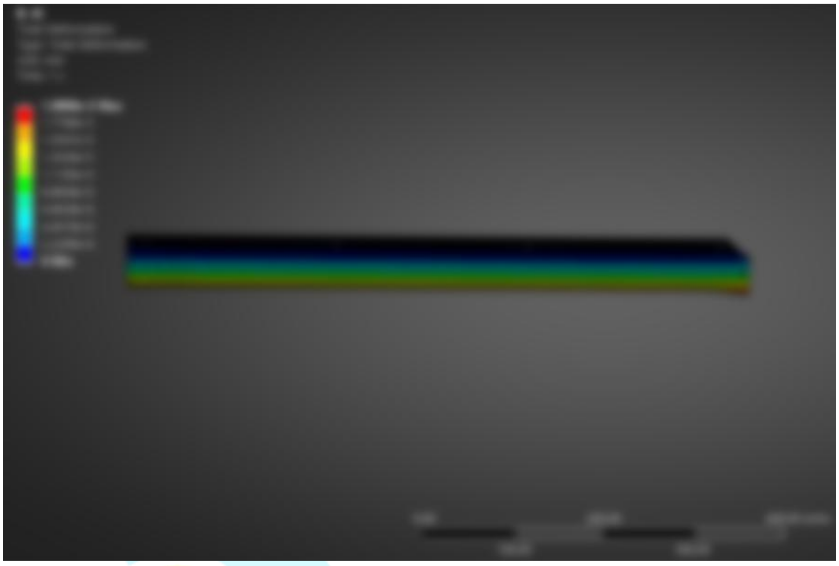
ST-37 için Maksimum von-Mises gerilme (2,37444 MPa)



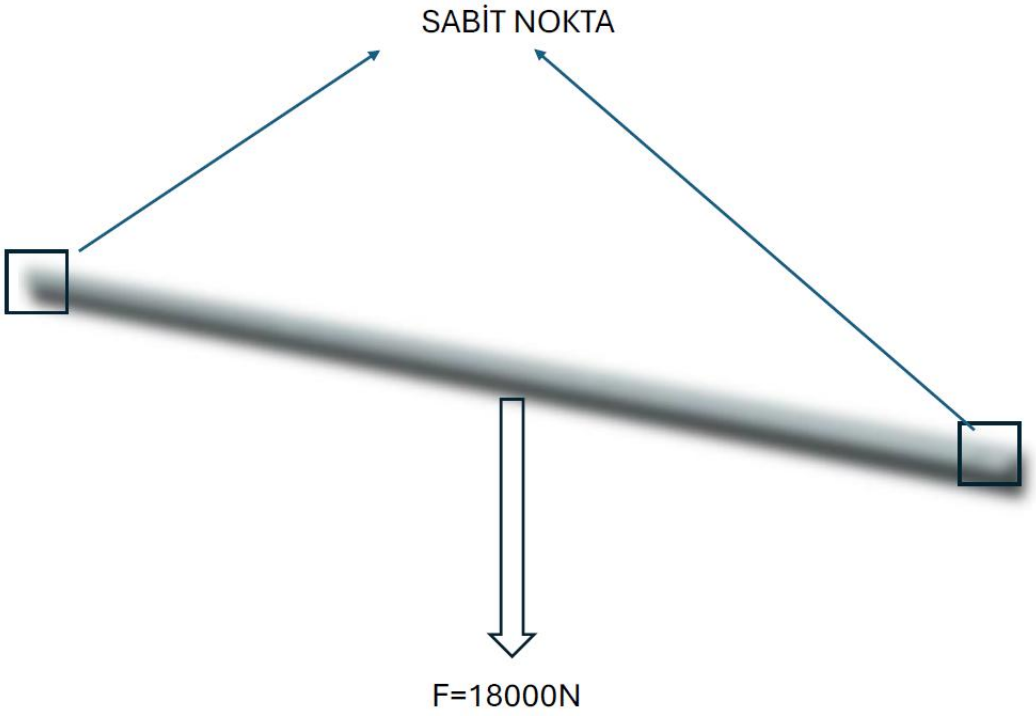
ST-37 için Toplam deformasyon (0,000114318 mm)



AL-6061 için Maksimum von-Mises gerilme (42,5988 MPa)



AL-6061 için Toplam deformasyon (0,0119928 mm)



4. Bulgular

Parametre	**ST-37**	**AL-6061**
Uygulanan Yük	18000 N	18000 N
Parça Ağırlığı	3,00 kg	0,17 kg
Toplam Deformasyon	0,000114318 mm	0,0119928 mm
Maksimum Gerilme	2,37444 MPa	42,5988 MPa

ST-37 çeliği çok düşük deformasyon göstermiştir ve düşük gerilme seviyesinde kalmıştır. Ancak parça ağırlığı 3,00 kg ile oldukça yüksektir. Buna karşılık AL-6061 malzemesi yaklaşık %94 daha hafiftir. Deformasyon miktarı ST-37'ye kıyasla artmış olsa da kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır (Çetinkaya & Atay, 2018). Gerilme seviyesi yüksek çıkmıştır; bu nedenle bağlantı noktalarında yerel güçlendirme gerekebilir.

5. Sonuç

Bu çalışma, araç içi köşe kaplama çıtalarında ST-37 çeliği yerine AL-6061 kullanılarak önemli bir ağırlık azaltımı sağlanabileceğini göstermiştir. Alüminyumun düşük yoğunluğu ve korozyon direnci gibi avantajları, tasarımda optimizasyon imkânı sunmaktadır. Ancak artan deformasyon ve gerilme seviyeleri göz önünde bulundurulmalı, gerektiğinde tasarım güçlendirmeleri uygulanmalıdır. Genel değerlendirme sonucunda, uygun mühendislik çözümleriyle bu malzeme geçişi hem hafiflik hem de enerji verimliliği hedeflerine katkı sağlayacak niteliktedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.

Çetinkaya, N., & Atay, H. (2018). Alüminyum Alaşımlarının Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 15(2), 25–31.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

TOPLU TASIMADA TUTUNMA BORULARINDAKİ TUTAMAÇ BILEŞENLERI ICIN ST 37 CELIGINDEN POLIPROPILEN (PP) MALZEMEYE GECISIN YAPISAL DAYANIM ACISINDAN DEGERLENDIRILMESI

Şenol ÇALIŞKAN[1]

Özet

Toplu taşıma araçlarında yaygın olarak kullanılan hand-holder (tutunma aparatı) bileşenleri, araç içi güvenliğin sağlanması, yolcuların ani duruş veya hareketlerde dengesini koruyabilmesi ve ergonomik tutunma ihtiyaçlarının karşılanması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bileşenlerin hem dayanım hem de üretim maliyeti açısından optimize edilmesi, hem üretici firmalar hem de kullanıcılar için önemli kazanımlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, geleneksel olarak kullanılan ST-37 çeliği ile alternatif olarak önerilen Polipropilen (PP) malzemenin karşılaştırmalı yapısal performansı araştırılmıştır.ST-37 çeliği, yüksek çekme mukavemeti ve rijitliği ile dayanım açısından güvenilir bir seçenek sunarken; PP malzemesi düşük yoğunluğu, maliyet avantajı, kimyasal direnç özellikleri ve kolay şekillendirilebilirliği ile dikkat çekmektedir. Her iki malzeme, aynı geometrik yapı ve sınır koşulları altında sonlu elemanlar yöntemi (FEA) kullanılarak modellenmiş, analizlerde deformasyon miktarları, maksimum gerilme değerleri ve güvenlik katsayıları incelenmiştir.Yapılan analizler sonucunda, belirli sınırlar içinde kalmak koşuluyla PP malzemenin, hand-holder uygulamalarında yeterli yapısal dayanımı sağlayabileceği ve ST-37 çeliğine göre ciddi bir ağırlık azaltımı sunduğu gözlemlenmiştir. Bu da toplam araç ağırlığını azaltarak yakıt verimliliğine katkı sağlayabilir. Ayrıca PP malzemenin kalıplama yöntemleri ile üretim sürecine entegrasyonu daha kolay olup, üretim süresini ve maliyetlerini düşürme potansiyeline sahiptir.

Bu çalışma, toplu taşıma sistemlerinde sürdürülebilir, hafif ve uygun maliyetli malzeme kullanımını teşvik etmekte; hand-holder bileşenlerinin malzeme bazlı yeniden tasarım süreçlerine mühendislik açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Elde edilen bulgular, endüstriyel tasarım süreçlerinde karar vericiler için teknik bir rehber niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, Malzeme Optimizasyonu, Ağırlık Azaltımı, Malzeme Karşılaştırma, Deformasyon Davranışı, ST-37, PP , Hand-holder

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Trim Design Engineer, Design and Construction Teacher Education, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş.https://orcid.org/0009-0006-5433-2002

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Toplu taşıma araçları, kullanıcı güvenliği ve konforu açısından belirli yapısal bileşenlerin yüksek dayanım göstermesini gerektirir. Bu bağlamda, yolcuların ayakta seyahat ettiği durumlarda dengeyi sağlamak için kullanılan tutunma elemanları (hand-holder) kritik öneme sahiptir. Geleneksel olarak ST-37 çeliği ile üretilen bu elemanlar, yüksek mekanik dayanım sunmalarına rağmen, ağırlık ve maliyet açısından dezavantaj oluşturabilmektedir (Çetinkaya & Demirtaş, 2020). Bu nedenle, daha hafif ve uygun maliyetli alternatif malzemeler araştırılmaktadır. Bu çalışmada, ST-37 yerine Polipropilen (PP) kullanımının yapısal performansa etkisi değerlendirilmiştir.

Kapsam

Bu çalışma, toplu taşımada kullanılan tutunma aparatlarının ana gövdesinde ST-37 çeliği yerine PP kullanımının avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmektedir. Değerlendirme kriterleri olarak maksimum gerilme, toplam deformasyon ve kütle değerleri dikkate alınmıştır. Her iki malzeme, aynı yük ve sınır koşullarında karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

Yöntem

Analizler, sonlu elemanlar yöntemi (FEA) tabanlı bir yazılım aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Her iki malzeme için yük 1500 N olarak sabit tutulmuş, geometrik yapı ve bağlama koşulları değiştirilmemiştir.
ST-37 çeliği için analiz sonucu:

- **Ağırlık:** 1,1 kg
- **Toplam Deformasyon:** 0,50937 mm
- **Maksimum Gerilme:** 134,38 MPa

PP malzeme için analiz sonucu:

- **Ağırlık:** 0,13 kg
- **Toplam Deformasyon:** 552,1 mm
- **Maksimum Gerilme:** 137,38 Mpa

ST-37 ve Polipropilen (PP) Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

Özellik	ST-37 (Yapı Çeliği)	Polipropilen (PP)
Yoğunluk (kg/m³)	~7850	~900
Elastik Modül (E) [GPa]	~210	~1.5 – 2.0
Akma Dayanımı (MPa)	~235	~25 – 35
Çekme Dayanımı (MPa)	~360	~30 – 40
Uzama (%)	~25	~200 – 600



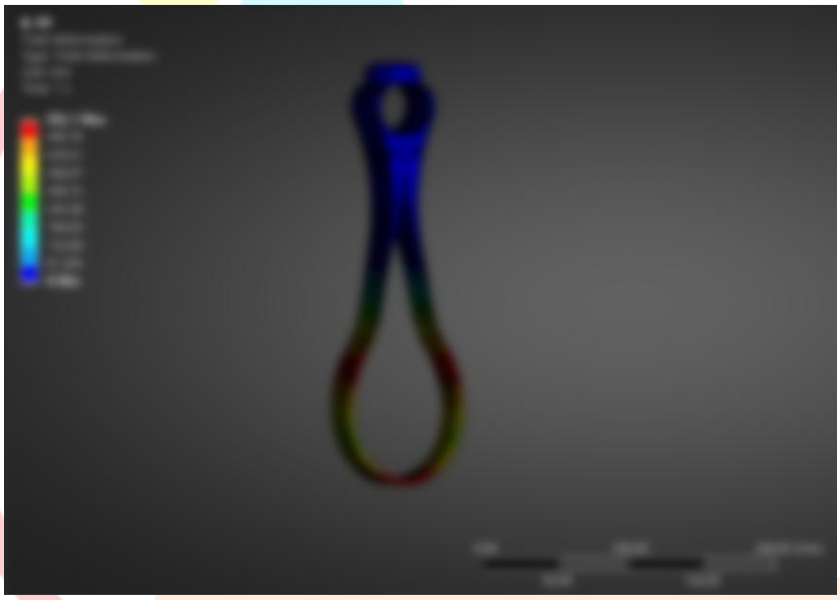
ST-37 için Maksimum von-Mises gerilme (134,38 MPa)



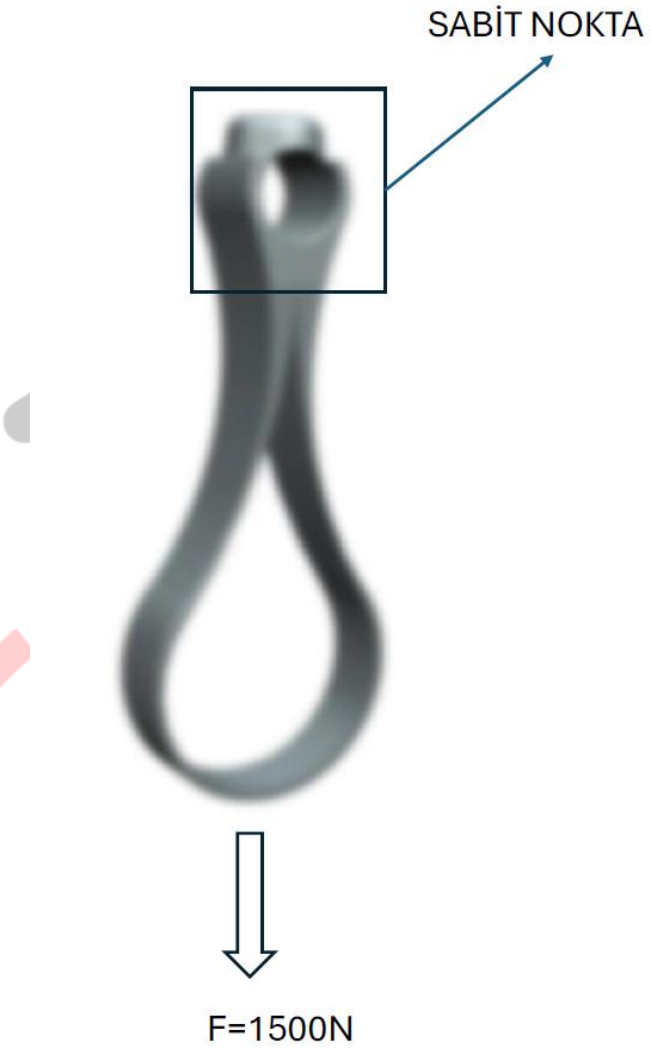
ST-37 için Toplam deformasyon (0,50937 mm)



PP ***için Maksimum von-Mises gerilme (137,38 MPa)***



PP ***için Toplam deformasyon (552,1 mm)***



Bulgular

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, PP malzemenin ST-37'ye kıyasla yaklaşık %88 daha hafif olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, araç genelinde ağırlık azaltımına dolayısıyla yakıt verimliliğine doğrudan katkı sağlamaktadır (Kaya & Arslan, 2022). Ancak PP malzemede oluşan deformasyon değeri oldukça yüksektir ve bu durum, bileşenin formunu ve işlevini olumsuz etkileyebilir. Her iki malzeme için gerilme değerleri benzer seviyede kalmıştır, bu da PP'nin belirli koşullar altında yeterli dayanım sağlayabileceğini göstermektedir.

Sonuç

PP malzeme, düşük maliyeti, işlenebilirliği ve hafifliği ile toplu taşımada kullanılan hand-holder bileşenlerinde ST-37 çeliğine alternatif olarak değerlendirilebilir. Ancak yüksek deformasyon nedeniyle bu malzemenin kullanımı, yalnızca düşük yük maruziyetli alanlarla sınırlandırılmalıdır. Geliştirilecek özel geometrik destek yapıları ya da dolgu oranı ayarları ile bu eksiklikler telafi edilebilir. Bu çalışma, hafif malzeme dönüşümünde mühendislik karar süreçlerine katkı sunmaktadır.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Çetinkaya, M., & Demirtaş, M. (2020). "Yapısal Elemanlarda Malzeme Seçimi ve Alternatif Malzemelerin Kullanımı", *Makine Teknolojileri Dergisi*, 18(1), 15–22.

Kaya, Ö., & Arslan, B. (2022). "Polimer Tabanlı Malzemelerin Otomotiv Uygulamalarındaki Performansları", *Polimer ve Kompozit Mühendisliği*, 10(3), 233–240.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

OTOBUS TABAN YAPILARINDA SEHIM PERFORMANSININ DEGERLENDIRILMESI PLYWOOD (KONTRAPLAK) VE FRP CORE (FIBER REINFORCED POLYMER CORE) MALZEMELERIN KARSILASTIRMALI ANALIZI

Şenol ÇALIŞKAN[1]

Özet

Toplu taşımacılık araçlarında kullanılan iç zemin kaplamaları, taşıyıcı yapı ile yolcu konforunu doğrudan etkileyen kritik mühendislik bileşenleridir. Otobüs taban yapılarında tercih edilen malzemelerin sehim dayanımı, esneklik sınırları, nem-sıcaklık karşısındaki kararlılığı ve uzun vadeli yapısal bütünlüğü, araçların hem mekanik performansını hem de ekonomik sürdürülebilirliğini belirleyen temel faktörler arasında yer almaktadır. Geleneksel olarak yaygın biçimde kullanılan plywood (kontrplak) taban malzemeleri, uygun maliyetleri ve işlenebilirlikleri nedeniyle tercih edilmekle birlikte; sıcaklık dalgalanmaları, nem maruziyeti, kimyasal temizlik malzemeleri ve sürekli dinamik yükler altında zamanla sehim yaparak kalıcı deformasyon göstermekte ve yüzeysel bozulmalara yol açabilmektedir. Bu durum, kullanıcı konforunu düşürmekte, titreşim seviyelerini artırmakta ve bakım-onarım gereksinimlerini sıklaştırmaktadır.

Bu çalışmada, geleneksel plywood taban panelleri ile modern kompozit bazlı FRP Core (Fiber Reinforced Polymer Core) malzeme yapıların sehim davranışları ve uzun süreli yapısal kararlılıkları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Her iki malzeme, benzer geometri ve yükleme koşulları altında sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş; maksimum sehim değerleri, elastik sınır içi geri yaylanma kabiliyeti, kalıcı deformasyon oranları ve mukavemet/ağırlık oranları dikkate alınarak performans ölçütleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, FRP Core malzemesinin lif takviyeli yapısı sayesinde daha düşük sehim oranlarına ve daha yüksek rijitliğe sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca bu yapı, uzun vadeli kullanımda formunu daha iyi koruyarak bakım gereksinimlerini azaltma ve yapısal sürekliliği artırma potansiyeli sunmaktadır. Bu bağlamda, FRP Core malzemenin otobüs taban uygulamalarında sürdürülebilir ve yüksek performanslı bir alternatif oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Yapısal Analiz, Malzeme Optimizasyonu, Ağırlık Azaltımı, Malzeme Karşılaştırma, Deformasyon Davranışı, Taban Tahtası, Plywood, FRP CORE

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Trim Design Engineer, Design and Construction Teacher Education, KARSAN OTOMOTİV SANAYİİ VE TİC. A.Ş.https://orcid.org/0009-0006-5433-2002

ISBN: 978-625-372-661-4

1. Giriş

Toplu taşımacılık araçlarının iç taban panelleri, hem yapısal sağlamlık hem de yolcu konforu açısından kritik bileşenlerdir. Bu paneller, sürekli dinamik yükler, nem ve sıcaklık değişimleri gibi zorlu çevresel faktörlere maruz kalır. Geleneksel olarak kullanılan **plywood** (kontrplak) malzemeler düşük maliyetleri ve işlenebilirlikleri nedeniyle yaygın olsa da, nemli ortamlarda form kaybı, delaminasyon ve sehim gibi yapısal zafiyetler gösterebilmektedir (Li et al., 2021). Buna karşılık, **Fiber Reinforced Polymer (FRP)** bazlı kompozit yapılar, yüksek rijitlik/ağırlık oranı ve çevresel dayanım özellikleri sayesinde modern taşıtlarda alternatif olarak değerlendirilmektedir (Chandrasekaran et al., 2020).

2. Kapsam

Bu çalışma, otobüs iç taban uygulamalarında kullanılan **plywood** ve **FRP Core** malzemelerinin yapısal performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir. Özellikle **maksimum sehim miktarı**, **gerilme seviyesi**, **ağırlık farkı** ve **uzun dönem form stabilitesi** gibi kriterler dikkate alınarak uygunluk analizleri yapılmıştır.

Not: Ticari Gizlilik Politikası Hakkında

Bu çalışma, kurumun ticari gizlilik politikaları gereği, tüm test ve tasarım süreçlerinin ayrıntılarını içermemektedir. Bunun yerine, projede benimsenen mühendislik yaklaşımları ve genel metodolojiye odaklanılmıştır. Bu sayede, benzer süreçlerle ilgilenen mühendislik ekiplerine yol gösterici nitelikte temel bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

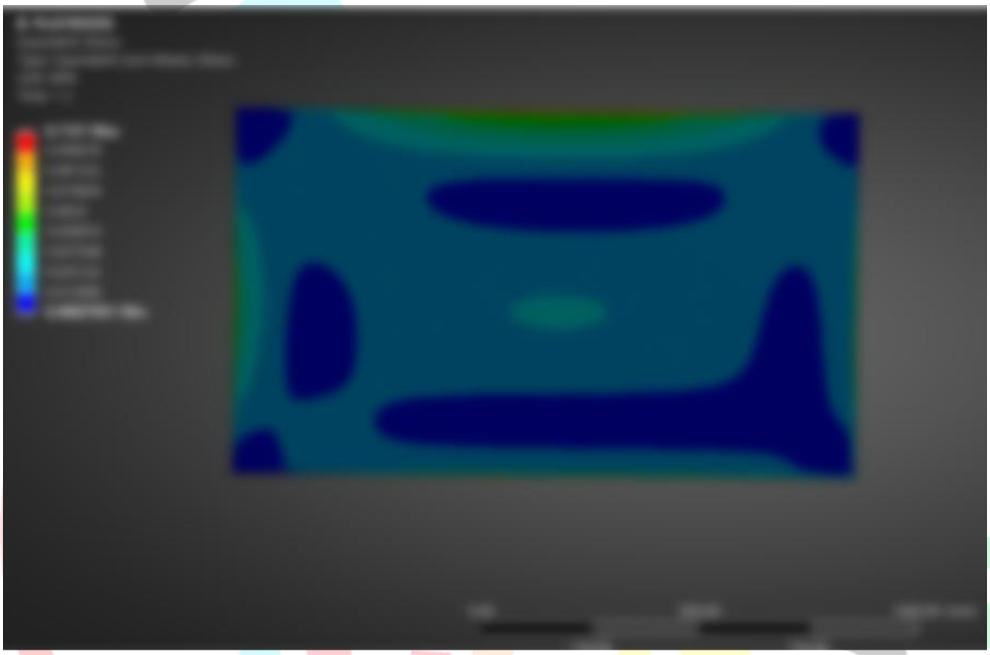
3. Yöntem

Her iki malzeme, sonlu elemanlar analiz yazılımı kullanılarak 8100 N'luk sabit bir yük altında test edilmiştir. Modellenen panellerin geometri ve sınır koşulları birebir aynı tutulmuştur.

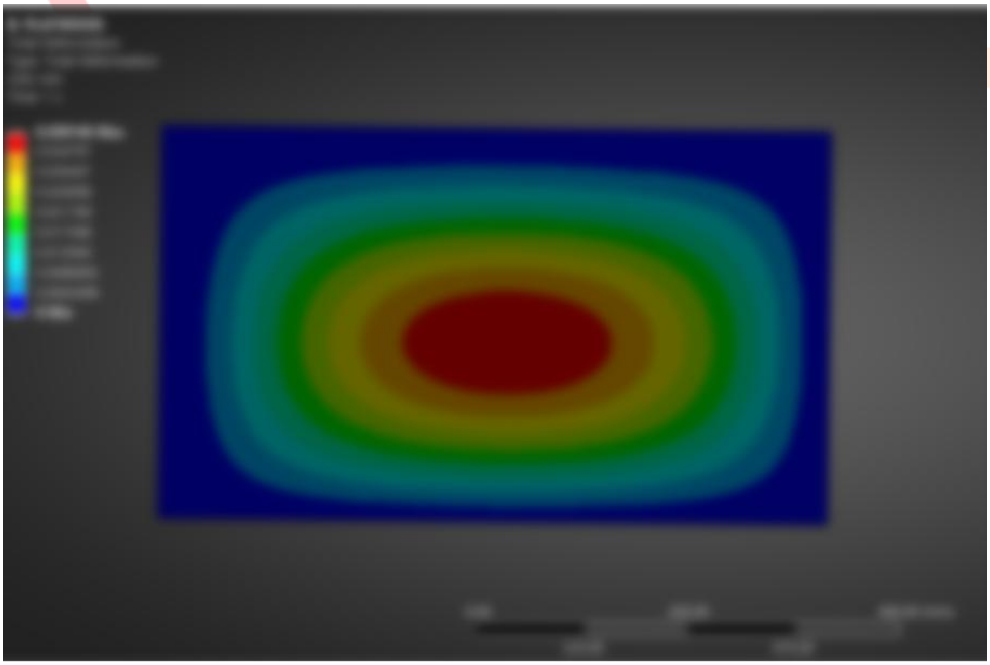
- **Plywood için**:
  - Ağırlık: 9,4 kg
  - Maksimum deformasyon: 105,6942 mm
  - Maksimum gerilme: 32,67 MPa
- **FRP Core için**:
  - Ağırlık: 20,9 kg
  - Maksimum deformasyon: 6,16545 mm
  - Maksimum gerilme: 30,267 Mpa

PLYWOOD ve FRP CORE Malzeme Özellikleri Karşılaştırma Tablosu

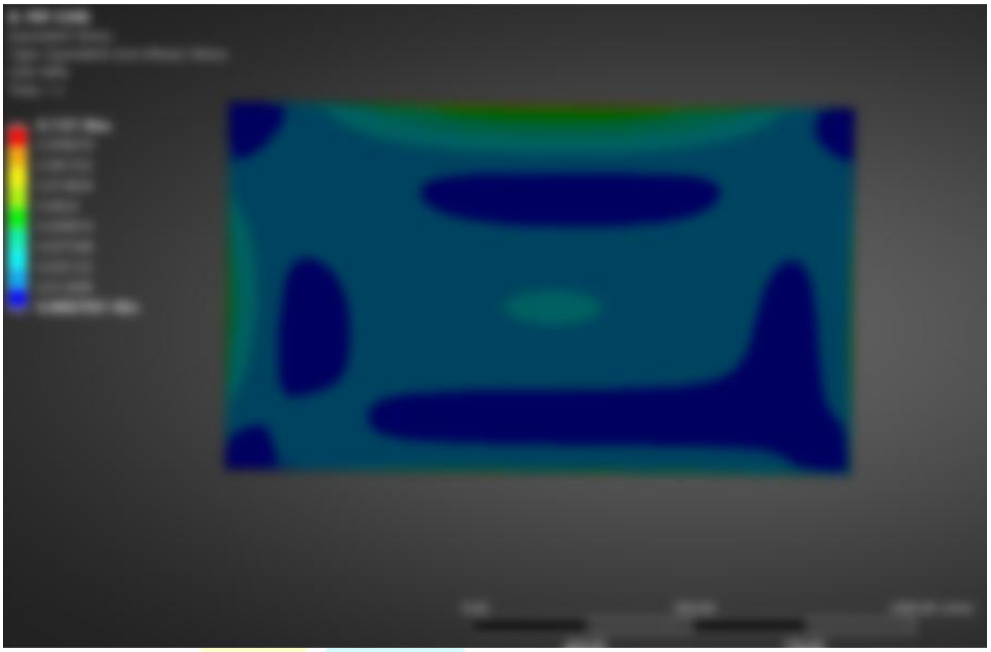
Özellik	Plywood (Kontrplak)	FRP CORE (Fiber Takviyeli Kompozit)
Yoğunluk (kg/m³)	~500 – 750	~1500 – 1800
Elastik Modül (E) [GPa]	~6 – 10	~20 – 40
Basınç Dayanımı (MPa)	~30 – 50	~150 – 250
Çekme Dayanımı (MPa)	~30 – 70 (lif yönünde)	~250 – 600
Uzama (%)	~1 – 3	~1 – 5



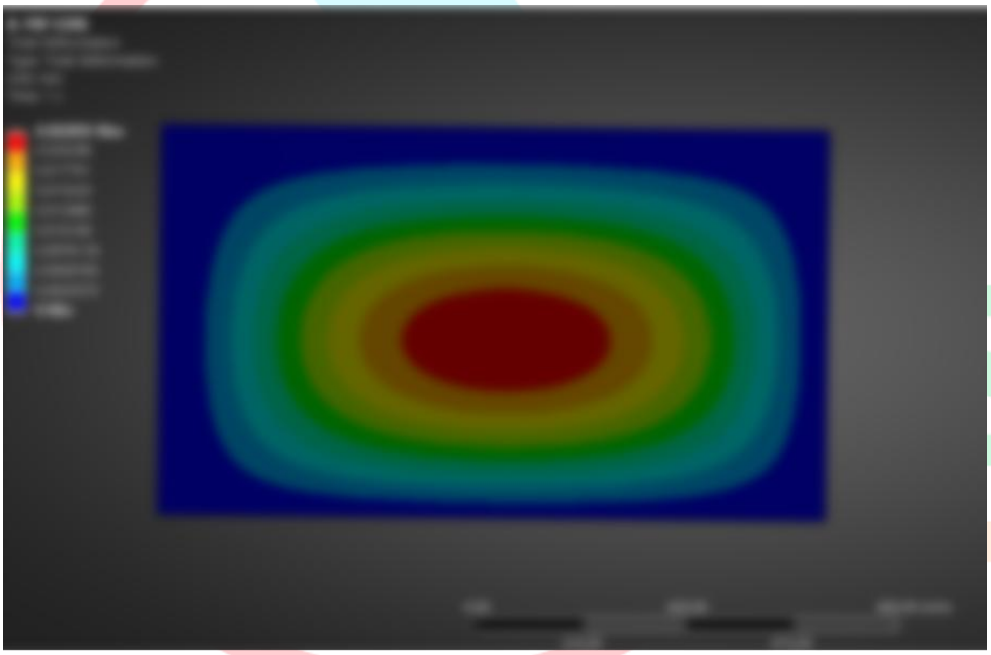
Plywood için Maksimum von-Mises gerilme (32,67 MPa)



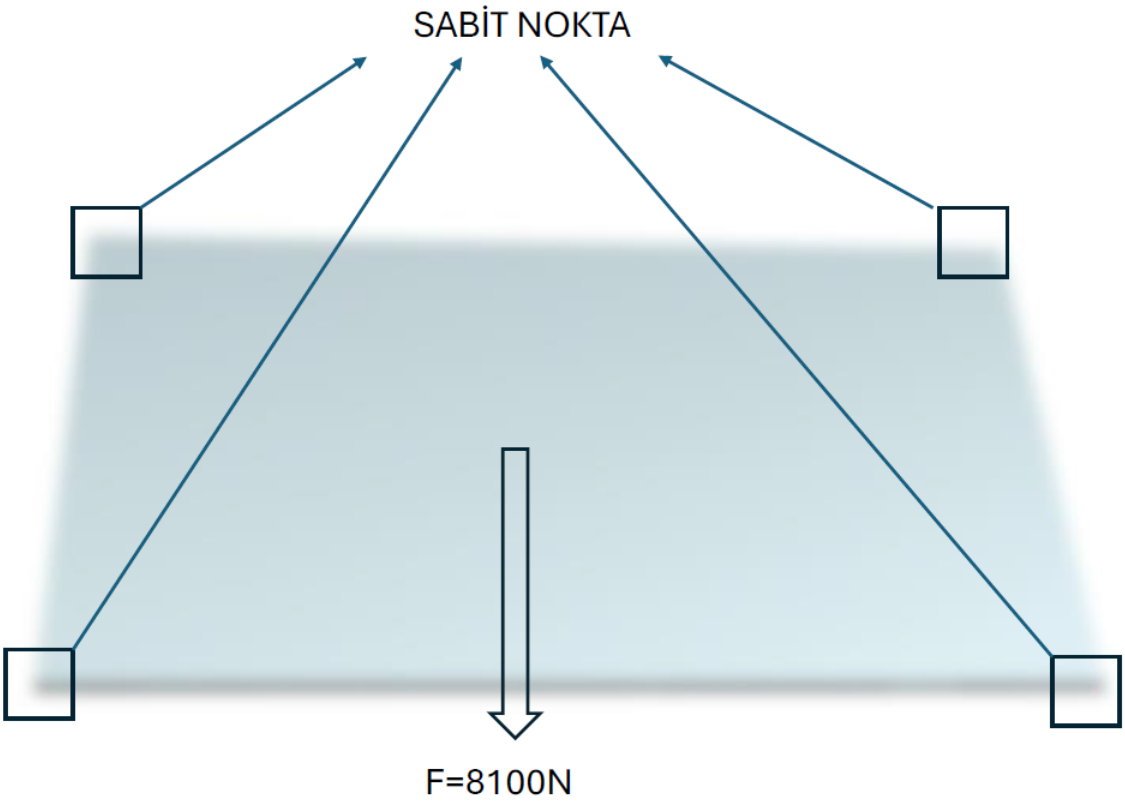
Plywood için Toplam deformasyon (105,6942 mm)



FRP Core için Maksimum von-Mises gerilme (30,267MPa)



FRP Core için Toplam deformasyon (6,16545 mm)



4. Bulgular

Elde edilen analiz sonuçları, plywood malzemenin yüksek deformasyon göstermesi nedeniyle uzun vadeli kullanımlarda yapısal yetersizlikler oluşturabileceğini göstermiştir. Özellikle sehim miktarının 105 mm seviyesinde olması, titreşim konforunu ve zemin bütünlüğünü olumsuz etkileyebilir (Wang & Zhao, 2019). Öte yandan FRP Core panel, yaklaşık **17 kat daha düşük deformasyon** sergileyerek formunu önemli ölçüde korumuştur. Bu durum, FRP yapılarının yönlü elyaf düzeni ve yüksek elastisite modülünden kaynaklanmaktadır (Gibson, 2016).

Ayrıca FRP'nin sahip olduğu **hidrofobik yapı**, nem emilimini azaltmakta ve bu sayede uzun vadede yapısal dayanımı korumaktadır (Hollaway & Teng, 2008). Ancak FRP Core malzemenin ağırlığının plywood'a göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiş, bu durumun montaj ve enerji tüketimi açısından tasarım dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

5. Sonuç

Bu çalışma, FRP Core malzemesinin otobüs taban sistemlerinde, özellikle **yüksek rijitlik ve düşük sehim** gerektiren uygulamalarda avantajlı bir alternatif oluşturduğunu göstermiştir. Geleneksel plywood yapılar, maliyet ve işlenebilirlik açısından öne çıkmakla birlikte, çevresel koşullar altında yapısal formunu koruyamamakta ve daha sık bakım gerektirmektedir. FRP Core ise dayanım/ağırlık oranı, çevresel direnç ve sehim kontrolü açısından daha sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Gelecekte, hibrit malzeme kullanımı veya FRP'nin optimize edilmiş formlarının geliştirilmesi, maliyet ve ağırlık dezavantajlarını minimize edebilir.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Chandrasekaran, M., Kumar, S., & Senthil, M. (2020). *Performance of FRP Composites in Transport Applications*. Journal of Composite Structures, 230, 111502. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111502

Gibson, R. F. (2016). *Principles of Composite Material Mechanics*. CRC Press.

Hollaway, L. C., & Teng, J. G. (2008). *Strengthening and Rehabilitation of Civil Infrastructures Using Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites*. Woodhead Publishing.

Li, Q., Xu, H., & He, Z. (2021). *Deterioration Behavior of Plywood Under Moisture and Load*. Construction and Building Materials, 270, 121436.

Wang, Y., & Zhao, X. (2019). *Mechanical Behavior of Wood Panels under Environmental Loadings*. European Journal of Wood and Wood Products, 77(3), 377–385.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

REPELLENT EFFECTS OF ROSEMARY AND LAVENDER ESSENTIAL OILS ON TRIBOLIUM CASTANEUM (HERBST) (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)

Şerife BÜTÜN[1]
Ayşe YEŞİLAYER[2]

Abstract

Pests have seen in stored products can cause both economic loss and human health, especially with the damage they cause. *Tribolium castaneum* (Coleoptera:Tenenrionidae) (Herbst) is a significant pest seen in cereal products and is widespread worldwide. This species feeds intensively on cereal grains, causing a loss of quality in the crop. The crops are unsuitable for sowing due to the loss of seed characteristics. Generally, it has been used pesticides and fumigantsthe control of *T. castaneum.* However, alternative control methods are developing in importance due to the negative effects of these chemicals on the environment and human health in the long term, as well as problems such as pest resistance to chemicals. Among these alternative methods, the efficacy of essential oils against pests is of particular interest. In this study, the repellent effects of commercial essential oils obtained from rosemary [*Rosmarinus officinalis*, (Lamiaceae)] and lavender [*Lavandula angustifolia*, (Lamiaceae)] plants produced by TOGÜ MTAL (Tokat Gaziosmanpaşa University-Tokat-Turkey) Research Laboratory on *T. castaneum* were evaluated. Within the scope of the study, essential oils were applied at doses of 0.31 µL/cm² and 0.47 µL/cm² from a 10% stock solution and the percent repellent rates were calculated by determining the areas where the pests were located with controls made after 1/2, 1 hour, 4 hours, 12 hours and 24 hours. As a result of the repellent effect study of lavender and rosemary, 80% and 68% effects were observed at the end of 1 hour at the lowest concentration, respectively. In the essential oil trial, it was observed that lavender plant showed higher effect than rosemary.

Keywords: Storage pests, essential oil, repellent, Lamiaceae, Tribolium castaneum

[1] Ziraat Mühendisi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü,Orcıd:0009-0005-3783-2526, serifebutun9@gmail.com
[2*] Doç. Dr. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Orcıd: 0000-0001-7174-9324, ayesilayer@gmail.com

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Dünya nüfusundaki hızlı artış ile insanların yeterli ve güvenilir gıdalara ulaşımlarının sağlanması problem haline gelmektedir. Nüfus artışına paralel olarak tarım alanlarının azalması ve verimin düşmesi de gıdaya olan erişimi etkiler (Nohutçu ve ark., 2020). Tahılların insan beslenmesinde yeri çok büyüktür. Tahılların üretimi ülkemizde önemli olup, 2024 yılındaki üretim bir önceki yıla göre %7,5 oranında azalarak 39 milyon ton bir üretim gerçekleşmiştir (TÜİK, 2024). Türkiyede en çok buğday, arpa ve çavdar gelmektedir. Hububat ekimindeki artış dünyadaki buğday ve mısır üretimdeki artıştan kaynaklandığı görülmüştür. Buğday üretimde 2020-2024yılları arasında Türkiye 10. Sırada yeralmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. *Dünya Buğday Üretim Miktarı*

Ülke	Üretim Miktarı			
	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2023/2024
Çin	134,3	136,9	137,7	136,6
Avrupa Birliği	126,7	138,2	134,2	134
Hindistan	107,9	109,6	104	110,6
Rusya	85,4	75,2	92	91
Amerika Birleşik Devletleri	49,8	44,8	44,9	49,3
Kanada	35,4	22,4	34,3	31,9
Avusturalya	31,9	36,2	40,5	25,5
Ukrayna	25,4	33	21	23,4
Pakistan	27,5	26,4	28	28
Türkiye	**20,5**	**17,6**	**22,3**	**19,5**
Arjantin	14,6	22,2	12,6	15,5
Kazakistan	14,3	11,8	16,4	12,1
Diğer	96,1	105,8	101,3	108,3
Dünya	772,8	780,1	789,2	785,7

Kaynak: USDA, 2024

Hububat üretimin aşamalarından birisi de ürünlerin düzgün şekilde depolanmasıdır. Tahıllar sadece bir gıda kaynağı olarak değil birçok alanda önemli yer tutmaktadır. Tahıllar hasattan tüketim sürecine kadar kalite kayıplarını en aza indirerek ve ekonomik değeri korunmalıdır (Sumıahadı ve ark., 2020). Tahıllar uzun süreli ve kısa süreli depolanabilir, bu sırada onları olumsuz yönde etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Depo zararlısı böcekler verim kaybında en büyük etkiye sahip etmenlerin başında gelmektedir. Depolanmış tahıl ürünlerde sadece zararlılardan kaynaklı zarar oranı yaklaşık olarak %10-40 arasında değişir (Tripathi ve ark., 2009). Ülkemiz çeşitli iklim koşullarından dolayı birçok farklı depo zararlısının gelişimi için elverişli ortam sağlamaktadır bunlardan birisi de depolanmış ürünlerde ekonomik zararlara neden olan *Tribolium castaneum'* dur (Çolak ve ark., 2018).

Tribolium castaneum

Alem (Kingdom): Animalia

Şube (Phylum): Arthropoda

Sınıf (Class): Insecta

Takım (Order): Coleoptera

Alt takım (Suborder): Polyphaga

Üst familya (Superfamily): Tenebrionoidea

Familya (Family): Tenebrionidae

Cins (Genus): Tribolium

Tür (Species): *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797)

Kırmızı un biti olarak da bilinen bu zararlı depolanmış tahıllar, un, işlenmiş tahıl ürünlerinde beslenebildiği gibi diğer zararlıların zarar verdiği ürünlerdede beslenebilmektedir. Beslenmelerinin yanısıra dışkıları, vücut parçaları ile de ürünleri kirletirler (Trematerra ve ark., 2012). Larvalar tahılların içine girerek beslenirler, ergin bireylerde yumurtalarını doğrudan gıda maddelerine bırakarak verim ve kalite kayıplarına neden olurlar (Mason, 2018).

Tarımsal üretimde meydana gelen kayıpları önlemek için çeşitli mücadele yöntemleri kullanılmaktadır bunlardan en yaygın olanı kimyasalların kullanımıdır (Denizli ve ark., 2001). Pestisitlerin kullanımı bazı konularda avantajlı olsada çevreye, insana, faydalı böceklere toksik etkileri, tarım ürünlerinde kalıntı problemleri ve uygulama yapılan zararlıların zamanla bu pestisitlere direnç geliştirmeleri ile sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Tiryaki ve ark., 2010; Akdoğan ve ark., 2012; Ertürk ve Koçak, 2017). Depolanmış tahıl ürünlerindeki zararlılarla mücadelede en yaygın yöntem fosfin gazı ile fumigasyon uygulamasıdır. Türkiye'de 1950 yıllarından itibaren bu yöntemin yoğun bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Dünyada fosfin gazının uzun süreli kullanımı bazı zararlı türlerde yüksek seviyelerde direnç gelişimine neden olduğu bildirilmiştir (Koçak ve ark., 2015).

Doğanay (2019) da yaptığı çalışmada farklı illerden örneklenen *T. castaneum* popülasyonunun tamamında fosfin gazına karşı yüksek bir direnç gelişimi belirlenirken, *T. confusum* da fosfin gazına düşük seviyede direnç gelişimi olduğu belirlenmiştir. Bu zararlının kontrolü için uygulanan metil karbamatlı, organofosfatlı, piretrin, neonikotinoid ve kitin sentez inhibitörleri gibi düzenleyicelerin zamanla direnç geliştirdiği belirlenmiştir (Rösner ve ark., 2020). Yapılan bir çok çalışmada pestisitlerin yanlış ve yoğun uygulanması sonucunda ortaya çıkan problemler nedeniyle, doğaya ve insana zarar vermeyen, kalıntı sorunu olmayan alternative mücadele yöntemlerinden biri olan; bitkilerden elde edilen uçucu yağlar ve bileşikleri sentetik pestisitlere karşı sürdürülebilir bir alternatif olarak önem kazanmıştır.Uçucu yağlar ve bileşenlerinin depolanmış ürünlerdeki zararlılara karşı insektisidal, fumigant, kontak ve davranışsal etkileri birçok araştırmacı tarafından değerlendirilmiştir (Silva ve ark., 2017; Alkan ve ark., 2018; Bözhüyük ve ark., 2019; Çiftçi ve ark., 2021; Elma ve Çetin, 2022; Yiğit ve ark., 2023)

Bu çalışma, lavanta ve biberiye bitkisinden elde edilen uçucu yağların kırmızı un böceğine karşı repellent etkinliğinin araştırmak amacıyla yapılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Böcek kültürü

Denemede kullanılacak olan böcek kültürleri Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi ziraat fakültesi stok kültüründen elde edilmiştir. *Tribolium castaneum* türüne ait ergin bireyleri 1 litrelik kavanozlarda buğday kepeği, buğday unu ve maya içeren besin ortamında ve %65±5 nem, 25±5 ºC sıcaklıkta çoğaltılmıştır.

Uçucu yağ

TOGÜ MTAL (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi-Tokat-Türkiye) Araştırma laboratuvarında tarafından üretilen biberiye [*Rosmarinus officinalis*, (Lamiaceae)] ve lavanta [*Lavandula angustifolia*, (Lamiaceae)] bitkilerinden elde edilen uçucu yağlar temin edilmiştir.

Repellent aktivite testleri

Rosmarinus officinalis ve *Lavandula angustifolia* uçucu yağlarının repellent aktivitelerini belirlemek için McDonald et al. (1970)'nin belirtmiş olduğu yöntem kullanılmıştır. 9 cm çapında petriler eşit iki parçaya bölünerek filitre kağıdının yarısına (kontrol) çözücü olarak kullanılan aseton diğer yarısına ise uygulama yapacağımız uçucu yağlar %10 oranında seyreltilerek 0,31 µL/cm² ve 0.47 µL/cm² dozlarında uygulanarak 1/2, 1 saat, 4 saat, 12 saat ve 24 saat sonra yapılan kontroller ile zararlıların bulundukları alanlar belirlenerek kayıt alınmıştır. Deneme 10'ar birey kullanarak 5 tekkerürlü 2 tekrarlı olarak 25±2°C sıcaklıkta yürütülmüştür.

İSTATİSTİK ANALİZLER

Repellent aktivite sonuçları aşağıdaki formüle göre yüzde repellent değerleri hesaplanmıştır.

PR = [(Nc-Nt/Nc+Nt)]x 100

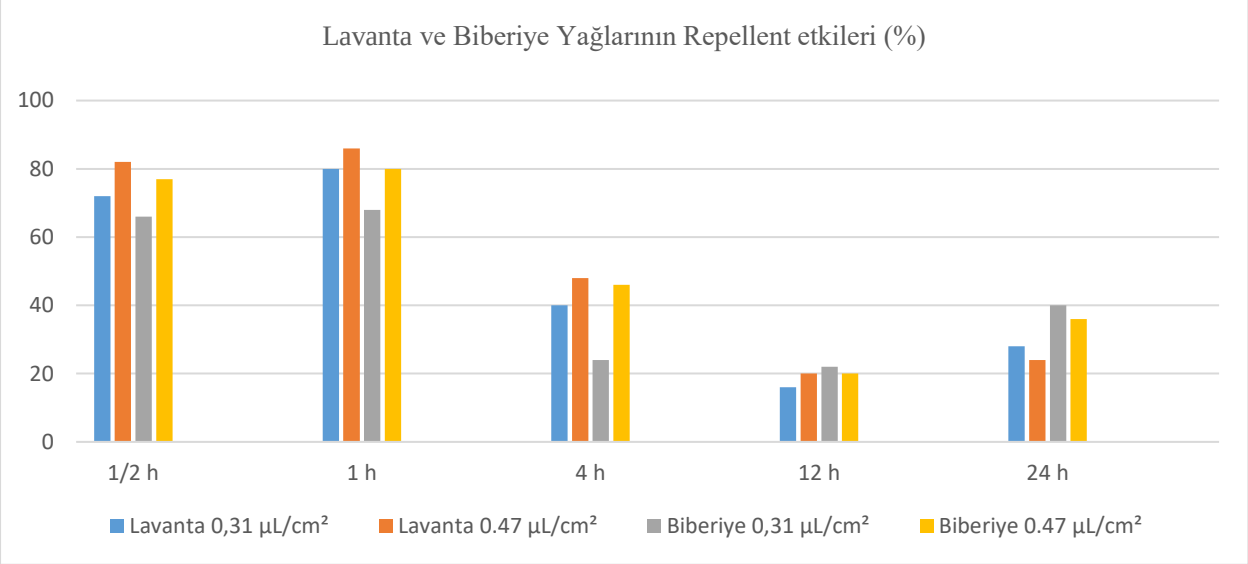
PR: yüzde repellent değerini

Nc: kontrol grubundaki böcek sayısını

Nt: uygulama alanındaki böcek sayısını ifade etmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada depo zararlısı kırmızı un biti olarak bilinen *Tribolium castenum*'a karşı lavanta ve biberiye bitkilernden elde edilen uçucu yağların kaçırıcı-repellent etkisi denenmiştir. Çalışmada iki farklı konsantrasyonun, 0.5, 1, 4, 12 ve 24 saat sonunda elde edilen sonuçlar, şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 *Tribolium castenum'a iki farklı bitkiden elde edilen uçucu yağların repellent etkisi*

Tribolium castaneum'un uçucu yağlara karşı repellent aktivitesini belirlemek amacıyla yapılan çalışma sonucunda her iki uçucu yağında yüksek konsantrasyonları düşük konsantrasyona göre daha yüksek bir repellent etki göstermiştir. Çalışmada elde edilen bulgulara göre ilk yarım saatte 0,31 µL/cm² ve 0.47 µL/cm² dozlarında Lavanta uçucu yağı

sırasıyla %72 ve %82 oranında etki görülürken, biberiye uçucu yağında ise %66 ve %77 oranında repellent etki görülürken, tüm dozlar kontrole göre etkili olarak kaydedilmiştir. Benzer şekilde rezene, biberiye, ekinezya, mercanköşk, defne ve reyhan uçucu yağlarının %1 dozunda *T. castaneum*' a karşı 2 saat sonrasında %98 üzerinde repellent aktivite gösterdiği bildirilmiştir (Teke ve Mutlu, 2021). Çalışmanın sonucunda her iki bitkiden elde edilen uçucu yağların, uygulamananın ilk saatlerinde yüksek bir repellent etki gösterirken, zamana bağlı etkinlik oranlarında azalma olmuştur. Teke ve Mutlu, 202'de yaptığı çalışmaya göre *T. castaneum* v *Sitophylus, granarius*'a karşı yaptığı çalışmada zamanla kullanılan uçucu yağ etkiliğinin azaldığı görülmüştür. Yapılan farklı bir çalışmada ise çalışmamıza benzer şekilde ilk sate daha yüksek repellen etkinlik belirlenmiştir, buna göre; *Achillea biserrata, Salvia wiedemannii, Prangos ferulaceae* bitkilerinden elde ettiği uçucu yağlarının %1 ve %5 konsantrasyonlarında bir saat sonrasında *T. castanemu*'a karşı, *P. ferulaceae*'nın en fazla etki gösterdiği bulmuştur (Kanık, 2019).

Çalışmanın sonunda 1 saat sonrasında erginlere karşı uygulanan lavanta uçucu yağı %86 olarak en etkili olarak belirlenirken, *Ruta angustifolia* uçucu yağının *T. castaneum*'un ergin ve larvalarında 2-4 saat sonrasında 0,47 µL/ cm^2 dozunda, %72-%74 oranlarında repellent etki gösterdiği kaydedilmiştir (Annaz ve ark., 2025).

SONUÇ

Depo zararlısı, *Tribolium castaneum*'a karşı yapılan lavanta ve biberiye bitki uçucu yağlarının repellent etkisi kontrole göre tün dozlarda etkili olduğu görülmüştür.

Zararlılar karşı uygulanan pestisitlere alternative olarak, kalıntı bırakmayan, çevre ve doğaya dost uçucu yağların kullanımı bu zararlıya karşı etkili bir biçimde kullanılabilir. Ancak bununla ilgili daha detaylı çalışmalara gerek vardır.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

Akdoğan, A., Divrikli, Ü., & Elçi, L. (2012). Pestisitlerin önemi ve ekosisteme etkileri. *Akademik gıda*, *10*(1), 125-132.

Annaz, H., Zerrad, H., Moullamri, M., Ajaha, A., Kounnoun, A., Cacciola, F., & Rharrabe, K. (2025). Ruta angustifolia essential oil: behavioral and insecticidal effects against larvae and adults of *Tribolium castaneum*. *Chemistry & Biodiversity*, *22*(3).

Bozhüyük, A. U., Kesdek, M., & Kordali, Ş. (2019). Farklı bitkilerden elde edilen uçucu yağların *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831) (Coleoptera: Bruchidae) ve *Tribolium confusum* Jacquelin du Val, 1863 (Coleoptera: Tenebrionidae) erginlerine karşi insektisidal etkileri. *Ejons International Journal*, *3*(7), 49-58.

Çolak, E. Ş., Canhilal, R., & Yüksel, E. (2018). Depolanmış ürün zararlılarıyla mücadelede rezidüyel pestisit uygulamaları. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, *1*(1), 8-18.

Denizli, A., Şener, G., & Özgür, E. (2001). Pestisitler. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, *77*(5), 34-37.

Doğanay, İ. Ş. (2019). Doğu Akdeniz Bölgesinde *Tribolium castaneum* (Herbst) ve *Tribolium confusum* Jac du val popülasyonlarında fosfin direncinin belirlenmesi ve genetik ilişkisinin ortaya çıkarılması. Doktora tezi.

Elma, F., & Çetin, H. (2022). Biberiye [*Rosmarinus officinalis* L.] uçucu yağının *Callosobruchus maculatus* (F.)'un yumurta bırakma davranışına etkisi ve erginlere karşı toksisitesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, *25*(3), 504-510.

Ertürk, Ş., & Koçak, E. (2017). Depolanmış hububatta zararlı böceklerle mücadelede moleküler yöntemlerin kullanım olanakları. *Academia Journal of Engineering and Applied Sciences, ICAE-IWCB 2017 Special Issue*, 78-87.

Kanik, F. (2019). *Bazı bitki ekstraktlarının ve uçucu yağlarının Sitophilus granarius L.(Col: Curculionidae) ve Tribolium castaneum (Herbst)(Col: Tenebrionidae) üzerindeki insektisidal ve davranışsal etkileri* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Koçak, E., Schlipalius, D., Kaur, R., Tuck, A., Ebert, P., Collins, P., & Yilmaz, A. (2015). Determining phosphine resistance in rust red flour beetle, Tribolium castaneum (Herbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae) populations from Turkey. *Turkish Journal of Entomology*, *39*, 129-136.

Mason, L. (2018). Red and cofused flour beetles *Tribolium casteneum* (Bhst.) and *Tribolium cofusum* Duval. Stored Product Pests. Purdue University, Department of Entomology. E-224. 2s.

McDonald L.L., Guy R.H., Speirs R.D., (1970). Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents and attractants against stored-product insects. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Washington DC. Marketing Research Report No. 882.

Nohutçu, L., Şelem, E., Tunçtürk, R., & Tunçtürk, M. (2021). Uçucu yağların tarımsal hastalık ve zararlılara karşı kullanımı. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *35*(2), 499-523.

Rösner, J., Wellmeyer, B., & Merzendorfer, H. (2020). *Tribolium castaneum*: a model for investigating the mode of action of insecticides and mechanisms of resistance. Current pharmaceutical design, 26(29), 3554-3568.

Sumiahadı, A., Mülayim, M., & Acar, R. (2020). Tahılların depolanmasında genel prensipler ve çeltiğin depolanması. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, *9*(1), 102-112.

Silva S.M., Haddi K., Viteri Jumbo L.O., Oliveira E.E., (2017). Progeny of the maize weevil, Sitophilus zeamais, is affected by parental exposure to clove and cinnamon essential oils. Entomologia Experimentalis et Applicata, 163 (2), 220-228.

Şimşek, Ş., Gürsoy, M., & Erkul, S. K. (2019). Bazı bitki ekstraktlarının *Tribolium confusum* Duv. (Coleoptera: Tenebrionidae) ve *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrichidae) üzerindeki kontakt toksisitesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *7*(11), 1785-1788.

Teke, M. A., & Mutlu, Ç. (2021). Insecticidal and behavioral effects of some plant essential oils against *Sitophilus granarius* L. and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Plant Diseases and Protection*, *128*(1), 109-119.

Tiryaki, O., Canhilal, R., & Horuz, S. (2010). Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, *26*(2), 154-169.

Türkiye İstatistik Kurumu (2024). Veri Portalı. https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2024 (Erişim tarihi: 10.05.2025).

Trematerra, P., Throne, J., Fernandez, M., & Knox, R. (2012). Insect and mite pests of durum wheat. *Durum Wheat, Chemistry And Technology*, 73-83.

Tripathi, A. K., Singh, A. K., & Upadhyay, S. (2009). Contact and fumigant toxicity of some common spices against the storage insects *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) and *Tribolium castaneum*. *International Journal of Tropical Insect Science*, 29(3), 151- 157.

USDA, (2024). https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/106544/whs-23e.pdf?v=9179.4. (Erişim tarihi: 10.05.2025).

Yiğit, Ş., Aşkın, A. K., Saruhan, İ., Akça, İ., Budak, E., Bayhan, E., & Tekin, F. (2021). Bazı kekik yağlarının *Tribolium confusum* Duv (Coleoptera: Tenebrionidae)'a karşı etkilerinin araştırılması. *Akademik Ziraat Dergisi*, *10*(2), 285-290.

Yiğit, N., Gözüaçık, C., & Gültekin, L. (2023). Adaçayı (Salvia sp.) (Lamiaceae) türlerine ait uçucu yağların bazı depolanmış ürün zararlılarına karşı fumigant etkilerinin araştırılması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, *10*(1), 51-59.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

THERMO-MECHANİCAL CREEP BEHAVİOR OF AUTOMOTİVE POLYPROPYLENE COMPONENTS

Tamer AYDINER[1]
Mustafa NAZLI[2]
Uğurcan SERBEST[3]
Yunus TÜRK[4]

Abstract

In this study, the viscoelastic behavior of polypropylene (PP) material used in the automotive industry under long-term loads and thermal cycles has been investigated. The creep phenomenon, which is critical in terms of material stiffness, impact resistance, and geometric stability, has been the focus of the analysis. The reason for choosing creep analysis is that thermal analyses focus only on temperature-induced dimensional changes, whereas bumper materials are subjected to both mechanical loads and thermal stress in real-world operating conditions. In this study, multi-stage temperature cycles were applied, and the samples were stabilized at each temperature.

Material behaviors were analyzed through physical testing and Finite Element Method (FEM). Using a viscoelastic model, time-dependent deformation characteristics were calculated, and the bumper structure was modeled to match the actual vehicle geometry. When comparing FEM results with physical tests, a correlation of over 90% was found for the gaps between the bumper and the far-bumper and fender-bumper connections, as well as the areas where the bumper is attached. This high correlation confirms the accuracy of the FEM model. As a result, it has been shown that considering creep behavior in numerical modeling plays a significant role in long-term performance prediction and design optimization of automotive components.

Keywords: Creep, Viscoelasticity, Polypropylene (PP), Finite Element Method (FEM)

[1] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş, AR-Ge, Orcıd: 0000-0002-6401-5100
[2] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş, AR-Ge, Orcıd: 0009-0008-8822-4346
[3] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş, AR-Ge, Orcıd: 0009-0000-0816-5617
[4] TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş, AR-Ge, Orcıd: 0000-0001-9175-0808

ISBN: 978-625-372-661-4

INTRODUCTION

In the automotive industry today, it is most critical that body components of automobiles are lightweight, durable, and long-term good performers. Body components that are externally exposed, such as bumpers as shown in Figure 1, are particularly subject to continuous mechanical stresses and climatic stresses, which cause them to lose shape over the years gradually. In this case, creep response of material under prolonged loading can cause a reduction in mechanical properties and formation of structural deformation



Figure 1. A Representative Vehicle Bumper [6]

Creep in polymer-based bumper materials arises because of their viscoelastic character and directly affects the impact resistance, shape stability, and material service life. Recent experimental research shows that polymers subjected to high temperatures and long-term loading are likely to exhibit significantly high deformation rates [2].

The creep behavior of polymer materials, specifically those referred to by PP and used in vehicle bumpers, was analyzed through physical experiments and numerical analyses. While thermal analysis examines the response of the material to temperature changes, creep analysis focuses on the deformation under constant load and long-duration states of stress. Whereas thermal effects may influence creep behavior, the key here is to provide more insight into how the material creeps with time under prolonged load.

In addition to recent studies in literature, long-term mechanical behavior of bumper materials under various loading conditions was evaluated using Finite Element Method (FEM) simulations. The primary aim of this research work is to contribute towards appropriate material selection and engineering design methods with enhanced creep performance of polymer-based bumper materials.

METHOD

1.What Is Creep?

Creep is the deformation of a material under constant stress or load with time over a long duration of time. Creep is considered a major engineering issue, and particularly so for high-temperature materials. Creep, present in any one of a multitude of materials such as

metals, polymers, and ceramics, can compromise the structural integrity and considerably reduce the life of components [3].

Although creep is generally studied at elevated temperatures, certain materials such as polymers and biomaterials creep at room temperature too. For instance, bumper material in the automobile industry that consists of polymer exhibits creep under long-term loading, resulting in catastrophic durability issues for vehicles [1].

Creep Process Stages

The creep process generally undergoes three phases:

A. Primary (Transient) Creep:

During the initial loading, the material experiences a quite high rate of deformation. During this stage, there is movement of dislocation and rearrangement of molecules within the internal material structure. Gradually with the passage of time, the deformation rate comes down slowly and reaches a steady state. The first high strain rate saturates, and the phase is strongly linked with microstructural transformation within the material [3].

B. Secondary (Steady-State) Creep:

This is the stage where the rate of deformation is steady and continues over a long duration of time. It is typically longest among the entire creep process. In polymer materials, viscoelastic mechanisms of deformation and molecular mobility of chains dominate. Environmental factors and magnitude of stress influence duration and size of secondary creep [3].

C. Tertiary Creep:

The tertiary creep is associated with an abrupt increase of deformation rate, eventually leading to the failure of the material. Internal crack growth, micro-scale damage and significant deformation are associated with this phase. Molecular net degradation and continuous reduction of mechanical properties in the material take place in the polymers. As the accelerated structure damage progresses, the material fractures [3].

The steps involved in the creep mechanism process are illustrated in graphical form by Figure 2 below:

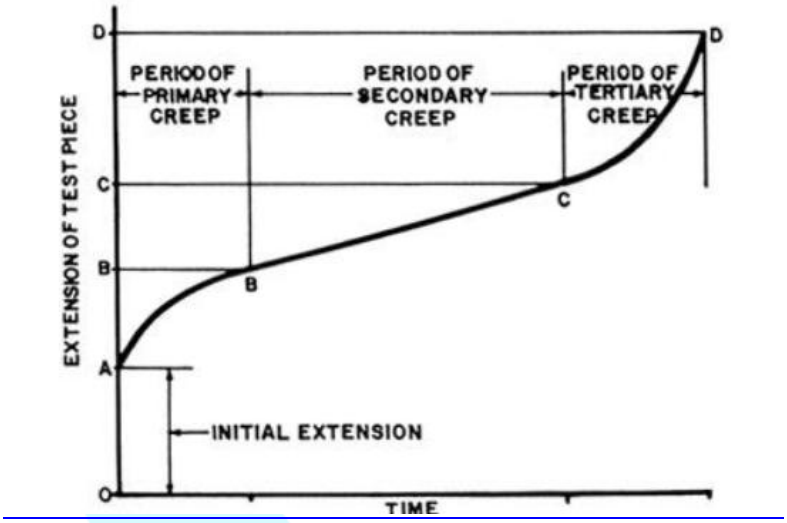


Figure 2. Stages of Creep Behavior [12]

2.Viscoelasticity

Viscoelasticity may be described as the property of a material to respond with both elastic and viscous behavior, hence resulting in time-dependent deformation. Viscoelastic materials differ from elastic materials in that not only do they deform instantaneously, but they also keep on deforming with time. The materials respond with an elastic response when loaded initially; however, after the elapse of time, they begin to exhibit more viscous response, and their deformation increases. This type of behavior is most observed in polymers, rubbers, and elastomers [1].

When external loading is applied to viscoelastic materials, they tend to exhibit two significant types of behavior:

Stress Relaxation:

When a material is strained and maintained constant strain, the internal stress decreases over time. The decrease in stress is equal to dissipation of energy within the material. Stress relaxation is strongly observed in compressive materials [1].

Creep:

Under sustained applied stress, the material will keep deforming, and the strain will increase step by step with time. This can have a very significant effect on the strength and structural attributes of materials, particularly under high temperature conditions. The longer the duration of the load, the greater the deformation, which ultimately determines the long-term performance of the material [1].

3. Literature Review

Literature overview regarding creep behavior of vehicle bumper polymer material and its contribution and outcome to literature is given in this chapter.

Creep behavior of rubber material was explored by Luo (2021), utilized as theoretically and experimentally vibration-damping structure. Here, time-dependent deformation model was proposed through incorporating the time parameter (T) in hyperplastic stress–strain relations and relating material degradation to time-dependent mechanical behavior. Time-dependent elastomeric structural degradation of the parts was appropriately simulated by using this creep-based modeling method. Validation tests of a rubber–metal hybrid part showed satisfactory agreement of test and simulation results. This method offers valuable predictive capability for

time-dependent material mechanical behavior prediction under the engineering design process [4].

Zhang et al. (2022) discussed how the lightweight structure could be used in vehicle bumper beams. Their article not only characterized the energy absorption property of the composite lightweight structure but also creep behavior. From their perspective, polymer composites can exhibit time-dependent deformation due to various temperatures and loading states. The authors believed it is not just that lightweight structure can enhance the energy absorption ability, but the increase in material durability to serve long-term [5].

Öztaş E. (2022) investigated experimentally the energy absorption of car bumper thermoplastic composites. The study compared the energy absorbing capabilities and displacement tendencies of the materials at different impacts' velocities. The study revealed the performance of the composites in vehicle safety, illustrated by graphing presentation. The study is a contribution to engineering research regarding the use of thermoplastic composites to automobiles [6].

Kumar et al. (2021) provided a comprehensive report on polymer-based composites for automotive bumper systems. Material selection, processing routes, and quality inspections were taken into consideration with respect to creep behavior influencing the structural performance of polymers subjected to long-term loading [7].

Smith et al. (2020) addressed creep and relaxation response of thermoplastic bumper vehicle polymers. His work on PP and PE demonstrated the polymers undergoing deformation under prolonged stress. Apart from this, the study revealed how climatic conditions affect long-term material response [8].

Overall, the review of literature indicates that the creep behavior of polymer composite is crucial for long-term prediction of the response of vehicle bumpers. Also, it indicates that more research in the field can provide a useful contribution to the material engineering practice and improved material design.

4.Material

A thermoplastic material coded PP was selected to be used as the material employed in making vehicle bumpers. PP-grade is a 50 % glass fiber-reinforced high-performance polymer composite. Polypropylene (PP) is used widely in the motor vehicle sector due to its low weight, chemical resistance, and good processability. Glass fibers considerably increase the structural stiffness and impact toughness of the material [9].

Aside from their high tensile and modulus, PP products are in great demand to be used as bumpers, components whose function is the absorption of impact energy. Further, their creep under long-term mechanical loading and temperature cycling renders them insensitive to long-term deformation. Such a characteristic is critical in ensuring vehicle safety as well as bumper durability. Also, this composite material is used in an optimum way in the process of injection molding, which involves an extra step to provide maximum efficiency for mass production [9].

As a result, the PP-coded polymer material is an ideal foundation for structural strength and long-term stability in automobile bumper products and hence a good enough option for the analyses and tests conducted under this research.

5. Finite Element Analysis

Structural behavior analyses of a vehicle bumper in this study have been performed using the Finite Element Method (FEM). Finite Element Method (FEM) is a numerical method devised and presently utilized for solutions of intricate engineering as well as physical science problems. FEM allows large structures to be broken down into simpler ones easily dealt with so that the solution for each individual structure's behavior can be attained. This method calculates the global response of the system in terms of physical properties, boundary

conditions, and loading conditions for every element. FEM finds applications in most areas like structural engineering, heat transfer, fluid dynamics, electromagnetic fields, and others [10].

During analysis, the geometry of bumpers was modeled in 3D using CAD software and then meshed by applying a suitable mesh structure to divide it into finite elements.

Creep behavior of the material was then analyzed on this model. Considering the characteristics of the PP-designated material used, certain deformations that may occur because of long-term loading were evaluated.

Accordingly, the FEM analysis implemented within the present research was perceived as a good asset both in support of the correctness of materials' selection and to demonstrate structurally quantitatively safety. An example of bumper mesh structure is shown in Figure 4.

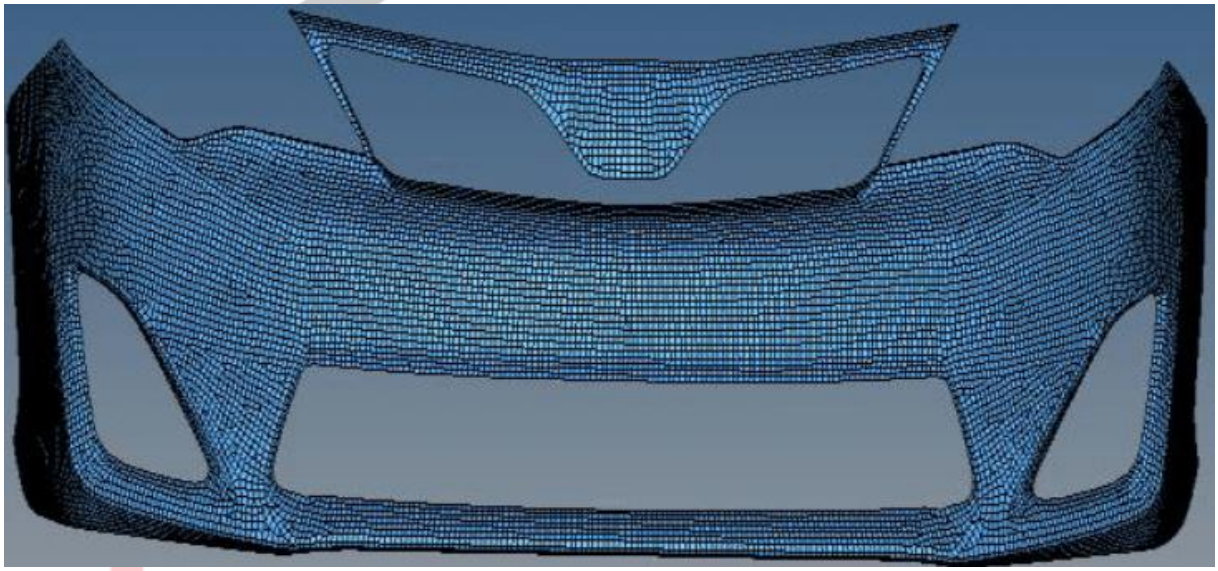


Figure 4. An example of bumper mesh structure [13]

5.1 Boundary Condition

In the context of the creep analysis carried out in this study, the thermal boundary conditions that were applied to the vehicle bumper were determined through the following steps:

Stage 1: The vehicle bumper was initially exposed to a high temperature and was kept under controlled conditions at this temperature in order to allow the thermal effect on the material to be viewed in entirety.

Stage 2: The ambient temperature was then reduced to slightly above room temperature, and the material was kept under controlled conditions at this level to permit full observation of the thermal effects.

Stage 3: During this stage, the temperature was reduced further below 0°C, and the material was again kept under controlled conditions to view the thermal effects at this low temperature.

Stage 4: In stage four, the temperature was brought back to room temperature, and testing and analysis were completed.

During all such temperature changes, the bumper was lowered under gravity so that time-dependent deformation creep behavior due to stress by its own weight could be observed.

5.2 Finite Element Analysis and Physical Test Results

In the current work, in a way to analyze the accuracy of deformation data acquired through physical test and finite element calculation, measuring points were picked up based on structural zones toward which the bumper system is being installed and contacting. The bumper

is primarily held to the vehicle structure by support elements such as the front panel, side fenders, and energy-absorbing crossbeam; additionally, it is in contact with components such as the headlamp assembly, fender liners, and engine hood for styling and functional integration. Gaps which can occur in these contact points are key measurement areas because they reflect directly both assembly tolerances and material deformations. Precise distance measurements obtained in fender-bumper and headlamp-bumper transition zones constituted the major data set for the correlation study between physical and numerical results. Example measurement points are shown in Figure 5.

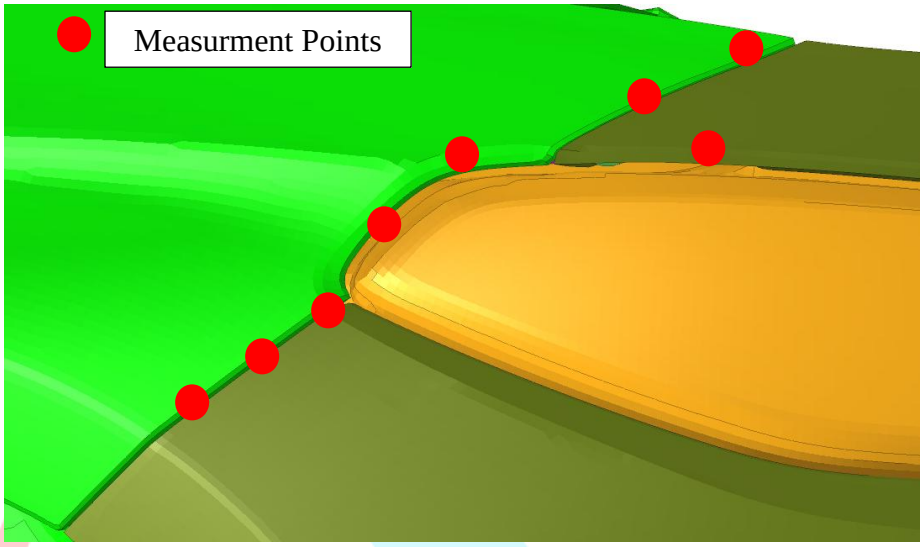


Figure 5. Example measurement points

5.3.1 Finite Element Analysis Results

In this case, the thermal load and time-dependent creep behavior of the vehicle bumper modeled using a PP-named polymer material was simulated using the Finite Element Method (FEM). Thermal effects as well as time-dependent viscoelastic deformations were considered in the FEM analysis. However, the primary topic of the study creep behavior not only encompasses temporary expansions based on temperature but also permanent deformations under long-term mechanical loading.

Thermal testing mainly illustrates how the material varies in size with temperature in accordance with its coefficient of thermal expansion (CTE), denoting short-term reversible distortions that may be quantitatively measured [11].

Yet, since such analysis does not consider time, it is inadequate to forecast what the material accomplishes when subjected to long-term loading scenarios. Looking at Figures 6 and 7, it can be observed that there is a difference in permanent deformation of around 80% between the points illustrated in the figures. This discrepancy results due to the creep characteristic of the PP-designated material. Hence, variations in tolerances, looseness at points of attachment, and significant openings between parts meant to touch or connect will occur at the end of the creep process.

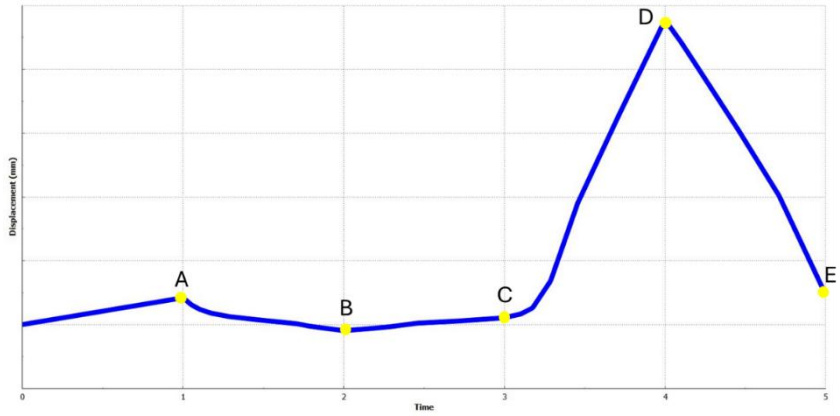


Figure 6. Thermal Behavior of the Material Under Loadings

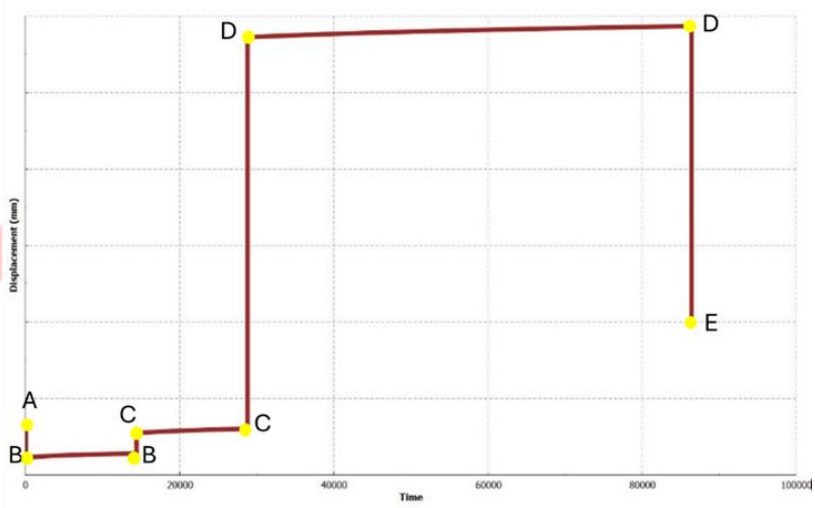


Figure 7. Creep Behavior of the Material Under Loading

In this case, the creep tests conducted offer an opportunity to observe the permanent deformation of the polymer-based bumper material over time, both in terms of time and temperature. As noted in Öztaş.'s research, evaluation of not just the impact resistance but also the long-term structural stability characteristics of polymers used in automobile bumpers is very important in design safety [6].

5.3.2 Comparison of Finite Element Analysis Results with Physical Test Results

In this study, the long-term creep behavior of the polymer material named PP, which is commonly used in vehicle bumpers, was investigated by both physical experimentation and numerical simulation conducted using the Finite Element Method (FEM).

In the physical experiment, the bumper was subjected to long-term loading under specific temperature conditions for a given time period, after which deformation measurements were taken. In the numerical simulations, the same temperature and loading conditions were simulated in order to assess the time-dependent deformation behavior of the material.

When comparing the creep analysis and the physical tests, there was an agreement of approximately 90% in the values of displacement measured in the gaps between the bumper and the fender, and the bumper and the headlamp. This tight degree of correlation is indicative not only of the validity of the boundary conditions used for the physical testing, but also of the accuracy of the material modeling of the FEM analysis. Figure 8 presents the result of the physical tests and the finite element analyses. Specifically, realistic modeling of the viscoelastic behavior of materials and thermal effects was found to be an important factor in ensuring numerical simulation reliability.

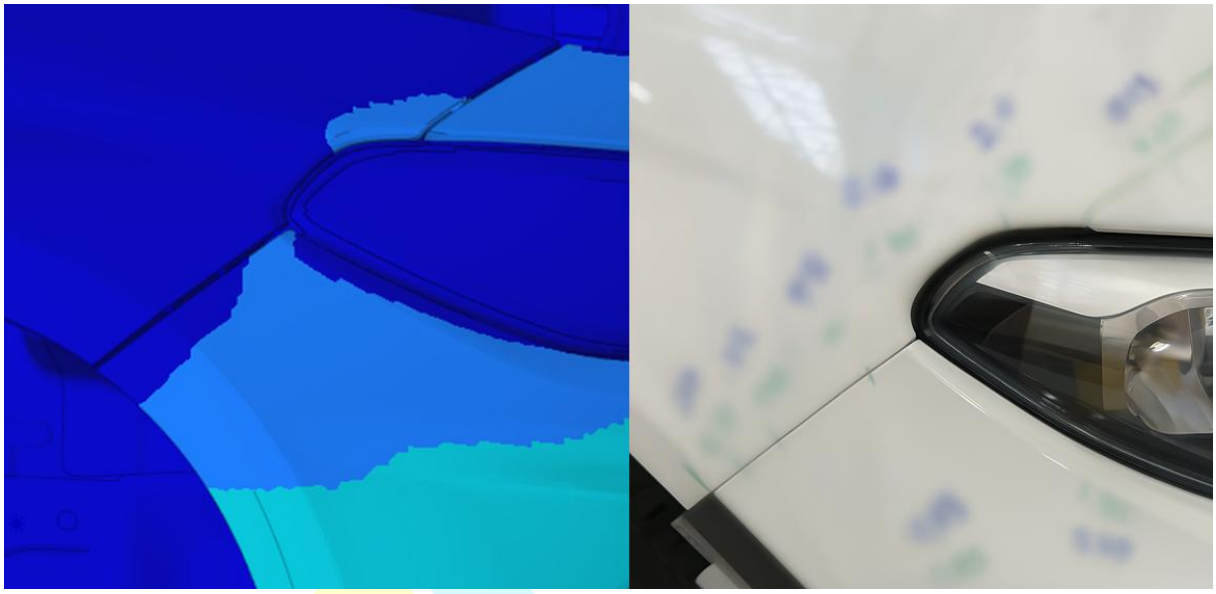


Figure 8. Finite Element Analysis and Physical Test Results

6. Conclusions

In this study, the behavior of the PP-coded polymer material used in vehicle bumpers in long-term loading and thermal cycling conditions after impact was examined using physical testing and the Finite Element Method (FEM). In experimental tests, deformation values in the regions where the bumper is in contact with structural parts like the fender and headlamp were measured. These were compared with the calculated results using FEM simulations.

The close agreement of approximately 90% between the two sets of data is proof of the validity of the material model developed and the effectiveness of the finite element approach employed.

This good agreement validates that the viscoelastic material behavior numerical model accurately depicts the time- and temperature-dependent creep behavior of polymer composites.

Material model parameters particularly creep curves, thermal expansion coefficients, and elastic modulus were paramount to establishing correlation between FEM results and real behavior. To this end, FEM is a fast, low-cost, and predictive engineering design tool, even for complex thermomechanical loading conditions.

The results show that thermal and structural response of polymer-based bumper materials can be accurately simulated and FEM-assisted engineering analysis of significant value in the prediction of long-term performance of automotive components. Proper material characterization and the corresponding finite element simulation can, therefore, not only accelerate product development cycles but also allow one to anticipate possible deformations under real service conditions.

ISBN: 978-625-372-661-4

REFERENCES

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley.

Liu, Y., et al. (2023). *Creep Behavior of Polypropylene Under Different Aging Conditions*. SPE Publications.

ASM International. (2021). *Creep and Stress Rupture Properties of Materials.*

Luo, R. K. (2021). *Creep Simulation and Experiment for Rubber Springs*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science.

Zhang, L., ve arkadaşları. "Application of Lightweight Structure in Automobile Bumper Beam: A Review." *Materials*, 2022. MDPI

Öztaş, E. "Taşıt Tamponlarında Kullanılan Termoplastik Kompozitlerin Darbe Dayanımı Özelliklerinin İncelenmesi." *Plastik ve Ambalaj Dergisi*, 2022

Kumar, R., Sharma, M., ve Singh, S. "A Critical Review of Polymer-based Composite Automotive Bumper Systems." *Journal of Composite Materials*, 2021. SAGE Journals

Smith, J., Johnson, A., ve Lee, R. "Creep and Relaxation Behavior of Thermoplastic Polymers for Automotive Bumper Applications." *Polymer Testing*, 2020. Elsevier

Strong, A. B. (2006). *Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods and Applications*. Society of Manufacturing Engineers, 2. Baskı, s. 45, 89, 153.

Hughes, T. J. R. (2018). *The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*. Dover Publications, p. 45-47.

Shen, H., & Springer, G. S. (2020). *Thermal Expansion of Composites.* Journal of Composite Materials, 54(15), 1969–1984. (s. 1970–1975)

Bhandakkar, A., Thakur, R., & Hake, R. (2019). *A Review on Creep and Its Effects on Materials*. International Journal of Science and Research (IJSR).

Yilmaz, T., & Kütükcü, B. (2019). *Toyota Camry Fascia Meshed in Hypermesh* [Figure]. In *Crashworthiness analysis of automotive bumper beam using finite element method*

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Mechanics of HVAC Airflow Noise and Its Spectral Characteristics in Vehicle Cabins

Tarık KÜÇÜK[1]

Abstract

HVAC airflow noise refers to the noise content disturbances generated by the heating, ventilation, and air conditioning system within a vehicle cabin. Unlike external aerodynamic noise, this miracle originates internally, stemming from the movement of air through the HVAC elements and its relationship with the cabin environment. As HVAC systems are essential for climate control and human comfort, their noise contribution can significantly affect the perceived quality of a vehicle's noise performance. This paper delves into the mechanisms of HVAC airflow noise generation, its transmission within the cabin, impacting factors, and occupant perception, delivering a comprehensive overview for engineering analysis.

The primary mechanisms of noise generation include turbulence in tubes, blower fan operation, flow through components and vent outlet effects. Once generated, the noise propagates through air-borne transmission, structure-born transmission, resonance in the cabin volume, reflection and interference. Factors impacting the noise characteristics and intensity include blower speed, duct design, vent outlet configuration/design, airflow rate and cabin acoustics.

Understanding these mechanisms and factors is crucial for developing effective mitigation strategies. These strategies include optimizing fan design, duct configuration, vent improvements, vibration insulation, and active noise cancellation. By addressing these aspects, engineers can enhance the acoustic environment within vehicle cabins, aligning with modern expectations for quiet and comfortable interiors. This paper aims to give detailed analysis and practical insights for perfecting HVAC system design and reducing noise situations in vehicle cabins.

Keywords: Airflow noise, Ventilation, Vehicle Air conditioning systems (HVAC), Ducts, Blower Fan

[1] NVH Senior Technical Specialist, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., tarik.kucuk@tofas.com.tr, Orcid: 0000-0002-4895-4036

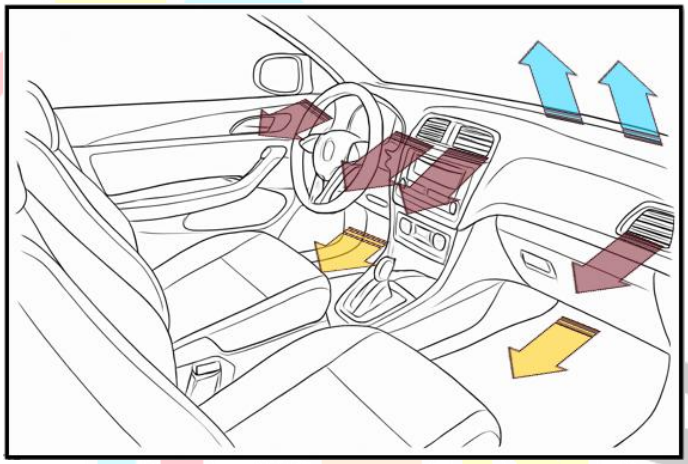
ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

HVAC airflow noise is the sound created by the heating, ventilation, and air conditioning system inside a vehicle cabin. Unlike external aerodynamic noise, this type of noise comes from within the vehicle, caused by the movement of air through the HVAC components and its relation with the cabin environment. Since HVAC systems are key for climate control and occupant comfort, their noise can significantly impact the perceived quality of a vehicle's interior. This explanation explores the mechanisms behind HVAC airflow noise generation, its transmission within the cabin, impacting factors, and occupant perception, providing a comprehensive overview for engineering analysis.

Mechanisms of HVAC Airflow Noise Generation

HVAC airflow noise arises from the forced movement of air through the system's components, driven by a blower motor.

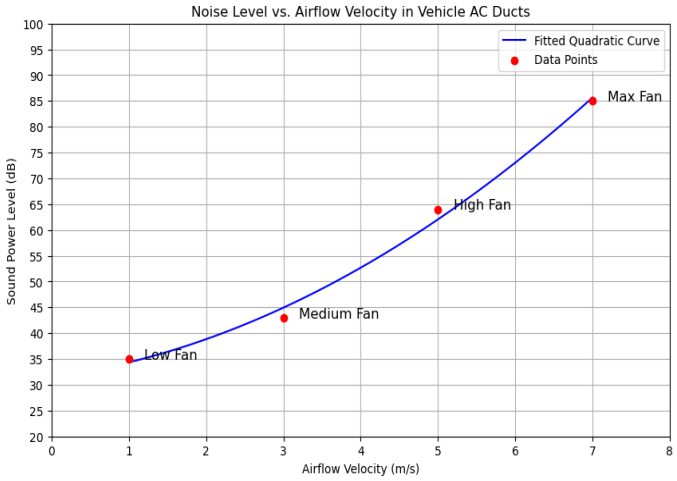


Picture 1: Definition of Flow Noises (Defrost, Face, Floor)

The primary mechanisms of HVAC airflow Noise could be defined by these topics.

Turbulence in Ducts

Air forced through HVAC ducts encounters bends, condensation, and expansions, leading to turbulent inflow. This turbulence generates pressure oscillations, producing broadband noise that varies with airflow velocity and duct geometry.



Picture 2: *Turbulent Flow Noise in Ventilation Ducts*

Blower Fan Operation

The blower fan, generally a centrifugal or axial type, accelerates air into the system. At higher speeds, the fan blades produce periodic pressure pulses (blade end frequence noise) and turbulent swirls, contributing both tonal and broadband noise.

Flow Through Components

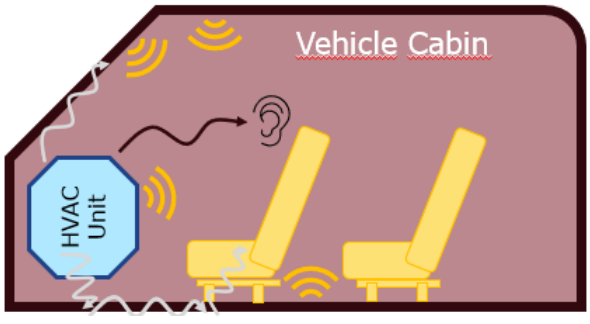
Air passing over heat-exchangers (e.g., evaporator, heater core) or dampers disrupt smooth flow, causing separation and vortex shedding. These disturbances induce additional noise, frequently affecting the high frequencies.

Vent Outlet Effects

At the cabin vents, high- velocity air exits into the cabin space, creating shear layers and jet-like noise. Narrow or badly designed vents can amplify this effect, occasionally producing whistling or hissing sounds due to resonance.

Transmission Paths Within the Vehicle Cabin

Once generated, HVAC airflow noise propagates throughout the cabin via several paths



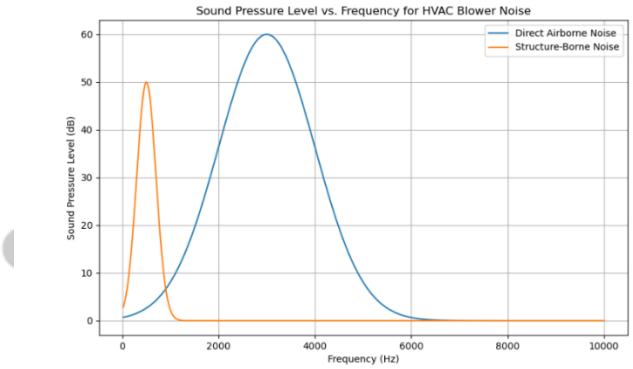
Picture 3: *Transmission Paths of HVAC Airflow Noise*

Direct Airborne Propagation

Noise from the blower, ducts, and vents travel as sound waves directly into the cabin. The open nature of vent outlets ensures minimum attenuation, allowing high- frequence factors to reach occupants readily.

Structure- Borne Transmission

Vibrations from the blower motor or ductwork, mounted to the vehicle's dashboard or firewall, transfer to adjacent panels. These panels also radiate noise into the cabin, particularly at lower frequencies.



Picture 4: *Noise Propagation of Blower Fan*

Resonance in Cabin Volume

The enclosed cabin acts as an acoustic cavity, amplifying certain frequencies through standing waves. For example, low- frequence noise from the blower can couple with the cabin's natural modes, enhancing its audibility.

Reflection and Interference

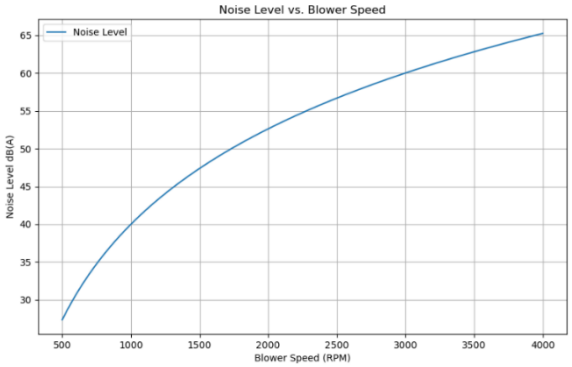
Hard surfaces (e.g., dashboard, windows) reflect HVAC noise, creating complex interference patterns that may support or cancel specific frequencies, altering the sound field endured by occupants.

Factors affecting HVAC Airflow Noise

The characteristics and intensity of HVAC airflow noise depend on multiple design and functional variables.

Blower Speed Noise

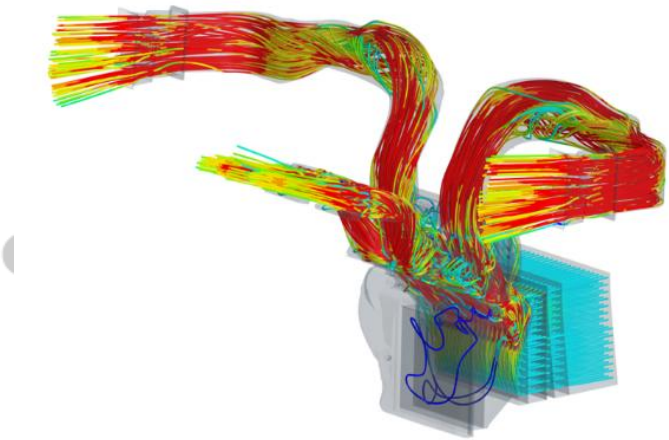
Blower speed noise increases with fan speed, frequently following a logarithmic relationship (e.g., dB $\propto$ log (RPM)). Higher settings amplify both turbulence and blade passing noise.



Picture 5: *Noise level vs. Blower Speed*

Duct Design

Smooth, wide ducts reduce turbulence, while sharp bends, narrow sections, or rough surfaces increase noise. Length and material (e.g., plastic vs. insulated) also affect sound transmission.



Picture 6: CFD Results of Airflow Speed Analysis for Ducts

Vent Configuration

The size, shape, and orientation of vents impact outlet noise. Small or angled vents can produce jet effects, while larger, diffuser- style reflections disperse air more still.

Component Condition

Worn bearings in the cracker motor or debris in tubes (e.g., leaves, dust) introduce rattling or irregular noise, decreasing system performance.

Airflow Rate

Higher airflow settings, necessary for fast heating or cooling, elevate noise levels due to increased velocity and turbulence.

Cabin Acoustics

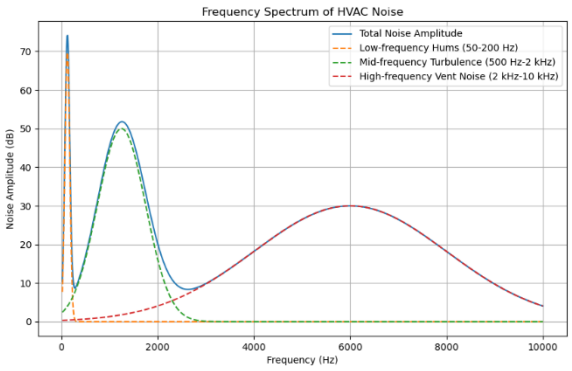
The cabin's size, shape, and insulations (e.g., carpet, upholstery) absorb or reflect sound, changing the perceived noise spectrum.

Perception and Characteristics Inside the Cabin

HVAC airflow noise manifests distinctly within the cabin, influencing occupant satisfaction

Frequency Spectrum

The frequency content of the HVAC systems air flow noise content independent from flow speed can be described as: Low- frequency hums (50 – 200 Hz) arise from blower motor vibrations and duct resonance, while mid-to-high-frequency hisses (500 Hz – 2 kHz) stem from vent outlets and turbulence. Tonal peaks may come about at the blade passing frequency (e.g., RPM × number of blades 60).



Picture 7: *Frequency Distribution of HVAC Airflow Noise*

Spatial Distribution

Noise is loudest near vent outlets (e.g., dashboard) and diminishes with distance, though reflections can produce hotspots away. Rear-seat passengers may hear less direct articulation noise but more reflected sound.

Subjective Impact

Continuous HVAC noise can mask exchanges or audio playback, increase fatigue, and reduce the sense of cabin refinement. High-pitched whistling from vents is particularly irritating to occupants.

Mitigation Strategies

Reducing HVAC airflow noise requires targeted engineering solutions, some improvements in design, using different methodologies or additional components could also be a solution. Some of the main titles could be listed:

Fan Design

Fan Design is applied to quieter, aerodynamically optimized blades or variable- speed motors minimize turbulence and tonal noise. Low noise motors like brushless ones could be preferred. Bigger-sized fans delivering same flow in low speeds are better alternatives where the space is not a big concern.

Duct Optimization

Smoothing bends, adding acoustic liners (e.g., foam), and avoiding constrictions reduce turbulence- induced noise.

Articulation Improvements

Larger, rounded vents or diffusers lower air velocity and eliminate whistling.

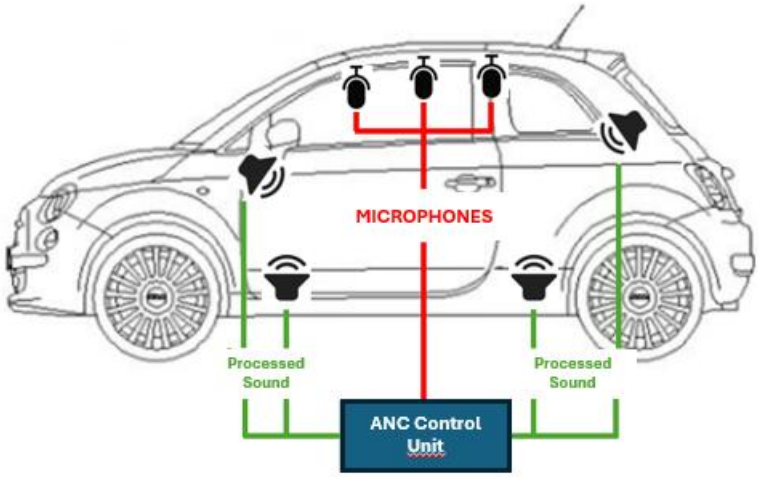
Vibration Isolation

Mounting the blower with rubber dampers reduces structure-born noise transmission.

Active Noise Cancellation

Advanced systems with microphones and speakers can cancel HVAC noise, though this is less common in current vehicles. The system acquires live noise content with microphones

and by processing and applying a sound through speakers which has produced with antiphase content can lower the overall noise levels inside the vehicle cabin.



Picture 8: *Frequency Distribution of HVAC Airflow Noise*

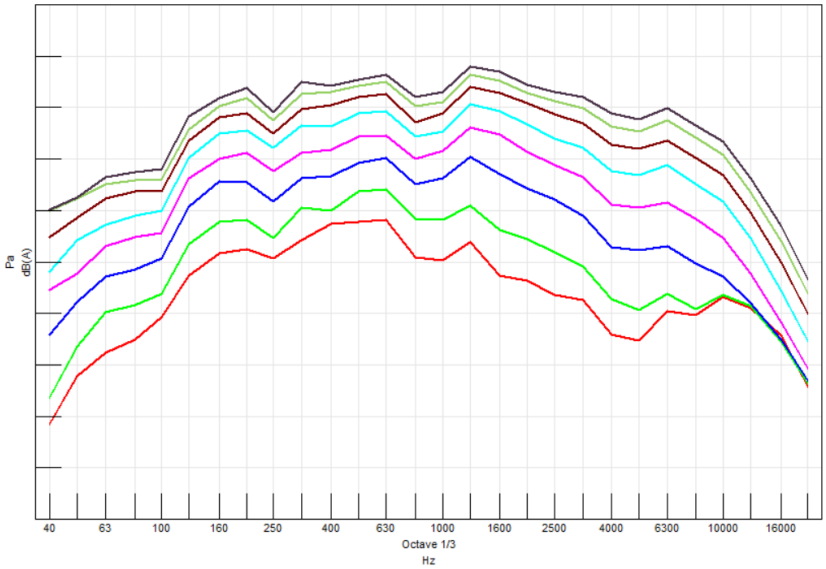
Spectrum Content of the Noise Levels for Speed Settings

The noise levels and spectral characteristics of HVAC airflow vary significantly with fan speed settings. At lower speeds, the noise is primarily composed of low- frequence hums and minimum turbulence- induced broadband noise. As the fan speed increases, the noise spectrum broadens, incorporating mid-to-high-frequency components due to increased turbulence and blade passing frequency noise. The spectrum content of the system which is the outcome of the system's working speeds (airflow speeds) are described as:

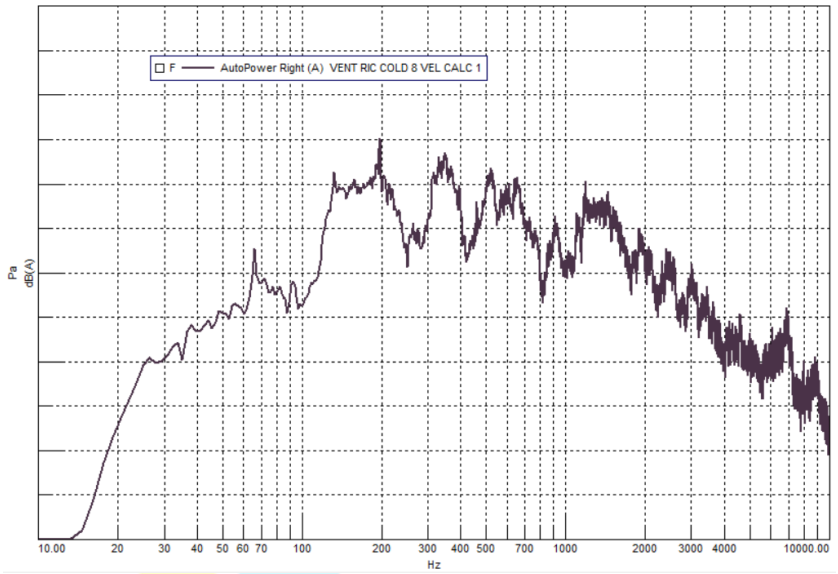
Low Speed: Dominated by low- frequence hums (50 – 500 Hz) with minimum broadband noise.

Medium Speed: Increased turbulence introduced mid-frequency noise (200 – 2000Hz), with noticeable tonal peaks at blade passing frequencies.

High Speed: High turbulence and High-speed blade movement induce significant broadband noise (500 Hz – 5 kHz), including high- frequency hisses and tonal peaks.



Picture 9: *Noise Levels in 1/3 Octave Bands for Different Fan Speeds [From Speed 1 (Red) to Speed 8 (Black) in Order]*



Picture 10: *Frequency Content of Highest Speed (Noise level vs Frequency)*

Conclusion

HVAC airflow noise in a vehicle cabin generally arises from turbulence within the airflow, operational aspects of the blower, and effects at the air vents. This noise propagates through various paths including airborne transmission, structure- borne vibrations, and resonant frequentness. Factors impacting this noise include fan speed, duct geometry, and the acoustic properties of the cabin. Such noise can significantly impact passenger comfort, challenging effective mitigation strategies. By optimizing system components and incorporating advanced noise- reducing technologies, engineers can enhance the acoustic environment, thereby aligning with expectations for quieter vehicle interiors.

On vehicle tests clarifies the frequency content of the Air Flow Noise. At low speeds the low frequency content is high contribution. At medium speed the flow noise takes ahead of fan motor noise.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

EXAMİNATİON AND EVALUATİON OF LED CONVERSİON İN LİGHTİNG OF EDUCATİONAL BUİLDİNGS İN TERMS OF VİSUAL COMFORT AND ENERGY EFFİCİENCY

Tuba BASKAN[1]

Abstract

Education is important in the development of societies all over the world. The appropriateness of physical environment conditions has a great effect on the continuation of education as required. In the relationship between humans and their environment, the largest proportion is formed by visual perception. In the educational process, the contribution of visual perception to learning is greater than the contributions of other sense organs. Therefore, the ability to learn completely, correctly, without tiring and without much effort depends largely on the provision of good vision conditions, that is, visual comfort. In addition to providing the necessary conditions in terms of quantity and quality of lighting, the appropriate use of energy in lighting is also an important factor. Generally, the electrical energy used in artificial lighting covers a large proportion of all electrical energy consumed. It is clear that a large amount of energy savings will be achieved with efficient energy use without compromising visual comfort, especially in structures such as educational buildings that are used for long periods and throughout the day.

Today, lighting luminaires with traditional light sources continue to be widely used in educational buildings from primary school to university. However, due to the development of LED technology, it is important for sustainability that long-lasting and energy-efficient LED lighting luminaires replace traditional systems. In this context, it is recommended to carry out LED conversion, especially in educational buildings used for long periods throughout the day.

In this study, lighting design will be created with traditional lighting luminaires in a typical classroom, which is the main space of educational buildings. After replacing traditional lamps and luminaires with LED lamps and luminaire systems, Visual comfort and energy use data obtained will be compared and evaluated in terms of visual comfort and efficient energy use.

Keywords: LED Lighting, Visual Comfort, Energy Efficiency, Educational Buildings, Sustainability

[1] Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Orcıd: 0000-0001-8174-0147

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Eğitim Yapıları Aydınlatmasında Led Dönüşümünün Görsel Konfor ve Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi

1. Giriş

Eğitim, bireyin yaşamla ilgili temel bilgi ve becerileri kazanmasını ve içinde yaşadığı toplumun gelişmesine katkı vermesini sağlayan sistemli bir süreçtir. Eğitimin verimli bir biçimde sürdürülmesinde, görsel algılamanın katkısı öteki duyu organlarının katkılarından daha fazladır. Bu nedenle, öğrenmenin tam, eksiksiz, verimli bir biçimde, yorulmadan, uzun sürede gerçekleşmesi büyük oranda iyi görme koşullarının sağlanmasına yani görsel konfora bağlıdır. Yapılarda, tekniğine uygun aydınlatma tasarımı ile birlikte enerjinin verimli kullanımı da önem taşımaktadır. Ülkemizde, yapma aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisi, tüketilen tüm elektrik enerjisi içinde, büyük bir oranı kapsamaktadır. Özellikle, okullar gibi, uzun süreli ve gün boyunca kullanılan yapılarda, görsel konfordan ödün vermeden sağlanan verimli enerji kullanımı ile büyük oranda enerji tasarrufu elde edileceği açıktır. Bunun yanı sıra, enerji verimli ve uzun ömürlü ışık kaynakları, aydınlatma aygıtları ile kullanım-bakım giderlerinin azaltılmasının ülke ekonomisine ve eğitimin niteliğinin yükseltilmesine katkısı da söz konusudur.

Günümüzde, ilköğretimden, üniversiteye kadar eğitim yapılarında geleneksel ışık kaynaklarına sahip aydınlatma aygıtlarının kullanımı halen devam etmektedir. Bunların arasında özellikle flüoresan lambalar, mevcut yapılarda, genel aydınlatma amaçlı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. LED teknolojisinin gelişmesi ve ilk yatırım maliyetlerinin ilk üretildikleri yıllara göre daha düşük olması nedeniyle, uzun ömürlü ve enerji verimli LED ışık kaynaklı aygıtların, geleneksel aygıtların yerini alması, sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır. Bu bağlamda, özellikle gün boyu, uzun sürelerde içinde yaşanan eğitim yapılarında LED dönüşümü uygulamalarının yapılması önerilmektedir. Bu çalışmada, mevcut eğitim yapılarında halen kullanılmakta olan geleneksel lamba ve aygıtların yerine, görsel konfor ve enerjinin verimli kullanımı yönünden daha uygun olan LED lamba ve aygıtlarının kullanılmasıyla sağlanan enerji tasarrufu ve iyi görme koşullarının ortaya konması amaçlanmıştır.

2. Yöntem

Eğitim yapıları aydınlatmasında LED dönüşümünü örneklemek amacıyla, eğitim yapılarının temel mekanı olan tip derslik hacminde, son yıllarda sıklıkla kullanılan geleneksel ışık kaynaklı (flüoresan lamba) bir aygıtla, genel aydınlatma düzeni kurulmuştur. LED dönüşümünün önemini ortaya koymak amacıyla, lamba değişimi ve aygıt değişimi olmak üzere iki farklı uygulama ele alınmıştır. Birinci uygulamada, flüoresan lamba yerine, LED lamba kullanılarak, aynı lamba ve aygıt sayısı ile genel aydınlatma düzeni oluşturulmuştur. İkinci uygulamada ise, flüoresan lambalı aygıtlar yerine daha az sayıda LED ışık kaynaklı aydınlatma aygıtları kullanılarak genel aydınlatma düzeni kurulmuştur. Her iki uygulama sonucunda elde edilen görsel konfor ve enerji kullanımı verileri karşılaştırılarak, sonuçlar incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

3. Eğitim Yapılarında Görsel Konfor Koşulları ve Enerjinin Verimli Kullanımı

Eğitim yapılarının en önemli ve genel fiziksel mekanı olan derslikler, çeşitli görsel eylemlerin gerçekleştirildiği mekanlar olarak, fizik ortam koşullarından biri olan görsel konforun sağlanması, öncelikle önem taşıyan bir konudur. Görsel konfor ise, dersliklerde yapılan işlevlere göre, aydınlatma tekniği yönünden, iyi görme koşullarını sağlayacak düzenlerin oluşturulması ile olanaklıdır. Tekniğine ve hacmin işlevine uygun bir aydınlatma düzeni ile, hacmin kolayca algılanabilmesi ve rahat bir çalışma ortamı sağlanabilir. Böylece, kişilerin dikkatinin dağılmaması, daha etkin ve hızlı çalışarak eğitimin veriminin artması ve kişilerin isteyerek ve severek çalışabilmeleri gibi sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, görme eylemini uzun süre sürdürmekten kaynaklanabilecek, gözde yanma, ağrı, baş ağrısı vb. rahatsızlıklar önlenebilir. (Bostancı Baskan, 2004:11)

Eğitim yapılarında aydınlatma tasarımı yapılırken, belirli standartlar doğrultusunda belirlenmiş olan değerleri dikkate almak gerekir. Bu bağlamda, eğitim yapılarında sağlanması gereken görsel konfor koşulları için çeşitli standartlar ve yönetmelikler bulunmaktadır. Bu standartlardan biri, Avrupa'da ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan EN 12464-1: Işık ve Aydınlatma, Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Çalışma Alanları'dır. Bu standartta farklı işlevlere göre yapma aydınlatma ölçütleri açısından sağlanması gereken minimum değerler belirtilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Eğitim Yapıları İçin Gerekli Aydınlatma Ölçütleri (EN12464-1, 2011,69)

Eylem türü	**Ortalama aydınlık düzeyi E_m - E_{ort} (lux)**	**Aydınlığın düzgünlüğü U_o (E_{min}/E_{ort})**	**Renksel geriverim R_a**	**Kamaşma UGR**
Derslik	500	0.60	80	19
Yazı tahtası	500	0.70	80	19
Resim atelyeleri	500	0.60	80	19
Sirkülasyon alanları	100	0.40	80	25

Aydınlatmada görsel konforun sağlanmasının yanı sıra, enerjinin verimli kullanılması da önemli bir etmendir. Yapma aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisi, tüketilen tüm elektrik enerjisi içinde, değişik işlevlere sahip yapılar için, büyük bir oranı kapsamaktadır. Özellikle, eğitim yapıları gibi, gün boyunca kullanılan yapılarda, görsel konfordan ödün vermeden sağlanan verimli enerji kullanımı ile büyük oranda enerji tasarrufu elde edileceği açıktır. Enerjinin verimli kullanımına yönelik olarak seçilecek uygun aydınlatma elemanlarıyla (lamba, aygıt vb.), kullanım süresinde bakım giderleri de azaltılmış olacaktır. Böylece, dersliklerde, verimli enerji kullanımı ile görsel konforun sağlanması ve kullanım süresince bakım giderlerinin azaltılmasının, ülke ekonomisine ve eğitimin niteliğinin yükseltilmesine katkısı da büyük olacaktır.

4. Eğitim Yapıları Aydınlatmasında LED Dönüşümü

Gün boyu içinde yaşanılan okul, ofis, hastane vb yapılarda, genel olarak, ışık verimlerinin yüksek, ömürlerinin uzun ve kullanım giderlerinin düşük olması açısından, geleneksel ışık kaynakları olan flüoresan lambalar, ilk olarak tanıtıldığı 1937 yılından itibaren sıklıkla kullanılmıştır. Günümüzde, halen ilköğretimden, üniversiteye kadar mevcut eğitim yapılarında flüoresan lambalı aydınlatma aygıtları yer almaktadır. Flüoresan lamba, genel olarak, alçak basınçlı civa buharı doldurulmuş, boşalmalı lambadır. Bu tür lambalarda ışık, elektriksel boşalma ve flüorışıma sonucu üretilir. Lambanın iki ucundaki elektrotlar, boşalmayı sağlayacak olan elektronları gönderir. Elektronların civa buharına esnek çarpması sonucu üretilen morüstü ışınımlar, ampul iç yüzeyindeki flüorışıl tozları uyarır. Flüorışıma sonucu

oluşan görünür ışınım (ışık), lamba dışına yayımlanır. Flüoresan lambaların genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: (Bostancı Baskan, 2004:30)

- Işık verimleri 72-104 lm/W, ömürleri 13000-20000 saat arasındadır.
- Renksel geriverimleri, tüpün içine sürülen flüorışıl tozların türüne ve karışım oranına bağlı olarak, R_a: 40-90 arasında değişim gösterir.
- Renk sıcaklıkları, 2700K-6500K arasında değişir.
- Balast ve starter gibi ek parçalar gerektirirler.
- Özel düzenlerle (elektronik balast vb) donatıldığı zaman dimmerlenebilirler.
- Sık yakılıp söndürülmeleri, ömürlerinin kısalmasına neden olur.
- Işık üretiminde civa buharı kullanıldığından, kontrolsüz atık olma durumunda, çevreye ve dolayısıyla insan sağlığına zararlıdır.

LED (Light Emitting Diode – Işık Yayımlayan Diyot) teknolojisinde ışık üretimi, genel olarak, yarı iletken malzemede elektrik enerjisinin ışık enerjisine dönüşmesi ile gerçekleşir. LED teknolojisinde, ilk aydınlatma uygulamaları, 2000 yılında renkli ışığın (RGB) kent aydınlatmasında kullanılmasıyla başlamıştır. Beyaz ışıklı LED ise okul, ofis, mağaza vb işlevsel aydınlatma uygulamalarında, 2010 yılından itibaren başlamış ve günümüze kadar yaygın bir biçimde devam etmiştir. LED ışık kaynaklarının genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: (Bommel, W., Rouhana, A., 2016:17)

- Işık verimleri ortalama 100-120 lm/W, ömürleri ortalama 50000 saattir (L70).
- Uzun ömürlü olduğu için bakım giderleri düşüktür.
- Renksel geriverimleri R_a: 60-90 arasındadır.
- Renk sıcaklıkları, 2700K-6500K arasında değişir.
- Işığın içinde morüstü (UV) ve kızılaltı (IR) ışınımlar bulunmadığı için organik nesnelere zarar vermez.
- Sürücü ile çalışır.
- Sürücünün özelliğine bağlı olarak dimmerlenebilir.
- Akkor lambalar gibi sık yakılıp söndürülebilir, ömürleri kısalmaz.
- Civa içermediği için çevreye ve insan sağlığına zarar vermez.
- Titreşime dayanıklıdır.
- Aydınlatma kontrol sistemleriyle kolay entegre edilebildiği için, aydınlık düzeyi kontrolü ve dolayısıyla ek enerji tasarrufu kolaylıkla sağlanabilir.

Flüoresan lamba ve LED ışık kaynaklarının yukarıda sıralanan genel özellikleri dikkate alındığında, eğitim yapıları gibi gün boyu uzun saatler içinde yaşanılan yapılarda, aydınlatmada iyi görme koşullarının sağlanması, verimli enerji kullanımı ve bakım giderlerinin azaltılması yönlerinden LED lamba ve aygıtların kullanılmasının önemi görülmektedir. Bu nedenle, mevcut eğitim yapılarında halen kullanılmakta olan flüoresan lambalı aydınlatma aygıtlarının, LED lamba ve / ya da LED aydınlatma aygıtları ile değiştirilmesi yani LED dönüşümü yapılması sayesinde, görsel konfor koşullarının sağlanmasının yanı sıra, flüoresan lambalı geleneksel aydınlatma sistemine göre, verimli enerji kullanımının ve bakım giderlerinin azaltılmasının olanaklı olacağı açıktır.

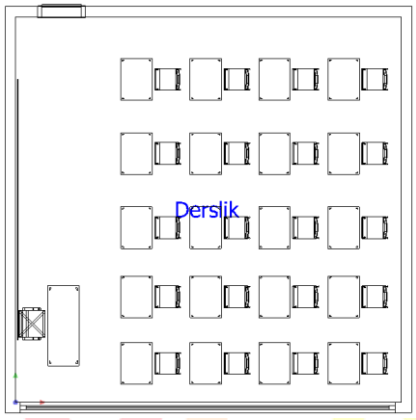
Günümüzde, aydınlatma düzenlerinde enerji tasarrufu sağlanması amacıyla aydınlatma kontrol sistemlerinden de yararlanılmaktadır. Kişilerin hacimde bulunmadığı zamanlarda ve/ya da günışığından yararlanma vb. durumlarda, aydınlık düzeyinin denetlenmesi için kullanılan bu sistemler, LED aydınlatma sistemleriyle daha kolay entegre olabilmektedir. Aydınlatma kontrol sistemleri, elektroniğin geliştiği ve yaygınlaştığı günümüz koşullarında, enerji tasarrufunun yanı sıra, konforlu bir çalışma ortamı yaratmak amacıyla da eğitim yapıları gibi pek çok çalışma ortamında kullanılmaktadır.

4.1. Eğitim Yapılarında LED Dönüşümü Uygulamaları

Mevcut eğitim yapılarında, görsel eylemlerin tam ve doğru bir biçimde gerçekleşmesini sağlamak, aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisi giderlerini, bakım harcamalarını azaltmak, çevreye zarar vermeyen atık oluşturmak vb amaçlarla, geçmişten günümüze yaygın bir biçimde kullanılmakta olan flüoresan lambalı geleneksel aydınlatma düzenlerinin, LED aydınlatma sistemleriyle değiştirilmesi yani LED dönüşümü yapılması büyük önem taşımaktadır. Günümüzde, aydınlatmada LED dönüşümü uygulamaları, lamba değişimi ya da aygıt değişimi olmak üzere iki biçimde ele alınabilir:

- Lamba değişimi: Flüoresan lamba ile çizgisel LED lamba (LED tüp) değişimi
- Aygıt değişimi: Flüoresan lambalı aygıt ile LED ışık kaynaklı aygıt değişimi

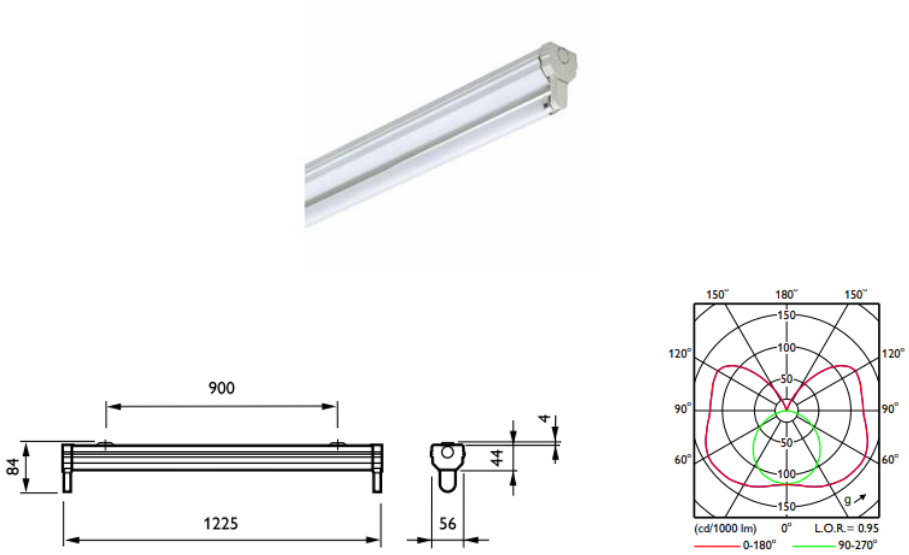
Aydınlatmada LED dönüşümü uygulamalarına örnek oluşturmak, LED aydınlatma sistemlerinin olumlu özelliklerini ortaya koymak amacıyla, eğitim yapılarının en genel mekanı olan derslik hacmi ele alınmıştır. Bir tip derslik hacminde her iki uygulama incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Tip derslik hacmi için, ilköğretimden üniversiteye tüm eğitim yapılarında yer alabilecek, mimari yönden uygun boyutlara sahip bir derslik hacmi belirlenmiştir. (MEB, 2013). Hacmin boyutları 7.40 m x 7.40 m x 2.80 m'dir. Hacmin iç yüzeylerinin yansıtma çarpanları, çalışma mekanları için önerilen değerler olan, tavan: 0.70, duvarlar: 0.50, döşeme: 0.30 olarak alınmıştır. Çalışma düzlemi yatay olup, yüksekliği, 0.80 m.'dir.



Şekil 1. Tip Derslik Hacminin Planı (Hacmin boyutları 7.40 m x 7.40 m x 2.80 m'dir.)

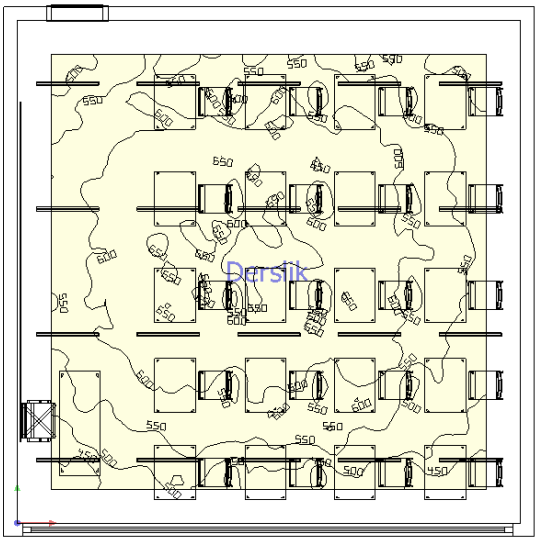
Bu çalışmada oluşturulan tüm aydınlatma düzenlerinde, ortalama aydınlık düzeyi değerleri, bilgisayar programı (Dialux evo 13) aracılığı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, zaman içinde, lambaların ışık verimlerinin düşmesi ve aydınlatma aygıtlarında toz, kir birikmesi nedeniyle aydınlık düzeyinde oluşabilecek azalmayı önceden dikkate almak için, bakım faktörü 0.90 olarak alınmıştır.

Çalışmada öncelikle, günümüzde halen geleneksel sistemle aydınlatılan dersliklerde kullanılan flüoresan lambalı aygıtlar ile hacim içinde genel aydınlatma düzeni oluşturulmuştur. Pencere düzlemine ve oturma düzenine göre bakış doğrultusuna dik olarak yerleştirilen aygıtlar, yansıtıcısız olup, içinde 40W gücünde, TL-D 54 tipi çizgisel flüoresan lamba bulunmaktadır. TL-D 54 flüoresan lambanın renk sıcaklığı: 6200K, renksel geriverim indeksi: 72 ve renksel geriverim sınıfı 2A'dır. Işık akısı: 2500 lümen olan bu tip flüoresan lambanın ömrü 13000 saattir. Geleneksel sistemde kullanılan aygıta ilişkin, biçim, boyut, ışık dağılım diyagramı bilgileri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Flüoresan Lambalı Aygıt, Ölçüleri ve Işık Dağılım Diyagramı (URL1)

Geleneksel sistemde, genel aydınlatma düzeni kurmaya yönelik kullanılan bu aygıtlar, hacim içinde 0.80 m. yüksekliğindeki yatay çalışma düzlemi üzerinde, derslikteki görsel eylemler için gerekli ortalama aydınlık düzeyini ve aydınlığın düzgün dağılımını sağlayacak biçimde yerleştirilmiştir. Flüoresan lambalı aygıtların hacim içindeki yerleşimi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Flüoresan Lambalı Aygıtların Yerleşimi ve Ortalama Aydınlık Düzeyi Dağılımı

- **Görsel Konfor Koşulları:**

Aydınlık düzeyi: Geleneksel aydınlatma düzeninde, çalışma düzlemi üzerinde hesaplanan ortalama aydınlık düzeyi 577 lux olarak saptanmıştır.

Işığın rengi: Aydınlatma aygıtlarının içinde bulunan TL-D 54 tipi çizgisel flüoresan lambanın renksel geriverimi 72'dir. Bu değer, standartlarda renksel geriverimin 80 olması gerektiği belirtilen derslik hacimleri için uygun değildir. Lambanın renk sıcaklığının ise, standartlarda, 2900K - 4300K arasında olması gerektiği belirtilirken, bu hacimde kullanılan lambanın renk sıcaklığı 6200K'dir.

Işığın doğrultusal yapısı ve gölge niteliği: Geleneksel aydınlatma düzeninde, yayınık bir ışık alanı ve gölgesiz bir aydınlık söz konusudur.

Aydınlık düzeyi dağılımları: Geleneksel aydınlatma düzeninde, çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyi dağılımları düzgün olup, E_{min}/E_{ort} = 0.70 olarak hesaplanmıştır.

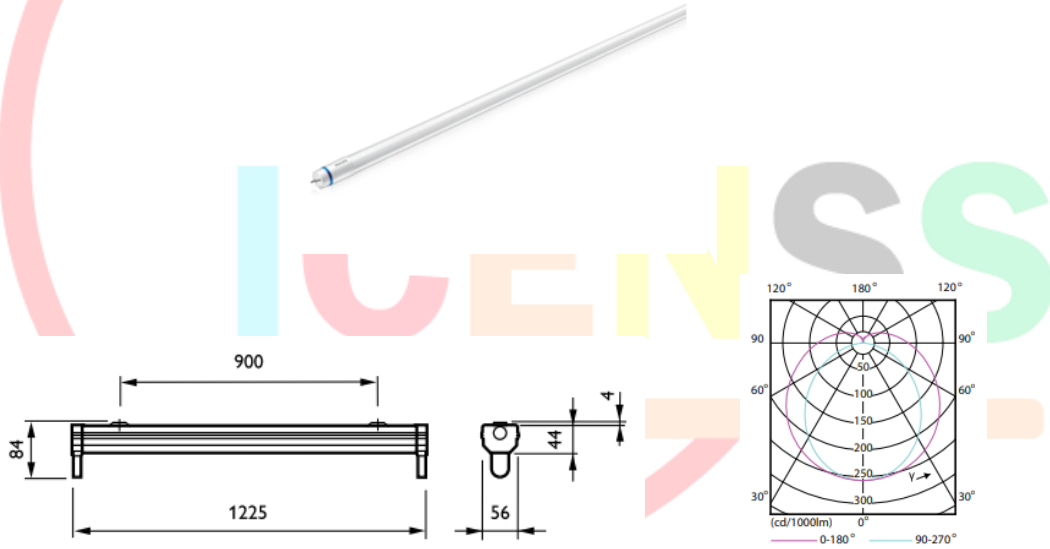
Işıklılık ve kamaşma: Geleneksel aydınlatma düzenindeki lambalar, önünde palet vb. nesnelerle maskelenmeyip, çıplak olarak kullanıldığından, görme alanı içine girmekte ve dolaysız kamaşmaya neden olmaktadır. (UGR:22)

- **Enerji Kullanımı:**

Geleneksel aydınlatma düzeninde, aygıtların, yansıtıcısız olarak kullanılması nedeniyle, aydınlık, çalışma düzleminin yanı sıra, tavan ve duvar yüzeylerine de yönlenerek, boşa harcanıp, enerji kullanımı açısından olumsuz bir durum oluşturmaktadır. Söz konusu düzende, içinde birer adet 40W gücünde flüoresan lamba bulunan 20 adet aydınlatma aygıtı bulunmaktadır. Bu hacimde, çalışma düzlemi üzerinde hesaplanan ortalama aydınlık düzeyi 577 lux'tür. Sistemde harcanan güç, 800 W'tır (balast kayıpları ihmal edilmiştir). Buna göre, 1 lux aydınlık düzeyini elde etmek için harcanan güç, 1.39 W olarak hesaplanmaktadır.

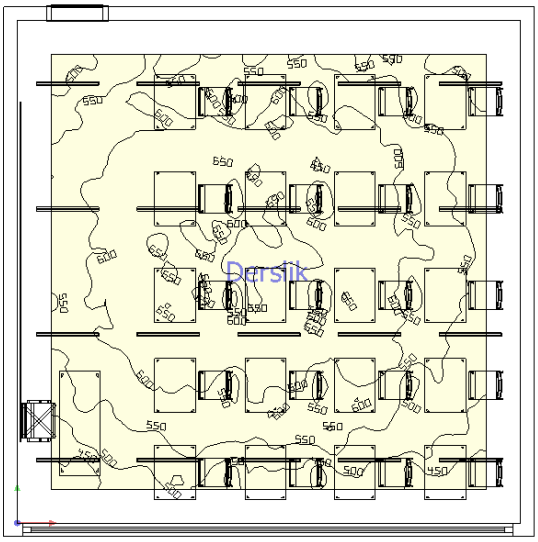
4.1.1. Lamba Değişimi: Flüoresan Lamba ile Çizgisel LED Lamba (LED tüp) Değişimi

Geleneksel aydınlatma düzenindeki aygıtın içinde yer alan flüoresan lamba, ölçüleri ve ışık akısı aynı olan çizgisel LED lamba (LED tüp) ile değiştirilmiştir. Bu düzendeki aygıt yine yansıtıcısız özellikte olup, içinde 13W gücünde çizgisel LED lamba bulunmaktadır. Çizgisel LED lambanın renk sıcaklığı: 4000K, renksel geriverim indeksi: 80'dir. Işık akısı: 2500 lümen olan bu tip LED lambanın ömrü 60000 saattir (L70). Sadece lamba değişimi yapılan bu uygulamada kullanılan aygıt ve lambaya ilişkin, biçim, boyut, ışık dağılım diyagramı bilgileri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Çizgisel LED Lamba, İçinde Yer Aldığı Aygıtın Ölçüleri ve Işık Dağılım Diyagramı (URL1)

Çizgisel LED lambalı bu aygıtların hacim içindeki yerleşimi ve hesap sonucunda elde edilen ortalama aydınlık düzeyi dağılımı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Çizgisel LED Lambalı Aygıtların Yerleşimi ve Ortalama Aydınlık Düzeyi Dağılımı

- **Görsel Konfor Koşulları:**

Aydınlık düzeyi: Çizgisel LED lamba kullanılarak oluşturulan aydınlatma düzeninde, çalışma düzleminin üzerinde belirlenen ortalama aydınlık düzeyi değeri, 581 lux olarak saptanmıştır.

Işığın rengi: Kullanılan aydınlatma aygıtlarının içinde bulunan çizgisel LED lambanın renksel geriverimi R_a>80 ve renk sıcaklığı ise 4000K'dir. Bu değerler, standartlara göre, derslik hacimleri için uygundur.

Işığın doğrultusal yapısı ve gölge niteliği: Kurulan düzende, yayınık bir ışık alanı ve gölgesiz bir aydınlık söz konusudur.

Aydınlık düzeyi dağılımları: Kurulan aydınlatma düzeninde, yatay çalışma düzleminde, en az aydınlık düzeyinin, ortalama aydınlık düzeyine oranı ile tanımlanan düzgünlük değeri E_{min}/E_{ort} = 0.70 olarak hesaplanmıştır. Böylece hacimde kabul edilebilir düzgün yayılmış bir aydınlık sağlanmıştır.

Işıklılık ve kamaşma: Uygulanan aydınlatma düzenindeki çizgisel LED lambalar, önünde palet vb. nesnelerle maskelenmeyip, çıplak olarak kullanıldığından, görme alanı içine girmekte ve dolaysız kamaşmaya neden olmaktadır. (UGR:22)

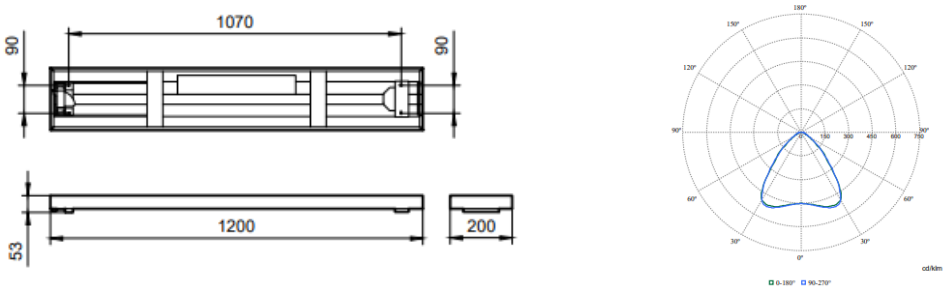
- **Enerji Kullanımı:**

Çizgisel LED lambalı düzende genel aydınlatma için her biri 15W gücünde 20 adet aygıt kullanılmıştır. Bu hacimde, çalışma düzlemi üzerinde hesaplanan ortalama aydınlık düzeyi 581 lux olup, sistemde harcanan güç, 260W'tır. Buna göre, 1 lux aydınlık düzeyini elde etmek için harcanan güç, 0.45 W olarak hesaplanmaktadır.

4.1.2. Aygıt Değişimi: Flüoresan Lambalı Aygıt ile LED'li Aygıt Değişimi

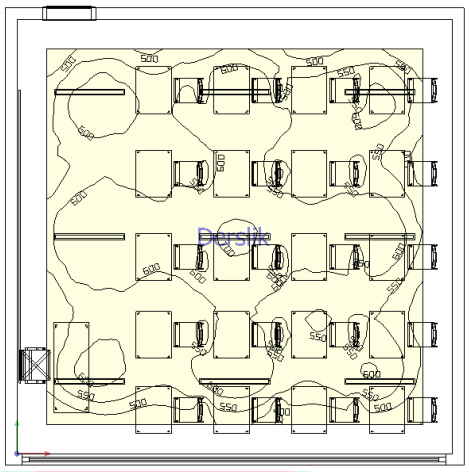
LED dönüşümünün ikinci uygulaması olarak, flüoresan lambalı yansıtıcısız aygıt yerine LED ışık kaynaklı (LED aydınlatma sistemi) aygıt kullanılarak bir aydınlatma düzeni oluşturulmuştur. Bu düzende, genel aydınlatma için 34W sistem gücünde LED ışık kaynaklı çizgisel aygıt kullanılmıştır. Bu aygıtın önünde opal kapak bulunmakta olup, opal mikro optik özelliği sayesinde, yayınık ışık dağılımı sağlar. Seçilen aydınlatma aygıtının boyutları, en=200 mm., boy=1200 mm., derinlik=53 mm.'dir. Belirtilen aygıtın içindeki LED ışık kaynağının renk sıcaklığı: 4000K, renksel geriverim indeksi: 80'dir. Işık akısı: 4000 lümen olan bu LED ışık kaynağının ömrü 50000 saattir (L70). Aygıt değişimi yapılan bu uygulamada kullanılan aygıta ilişkin, biçim, boyut, ışık dağılım diyagramı bilgileri Şekil 6'da verilmiştir.





Şekil 6. LED'li Aygıt (LED Aydınlatma Sistemi) ve Işık Dağılım Diyagramı (URL1)

Genel aydınlatma için seçilen LEDli aygıtlar, hacim içinde, 0.80 m. yüksekliğindeki yatay çalışma düzlemi üzerinde, derslikteki görsel eylemler için gerekli ortalama aydınlık düzeyini ve aydınlığın düzgün dağılımını sağlayacak biçimde yerleştirilmiştir. LED ışık kaynaklı aygıtların (LED aydınlatma sistemi) hacim içindeki yerleşimi Şekil 7'te gösterilmiştir.



Şekil 7. LED'li Aygıtların (LED Aydınlatma Sistemi) Yerleşimi ve Ortalama Aydınlık Düzeyi Dağılımı

- **Görsel Konfor Koşulları:**

Aydınlık düzeyi: Kurulan aydınlatma düzeninde, çalışma düzleminin üzerinde belirlenen ortalama aydınlık düzeyi değeri, 585 lux olarak saptanmıştır.

Işığın rengi: Seçilen aydınlatma aygıtlarının içinde bulunan LED ışık kaynağının renksel geriverimi R_a>80 ve renk sıcaklığı 4000K'dir. Bu değerler, standartlara göre, derslik hacimleri için uygundur.

Işığın doğrultusal yapısı ve gölge niteliği: Kurulan düzende, kullanılan aygıt opal yayıcılı olduğundan, hacim içinde, yayınık ışık alanı ve gölgesiz aydınlığa yakın bir nitelik oluşturulmuştur.

Aydınlık düzeyi dağılımları: Kurulan aydınlatma düzeninde, yatay çalışma düzlemi ve düşey yazı tahtası üzerinde, en az aydınlık düzeyinin, ortalama aydınlık düzeyine oranı ile tanımlanan düzgünlük değeri $E_{min}/E_{ort} = 0.65$ olarak hesaplanmıştır. Böylece hacimde, çalışma düzlemi üzerinde kabul edilebilir düzgün yayılmış bir aydınlık sağlanmıştır.

Işıklılık ve kamaşma: Işıklılık dağılımı, çalışma düzlemi ve iç yüzeylerde düzgün yayılmış bir özellik göstermektedir. Uygulanan düzendeki aydınlatma aygıtları, opal yayıcılı kullanıldığından, görme alanı içinde dolaysız kamaşma oluşturmamaktadır. (UGR:19)

- **Enerji Kullanımı:**

LED aydınlatma sistemli düzende, genel aydınlatma için her biri 34W gücünde olan 9 adet aygıt kullanılmıştır. Bu hacimde, çalışma düzlemi üzerinde hesaplanan ortalama aydınlık düzeyi 585 lux olup, sistemde harcanan güç, 306W'tır. Buna göre, 1 lux aydınlık düzeyini elde etmek için harcanan güç, 0.52W olarak hesaplanmaktadır.

4.2. LED Dönüşümü Uygulamalarının Görsel Konfor ve Verimli Enerji Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi

Eğitim yapılarında LED dönüşümünün araştırılması amacıyla yapılan, lamba değişimi ve aygıt değişimi uygulamaları, elde edilen görsel konfor koşulları ve elektrik enerjisinin verimli kullanımı açısından incelenmiş ve değerlendirilmiştir. LED ışık kaynakları kullanılarak yapılan her iki dönüşümde de görsel konfor koşulları için gereksinimler genel olarak sağlanmış olmasına karşın, lamba değişimi uygulamasında, mevcut (geleneksel) aygıt tipi, yansıtıcısız ve önünde kamaşmayı önlemek amacıyla palet vb. nesnelerle maskelenmediğinden, dolaysız kamaşmaya neden olmaktadır (UGR:22).

LED dönüşüm uygulamaları, enerjinin verimli kullanımı açısından incelendiğinde, her ikisinin de uygun sonuç verdiği görülmektedir. Lamba değişimi uygulamasında, genel aydınlatma düzeninde aynı ortalama aydınlık düzeyini elde etmek için, sistemde harcanan elektrik enerjisi, %68 oranında azalarak, 800W'tan 260W'a inmiştir. Bu durumda, derslikte 1 lux aydınlık düzeyi için tüketilen enerji %68 oranında azalarak, 1.39W'tan, 0.45W'a düşürülmüştür. Aygıt değişimi uygulamasında ise, genel aydınlatma düzeninde aynı ortalama aydınlık düzeyini elde etmek için, sistemde harcanan elektrik enerjisi, %62 oranında azalarak, 800W'tan 306W'a inmiştir. Bu durumda, derslikte 1 lux aydınlık düzeyi için tüketilen enerji %63 oranında azalarak, 1.39W'tan, 0.52W'a düşürülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. Geleneksel ve LED Dönüşümü Yapılan Aydınlatma Düzenleri

Aydınlatma Düzeni	Aygıt sayısı	Bir aygıtın gücü (W)	Sistem gücü (W)	Işık akısı (lm)	Verimi (lm/W)	Ortalama aydınlık düzeyi E_{ort} (lux)	1 lux aydınlık düzeyi için harcanan güç (W/lux)	Aydınlığın düzgünlüğü U_o (E_{min}/E_{ort})	Renksel geriverim R_a	Kamaşma UGR
Flüoresan lambalı düzen	20	40	800	2500	62	577	1.39	0.70	72	22
Çizgisel LED lambalı düzen	20	15	260	2500	166	581	0.45	0.70	80	22
LED aydınlatma sistemi	9	34	306	4000	117	585	0.52	0.65	80	19

LED dönüşümü için yapılan her iki uygulamanın, verimli enerji kullanımı yönünden uygun olmasına karşın, lamba ve aygıt değişimi karşılaştırıldığında, lamba değişimi yapılan düzende aygıt sayısının, 20 adet; aygıt değişimi yapılan düzende ise aygıt sayısının 9 adet olduğu görülmektedir. Bu durumda, aygıt sayısının az olduğu, LED dönüşümünde aygıt değişimi yapılması, işçilik ve kullanım sırasındaki bakım giderleri yönlerinden daha olumludur. Böylece, belirlenen tip derslik hacminde, hem standartlarca uygun nicelik ve

nitelikte aydınlatma ile görsel konfor sağlanması açısından, hem de enerjinin verimli kullanımı ve bakım giderlerinin en aza indirilmesi yönlerinden, aygıt değişimi ile LED dönüşümü (LED aydınlatma sistemi) yapılmasının daha uygun bir uygulama olduğu değerlendirilmektedir.

5. Sonuç

Eğitim, toplumların gelişmesi için vazgeçilmez bir öğedir. Gün boyu, uzun süreler içinde yaşanılan eğitim yapılarında fizik ortam koşullarının uygun bir şekilde sağlanması, öğrenmenin tam, doğru, verimli bir biçimde gerçekleştirilmesi için önemlidir. Derslikler, eğitim yapılarında, öğrenme sürecinin en temel birimlerini oluşturmakta ve öğrencilerin-öğretmenlerin günlerinin büyük bir bölümü, bu hacimlerde geçmektedir. Öğrenmede ve çevrenin algılanmasında en büyük paya sahip olan görsel algılamanın en doğru biçimde sağlanması da görsel konforun uygun koşullarda oluşturulmasına bağlıdır. Bununla beraber, aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisinin tüm elektrik enerjisi tüketimi içindeki oranı dikkate alındığında, verimli enerji kullanımının önemi de yadsınamaz bir gerçektir.

Bu çalışmada, eğitim yapılarının en temel mekanı olan dersliklerde halen kullanılmakta olan geleneksel aydınlatma sistemlerinin LED aydınlatma sistemleriyle değiştirilmesi yani LED dönüşümü yapılmasının görsel konfor ve verimli enerji kullanımına etkisi ele alınmış ve tip derslik hacminde yapılan hesaplamalarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Bommel, W., Rouhana, A., (2016) *Philips The Science of Lighting*, Lighting University, Eindhoven, The Netherlands.

Bostancı Baskan, T. (2004), *Bir Tasar Ölçütü Olarak Dersliklerde Görsel Konfor ve Optimum Enerji Kullanımı İçin Bir Yaklaşım*, Doktora Tezi, YTÜ FBE, İstanbul.

EN 12464-1/2011: *Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places*, 2011.

MEB, (2013) *Eğitim Yapıları Asgari Tasarım Standartları 2013 Yılı Kılavuzu*.

Philips, Solid State Lighting Solutions, (2010), *Useful Life Technical Brief*.

Dialux Evo 13, *Aydınlatma Hesap Programı*

URL1: http://www.lighting.philips.com (Erişim tarihi: 20.05.2025)

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

INVESTIGATION OF LOCAL GOVERNMENTS' DISASTER MANAGEMENT APPROACHES FOR THE POSSIBLE ISTANBUL EARTHQUAKE USING AHP AND TOPSIS METHODS

Umut SOY[1]
Aslı Pelin GÜRGÜN[2]

Abstract

Disasters are events that negatively affect human health, the economy, and social structure, causing widespread destruction and loss. To prevent the negative effects of future disasters and take precautions, it is important to implement an effective disaster management plan. Local governments, which know the local population well and understand their needs, have a critical role in contributing to disaster risk reduction, intervention, and recovery processes. Istanbul, one of Turkey's most important cities, faces the risk of an earthquake, requiring effective disaster management. This study aims to assist researchers and local government units working in the field of disaster management by analyzing the current situation, taking into account institutional capacities and resources, and evaluating and prioritizing preparedness for potential disasters. In the first phase of the study, five key criteria highlighted in the literature for effective disaster management against earthquakes were examined. The criteria identified from this review were weighted using the AHP method, in consultation with the opinions of 15 experts working in different district municipalities of Istanbul, and the importance rankings of these criteria were determined. In the second phase of the study, a comprehensive mathematical analysis was conducted using inventory data from five district municipalities located in different parts of Istanbul, the criteria identified in the first phase, and the variables affecting these criteria. The analysis data obtained were integrated with the TOPSIS method, along with the weight values derived in the first phase, to determine the most disaster-sensitive option among the five district municipalities based on their existing local resources and capacity factors.

Keywords: Disaster Management, Earthquake, AHP, TOPSIS, Local Government

[1] Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği,
[2] Profesör, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Orcıd: 0000-0002-0026-4685

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Afetler, insan sağlığını, ekonomiyi ve toplumsal yapıyı olumsuz yönde etkileyen, geniş çapta yıkım ve kayıplara yol açan olaylardır. Ülkemiz bulunduğu coğrafi konum sebebiyle deprem, sel, yangın ve çığ gibi birçok doğal afetin etkisine maruz kalmaktadır. Bu afetler içerisinde özellikle depremlerin yaratacağı olumsuzluklar diğer afetlere nazaran daha büyük boyutlara ulaşabilmektedir. Ancak alınacak önlemlerle birlikte depremlerin ve diğer afetlerin olumsuz etkileri azaltılabilmekte can ve mal kayıplarının önüne geçilebilmektedir. Depremlerin ardından günlük hayatın kesintiye uğramaması ve yaşanabilecek olumsuz etkilerin azaltılabilmesi adına risklerin önceden belirlenip afet bilincinin yaygınlaştırılması; afet öncesi, sırası ve sonrasında yürütülmesi gereken iş ve işlemlerin de planlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

İstanbul, kültürel, ekonomik, demografik ve stratejik yapısı itibariyle dünyanın en önemli şehirleri arasında gösterilmektedir. Şehir tarih boyunca birçok doğal afetle karşı karşıya kalmış ve büyük kayıplar yaşamıştır. İstanbul geçmişte olduğu gibi bugün de bulunduğu konum itibariyle büyük bir deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Beklenen İstanbul depremine karşı afetin oluşturacağı yıkıcı etkilerin önlenmesi ve hafifletilmesi gerekmektedir. Ancak bu hazırlık
sürecinin tek bir elden yürütülmesi mümkün değildir. Yerel halkı en iyi tanıyan ve ihtiyaçlarını en iyi bilen yerel yönetimler de depreme hazırlık sürecinin en önemli paydaşlarından birini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, yerel yönetimlerin afet risklerinin azaltılması, müdahale süreçleri ve iyileştirme faaliyetlerine etkin bir şekilde katkı sağlaması son derece önemlidir. Beklenen İstanbul depreminde nüfus ve trafik yoğunluğu gibi etkenler de göz önüne alındığında gerekli müdahale ve yardım süreçlerinde gecikmelerin yaşanılması kaçınılmazdır. Bu kapsamda İstanbul özelinde afetlere karşı yerelleşmiş bir afet müdahale kapasitesi oluşturulmalıdır (Duymaz & Kahveci, 2023: 335-371).

Amaç

Genel anlamda bu araştırmayla birlikte olası İstanbul Depremine karşı yerel yönetimlerin afet yönetimi kapsamındaki yaklaşımları belirlenmeye çalışılmıştır. Beklenen İstanbul Depreminin yıkıcı etkilerine karşı alınacak tedbirlerin önceliklendirilmesi, yerel yönetimlerin mevcut kaynak ve kapasiteleri test edilerek afetlere karşı duyarlılıklarının ve eksikliklerinin belirlenebilmesi, belirlenen eksiklikler doğrultusunda sürdürülebilir önlemlerin alınması araştırmanın temel amaçlarını oluşturmaktadır. Araştırmanın bir diğer amacı da bu çalışmayı İstanbul'daki hatta Türkiye'deki tüm yerel yönetimlerin mevcut imkânlara göre uyarlama yaparak afetlere karşı hazır ne derece hazırlıklı olunduğunun belirlenebilmesi, tespit edilen eksiklikler karşısında uygun bir afet yönetimi stratejisi oluşturulmasıdır.

Yöntem

Bu çalışmada yerel yönetimlerin olası İstanbul depremine karşı afet yönetimi kapsamındaki yaklaşımları AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

AHP Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), bir probleme etkiyen birden fazla kriterin bulunduğu durumlarda kriterler arası ikili karşılaştırmaların yapılmasına imkân sağlayan, her bir kriterin

problem karşısındaki ağırlıklarının belirlenmesine yardımcı olan, nicel ve nitel veriler arasında bağlantı kurabilen çok kriterli karar verme yöntemidir (Vaidya & Kumar, 2006: 1-29).

AHP Yönteminin Aşamaları

1- Problemin Belirlenmesi

Karar verme sürecinin ilk aşamasında problemin net bir şekilde tanımlaması yapılır.

2- Hiyerarşik Düzenin Oluşturulması

Bu aşamada kararın hangi amaç doğrultusunda verileceğinin belirtilmesi ve kararı etkileyecek kriter ve alt kriterlerin tanımlanmasına ilişkin süreçler yürütülür. Yani karar verilirken hangi kriterler kapsamında değerlendirme yapılacağı ve ne amaçla karar verildiği netleştirilir.

3- Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada uzman görüşleri doğrultusunda kriterlerin ikili olarak karşılaştırılma işlemi gerçekleştirilmekte ve kriterlerin önem değerleri belirlenmektedir. Önem değerleri belirlenirken Saaty tarafından oluşturulan karşılaştırma ölçeğinden yararlanılır (Vargas, 1990: 2-8).

Önem Değerleri	Değerlerin Anlamları
1	Eşit Derecede Önemli
3	Biraz Daha Önemli
5	Fazla Derecede Önemli
7	Çok Fazla Önemli
9	Kesin, Derecede Önemli
2,4,6,8	Ara Değerler

Tablo1: Karşılaştırma Ölçeği (Saaty,1994)

Tablo 2'de yer alan karşılaştırma matrisini inceleyecek olursak matriste yer alan "w" ile kriterlerin önem değerleri ifade edilmektedir.

Kriterler	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	...	Kriter n
Kriter 1	1	w_2/w_1	w_3/w_1	...	w_n/w_1
Kriter 2	w_1/w_2	1	w_3/w_2	...	w_n/w_2
Kriter 3	w_1/w_3	w_2/w_3	1	...	w_n/w_n
⋮	⋮	⋮	⋮	1	⋮
Kriter n	w_1/w_n	w_2/w_n	w_3/w_n	...	1

Tablo 2: Karşılaştırma Matrisi (Vargas,1990)

4- Tutarlılık Analizi

Bu aşamada uzman görüşleri doğrultusunda oluşturulan her bir karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranları hesaplanır. Karşılaştırma matrislerinin tutarlı olarak değerlendirilebilmesi için oranın 0.1 değerinden küçük olması gerekmektedir. Tutarlılık analizi aşağıda gösterilen şekilde hesaplanmaktadır.

Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada Saaty'nin önerdiği ölçek doğrusunda her bir kriterin ikili olarak karşılaştırılması yapılır ve karşılaştırma matrisi oluşturulur. Birden fazla karar vericinin bulunduğu durumlarda da karşılaştırma matrislerinde yer alan her bir değerin geometrik ortalaması alınır (Ayçin, 2019).

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{1n} \\ 1/x_{12} & 1 & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1/x_{13} & \cdots & 1 & \cdots & \cdots \\ 1/x_{14} & \cdots & \cdots & 1 & \cdots \\ 1/x_{1n} & \cdots & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Karşılaştırma Matrisinin Normalize Edilmesi

İlk olarak karşılaştırma matrisindeki yer alan her bir sütunun toplam değeri hesaplanır. Daha sonra matriste yer alan her bir eleman kendi sütununa ait toplam değere bölünerek normalize edilir (Özdamar, 2004).

$$X'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}} \quad (2)$$

Öncelik Vektörünün Hesaplanması

Bu aşamada normalize edilmiş matriste yer alan her bir satırın toplam değeri hesaplanır. Bu değer matris boyutuna bölünerek ortalama bir değer elde edilir (Kama vd., 2024: 1212–1228)

$$w_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x'_{ij} \quad (3)$$

Tutarlılık Oranın Hesaplanması

Tutarlılık oranının bulunabilmesi için, ilk olarak Tutarlılık İndeksi (CI) değeri hesaplanmalıdır. Tutarlılık İndeksi (CI) değeri hesaplanırken de karşılaştırma matrisinin en büyük özdeğeri (λ_{max}) hesaplanmalıdır (Kama vd., 2024: 1212–1228).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij} w_j}{w_i}\right] \quad (4)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Rassal İndeks Değerinin Belirlenmesi

Rassal indeks değeri karar matrisinin boyutuna göre değişkenlik göstermekte ve daha önce hesaplanmış olan verilerden elde edilmektedir.

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

Tablo 3: Rassal İndeks Değişkenleri (Alonso & Lamata, 2006: 445–459).

Tutarlılık Oranın Belirlenmesi

CR değeri 0.1'den küçükse karşılaştırma matrisinin tutarlı bir şekilde değerlendirildiği ortaya çıkar. CR değeri 0.1'den büyük çıkarsa bu durumda karşılaştırma matrisinin tekrardan değerlendirilmesi gerekmektedir (Dişkaya & Emir, 2021: 203-223)

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, karmaşık problemlerin çözümünde en uygun alternatiflerin belirlenmesine yardımcı olan Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş çok kriterli bir karar verme tekniğidir. Yöntemin temelini ideal çözüme en yakın alternatiflerin veya ideal olmayan çözüme en uzak alternatiflerin seçilmesi oluşturmaktadır. TOPSIS yönteminde uygulanması gereken tüm adımlar aşağıda gösterildiği şekildedir (Ayçin, 2019; Dişkaya & Emir,2021: 203-223).

1- Karar Matrisinin Oluşturulması

Alternatiflerin belirlenen kriterler kapsamında değerlendirilebilmesi için karar vericiler tarafından oluşturulan matristir. Bu aşamada alternatifler, kriterler ve kriterlerin performansını etkileyen değişkenler tek bir matriste gösterilmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} mxn \quad (1)$$

Matristeki m, ile alternatiflerin sayısı; n ile de alternatiflerin seçimine etki eden kriter sayısı ifade edilmektedir.

2- Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

Standart karar matrisi farklı kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılabilir duruma getirilmesi ve alternatiflerin seçimini kolaylaştırmak amacıyla ortaya konur. Bu aşamada farklı kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi adına matriste yer alan kriterler normalize edilir ve kriterlere ait tüm birimler ortadan kaldırılır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \cdots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & \cdots & r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} mxn \quad (3)$$

3- Ağırlıklandırılmış Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

Ağırlıklandırılmış standart karar matrisi, standart karar matrisinde yer alan her bir sütununun, o kriterin ağırlığı ile çarpılması sonucu elde edilir. Belirlenen bu ağırlıklar ile her bir kriterin karar üzerindeki etki derecesi ifade edilmektedir.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & w_3 r_{13} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & w_3 r_{23} & \cdots & w_n r_{2n} \\ w_1 r_{31} & w_2 r_{32} & w_3 r_{33} & \cdots & w_n r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_m r_{m1} & w_m r_{m2} & w_m r_{m3} & \cdots & w_m r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

4- Pozitif İdeal Çözüm (A^+) ve Negatif İdeal Çözüm (A^-) Değerlerinin Hesaplanması

Pozitif İdeal Çözüm fayda sağlayan kriterler için maksimum, fayda sağlamayan kriterler için minimum değerin belirlenmesi, Negatif İdeal Çözüm de fayda sağlamayan kriterler için maksimum değerin belirlenmesidir.

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, v_3^+ \dots v_3^+\} = \left\{ \left(\max(j)\, v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\min(j)\, v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \quad (5)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, v_3^- \dots v_n^-\} = \left\{ \left(\min(j)\, v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\max(j)\, v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \quad (6)$$

5- Alternatiflerin Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlere Olan Uzaklıklarının Hesaplanması

Bu aşamada her bir alternatif için ideal çözüme ne kadar yakın oldukları, ideal olmayan çözümden ise ne kadar uzak oldukları belirlenir. Bu sayede en uygun alternatifin seçilmesine olanak tanınır.

6- Pozitif İdeal Çözüme Olan Uzaklığın Hesaplanması

Her bir alternatife etki eden ilgili normalize kriter değerlerinin pozitif ideal çözümle farklarının kareleri toplamının karekökü alınarak hesaplanır.

$$Si^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^+\right)^2} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (7)$$

7- Negatif İdeal Çözüme Olan Uzaklığın Hesaplanması

Her bir alternatife etki eden ilgili normalize kriter değerlerinin negatif ideal çözümle farklarının kareleri toplamının karekökü alınarak hesaplanır.

$$Si^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^-\right)^2} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (8)$$

8- İdeal Çözüme Olan Uzaklığın Belirlenmesi

Bu aşamada her bir alternatifin ideal olan çözüme ne kadar uzaklıkta oldukları belirlenir. Bu hesaplamalarla birlikte karar verici tarafından alternatifler sıralanarak en iyi performansa sahip olan tercih edilir.

$$C_i = \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-} \quad (9)$$

Uygulama

Uygulamada olası İstanbul Depremine karşı yerel yönetimlerin afet yönetimine olan yaklaşımlarını belirleyebilmek adına AHP ve TOPSIS yöntemi kullanılarak iki aşamalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada Kriterler belirlenirken afet yönetimine ilişkin literatürde yer alan makaleler, dergiler, tezler, konferans bildirileri ve diğer akademik kaynaklar üzerinde incelemelerde bulunulmuş bu kapsamda araştırmalara en çok konu edilen beş temel öğe ön plana çıkartılmıştır. Literatür taraması sonucu elde edilen beş farklı problem ile birlikte Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yönteminde kullanılacak kriterler oluşturulmuştur. Kriterlerin belirlenmesinin ardından İstanbul'daki farklı ilçe belediyelerinde görevli 15 uzman görüşüyle birlikte karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Daha sonra karşılaştırma matrislerinin geometrik ortalamaları alınarak tek bir karar matrisi oluşturulmuş ve kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Son olarak elde edilen verilerin tutarlılık analizleri yapılmış belirlenen kriterlerin olası İstanbul Depremi karşısındaki ağırlıkları belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ilk aşamada oluşturulan kriterlere etki eden faktörler belirlenmiştir. Bu faktörler belirlenirken İstanbul'un farklı bölgelerinde yer alan beş ilçe belediyesine ait envanter verilerinden yararlanılmıştır. Elde edilen verilerle birlikte ilk aşamada oluşturulan kriteler ilişkilendirilerek kapsamlı bir matematiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonrası elde etmiş olduğumuz bu veriler ile birlikte Teknik Tercih Sıralaması ile Çoğul Karar Verme (TOPSIS) yönteminde kullanılacak karar matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra TOPSIS yöntemindeki tüm adımları uygulanarak çalışmada yer alan beş ilçe belediyesinin afet yönetimine karşı duyarlılıkları tespit edilmiştir. Ayrıca uygulama aşamasında K1 ile kriter 1, K2 ile kriter 2, K3 ile kriter 3, K4 ile kriter 4 ve K5 ile kriter 5 ifade edilmiştir.

1.Aşama

Bu aşamada problemin tanımlanması, kriterlerin belirlenmesi ve uzman grubunun oluşturulmasına yönelik işlemler tamamlanmıştır. Ardından AHP yönteminin adımları takip edilerek kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, tutarlılık analizi yapılmıştır.

Problemin Tanımlanması

Olası İstanbul depremine karşı tehlikelerin belirlenmesi ve risklerin azaltılmasında uygulanabilecek beş temel uygulamanın afet yönetimi kapsamında önem derecelerinin belirlenmesi.

Kriterlerin Belirlenmesi

Yapılan literatür taraması sonucu elde edilen veriler doğrultusunda uygulama aşamasında kullanılacak kriterler şu şekilde oluşturulmuştur:

Kriter 1 (K1): Kentsel Dönüşüm Uygulamaları Kapsamında Riskli Yapıların Yıktırılması.

Kriter 2 (K2): Toplanma ve Geçici Barınma Alanları ile Lojistik Dağıtım Merkezlerinin Belirlenmesi.

Kriter 3 (K3): Hasar Tespit Çalışmaları.

Kriter 4 (K4): Enkaz Kaldırma Çalışmaları ve İnşaat Atıklarının Bertaraf Edilmesi.

Kriter 5 (K5): Acil İlk Yardım ve Arama Kurtarma Çalışmaları.

Karar Vericilerin Belirlenmesi

Çalışmada yer alan karar vericiler İstanbul'daki yerel yönetimlerde görevli farklı meslek dallarında uzmanlaşmış 15 kişiden oluşmaktadır.

Sıra	Ad- Soyad	Unvan
1	Ba*** Ad***	İnşaat Mühendisi
2	Al*** Uç***	İnşaat Mühendisi
3	Em*** Kö***	İnşaat Mühendisi
4	De*** Al***	İnşaat Mühendisi
5	Ah*** Be***	İnşaat Mühendisi
6	Fa*** Çe***	Mimar
7	Gi*** Uz***	Mimar
8	Ba*** Kı***	Mimar
9	Ba*** Ya***	Jeofizik Mühendisi
10	Bu*** Se*** Ar***	Jeofizik Mühendisi
11	Oğ*** Ka***	Jeoloji Mühendisi
12	Öm*** Bay***	Jeoloji Mühendisi
13	Ke*** Bö***	Şehir ve Bölge Planlama
14	Ha*** Ay***	Şehir ve Bölge Planlama
15	Ay*** Öz***	Harita Mühendisi

Tablo 4: Uzman Listesi

Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada yerel yönetimlerde görevli 15 farklı uzman ile bir araya gelinmiş, çalışmanın içeriğine ve uygulamaya dair gerekli bilgilendirmeler sağlanmış, Saaty ölçeğinden yararlanılarak toplamda 15 farklı karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Uzman görüşlerinin tek bir matrisle ifade edilebilmesi için de karşılaştırma matrislerinde yer alan tüm değerlerin geometrik ortalamaları alınarak uygulamada kullanılacak nihai karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur.

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	1,7021	3,2788	2,9017	0,739
K2	0,587	1	1,6194	1,8205	0,4954
K3	0,305	0,61751	1	0,8835	0,2986
K4	0,3446	0,5493	1,1319	1	0,2622
K5	1,3532	2,0187	3,349	3,8139	1
Toplam	3,3503	5,88749	10,379	10,42	2,7952

Tablo 5: Karşılaştırma Matrisi

Normalize Edilmiş Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Çalışmanın uygulama kısmında yer alan AHP yöntemine ait formülasyonlar kullanılarak karşılaştırma matrisi normalize edilmiştir.

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5
K1	0,2785	0,2891	0,3159	0,2785	0,2644
K2	0,1636	0,1699	0,156	0,1747	0,1772
K3	0,0849	0,1049	0,0963	0,0848	0,1068
K4	0,096	0,0933	0,1091	0,096	0,0938
K5	0,3769	0,3429	0,3227	0,366	0,0938
Toplam	1	1	1	1	1

Tablo 6: Normalize Edilmiş Karşılaştırma Matrisi

Öncelik Vektörünün Hesaplanması

Çalışmanın uygulama kısmında yer alan AHP yöntemine ait formülasyonlar kullanılarak kriterlere ait ağırlıklar belirlenmiştir.

Kriterler	Ağırlıklar
K1	0,285281
K2	0,168293
K3	0,09556
K4	0,097623
K5	0,353242

Tablo 7: Ağırlıklandırma Sonuçları

Kriterlerin ağırlık sıralaması: K5>K1>K2>K4>K3 şeklinde tespit edilmiştir.

Tutarlılık Oranın Hesaplanması

Çalışmanın uygulama kısmında yer alan AHP yöntemine ait formülasyonlar kullanılarak tutarlılık oranı hesaplanmıştır.

λ_{max}	5,010267115
n	5
RI	1,12
Cl	0,002566779
CR	0,002291767

Tablo 8: Tutarlılık Analizi

$CR = 0{,}002291767 < 0{,}1$ hesaplanmış olup karşılaştırma matrisi tutarlı bir şekilde analiz edilmiştir.

2.Aşama

Bu aşamada İstanbul'un farklı bölgelerinde yer alan beş yerel yönetimin mevcut kaynak ve kapasiteleri dikkate alınarak TOPSIS yöntemiyle birlikte afet yönetimine karşı duyarlılıkları analiz edilmiştir. Öncelikli olarak uygulamada yer alacak beş ilçe belediyesi belirlenmiştir. Daha sonra ilk aşamada oluşturulan kriterlere etki eden değişkenlerin tespit edilmesine yönelik kapsamlı bir matematiksel çalışma gerçekleştirilmiştir. Son olarak tüm bu kriterler, matematiksel değişkenler ve ilk aşamada oluşturulan kriter ağırlıkları bir araya getirilerek karar

matrisi oluşturulmuş ve TOPSIS yönteminin adımları takip edilerek çalışmanın ikinci aşaması tamamlanmıştır.

Çalışmada Yer Alacak Yerel Yönetimlerin Belirlenmesi

Çalışmanın tüm yerel yönetimler için uyarlanabilir olmasından dolayı yapmış olduğumuz yerel yönetim seçimlerinde herhangi bir kriter belirlenmemiştir.

1	Kadıköy Belediyesi
2	Beykoz Belediyesi
3	Sarıyer Belediyesi
4	Kağıthane Belediyesi
5	Üsküdar Belediyesi

Tablo 9: Çalışmada Yer Alan İlçe Belediyeleri

Kriterlere Etki Eden Değişkenlerin Belirlenmesi ve Matematiksel Analizi

K1'e Etki Eden Değişkenlerin Belirlenmesi

Bu aşamada çalışmada yer alan her bir yerel yönetim için 2000 yılı öncesi inşa edilmiş yapı sayısı ile 2012-2025 yılları arasında yıkılan toplam yapı sayısı oranlanmış bölgede risk teşkil edebileceği varsayılan yapıların dönüşüm yüzdeleri analiz edilmiştir.

İlçe Belediyesi	2000 Yılı ve Öncesi İnşa Edilmiş Bina Sayısı	2012-2025 Yıkılan Riskli Yapı Sayısı	Dönüşüm Yüzdesi
Kadıköy Belediyesi	18.427	5077	%27,55
Beykoz Belediyesi	34.333	135	%0,39
Sarıyer Belediyesi	33.068	318	%0,96
Kağıthane Belediyesi	23.690	3826	%16,1
Üsküdar Belediyesi	35.353	3213	%9,08

Tablo 10: K1'e Ait Matematiksel Analiz (İBB, 2019; Kadıköy Belediyesi; Bayrampaşa Belediyesi; Sarıyer Belediyesi; Kağıthane Belediyesi; Üsküdar Belediyesi)

K2'ye Etki Eden Değişkenlerin Belirlenmesi

Bu aşamada çalışmada yer alan yerel yönetimlerin toplanma alanları ile nüfus miktarları oranlanarak metrekare cinsinden bir kişiye ayrılan toplanma hesaplanmıştır.

İlçe Belediyesi	Toplanma Alanları (m^2)	Toplam Nüfus (Kişi)	Toplanma Alanları(m^2)/Nüfus (Kişi)
Kadıköy Belediyesi	346.804	458.638	0,75
Beykoz Belediyesi	300.628	246.700	1,21
Sarıyer Belediyesi	3.906.642	350.454	11,14
Kağıthane Belediyesi	437.026	303.009	1,44
Üsküdar Belediyesi	1.153.820	529.145	2,18

Tablo 11: K2'e Ait Matematiksel Analiz (Özkılıç, 2020; Kadıköy Belediyesi; Bayrampaşa Belediyesi; Sarıyer Belediyesi; Kağıthane Belediyesi; Üsküdar Belediyesi)

K3'e Etki Eden Değişkenlerin Belirlenmesi

Bu aşamada ilçe belediyelerinde görev yapan mimar ve inşaat mühendisleri ikişerli olarak gruplandırılmıştır. Daha sonra hasar tespit çalışmalarında görev yapabilecek ikili grupların sayısı ile potansiyel hasar görebilecek yapı sayısı oranlanarak grup başı tespit edilmesi gereken hasarlı bina sayısı hesaplanmıştır.

İlçe Belediyesi	Hafif, Orta, Ağır ve Çok Ağır Hasar Alabilecek Tahmini Bina Sayısı	Teknik Personel Sayısı (İnşaat Mühendisi+Mimar)	Oluşturulabilecek Hasar Tespit Grup Sayısı (Teknik Personel Sayısı/2)	Hasarlı Bina Sayısı/Grup Sayısı
Kadıköy Belediyesi	9.875	90	45	219,4
Beykoz Belediyesi	10.668	39	19,5	547,07
Sarıyer Belediyesi	9.932	49	24,5	405,38
Kağıthane Belediyesi	7.912	38	19	416,42
Üsküdar Belediyesi	13.560	77	38,5	352,2

Tablo 12: K3'e Ait Matematiksel Analiz (İBB, 2019; Kadıköy Belediyesi; Bayrampaşa Belediyesi; Sarıyer Belediyesi; Kağıthane Belediyesi; Üsküdar Belediyesi)

K4'e Etki Eden Değişkenlerin Belirlenmesi

Bu aşamada beş ilçe belediyesi için enkaz kaldırma ve atıkların bertaraf edilmesinde kullanılabilecek iş makinesi sayılarına ulaşılmıştır. Son aşamada oluşacak toplam enkaz miktarına göre bir iş makinesinin deprem süreci boyunca kaç saat çalışması gerektiği belirlenmiş, çalışma süresi en çok olan grubun en az verimle çalışacağı ve müdahale konusunda yetersiz kalınacağına dair varsayımda bulunulmuştur.

İlçe Belediyesi	Ağır ve Çok Ağır Hasar Alabilecek Tahmini Bina Sayısı	Enkaz Miktarı (Ton)	İş Makinesi Sayısı	Enkaz Miktarı (ton) / (İş Makinesi Sayısı)* (30saat/ton)
Kadıköy Belediyesi	714	6.069.000	10	22.030
Beykoz Belediyesi	556	4.726.000	5	31.506
Sarıyer Belediyesi	469	3.986.500	12	11.072
Kağıthane Belediyesi	369	3.136.500	39	2.680
Üsküdar Belediyesi	639	5.431.500	15	12.070

Tablo 13: K4'e Ait Matematiksel Analiz (Kaynak (İBB, 2019; Kadıköy Belediyesi; Bayrampaşa Belediyesi; Sarıyer Belediyesi; Kağıthane Belediyesi; Üsküdar Belediyesi)

K5'e Etki Eden Değişkenlerin Belirlenmesi

İlgili ilçe belediyelerindeki arama kurtarma ve ilk yardım personel sayılarına ilişkin veriler elde edilmiştir. Son aşamada her bil ilçe için hafif yaralı, hastanede tedavi gerektiren vakalar ve ağır yaralı sayıları toplamı ile o ilçede görevli arama kurtarma ve ilk yardım personel sayısı oranlanmış, bir personelin İstanbul depremi süresince müdahalede bulunması gereken kişi sayısı hesaplanmıştır.

İlçe Belediyesi	Hafif, Hastanede Tedavi Gerektiren Vakalar ve Ağır Yaralı Sayısı	Görevli Arama-Kurtarma ve İlkyardım Personeli Sayısı	Müdahale Gerektiren Kişi Sayısı / Personel Sayısı
Kadıköy Belediyesi	1820	120	15,16
Beykoz Belediyesi	412	39	10,56
Sarıyer Belediyesi	536	15	35,73
Kağıthane Belediyesi	920	10	92
Üsküdar Belediyesi	1256	65	19,3

Tablo 14: K5'e Ait Matematiksel Analiz (İBB, 2019; Kadıköy Belediyesi; Bayrampaşa Belediyesi; Sarıyer Belediyesi; Kağıthane Belediyesi; Üsküdar Belediyesi)

Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisi oluşturulurken, , kriterlere etki eden değişkenler, ilk aşamada belirlenen kriterler ve kriterlerin ağırlıkları ve ideal durumları kullanılmıştır.

Kriterlere Etki Eden Değişkenler	2000 Yılı ve Öncesi İnşa Edilen Yapılardaki Dönüşüm Yüzdesi	Bir Kişiye Düşen Toplanma Alanı	Bir Hasar Tespit Grubunun İncelemesi Gereken Yapı Sayısı	Bir İş Makinesinin Toplam Çalışma Saati	Bir Arama Kurtarma ve İlkyardım Personeline Düşen Kişi Sayısı
Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5
Kadıköy Belediyesi	%27,55	0,75 m^2	219,4 adet	22.030 saat	15,16 kişi
Beykoz Belediyesi	%0,39	1,21 m^2	547,07 adet	31.506 saat	10,56 kişi
Sarıyer Belediyesi	%0,96	11,14 m^2	405,38 adet	11.072 saat	35,73 kişi
Kağıthane Belediyesi	%16,1	1,44 m^2	416,42 adet	2.680 saat	92 kişi
Üsküdar Belediyesi	%9,08	2,18 m^2	352,2 adet	12.070 saat	19,3 kişi
İdeallik	Maksimum	Maksimum	Minimum	Minimum	Minimum
Ağrılık	0,285281	0,168293	0,09556	0,097623	0,353242

Tablo 15: Karar Matrisi

Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

Çalışmanın uygulama kısmında yer alan TOPSIS yöntemine ait formülasyonlar kullanılarak standart karar matrisi oluşturulmuştur.

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5
Kadıköy Belediyesi	0,8300	0,0662	0,2651	0,5494	0,1510
Beykoz Belediyesi	0,0117	0,1069	0,6609	0,7858	0,1052
Sarıyer Belediyesi	0,0289	0,9839	0,4897	0,2761	0,3558
Kağıthane Belediyesi	0,4851	0,1272	0,5031	0,0668	0,9163
Üsküdar Belediyesi	0,2736	0,1925	0,4255	0,3010	0,1922

Tablo 16: Standart Karar Matrisi

Ağırlıklandırılmış Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

Çalışmanın uygulama kısmında yer alan TOPSIS yöntemine ait formülasyonlar kullanılarak ağırlıklandırılmış standart karar matrisi oluşturulmuştur.

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5
Kadıköy Belediyesi	0,2368	0,0111	0,0253	0,0536	0,0533
Beykoz Belediyesi	0,0034	0,0180	0,0632	0,0767	0,0372
Sarıyer Belediyesi	0,0083	0,1656	0,0468	0,0270	0,1257
Kağıthane Belediyesi	0,1384	0,0214	0,0481	0,0065	0,3237
Üsküdar Belediyesi	0,0780	0,0324	0,0407	0,0294	0,0679

Tablo 17: Ağrılıklandırılmış Standart Karar Matrisi

Pozitif İdeal Çözüm (A^+) ve Negatif İdeal Çözüm (A^-) Değerlerinin Hesaplanması

Çalışmanın uygulama kısmında yer alan TOPSIS yöntemine ait formülasyonlar kullanılarak kriterlerin Pozitif İdeal Çözüm (A^+) ve Negatif İdeal Çözüm (A^-) değerleri hesaplanmıştır.

Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm	K1	K2	K3	K4	K5
(A^+)	0,2368	0,1656	0,0253	0,0065	0,0372
(A^-)	0,0034	0,0111	0,0632	0,0767	0,3237

Tablo 18: Pozitif İdeal Çözüm ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri

Pozitif ve Negatif İdeal Çözüme Olan Uzaklıkların Belirlenmesi

Çalışmanın uygulama kısmında yer alan TOPSIS yöntemine ait formülasyonlar kullanılarak kriterlerin pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları değerleri hesaplanmıştır

Alternatifler	Si^+	Si^-
Kadıköy Belediyesi	0,1623	0,3599
Beykoz Belediyesi	0,2875	0,2866
Sarıyer Belediyesi	0,2469	0,2565
Kağıthane Belediyesi	0,3363	0,1533
Üsküdar Belediyesi	0,2113	0,2724

Tablo 19: Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Uzaklıkları

İdeal Çözüme Olan Uzaklığın Belirlenmesi

Çalışmanın uygulama kısmında yer alan TOPSIS yöntemine ait formülasyonlar kullanılarak kriterlerin pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları değerleri hesaplanmıştır.

Alternatifler	C_i	Sıralama
Kadıköy Belediyesi	0,6892	1
Beykoz Belediyesi	0,4992	4
Sarıyer Belediyesi	0,5090	3
Kağıthane Belediyesi	0,3131	5
Üsküdar Belediyesi	0,5632	2

Tablo 20: İdeal Çözüme Olan Uzaklıklar

$C_i = 0{,}6892$ değeri ile olası İstanbul depremine karşı beş ilçe belediyesi arasından afet yönetimine en duyarlı yerel yönetim Kadıköy Belediyesi olarak tespit edilmiştir.

Sonuç, Bulgu ve Öneriler

Çalışmanın ilk aşamasında, uzmanların görüşü doğrultusuna oluşturulan karşılaştırma matrisi verilerine göre olası İstanbul depreminde oluşabilecek zararların azaltılmasındaki en önemli kriteri arama kurtarma ve ilkyardım çalışmaları oluşturmuştur.

Uzmanlarla yapılan görüşmelerde İstanbul için beklenen depremin her an gerçekleşebileceği, afet yönetimi kapsamında can ve mal kayıplarının önlenebilmesi için en kısa süre içerisinde önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir. Bu bağlamda afetlerin zamansız bir şekilde gerçekleşmesi yıkıcı etkilerine karşı en hızlı cevabın arama kurtarma ve ilkyardım çalışmalarından oluşması uzmanlar tarafından bu kriter diğerlerine göre ön plana çıkarmıştır.

Genel değerlendirmeye göre çalışmanın temel taşlarını oluşturan kriterlerin ağırlıkları K1 için 0,285281, K2 için 0,168293, K3 için 0,09556, K4 için 0,097623 ve K5 için 0,353242 olarak belirlenmiştir Bu sonuçlara göre bu beş kriter arasından K5 en önemli, K1 en önemli ikinci, K2 kriteri üçüncü, K4 dördüncü ve K5 en az öneme sahip kriter olarak tespit edilmiştir. K5'in değeri incelendiğinde diğer kriterlerle aralarındaki farkın bariz bir şekilde ortaya çıktığı, K1'in kendinden daha düşük değere sahip dört kritere göre, K2'nin de kendinden daha düşük değere sahip 2 kritere göre ön plana çıktığı görülmektedir. Ayrıca K3 ve K4'ün değerlerinin birbirine çok yakın oldukları diğer 3 alternatife göre çok daha düşük ağırlıklara sahip oldukları dikkat çekmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında araştırma kapsamına dâhil edilen beş yerel yönetim arasından olası İstanbul depremine karşı afet yönetimi konusunda en hazırlıklı ve ideal olan alternatif belirlenmiştir. Yapılan analiz sonrası mevcut kaynak ve kapasiteleri doğrultusunda Kadıköy Belediyesi diğer alternatiflere göre ideale en yakın seçenek olarak karşımıza çıkmıştır.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa çalışmada yer alan alternatiflerden Kadıköy Belediyesinin ideal çözüme olan uzaklığı (Ci) 0,6892, Üsküdar Belediyesinin 0,5632, Sarıyer Belediyesinin 0,5090, Beykoz Belediyesinin 0,4992 ve Kağıthane Belediyesinin 0,3131 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu beş yerel yönetim arasından afet yönetimi kapsamında ideal olan "1" değerine en yakın alternatifin Kadıköy Belediyesi olduğu, Üsküdar ve Sarıyer Belediyelerinin ortalamanın biraz üstünde yer aldığı, Beykoz Belediyesinin ortalamanın altında kaldığı Kağıthane Belediyesinin ise ideal değerden uzak olduğu tespit edilmiştir.

Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere çalışmada yer alan tüm yerel yönetimlerin olası İstanbul depremine karşı afet yönetimi kapsamında bir takım eksikliklerinin bulunduğu görülmektedir. Bu çalışma ile birlikte mevcut kaynak ve kapasiteler gözetilerek afet yönetimine ilişkin yetersiz kalınan hususlar ön plana çıkartılmaya çalışılmış. Bu aşamada yerel yönetimlerden belirlenen eksiklikler doğrultusunda önceliklendirme çalışmaları yapmaları ve olası İstanbul depremine karşı hazırlıklı olmaları beklenmektedir.

Araştırmanın en büyük beklentilerinden birisi de İstanbul'da hatta Türkiye'de yer alan tüm yerel yönetimlerin kendi kaynak ve kapasitelerini gözeterek çalışmaya dahil olabilmeleri, afet yönetimine ne derecede hazırlıklı olduklarını belirlemeleri ve yetersiz kalınan hususlarda kurumsal donanımlarını artırarak afetlere karşı direnç gösterebilmeleridir.

Ayrıca bu araştırmanın literatürde daha önce çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak oluşturan çalışmalarla benzerlik göstermemesiyle bu alanda çalışma yapmak isteyen araştırmacılara ışık tutması ve çalışmanın kapsamı genişletilerek yeni araştırmalara ilham vermesi çalışmanın bir diğer önemli beklentileri arasında yer almaktadır.

Çalışmada AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak elde edilen tüm sonuçlar Microsoft Excel üzerinden oluşturan paket program vasıtasıyla hesaplanmıştır. Öncelikli olarak AHP ve TOPSIS yönteminin adımlarını oluşturan tüm formüller Microsoft Excel işlenmiş daha sonra uygulamaya esas veriler sisteme dâhil edilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Hesaplamaların Microsoft Excel ile hızlı ve hatasız bir şekilde oluşturulabilmesi ve verilerin kolay bir şekilde revize edilebilmesi uygulanabilirlik açısından çalışmanın avantajlı taraflarını oluşturmaktadır.

Araştırmanın en büyük avantajı ise uygulama aşamasının tüm yerel yönetimler için mevcut kaynak ve kapasitelerine göre uyarlanabilmesi böylelikle afet yönetimine karşı ne derecede hazırlıklı olduklarını tespit edebilmeleridir. İlave olarak değişen şartlar ve kaynak kapasitelerine göre kolaylıkla güncelleme yapılabilmesi yine çalışmanın avantaj sağlayan taraflarını oluşturmaktadır.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça

Alonso, J. A., & Lamata, M. T. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: A new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 14*(4), 445–459.

Ayçin, E. (2019). *Çok Kriterli karar verme–Bilgisayar uygulamalı çözümler*. Nobel Akademik Yayıncılık.

Dişkaya, F., & Emir, Ş. (2021). AHP-TOPSIS bütünleşik yaklaşımıyla deprem riski tabanlı İstanbul ili kentsel dönüşüm öncelik sıralaması. *Afet ve Risk Dergisi, 4*(2), 203-223.

Duymaz, S. Y., & Kahveci, M. (2023). Olası İstanbul depremini beklerken hazırlıklı toplum hedefinin neresindeyiz?: 2023 Maraş ve Hatay depremlerinin ardından. *Ankara Barosu Dergisi, 81*(Özel Sayı), 335–371.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü. (2019). *İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi: İlçe Kitapçıkları*. https://depremzemin.ibb.istanbul/tr/olasi-deprem-kayip-tahminleri-ilce-kitapciklari

Kama, A., Bozkurt, İ. D., & Taşlıyan, M. (2024). Deprem sonrası kalkınma faktörlerinin AHP yöntemi ile sıralanması ve yöneticilere öneriler: Kahramanmaraş ili örneği. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 26*(47), 1212–1228.

Özdamar, D. Y. (2004). *Analitik hiyerarşi süreci yöntemi: Karar destek ve çok kriterli karar verme.* Nobel Yayın Dağıtım.

Özkılıç, E. N. (2020). *İstanbul'da deprem sonrası toplanma alanlarının kapasitelerinin ve erişilebilirliklerinin CBS yardımıyla analizi ve değerlendirilmesi*

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society, 41*(11), 1073–1076. https://doi.org/10.1057/jors.1990.108

Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. RWS Publications.

Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research, 169*(1), 1–29. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028

Vargas, L. G. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research, 48*(1), 2–8. https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Otobüs Sürücü Bölgelerindeki Taşıyıcı Yapıların İncelenmesi

Vural KART[1]

Özet

Toplu taşıma araçlarında sürücü bölgesi, sadece sürüş işlevlerini yöneten bir alan olmakla kalmayıp aynı zamanda konfor, ergonomi ve fonksiyonellik açısından da optimize edilmesi gereken bir bölgedir. Bu alan içerisinde yer alan başüstü dolap yapıları ise hem yapısal dayanım hem de üretim doğruluğu açısından özel dikkat gerektiren bileşenlerdir. Başüstü dolaplar, iç aydınlatma sistemleri, gösterge panelleri, elektronik kontrol birimleri gibi çeşitli ekipmanları taşıma görevini üstlenmekte; aynı zamanda sürüş güvenliği açısından sağlamlık, rijitlik ve montaj hassasiyeti gerektirmektedir.

Bu çalışmada, otobüs sürücü bölgelerinde yer alan başüstü dolap yapılarında iki farklı yapısal malzeme kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek performans farkları değerlendirilmiştir. Karşılaştırma, üç temel kriter üzerinden gerçekleştirilmiştir: üretim sürecinde oluşabilecek ölçüsel tolerans farklılıkları, elektronik bileşenlerin yükü altında taşıyıcı yapının gösterdiği dayanım davranışı ve toplam sistem ağırlığı üzerindeki etkiler.

Analiz sürecinde sonlu elemanlar yöntemi (FEA) kullanılarak her iki yapı modeline, kullanım senaryolarına uygun şekilde statik yükler uygulanmıştır. Bu yükler, dolap yüzeyine sabitlenen elektronik ekipmanların ağırlığını temsil edecek şekilde modellenmiş; yapının deformasyon, gerilme dağılımı ve genel stabilite tepkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca üretim kaynaklı tolerans varyasyonlarının montaj hassasiyeti ve saha uyumluluğu üzerindeki etkileri üretim verileri üzerinden analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgular, her iki malzeme çözümünün farklı avantajlara sahip olduğunu; bir yapının daha düşük kütle sunarken diğerinin üretim hassasiyeti ve rijitlik bakımından üstünlük sağladığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda çalışma, üretim ve montaj süreçlerinde malzeme bazlı optimizasyonun hem işçilik süresi hem de işlevsel performans üzerinde doğrudan etkili olabileceğini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak bu araştırma, sürücü başüstü yapılarında doğru malzeme seçim kriterlerinin belirlenmesine katkı sağlamayı ve hem üretim hem de kullanım performansı açısından karar vericilere teknik bir referans sunmayı amaçlamaktadır.Sonuç olarak, bu çalışma şehir içi ticari araçlarda kullanılan ayırma panellerinin performans iyileştirme sürecine katkı sağlamayı, alternatif yapı çözümleriyle güvenlik, konfor ve sürdürülebilirlik hedeflerini eş zamanlı desteklemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Taşıyıcı yapı, Başüstü Modül, Malzeme Seçimi, Sayısal Analiz, Deformasyon, Üretim Toleransı

[1] Trim Tasarım Mühendisi, Karsan Otomotiv

ISBN: 978-625-372-661-4

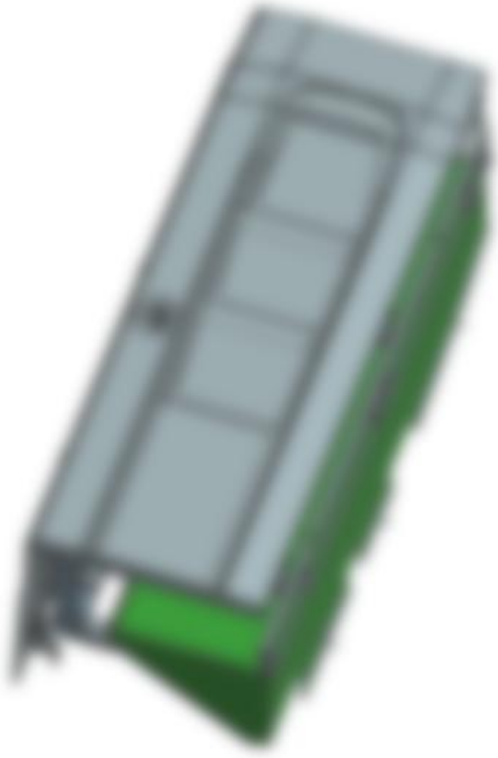
GİRİŞ

Otobüslerde sürücü bölgesi, hem sürüş güvenliği hem de konfor açısından stratejik bir yapı elemanıdır. Bu bölgedeki başüstü dolaplar, sadece ekipman taşıma görevini üstlenmekle kalmaz; aynı zamanda sürücü ergonomisini, görüş açısını ve montaj doğruluğunu doğrudan etkiler (UN ECE). Yapısal bileşenlerin dayanıklılığı kadar hafifliği ve üretim doğruluğu da bu sistemlerin başarısında belirleyicidir. Malzeme seçimi bu noktada kritik bir rol oynamakta; konvansiyonel çelik yapılarla modern kompozit veya hafif metal alternatifleri arasında mühendislik temelli kıyaslamaları gerekli kılmaktadır (Callister, 2018).

KAPSAM

Bu çalışmanın amacı, otobüs sürücü bölgesinde yer alan başüstü taşıyıcı yapılarda iki farklı malzemenin (ABS ve PBT) performansını karşılaştırmaktır. İnceleme kapsamında, iki temel performans kriteri değerlendirilmiştir:

1. Yapısal deformasyon ve gerilme dağılımı
2. Toplam sistem kütlesi



***Şekil 1**. Analizi gerçekleştirilen sürücü başüstü dolap*

YÖNTEM

Yapısal incelemeler için CAD ortamında iki farklı malzeme ile aynı geometrik boyutlara sahip başüstü dolap modelleri oluşturulmuştur. Modeller, sayısal analiz için bir sonlu elemanlar analiz yazılımına aktarılmıştır. Her bir yapı, iç aydınlatma ve elektronik donanımı

temsil edecek şekilde 100 N dağıtılmış sabit yükler altında test edilmiştir. Malzeme özellikleri literatürden alınarak elastik analizler yapılmıştır.

Tablo 1. *Malzeme Özellikleri*

Özellik	ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren)	PBT (Polibütilen Tereftalat)
Yoğunluk	~1.04 – 1.06 g/cm³	~1.30 – 1.55 g/cm³
Çekme Dayanımı	~40 – 50 MPa	~45 – 75 MPa
Elastisite Modülü (E-modülü)	~2.0 – 2.5 GPa	~2.2 – 2.8 GPa
Kopma Uzaması	~10 – 50%	~1.5 – 8%
Darbe Dayanımı (Izod, Notched)	~15 – 30 kJ/m²	~2 – 8 kJ/m²
Erime Noktası	Amorf yapı – belirli erime noktası yok (~105°C servis)	Kristal yapı – ~220 – 230°C
Isıl Eğilme Direnci (HDT)	~85 – 100°C (1.8 MPa altında)	~160 – 200°C (1.8 MPa altında)
Yanmazlık (UL94)	HB – V-0 (alev geciktirici katkıyla)	V-2 – V-0 (alev geciktirici katkıyla)
Kimyasal Direnç	Asit, alkaliye karşı orta düzey; çözücülere duyarlı	Asit, yağ ve çözücülere karşı iyi
Nem Emme Oranı	Düşük – %0.2 – 0.3	Yüksek – %0.1 – 0.8
Boyutsal Kararlılık	Orta düzey – şekil değiştirmeye eğilimli	Yüksek – iyi boyutsal stabilite
Elektriksel Özellikler	İyi	Çok iyi – yüksek yüzey direnci
İşlenebilirlik	Çok iyi (enjeksiyon, termoform, ekstrüzyon)	İyi (enjeksiyonla kalıplama ağırlıklı)
Uygulama Alanları	Otomotiv trim parçaları, beyaz eşya gövdeleri, oyuncaklar	Otomotiv fişleri, bağlantı elemanları, elektrik komponentleri

BULGULAR

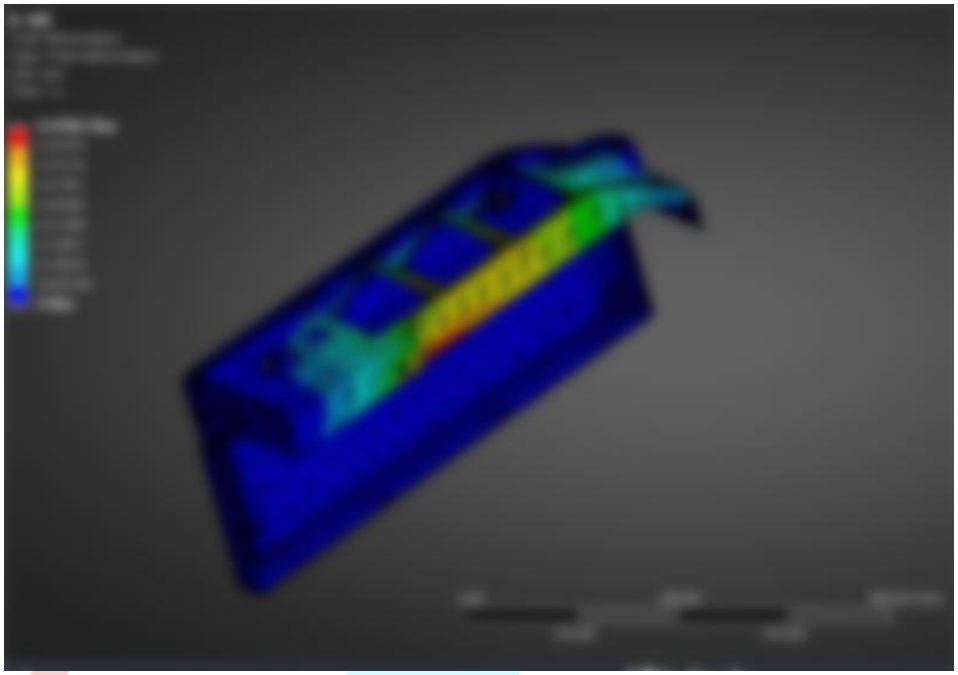
Yürütülen çalışmada, otobüs sürücü başüstü dolaplarında kullanılabilecek iki farklı termoplastik malzeme olan ABS ve PBT, yapısal performans açısından karşılaştırılmıştır. Analiz kapsamında her iki malzeme için maksimum von-Mises gerilme, toplam deformasyon ve parça ağırlığı parametreleri değerlendirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre; **maksimum von-Mises gerilme değerleri** ABS için **1,69 MPa**, PBT için ise **1,68 MPa** olarak belirlenmiştir. Bu değerler, her iki malzemenin uygulanan yük altında benzer dayanım gösterdiğini ortaya koymaktadır. Gerilme değerlerinin oldukça düşük olması, her iki malzemenin de yapısal bütünlük açısından güvenli sınırlar içinde kaldığını göstermektedir.

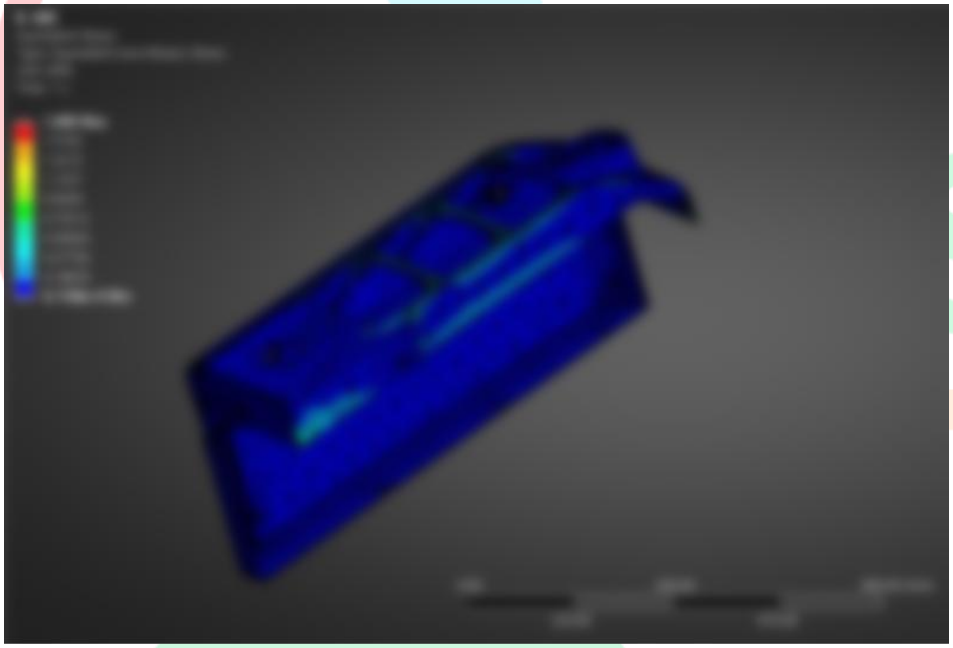
Toplam deformasyon değerleri incelendiğinde, PBT malzemesi **0,43 mm** ile ABS'ye (**0,47 mm**) kıyasla daha az deformasyon sergilemiştir. Bu durum, PBT'nin biraz daha rijit bir yapıya sahip olduğunu ve yapısal kararlılık açısından avantaj sunduğunu göstermektedir.

Ancak **ağırlık** açısından değerlendirildiğinde, ABS malzemesi **5,76 kg** ile PBT'ye (**8,1 kg**) göre önemli ölçüde daha hafif çıkmıştır. Bu fark, özellikle araç tasarımında hafiflik ve yakıt tasarrufunun önemli olduğu durumlarda kritik bir avantaj sağlamaktadır.

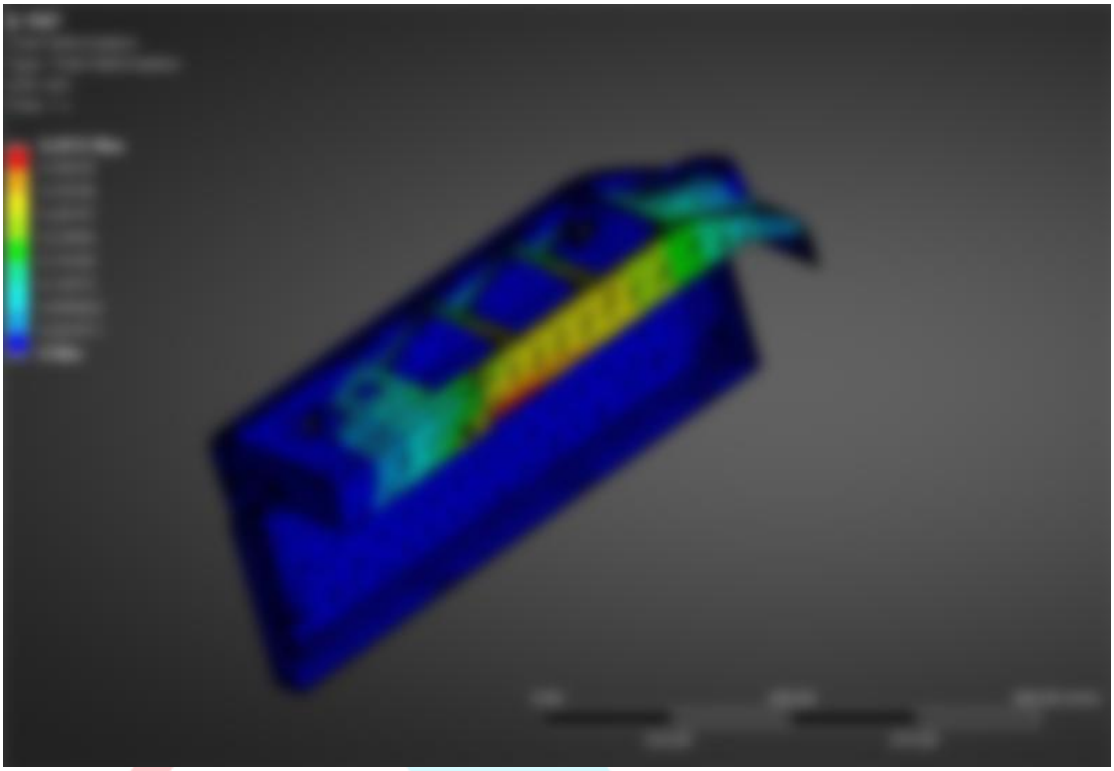
Elde edilen bu bulgular, iki malzemenin farklı yönlerden avantaj sunduğunu göstermekte olup, nihai seçimde uygulama önceliklerinin (hafiflik, rijitlik, maliyet, üretim kolaylığı vb.) belirleyici olacağını ortaya koymaktadır.



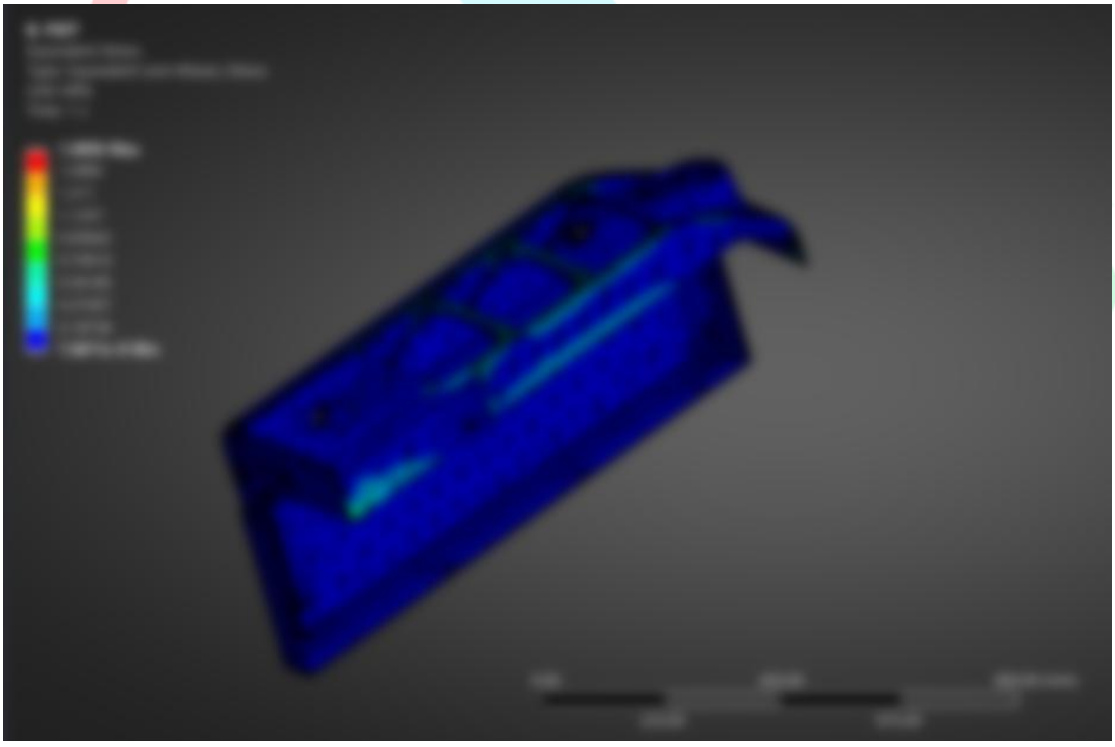
Şekil 2. *ABS malzeme sürücü başüstü dolap için total deformation (mm)*



Şekil 3. *ABS malzeme sürücü başüstü dolap için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*



Şekil 4. *PBT malzeme sürücü başüstü dolap için total deformation (mm)*



Şekil 5. *PBT malzeme sürücü başüstü dolap için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*

Malzemeler	Maksimum von-Mises gerilme (MPa)	Toplam deformasyon (mm)	Ağırlık (kg)
ABS	1,69 MPa	0.47 mm	5,76
PBT	1,68 MPa	0,43 mm	8,1

SONUÇ

Bu çalışmada ticari araçlarda kullanılan otobüs sürücü başüstü dolapları için iki farklı termoplastik malzeme olan ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) ve PBT (Polibütilen Tereftalat) mekanik performans, deformasyon davranışı ve ağırlık açısından karşılaştırılmıştır.

Yapılan sonlu elemanlar analizine göre her iki malzeme de benzer maksimum von-Mises gerilme değerleri göstermiştir: ABS için 1,69 MPa, PBT için ise 1,68 MPa. Bu sonuç, her iki malzemenin de yapısal dayanım açısından oldukça yakın performans sergilediğini ortaya koymaktadır.

Deformasyon açısından değerlendirildiğinde, PBT'nin 0,43 mm ile ABS'ye göre (0,47 mm) daha düşük bir toplam deformasyon sergilediği görülmektedir. Bu durum, PBT'nin rijitlik açısından bir miktar üstün olduğunu göstermektedir. Ancak bu farkın pratik uygulamalarda hissedilir olup olmayacağı kullanım senaryolarına bağlı olarak değişebilir.

Ağırlık kriteri incelendiğinde ise ABS malzemesi, 5,76 kg'lık ağırlığıyla PBT'ye (8,1 kg) kıyasla %28 daha hafiftir. Bu, özellikle hafiflik ve yakıt verimliliğinin önemli olduğu ticari araç uygulamalarında ABS'yi daha avantajlı kılmaktadır.

Sonuç olarak, her iki malzeme de mekanik dayanım açısından yeterli performans sunarken; daha düşük deformasyon değeri ile PBT, daha düşük ağırlığı ile ise ABS öne çıkmaktadır. Ancak ticari araçlarda yakıt tüketimi, yük optimizasyonu ve ergonomi gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda, ABS malzemesi; yapısal yeterlilik, üretilebilirlik ve hafiflik avantajları sayesinde sürücü başüstü dolap uygulamaları için daha uygun bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

ICENSS

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

1. UNECE. Regulation No. 14, 17, 80 – Uniform Provisions Concerning Safety-Belt and Seat Structures. https://unece.org

2. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials Science and Engineering: An Introduction. Wiley.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Ticari Araç Ayırma Panellerinde Honeycomb Yapısının Değerlendirilmesi

Vural KART[1]

Özet

Ticari şehir içi otobüslerde, sürücü bölgesi ile yolcu alanını fiziksel olarak ayırmak amacıyla kullanılan ayırma panelleri, araç içi güvenlik ve konfor açısından önemli bir yapısal bileşen olarak öne çıkmaktadır. Bu paneller yalnızca bölme işlevi görmekle kalmayıp, aynı zamanda yolcular tarafından seyahat esnasında temas edilen, yaslanılan ve çeşitli noktalardan kuvvet uygulanan yüzeylerdir. Özellikle ayakta seyahat eden yolcuların diz, dirsek ve vücut ağırlıklarıyla bu panellere yük bindirmesi; tasarım aşamasında bu yapıların yeterli düzeyde mekanik dayanım, rijitlik ve deformasyon direnci göstermesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada, ticari araçlarda yaygın olarak kullanılan geleneksel ayırma panel yapısı ile alternatif bir hafif panel yapısının karşılaştırmalı performans değerlendirmesi yapılmıştır. Sayısal analiz yaklaşımı ile yürütülen çalışmada, her iki yapı için eşit yükleme senaryoları altında sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ile analizler gerçekleştirilmiş; yük altında panel yüzeyinde oluşan maksimum gerilme değerleri, toplam sehim miktarları ve enerji sönümleme davranışları karşılaştırılmıştır.

Analiz sonuçları, alternatif panel yapısının yapısal ağırlık açısından avantaj sağladığını ve belirli noktasal kuvvetlere karşı daha dengeli bir gerilme dağılımı sunduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, panel rijitliği ve deformasyon direnci bakımından her iki yapının performansı teknik olarak değerlendirilmiş; kritik bölgelerdeki yer değiştirme eğilimleri yorumlanmıştır. Ayrıca, panelin taşıdığı yapısal yükü uzun süreli kullanıma karşı nasıl karşıladığı da analiz sürecine dâhil edilmiştir.

Elde edilen bulgular, ticari araçlarda ağırlık azaltımı, dayanım sürekliliği ve yolcu güvenliği hedeflerini bir arada değerlendiren tasarım yaklaşımlarına katkı sağlamaktadır. Bu çalışma, panel yapılarının sadece üretim sürecine değil; kullanım ömrü, montaj kolaylığı ve taşıma kapasitesi açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymakta ve tasarım kararlarını yönlendirmeyi amaçlamaktadır.

Sonuç olarak bu araştırma, sürücü başüstü yapılarında doğru malzeme seçim kriterlerinin belirlenmesine katkı sağlamayı ve hem üretim hem de kullanım performansı açısından karar vericilere teknik bir referans sunmayı amaçlamaktadır.Sonuç olarak, bu çalışma şehir içi ticari araçlarda kullanılan ayırma panellerinin performans iyileştirme sürecine katkı sağlamayı, alternatif yapı çözümleriyle güvenlik, konfor ve sürdürülebilirlik hedeflerini eş zamanlı desteklemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ayırma Paneli, Yapısal Dayanım, Deformasyon Analizi, Yolcu Güvenliği, Ticari Otobüs Tasarımı

[1] Trim Tasarım Mühendisi, Karsan Otomotiv

ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Toplu taşıma araçlarında yolcu güvenliğini sağlamak amacıyla belirlenen UN ECE regülasyonları ayırma panellerinde dayanıma sahip olmasını şart koşmaktadır(UN ECE). Geleneksel olarak kullanılan MDF yüksek dayanımıyla öne çıkmakla birlikte, artan ağırlık ve yakıt tüketimi gibi dezavantajlar taşımaktadır. Alternatif olarak, PP Honeycomb yapılar ve kompozit malzemeler, hafiflikleri sayesinde taşıt ağırlığını azaltma potansiyeline sahiptir. Benzer şekilde, ticari otobüslerde yolcu alanını ayıran panellerin rijitlik ve deformasyon direnci de yolcu konforu ve güvenliği için kritik bir tasarım parametresidir. Bu çalışmada, bu iki farklı yapısal bileşen için hafifletilmiş malzeme çözümlerinin performansları ayrıntılı olarak incelenmiştir(Callister,2018).

KAPSAM

Bu çalışma, ticari şehir içi otobüslerde kullanılan sürücü bölgesi ayırma panellerinin yapısal performansını ele almaktadır. Geleneksel panel tasarımları ile alternatif hafif yapısal çözümlerin mekanik dayanım, rijitlik ve deformasyon direnci açısından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Analizler, panellere seyahat sırasında uygulanan noktasal kuvvetler ve yolcu teması göz önüne alınarak eşit yükleme koşulları altında gerçekleştirilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan sayısal simülasyonlar, panel yüzeyindeki maksimum gerilme dağılımı, toplam sehim ve enerji sönümleme kapasitesi gibi performans kriterlerini incelemektedir.

Çalışma, ayırma panellerinde malzeme ve yapı optimizasyonu yoluyla ağırlık azaltımı sağlanmasının yanı sıra yolcu güvenliği ve konforunu artırmayı hedeflemekte, sürdürülebilir tasarım ilkelerine uygunluk açısından alternatif çözümlerin potansiyelini ortaya koymaktadır.

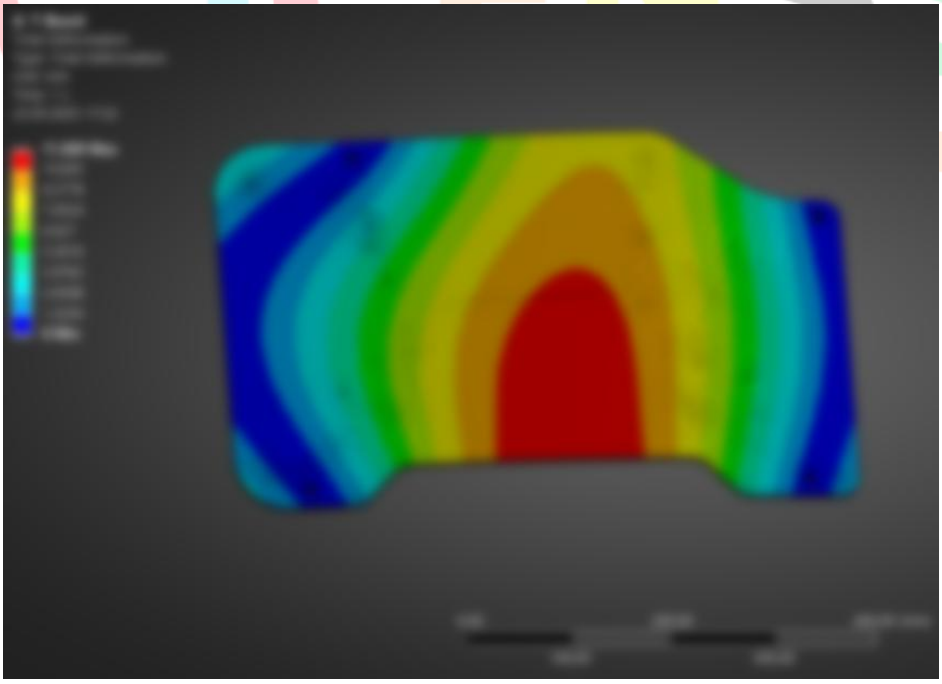
YÖNTEM

Yapısal incelemeler için CAD ortamında iki farklı malzeme olan MDF ve PP Honeycomp ile aynı geometrik boyutlara sahip ayırma paneli oluşturulmuştur. Modeller, sayısal analiz için bir sonlu elemanlar analiz yazılımına aktarılmıştır. Her bir yapı 100 N dağıtılmış sabit yükler altında test edilmiştir. Malzeme özellikleri literatürden alınarak elastik analizler yapılmıştır.

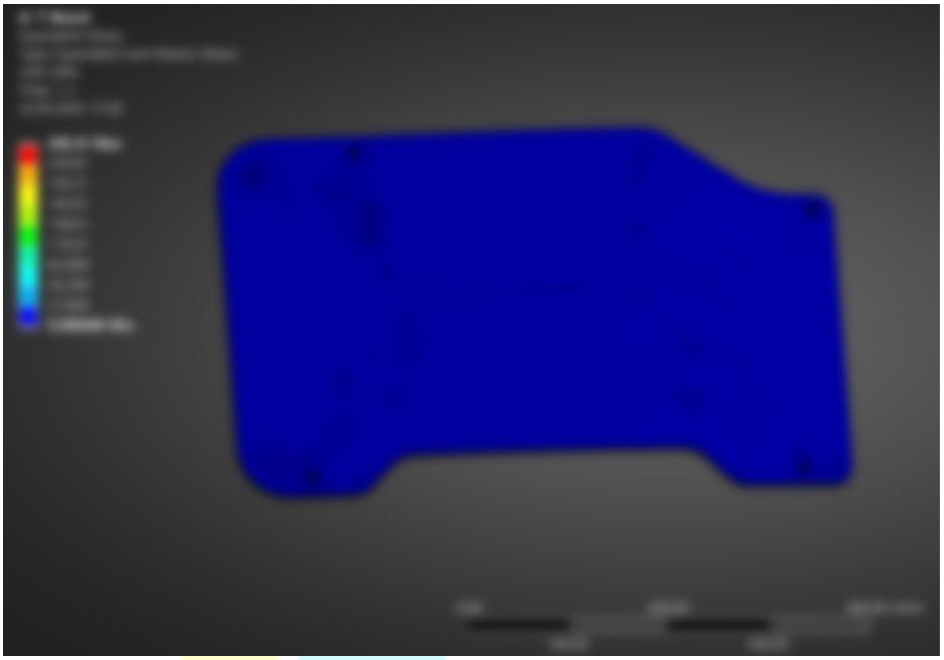
***Tablo 1**. Analizi yapılan malzemelerin genel özellikleri*

Özellik	MDF (Orta Yoğunlukta Lif Levha)	PP Honeycomb (Polipropilen Petek Panel)
Malzeme Yapısı	Ahşap liflerinin reçine ile sıkıştırılması	Polipropilen çekirdek
Yoğunluk (kg/m³)	600 – 800	400 – 600
Ağırlık (kg/m² @ 12 mm)	~7.2 – 9.6	~3.5 – 5.0
Kalınlık Aralığı	6 – 30 mm	10 – 25 mm
Yüzey Kaplama	Melamin, PVC film, boya veya vernik	PVC, PP film, antiskid kaplama opsiyonu
Suya Dayanıklılık	Düşük – Orta (neme karşı hassas, şişme riski)	Yüksek (su ve neme karşı dayanıklı)
Kimyasal Dayanım	Düşük	Yüksek
Darbe Dayanımı	Orta	Yüksek – Esnek yapılı
Yangına Dayanım	Düşük (standart MDF yanıcıdır)	FR (Alev geciktirici) katkılı türleri mevcut
Montaj Kolaylığı	Kolay (kesme, vida, yapıştırma)	İşleme özel ekipman gerektirebilir
Geri Dönüştürülebilirlik	Biyolojik olarak parçalanabilir, ancak reçineler sorun yaratabilir	%100 geri dönüştürülebilir (termoplastik)
Fiyat	Düşük – Orta	Orta – Yüksek
Kullanım Ömrü	3 – 7 yıl (neme maruz kalmazsa)	10 – 15 yıl

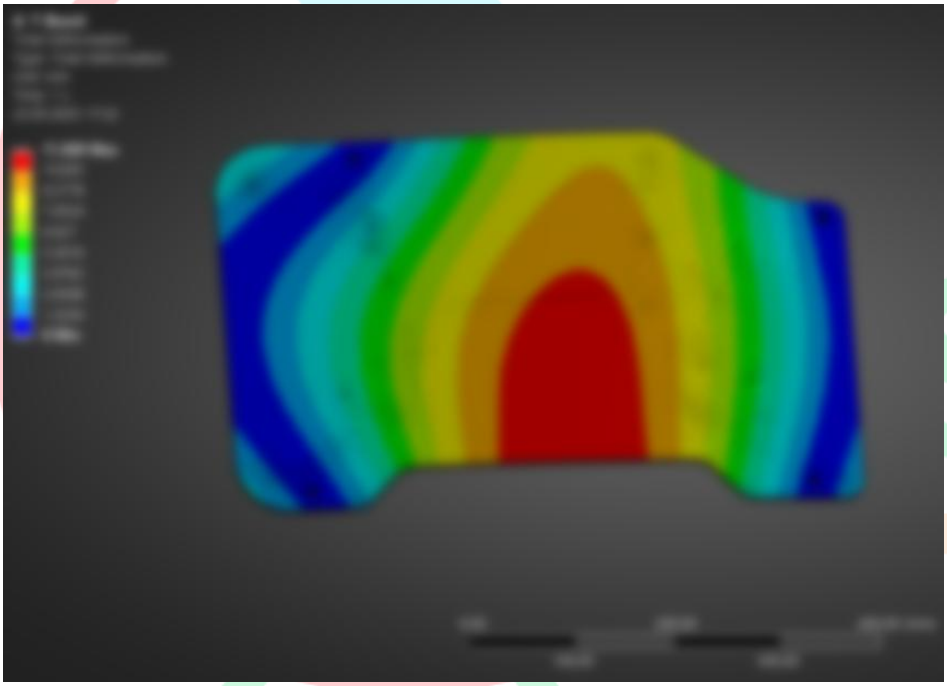
BULGULAR



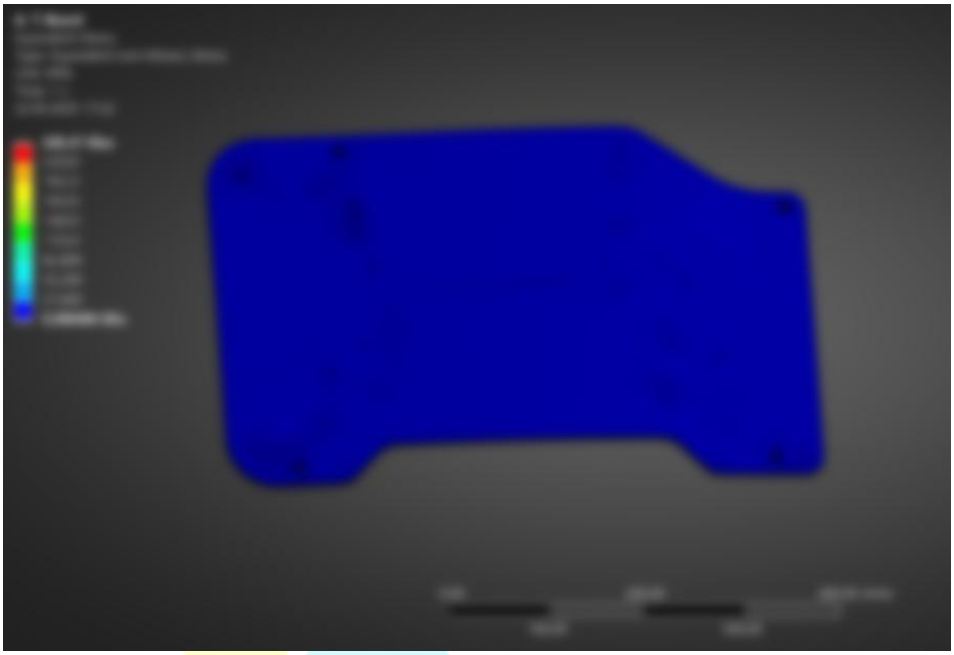
Şekil 1. MDF için Toplam deformasyon (mm)



Şekil 2. *MDF için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*



Şekil 3. *PP Honeycomb için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 4. *PP Honeycomb için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*

Tablo 2*. Sanal analiz sonuçları*

Malzemeler	Maksimum von-Mises gerilme (MPa)	Toplam deformasyon (mm)	Ağırlık (kg)
MDF	218,41	11.92	1,05
PP Honeycomp	347.2	218.6	0,3

SONUÇ

Bu çalışmada, ticari araçlarda kullanılan otobüs ayırma panelleri için iki farklı malzeme olan MDF ve PP Honeycomb'un mekanik performans ve ağırlık kriterleri açısından karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, malzemelerin yapısal dayanımı, deformasyon davranışı ve ağırlık açısından önemli farklılıklar ortaya koymuştur.

MDF malzemesi, maksimum von-Mises gerilme değerinde 218,41 MPa ile daha düşük ancak yapısal dayanıklılık açısından kabul edilebilir bir performans sergilemiştir. Toplam deformasyon değeri 11,92 mm olarak ölçülmüş ve malzemenin rijitliğinin görece yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, MDF'nin ağırlığı 1,05 kg olarak belirlenmiş olup, bu durum özellikle araç ağırlığı ve yakıt verimliliği açısından dezavantaj oluşturabilmektedir.

Öte yandan, PP Honeycomb malzemesi maksimum von-Mises gerilme açısından 347,2 MPa ile daha yüksek bir gerilme kapasitesi göstermiştir. Ancak, toplam deformasyon değeri 218,6 mm olarak oldukça yüksek bulunmuş ve bu da malzemenin elastikiyetinin yüksek, rijitliğinin ise MDF'ye kıyasla düşük olduğunu göstermektedir. PP Honeycomb'un en belirgin avantajı ise düşük ağırlığıdır (0,3 kg), bu da taşıt ağırlığını azaltma ve dolayısıyla enerji tasarrufu sağlama açısından önemli bir üstünlük sağlamaktadır.

Sonuç olarak, MDF malzemesi yapısal dayanıklılık ve rijitlik açısından üstünlük sağlarken, PP Honeycomb malzemesi hafiflik ve yüksek enerji emme kapasitesi ile öne çıkmaktadır. Otobüs ayırma panellerinde malzeme seçimi, dayanıklılık ve ağırlık kriterlerinin önceliklendirilmesine bağlı olarak değişebilir. Enerji verimliliği ve ağırlık azaltımı ön plandaysa PP Honeycomb tercih edilirken, mekanik dayanıklılık ve rijitlik kritikse MDF daha uygun bir seçenek olarak değerlendirilebilir.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

1. UNECE. (2013). Regulation No 117. https://unece.org
2. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials Science and Engineering. Wiley.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Ticari Araç Ayırma Panellerinde T-Board Yapısının Değerlendirilmesi

Vural KART[1]

Özet

Ticari şehir içi otobüslerde, yolcu güvenliğini artırmak ve iç mekân organizasyonunu düzenlemek amacıyla kullanılan ayırma panelleri, hem yapısal hem de fonksiyonel açıdan önemli bileşenler arasında yer almaktadır. Bu paneller, genellikle sürücü bölgesi ile yolcu bölgesini birbirinden ayırmakta ve aynı zamanda yolculuk esnasında yolcular tarafından destek yüzeyi olarak da kullanılmaktadır. Ayakta seyahat eden yolcuların bu yüzeylere elleri, dizleri veya vücut ağırlıklarıyla baskı uygulaması sonucunda panellerin önemli seviyede mekanik yüke maruz kaldığı bilinmektedir. Bu nedenle, kullanılan panel yapısının yeterli dayanım, rijitlik ve deformasyon direnci göstermesi beklenmektedir.

Bu çalışmada, şehir içi otobüslerde kullanılan geleneksel panel yapılarına alternatif olarak önerilen yeni bir panel formunun yapısal performansı sayısal analiz yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Sonlu elemanlar analizi (FEA) kapsamında, çeşitli yükleme senaryoları altında panel yapılarına etki eden kuvvetlerin neden olduğu gerilme dağılımları, sehim değerleri ve plastik deformasyon potansiyelleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Panelin üst, orta ve alt noktalarından uygulanan noktasal ve yüzeysel yükler, gerçek kullanım senaryolarına uygun olarak modellenmiş ve sonuçlar sistematik biçimde değerlendirilmiştir.

Yapılan analizler, alternatif panel yapısının daha düşük deformasyon sergilediğini, belirli bölgelerde gerilme birikimini azalttığını ve genel olarak daha rijit bir yapı sunduğunu göstermiştir. Ayrıca, dayanım performansına ek olarak üretim kolaylığı ve yapısal hafiflik gibi ek avantajlar da değerlendirme kapsamına alınmıştır. Alternatif çözüm, tasarım bütünlüğünü bozmadan hem yapısal verimlilik hem de maliyet/fayda açısından önemli kazanımlar sunma potansiyeli taşımaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma şehir içi ticari araçlarda kullanılan ayırma panellerinin performans iyileştirme sürecine katkı sağlamayı, alternatif yapı çözümleriyle güvenlik, konfor ve sürdürülebilirlik hedeflerini eş zamanlı desteklemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ayırma Paneli, Yapısal Dayanım, Deformasyon Analizi, Yolcu Güvenliği, Ticari Otobüs Tasarımı

[1] Trim Tasarım Mühendisi, Karsan Otomotiv

ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Toplu taşıma araçlarında yolcu güvenliğinin artırılması, tasarım ve mühendislik süreçlerinin öncelikli hedeflerinden biridir. Özellikle Avrupa Birliği tarafından belirlenen UN ECE regülasyonları aracın fren anındaki ilişkili komponentleri dayanıklılık kriterlerini detaylandırmaktadır. Aynı zamanda, araç içi düzenlemelerde kullanılan ayırma panellerinin de yolcu güvenliği ve konforu açısından yeterli yapısal dayanım göstermesi beklenmektedir (UN ECE). Bu çalışmalar, araç içi bileşenlerin hem fonksiyonel hem de yapısal gereksinimlerini karşılamak üzere çeşitli malzeme ve tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

KAPSAM

Bu araştırma, şehir içi toplu taşıma araçlarında sürücü alanını yolculardan ayıran panellerin yapısal özelliklerini incelemektedir. Geleneksel tasarımlarla hafif alternatif yapıların mekanik dayanıklılık, sertlik ve deformasyona karşı direnç gibi kriterler açısından kıyaslanması amaçlanmıştır. Değerlendirmeler, yolculuk sırasında panellere etki eden noktasal kuvvetler ve yolcu temasları göz önünde bulundurularak, eşit yükleme senaryoları altında gerçekleştirilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan dijital simülasyonlar; yüzeyde oluşan maksimum gerilme, toplam sehim miktarı ve enerji emme kapasitesi gibi performans ölçütlerini analiz etmektedir.

Bu çalışma, ayırma panellerinde malzeme ve yapı optimizasyonu yoluyla hem ağırlığın azaltılmasını hem de yolcu güvenliği ile konforunun artırılmasını amaçlamakta, aynı zamanda sürdürülebilir tasarım prensiplerine uygun alternatif çözümlerin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

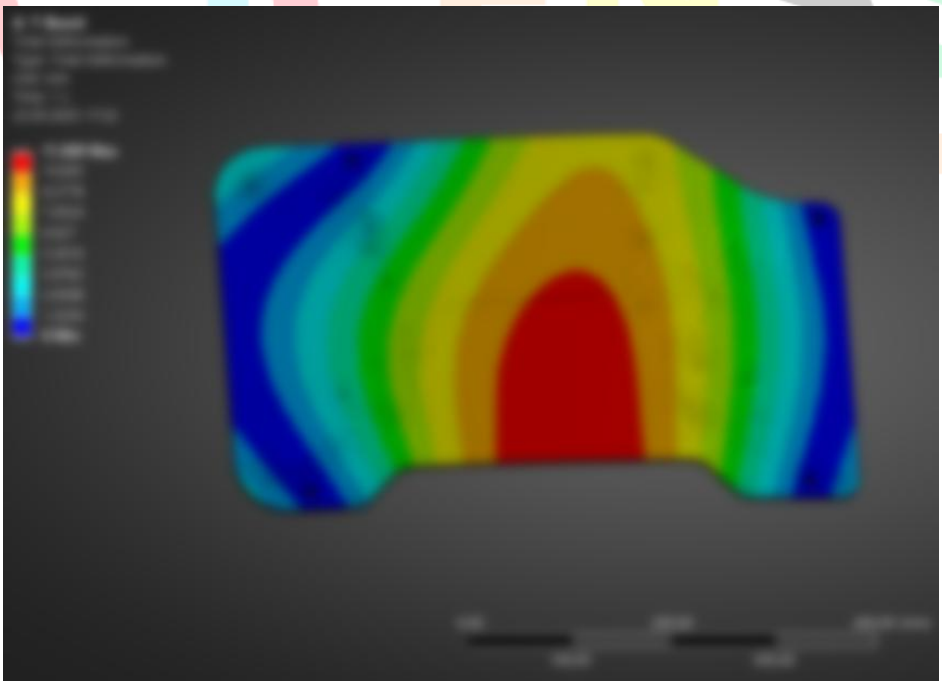
YÖNTEM

Yapısal analizler kapsamında, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ortamında MDF ve T-Board olmak üzere iki farklı malzemeden, aynı boyutlara sahip ayırıcı panel modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller, sonlu elemanlar analizine uygun yazılıma aktarılmış ve her biri 100 N'lik eşit yayılı yük altında değerlendirilmiştir. Malzemelere ait mekanik özellikler literatür kaynaklarına dayanarak belirlenmiş ve elastik davranış esas alınarak analizler yürütülmüştür.

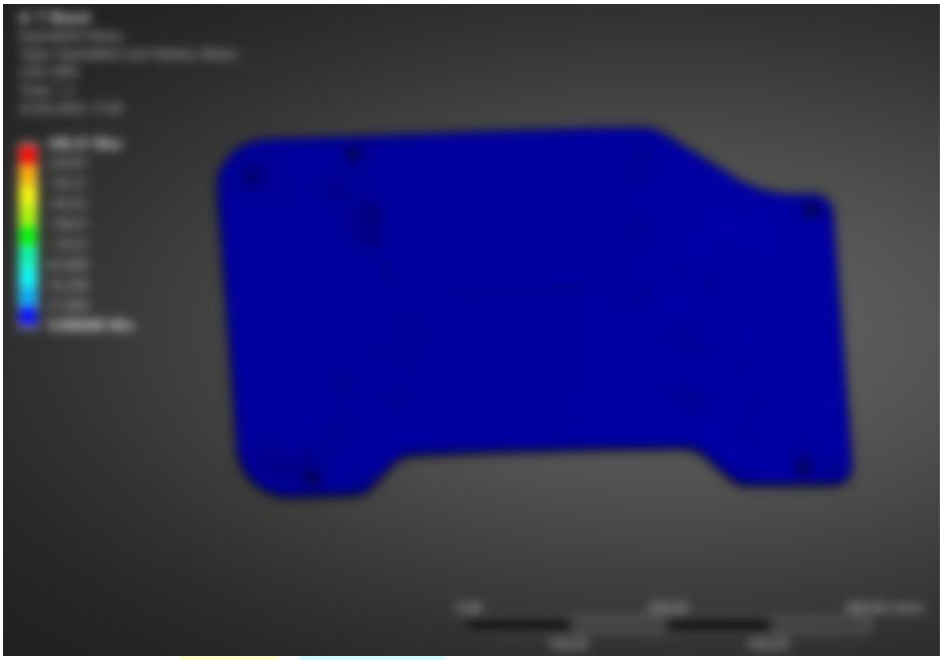
***Tablo 1**. Analizi yapılan malzemelerin genel özellikleri*

Özellik	MDF (Orta Yoğunlukta Lif Levha)	T-Board (Thermoform Board / Termoplastik Levha)
Malzeme Yapısı	Ahşap liflerinin reçine ile preslenmesi	Termoform plastik (genellikle poliolefin esaslı kompozit)
Yoğunluk (kg/m³)	600 – 800	450 – 650
Ağırlık (kg/m² @ 12 mm)	~7.2 – 9.6	~4.5 – 6.5
Kalınlık Aralığı	6 – 30 mm	8 – 25 mm
Yüzey Kaplama	Melamin, PVC film, boya veya vernik	Kendinden yüzeyli veya ilave film kaplama opsiyonlu
Suya Dayanıklılık	Düşük – Orta (şişme riski yüksek)	Yüksek (su geçirmez, şişme yapmaz)
Kimyasal Dayanım	Düşük	Yüksek
Darbe Dayanımı	Orta	Yüksek – Esnek, kırılmaya dirençli
Yangına Dayanım	Düşük (standart MDF yanıcıdır)	Orta – FR sınıfı üretimi mümkündür
Montaj Kolaylığı	Kolay (kesme, vida, yapıştırma)	Termoform ile şekil verilebilir; vida, perçin uyumlu
Geri Dönüştürülebilirlik	Kısmen geri dönüştürülebilir	%100 geri dönüştürülebilir (termoplastik)
Fiyat	Düşük – Orta	Orta – Yüksek
Kullanım Ömrü	3 – 7 yıl	10 – 15 yıl

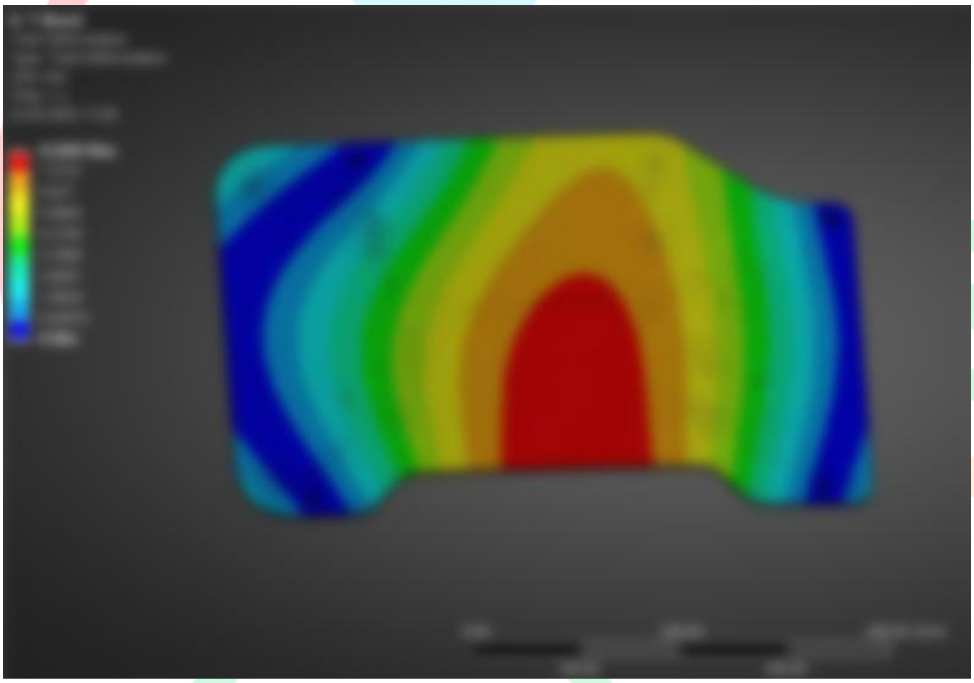
BULGULAR



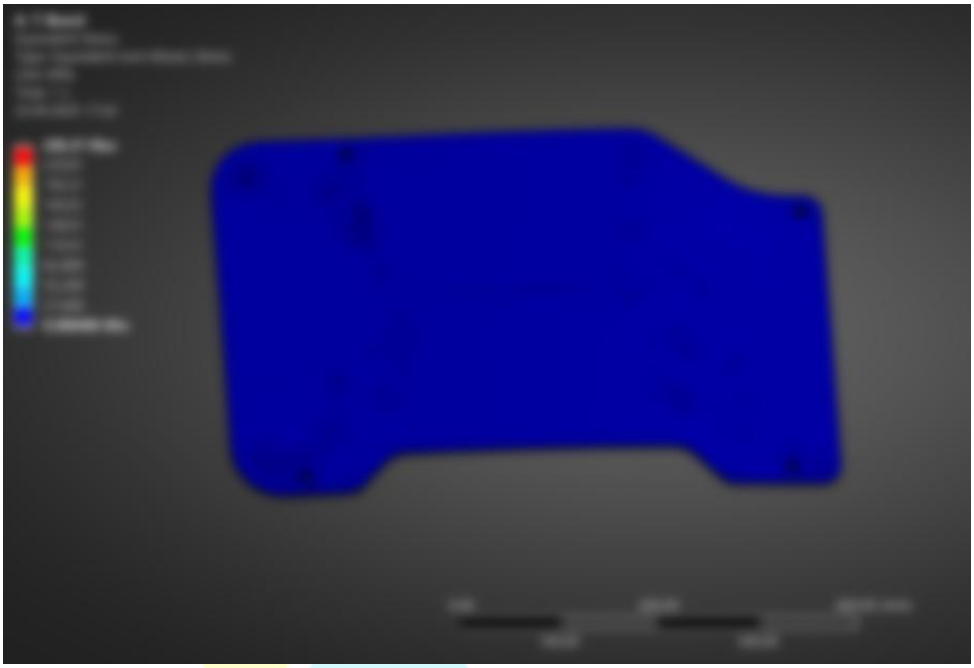
Şekil 1. MDF için Toplam deformasyon (mm)



Şekil 2. *MDF için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*



Şekil 3. *T-Board için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 4. *T-Board için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*

Tablo 2*. Sanal analiz sonuçları*

Malzemeler	Maksimum von-Mises gerilme (MPa)	Toplam deformasyon (mm)	Ağırlık (kg)
MDF	218,41	11.92	1,05
T-Board	248.4	8.52	1.12

SONUÇ

Bu çalışmada, ticari araçlarda taban plakası olarak kullanılması düşünülen iki farklı panel malzemesi MDF ve T-Board mekanik performans ve kütle kriterleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan sonlu eleman analizleri sonucunda, her iki malzeme de yapısal bütünlük açısından belirli avantajlar sunmakla birlikte, kullanım koşullarına bağlı olarak farklı önceliklerin göz önünde bulundurulması gerektiği ortaya çıkmıştır.

MDF malzemesi, 218.41 MPa maksimum von-Mises gerilme ve 11.92 mm toplam deformasyon değeri ile yük altında daha yüksek bir deformasyon sergilemiş, buna karşın göreli olarak düşük kütlesi (1.05 kg) sayesinde hafiflik gereksinimlerine kısmen uyum sağlamıştır. Ancak deformasyon değerinin yüksek olması, uzun süreli kullanımlarda form stabilitesinin olumsuz etkilenebileceğini düşündürmektedir.

T-Board ise 248.4 MPa gibi daha yüksek bir maksimum gerilme dayanımı ve sadece 8.52 mm toplam deformasyon ile hem mukavemet hem de rijitlik açısından üstün bir performans sergilemiştir. Her ne kadar 1.12 kg'lık kütlesi MDF'ye göre bir miktar daha fazla olsa da, sunduğu mekanik avantajlar bu farkı kabul edilebilir seviyeye çekmektedir.

Sonuç olarak, T-Board malzemesi; taşıma kapasitesinin ve şekil kararlılığının kritik olduğu uygulamalarda MDF'ye göre daha uygun bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, malzeme seçimi yapılırken üretim maliyetleri, işlenebilirlik, çevresel koşullara dayanım gibi diğer faktörlerin de dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır. İlerleyen çalışmalarda, bu tür panel malzemelerinin uzun vadeli performanslarını değerlendirmek amacıyla deneysel doğrulamalar ve yaşlandırma testleri ile desteklenmiş kapsamlı analizlerin gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

1. UNECE. (2013). Regulation No. 117.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Ticari Araç Taban Tahtalarında Honeycomb Yapısının İncelenmesi

Vural KART[1]

Özet

Toplu taşımacılıkta kullanılan ticari araçlarda, taban yapısının hem yolcu güvenliği hem de yapısal bütünlük açısından önemli bir rolü bulunmaktadır. Özellikle şehir içi otobüslerde, taban tahtası yalnızca zemin kaplamasını taşıyan bir eleman değil; aynı zamanda yük aktarımını sağlayan ve rijitliği doğrudan etkileyen bir taşıyıcı yapı bileşeni olarak görev yapmaktadır. Bu nedenle, hem mekanik performansın sağlanması hem de ağırlığın minimize edilmesi, araç tasarımında kritik mühendislik hedeflerindendir.

Bu çalışmada, ticari araçlarda yaygın olarak kullanılan mevcut taban tahtası yapısına alternatif olarak geliştirilen hücresel yapı formunun, mekanik dayanım, sehim davranışı ve ağırlık üzerindeki etkileri sayısal analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizleri (FEA) ile farklı yükleme koşulları altında yapıların gösterdiği tepki değerlendirilmiş; özellikle taşıma kapasitesi, yer değiştirme miktarları ve yapısal rijitlik gibi parametreler analiz kapsamına alınmıştır. Aynı geometrik sınırlar ve sabit destek koşulları altında yapılan karşılaştırmalar, her iki yapı senaryosunun mühendislik performanslarını objektif şekilde ortaya koymuştur.

Analiz sonuçlarına göre, alternatif yapının, belirlenen yükleme koşullarında yeterli yapısal dayanım sağladığı ve sehim değerlerini kabul edilebilir sınırlar içinde tuttuğu görülmüştür. Ayrıca, alternatif yapının sahip olduğu hafiflik sayesinde toplam sistem kütlesinde önemli ölçüde azalma sağladığı belirlenmiştir. Bu durum, ticari araçlarda hem yakıt tüketimini düşürmek hem de çevresel sürdürülebilirliği desteklemek açısından dikkate değer bir avantaj olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma, şehir içi ticari otobüslerin zemin yapısında kullanılabilecek alternatif yapı formlarının, sadece yapısal performans açısından değil, aynı zamanda ağırlık optimizasyonu ve üretim verimliliği yönünden de değerlendirilmesini hedeflemekte ve araç tasarımı sürecine bütünsel bir mühendislik yaklaşımı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Honeycomb Yapı, Yapısal Analiz, Zemin Rijitliği, Ağırlık Azaltımı, Ticari Araç Mühendisliği

[1] Trim Tasarım Mühendisi, Karsan Otomotiv

ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Günümüzde kent içi taşımacılıkta kullanılan ticari araçlarda zemin sistemlerinin hem dayanıklılığı hem de hafifliği, araç verimliliği ve güvenliği açısından temel tasarım kriterleri arasında yer almaktadır(UN ECE). Geleneksel ahşap ve PP Honeycomp esaslı zemin panelleri yeterli mukavemet sunsa da, taşıtın toplam kütlesini artırarak yakıt tüketimini ve emisyon seviyelerini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, hafif ancak yeterli yapısal performans sağlayabilecek yeni malzeme ve yapı konfigürasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, hücresel yapı formuna sahip bir panelin geleneksel yapılarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir(Callister,2018).

KAPSAM

Bu çalışmanın amacı, ticari araçlarda kullanılabilecek alternatif zemin panellerinin, özellikle PP temelli hücresel yapıların, geleneksel sistemlere göre sehim ve ağırlık avantajlarını incelemektir. Simülasyonlarda aynı geometrik ve destek koşulları altında iki yapı tipinin (geleneksel ve hücresel) performansları karşılaştırılmıştır. İncelenen parametreler şunlardır:

- Taşıma kapasitesi (maksimum dayanım)
- Sehim miktarı (maksimum yer değiştirme)
- Yapısal rijitlik
- Kütle avantajı

YÖNTEM

Simülasyon çalışmaları ANSYS programı yapısal analiz yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki yapı için CAD modelleri oluşturulmuş ve aynı sınır koşulları altında sayısal analizleri yapılmıştır.

Tablo 1. *Malzeme Özellikleri*

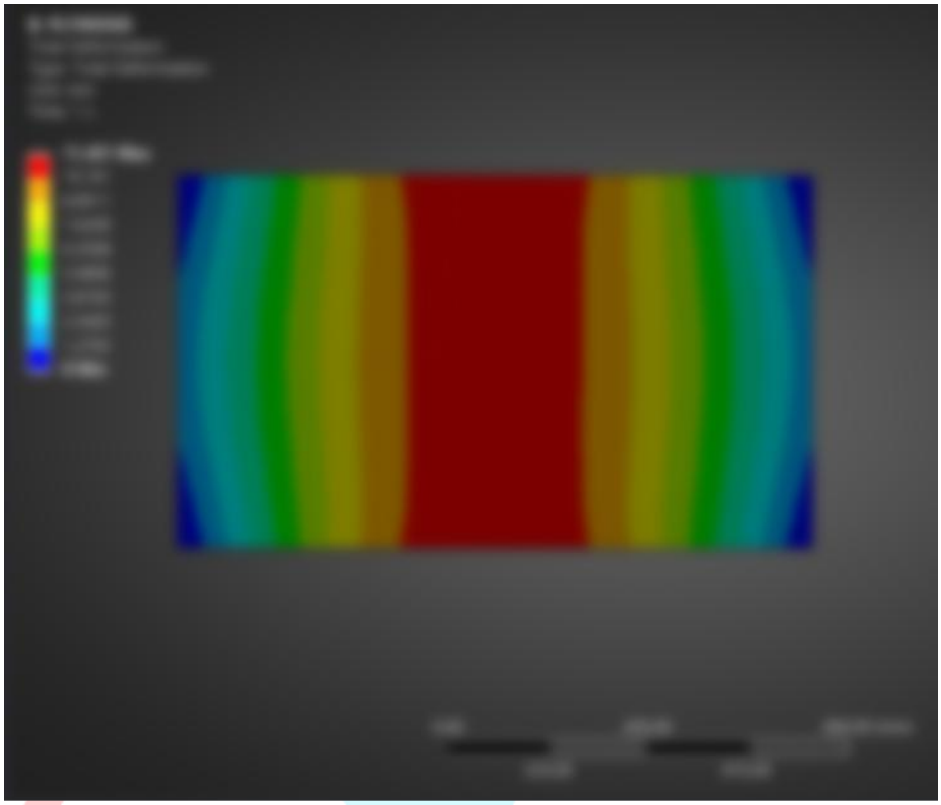
Özellik	Plywood (Kontrplak)	PP Honeycomb (Polipropilen Petek Panel)
Malzeme Yapısı	Ahşap tabakaların çapraz olarak preslenmesi	Polipropilen Honeycomp
Yoğunluk (kg/m³)	500 – 750 kg/m³	400 – 600 kg/m³
Ağırlık (kg/m² @ 12 mm)	~6.0 – 9.0 kg/m²	~3.5 – 5.0 kg/m²
Kalınlık Aralığı	Genellikle 9 – 21 mm	Genellikle 10 – 25 mm
Yüzey Kaplama	Film kaplı, fenolik reçine veya çıplak	PVC, polipropilen film, antiskid kaplama opsiyonu
Suya Dayanıklılık	Orta – Yüksek (marine sınıfında yüksek)	Yüksek (neme karşı tamamen dayanıklı)
Kimyasal Dayanım	Düşük – Orta	Yüksek
Darbe Dayanımı	Yüksek	Yüksek – Esnek yapılı
Yangına Dayanım (opsiyonel)	Zor alevlenir sınıfında üretilebilir	FR (Fire Retardant) katkılı türleri mevcuttur
Montaj Kolaylığı	Kolay işlenebilir (kesme, vida vb.)	İşleme zor olabilir, özel ekipman gerekebilir
Geri Dönüştürülebilirlik	Doğal malzeme, biyolojik olarak parçalanabilir	%100 geri dönüştürülebilir (termoplastik)
Fiyat	Düşük – Orta	Orta – Yüksek
Kullanım Ömrü	5 – 10 yıl (bakıma bağlı)	10 – 15 yıl (yüksek dayanım)

Yükleme Senaryosu:

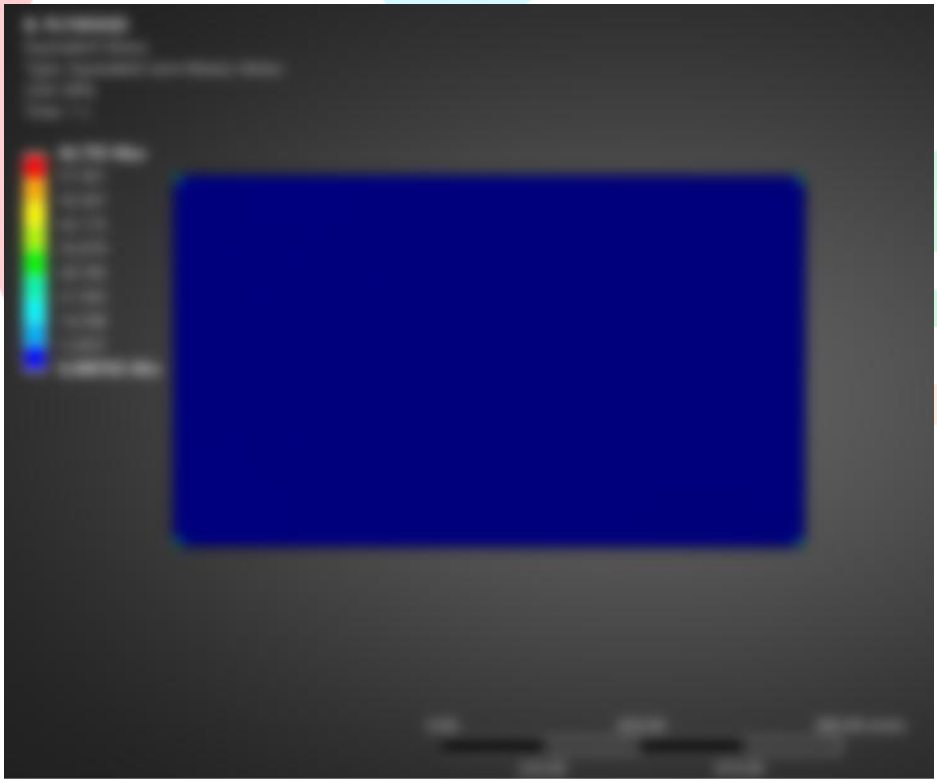
Her yapı üzerine ortalama 300 N'lik merkezi dik kuvvet uygulanmıştır. Paneller kenarlardan sabitlenmiş ve deformasyonlar değerlendirilmiştir.

BULGULAR

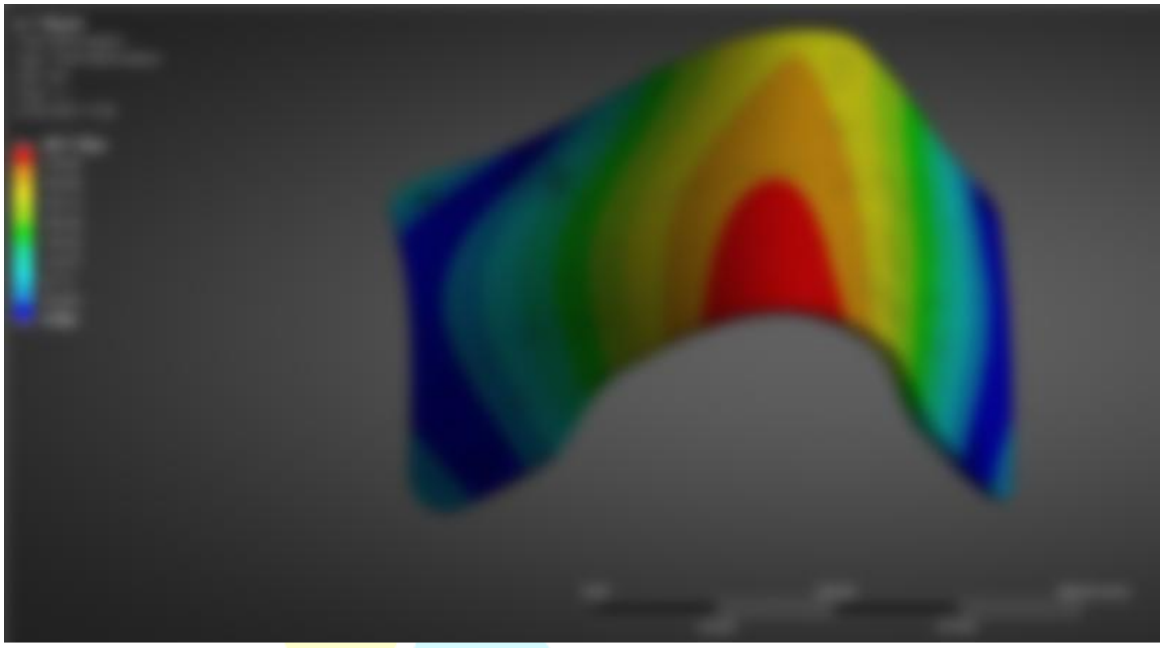
Analiz sonuçlarına göre, hücresel yapı kullanılan panellerde konvansiyonel yapıya göre çok daha düşük sehim ve gerilme seviyeleri elde edilmiştir. Ancak bu yapılar, rijitliğe karşılık geleneksel sistemlere göre daha düşük çekme ve akma dayanımına sahiptir. Bu nedenle, belirli noktalarda destekleyici yapısal elemanların kullanımı önerilmektedir.



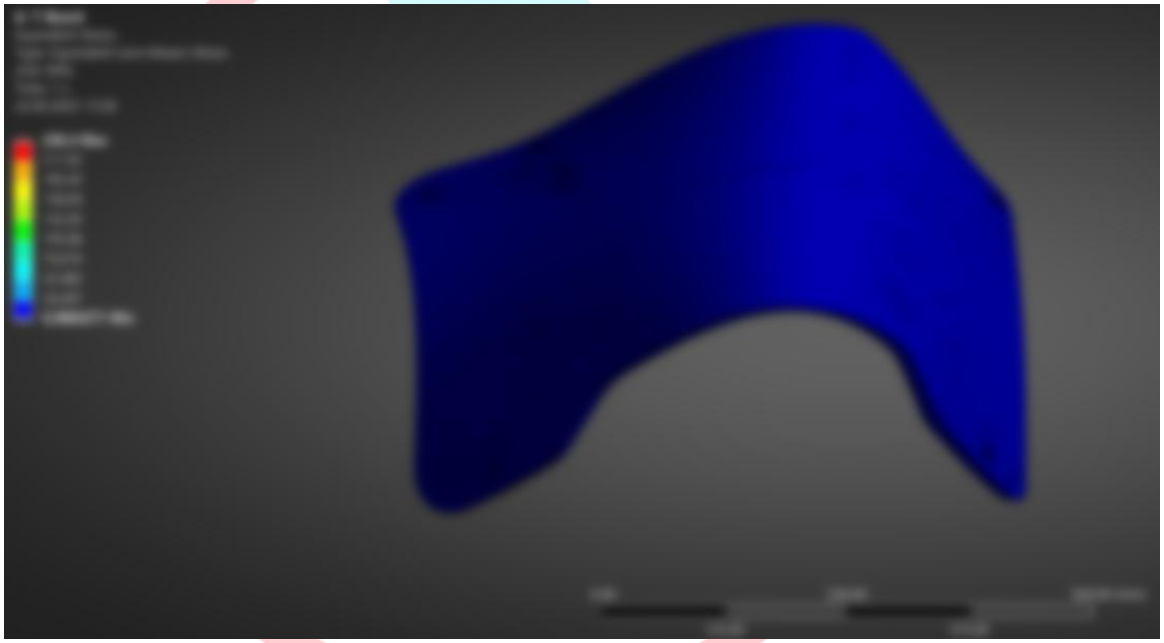
Şekil 1. *Plywood için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 2. *Plywood için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*



Şekil 3. *PP Honeycomp için Toplam deformasyon (mm)*



Şekil 4. *PP Honeycomp için Maksimum von-Mises gerilme (MPa)*

Tablo 2. *Test sonuçları*

Panel Türü	Maks. Sehim (mm)	Maks. Gerilme (MPa)	Kütle (kg)
Plywood	11.43	64.75	9.38
PP Honeycomb	367.7	238.4	0.123

SONUÇ

Bu çalışmada ticari otobüslerde taban malzemesi olarak kullanılabilecek iki farklı panel türü geleneksel kontrplak (plywood) ve polipropilen petek yapılı (PP honeycomb) panel mekanik performans ve kütle açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda her iki malzemenin de belirli avantajlara sahip olduğu, ancak kullanım amacına göre tercihlerin değişebileceği ortaya konmuştur.

Plywood panel, maksimum 11.43 mm sehim ve 64.75 MPa maksimum gerilme değerleriyle yapısal rijitlik açısından çok daha iyi bir performans sergilemiştir. Bu durum, yolcu konforu ve yapısal dayanım gereksinimlerinin ön planda olduğu uygulamalarda plywood'un hâlâ geçerli bir seçenek olduğunu göstermektedir. Ancak 9.38 kg'lık yüksek kütlesi, enerji verimliliği ve taşıma kapasitesi açısından önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Buna karşılık, PP honeycomb panel yalnızca 0.123 kg gibi son derece düşük bir kütleye sahip olup, bu özelliğiyle özellikle hafiflik gerektiren uygulamalarda ciddi avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, 367.7 mm'lik maksimum sehim ve 238.4 MPa'lık gerilme değerleri, bu malzemenin rijitlik ve dayanım bakımından önemli zafiyetlere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, yapısal bütünlük açısından ek destekleyici tasarım çözümlerinin gerekliliğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, PP honeycomb panel, ağırlık azaltımının öncelikli olduğu ve yeterli destek yapılarının sağlanabileceği durumlarda tercih edilebilecek yenilikçi bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Ancak doğrudan taşıyıcı taban elemanı olarak kullanımı, mevcut haliyle ciddi sınırlamalara sahiptir. Plywood ise yüksek mekanik performansı sayesinde güvenli bir seçenek olmakla birlikte, artan ağırlığı nedeniyle taşıt verimliliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, PP petek yapının mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ya da hibrit çözümlerle bu iki malzemenin avantajlarının birleştirilmesi üzerine odaklanılması önerilmektedir.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

1. UNECE (2013). Regulation No. 80 – Approval of seats of large passenger vehicles. https://unece.org
2. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials Science and Engineering: An Introduction. Wiley.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELERDE ELEKTRİK TÜKETİMİ

Ayşenur SEKİN [1]

ÖZET

Elektrik enerjisi, özellikle gelişmekte olan ülkeler için son derece kritik bir öneme sahiptir. Günümüzde sürdürülebilir ekonomik büyümenin en önemli girdilerinden biri olan enerji, birçok ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri bulunmaktadir. Dünya nüfusundaki artış, teknolojik yenilikler, sanayileşmenin hızlanması, yaşam standartlarının yükselmesi ve artan tüketim harcamaları, enerji talebinin hızla artmasına neden olmaktadır. Bu artış, enerji talebini karşılamak için petrol, kömür ve doğalgaz gibi tükenebilir fosil kaynaklara yönelimi beraberinde getirmiştir.

Son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme gerekliliği, özellikle sürdürülebilir çözümler arayan ülkelerin gündeminde yer almaktadır. Ülkelerin artan enerji taleplerini, temiz ve yerli enerji kaynaklarıyla karşılamaları, dışa bağımlılığı azaltmanın yanı sıra, küresel ısınmaya yol açan sera gazı emisyonlarının çevreye verdiği zararı minimize etmek açısından da büyük bir önem taşımaktadır. Bu durum, hükümetleri yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi için çeşitli teşvik ve destek politikaları geliştirmeye yöneltmektedir. Birçok ülke, elektrik enerjisine olan bağımlılığını azaltmakta ve elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki, hem politika yapıcılar hem de araştırmacılar için güncel bir tartışma konusu haline gelmektedir. Ülke genelinde ve bireysel ülke örnekleri üzerinde gerçekleştirilen birçok araştırma, elektrik enerjisi tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki farklı değişkenleri incelemektedir. Bu çalışmaların ortak bulgusu, elektrik enerjisini sürekli, etkin ve verimli kullanan ülkelerin ekonomik büyümeden olumlu yönde etkilendiğidir. Bu çalışmada, gelişmekte olan ülkelerdeki elektrik tüketimi araştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik enerjisi tüketimi, nüfus artışı, enerji talebi.

[1] Yildiz Technical University, Electrical - Electronic Engineering Department of Department, sekinaysenur@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2932-6384

ISBN: 978-625-372-661-4

1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan nüfus ve sanayileşme ile birlikte enerji talebinin önemini katlanarak artırmaktadır. İkincil enerji kaynağı olarak tanımlanan elektrik enerjisi, geniş kullanım alanına sahip temel enerji türlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Kolay kullanımı, diğer enerji türlerine dönüştürülebilmesi ve çevre dostu özellikleri ile elektrik tüketimi, toplumların gelişim seviyesinin bir göstergesi haline gelmiştir. 1970'li yıllardaki petrol krizlerinin küresel ekonomik krize dönüşmesiyle enerji, önemli bir üretim faktörü olarak değerlendirilmeye başlanmıştır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte elektrik enerjisinin toplam enerji tüketimindeki azalmanın hızı giderek artmaktadır (Karagöl vd. , 2007: 72). Sanayi ve hizmet sektörlerinde ileri teknolojiye dayanan üretim sistemleri, elektriğe bağımlı karmaşık üretim süreçleri sayesinde daha fazla enerji ihtiyacı doğurmakta ve bu pazarların sürdürülebilir ve verimli bir şekilde karşılanmasını sağlamaktadır (Ağır ve Kar, 2010: 151).

Elektrik enerjisi, kullanım kapasitesi ve dağıtım olanakları açısından birçok avantaja sahip olmasına rağmen, yüksek kapasite gereksinimi ve depolanamama gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu nedenle, elektrik enerjisi, üretilmesi ve tüketilmesi gereken önemli bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır (Saatçi ve Dumrul, 2013: 2). Bu süreçte enerji stratejilerinin nasıl şekillendiği, ekonomik kalkınma açısından büyük bir öneme sahiptir.

Enerji kaynakları, dönüşüm kapasitelerine göre iki ana gruba ayrılır: birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olarak bunlardan ilki ; Birincil enerji kaynakları kömür, ham petrol, doğalgaz, doğal uranyum ve rüzgâr gibi işleme gerek kalmadan doğrudan erişilen doğal kaynaklardır. İkincil enerji kaynakları ise; birincil kaynaklardan çeşitli işlemlerle elde edilen enerji türleridir; bunun en yaygın örneği elektrik enerjisidir.

İkincil bir enerji kaynağı olarak elektrik enerjisi, genel enerji sistemleri içinde özel bir konuma sahiptir. Zira elektrik, doğrudan doğal bir kaynak olmayıp çeşitli enerji kaynaklarının farklı teknolojilerle dönüştürülmesi sonucunda üretilen bir enerji biçimidir. Elektrik enerjisinin, çeşitli teknolojik sistemlerle kolayca entegre edilebilmesi ve kullanım kolaylığı sunması, ona önemli bir avantaj kazandırmaktadır. Ayrıca, kullanım aşamasında çevre kirliliği yaratmaması, onu tercih edilen bir enerji kaynağı haline getirmektedir.

Ekonomik kalkınma sürecindeki büyüme, tüm sektörlerde enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Sanayi üretimi için enerji vazgeçilmez bir kaynak olarak öne çıkarken, özellikle yeterli enerji kaynaklarına sahip olmayan gelişmekte olan ülkelerde büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu ülkeler, üretim faaliyetlerini sürdürebilmek amacıyla döviz rezervlerini çeşitli enerji türlerinin ithalatına harcamakta ve bu durum da dış ticaret dengelerinde ciddi açıkların büyümesine yol açmaktadır. Ekonomik büyüme, enerji talebini artırırken, enerji alanındaki darboğazlar ekonomik gelişimi olumsuz yönde etkilemektedir (Dumrul, 2011).

Enerji talebi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki gözlemlendiğinde, gelişen ekonomilerde bu ilişkinin daha güçlü olduğu, gelişmiş ekonomilerde ise daha zayıf olduğu görülmektedir (Aktaş, 2009). Küresel ekonominin yaklaşık %99'unu kapsayan ve 100'den fazla bölümü içeren bir araştırmada Ferguson, elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki dengeyi inceleyerek önemli katkılarda bulunmuştur. Çalışma, küresel ölçekte değerlendirildiğinde, elektrik kullanımı ile refah düzeyi arasındaki ilişki dağılımının, toplam enerji tüketimi ile refah arasındaki dağılımdan daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır.

Elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki dört farklı yaklaşım açısından incelenmektedir. İlk görüş, elektrik kullanımındaki kısıtlamaların ekonomik büyümeyi olumsuz etkilemeyeceğini ve elektrik tüketimindeki artışın ise ekonomik açıdan olumlu

katkılar sağlayacağını savunmaktadır. İkinci görüş ise, ekonomik büyümenin elektrik tüketiminin temel belirleyeni olduğunu öne sürmektedir. Bu yaklaşım, elektrik tüketiminin ekonomik büyümenin bir sonucu olarak artacağını ve bu iki değişken arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunduğunu ifade etmektedir. Üçüncü görüş, elektrik üretimi ile ekonomik büyümenin karşılıklı olarak birbiriyle etkileşim içinde olduğunu belirtmektedir. Son olarak, dördüncü görüş ise bu iki faktörün birbirinden bağımsız olduğunu savunmakta ve elektrik tüketimine yönelik genişlemeci ya da kısıtlayıcı politikaların ekonomik büyüme üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını önermektedir (Ağır ve Kar, 2000).

2. Materyal ve Metot

Enerji, bir maddenin ya da sistemin hareket yaratma veya değişim gerçekleştime potansiyeli olarak tanımlanabilir. Enerjiye ilişkin veriler, ülkelerin ekonomik kalkınma seviyelerini değerlendirmede önemli bir gösterge olmaktadır. Sanayileşmiş ülkeler bu alandaki pozisyonlarını korumaya çalışırken, gelişmekte olan ülkeler ise bu seviyelere ulaşmayı hedeflemektedir. Ekonomik kalkınmanın sürdürülebilirliği, kesintisiz sanayileşme ile birlikte etkin ve maliyet açısından uygun bir enerji politikası geliştirilmesine bağlıdır.

Enerji kaynakları, doğadaki durumlarına göre iki temel gruba ayrılmaktadır: birincil ve ikincil enerji kaynakları. Birincil enerji kaynakları, doğrudan kullanım imkanı sunan ve doğada hali hazırda bulunan kömür, petrol, doğalgaz, rüzgar gibi kaynaklardır. İkincil enerji kaynakları ise, birincil kaynakların çeşitli dönüşüm süreçlerinden geçerek farklı bir forma dönüştürülmesiyle elde edilmektedir. Elektrik enerjisi bu ikincil kaynaklar arasında yer almaktadır.

Elektrik, enerji üretiminde nihai bir kaynak olmasa da, çeşitli enerji kaynaklarının işlenmesiyle oluşan bir enerji biçimidir. Farklı teknolojik alanlarda kolaylıkla kullanılabilmesi, çevreye doğrudan zarar vermemesi ve taşınmasının pratikliği gibi özellikleri ile önemli avantajlar sunmaktadır. Bu yönüyle elektrik enerjisi, modern yaşamın ve üretim süreçlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Ayrıca, elektrik enerjisinin temel özelliği, çeşitli enerji türlerinden elde edilebilmesidir. Hem fosil yakıtlardan hem de yenilenebilir kaynaklardan üretilebilmesi, onu stratejik bir enerji formu haline getirmektedir. Bu dönüşüm kapasitesi sayesinde elektrik, ekonomik sistemlerin işleyişinde kritik bir rol oynamaktadır.

20. yüzyılın özellikle sanayileşme döneminde, elektrik enerjisi endüstriyel üretim teknolojilerinde devrim niteliğinde bir dönüşümün öncüsü olmuştur. Elektrikle çalışan makinelerin üretim hatlarında yaygınlaşması, seri üretimi hızlandırmış ve sanayi yapısını köklü bir şekilde değiştirmiştir. Bu durum, elektriğin yalnızca teknik bir araç olmanın ötesinde, ekonomik ve toplumsal dönüşümlerin de temel itici gücü olduğunu ortaya koymaktadır.

Günümüz ekonomik sistemlerinde enerji, temel bir üretim girdisi olarak önemli bir yer tutmaktadır. Ülkelerin gayrisafi yurtiçi hasılasının artması, bu büyümenin enerji talebine yansımalarını da beraberinde getirmektedir. Özellikle elektrik enerjisi kullanımındaki artış, enerji ihtiyacını dış kaynaklardan karşılayan ve yerli kaynakları sınırlı olan gelişmekte olan ülkeler için daha hassas ve stratejik bir konu haline gelmektedir (Yapraklı ve Yurttançıkmaz, 2012).

Elektrik enerjisi talebindeki artış, çeşitli sosyal ve ekonomik dinamiklerle ilişkilidir. Bu artışın başlıca nedenleri şu şekilde özetlenebilir (Atik, 2000):

1. Nüfus artışı, enerji ihtiyacını doğrudan artıran önemli bir faktördür.
2. Gelir düzeyindeki yükseliş, bireylerin enerjiye dayalı ürün ve hizmetlere erişimini kolaylaştırmaktadır.
3. Yaşam standartlarının yükselmesi, enerji tüketimini dolaylı yoldan artıran bir sosyal göstergedir.
4. Elektrikli araçların, cihazların ve makinelerin gündelik yaşamda yaygınlaşması, elektrik talebini hızla arttırmaktadır.

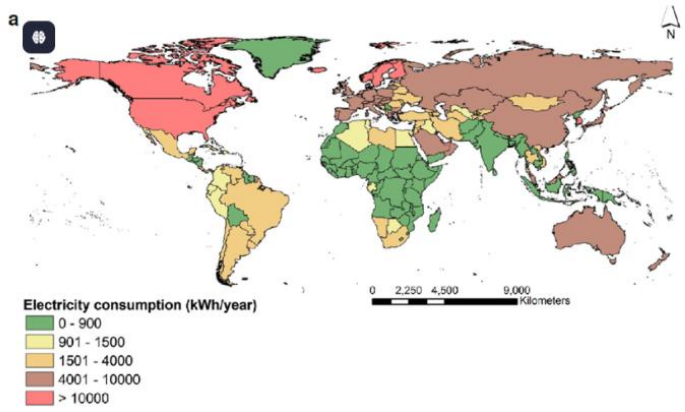
5. Elektrik kullanımının pratikliği ve kolaylığı, bu enerji kaynağının tercih edilmesini teşvik eder.

6. Elektriğin satış maliyetinin görece düşük olması, tüketimin artmasına katkı sağlamaktadır.

Son yıllarda ekonomik büyüme hızlarıyla dikkat çeken birçok gelişmekte olan ülkede, elektrik enerjisi tüketiminde belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Günlük hayatımızda ileri teknolojiye sahip elektrikli aletlerin yaygınlaşması, enerji ihtiyacını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ve bireylerin daha iyi yaşam koşulları talep etmeleri, elektrik tüketimindeki yükselişin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır (Kamaludin, 2013).

Önümüzdeki çeyrek yüzyıl içerisinde, küresel enerji ihtiyacındaki artışın büyük bir kısmının gelişmekte olan ülkelerden kaynaklanacağı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda, fosil yakıtlara olan talepteki büyümenin de yine bu ülkelerde yoğunlaşacağı öngörülmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Enformasyon İdaresi (EIA) tarafından sunulan verilere göre, 2007 yılında OECD üyesi ve olmayan ülkelerin toplam enerji tüketimleri birbirine oldukça yakındı. Ancak, 2007 ile 2035 yılları arasındaki dönemde, OECD ülkelerinde enerji talebinin yaklaşık %14 artması beklenirken, OECD dışındaki ülkelerde bu artış oranının %84'e ulaşacağı öngörülmektedir. Küresel ekonomi geliştikçe ve düşük gelir gruplarının gelir düzeyleri yükseldikçe, bu kesimlerin elektrikli ürünlere erişimi kolaylaşmakta ve böylece elektrik enerjisine olan bağımlılıkları artmaktadır. Bu durum, önümüzdeki yıllarda elektrik tüketiminin artarak devam edeceğini göstermektedir (Wolfram, 2012).



ŞEKİL 1. Ülke bazında elektrik tüketimini (kWh/yıl) gösteren dünya haritası

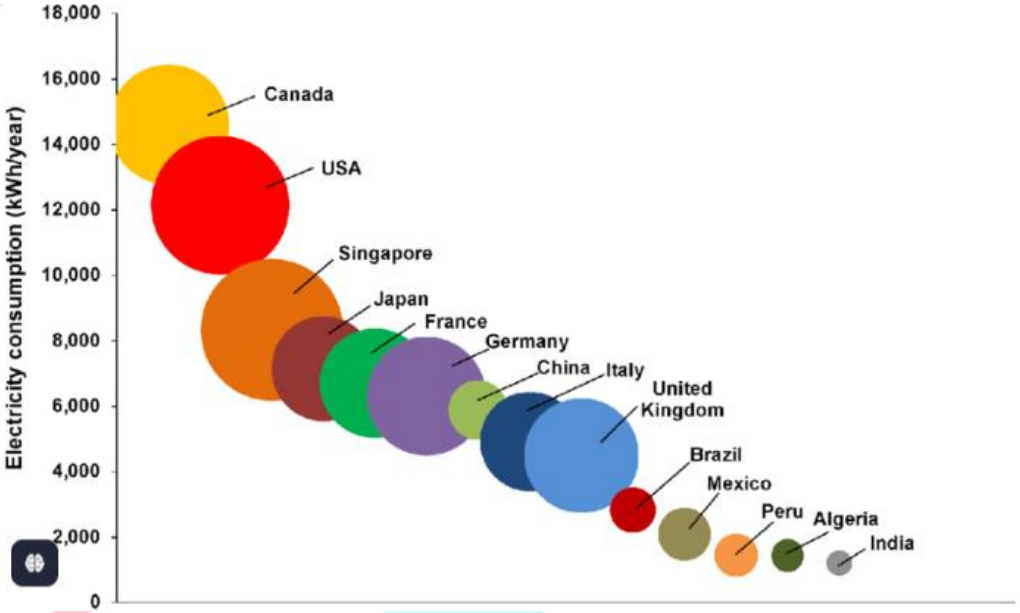
Bu harita, farklı ülkelerdeki yıllık elektrik tüketimini (kilovat saat/yıl) görselleştirmektedir. Haritadaki renkler, ülkelerin elektrik tüketim düzeylerini belirtmektedir:

- 0 - 900 kWh/yıl: Açık yeşil renk ile gösterilen ülkeler en düşük elektrik tüketimine sahiptir.
- 901 - 1500 kWh/yıl: Sarı renkli ülkelerin elektrik tüketimi bu aralıktadır.
- 1501 - 4000 kWh/yıl: Açık kahverengi tonlarındaki ülkeler orta düzeyde elektrik tüketmektedir.
- 4001 - 10000 kWh/yıl: Koyu kahverengi ile gösterilen ülkeler yüksek elektrik tüketimine sahip bulunmaktadır.
- > 10000 kWh/yıl: Kırmızı renkteki ülkeler ise en yüksek elektrik tüketimini göstermektedir.

Haritaya Genel Bakış:

Haritaya bakıldığında, Kuzey Amerika (özellikle ABD ve Kanada), Avrupa'nın bazı bölgeleri, Avustralya ve bazı Orta Doğu ülkelerinin yüksek elektrik tüketimi ile öne çıktığı görülmektedir. Öte yandan, Afrika'nın büyük bir kısmı, Güney Asya'nın bazı alanları ve Güney Amerika'nın belirli bölgeleri ise düşük elektrik tüketimi seviyelerine sahiptir. Bu harita, dünya genelindeki enerji tüketimi eşitsizliklerini ve farklı bölgelerdeki yaşam standartları,

sanayileşme seviyeleri ve iklim koşulları gibi faktörlerin elektrik tüketimi üzerindeki etkisini görsel olarak ortaya koymaktadır. Örneğin, sanayileşmiş ülkelerde fabrikalar, ofisler ve konutlarda elektrikli cihazların yaygın kullanımı, kişi başına düşen elektrik tüketimini artırabilirken; soğuk veya sıcak iklimlere sahip ülkelerde ısınma veya soğutma amacıyla yapılan elektrik kullanımı da tüketimi yükseltebilir.



ŞEKİL 2. Elektrik tüketimi ve kişi başına düşen GSYİH'ye göre farklı kıtalardaki bazı seçilmiş ülkelerin sıralaması

Yukarıda verilen grafikte , farklı ülkelerin yıllık kişi başına düşen elektrik tüketimini (kWh/yıl) ve bu ülkelerin nüfus büyüklüğünü karşılaştırmalı bir şekilde sunmaktadır. Grafikteki her bir daire bir ülkeden temsil etmektedir.

Grafiğin Bileşenleri:

- Yatay Eksen: Bu eksen ülkelerin nüfusunu göstermektedir. Dairelerin büyüklüğü, ilgili ülkenin nüfusunun büyüklüğünü yansıtır. Daha büyük daireler daha kalabalık ülkeleri, daha küçük daireler ise daha az nüfuslu ülkeleri temsil eder.
- Dikey Eksen: Bu eksen, yıllık kişi başına düşen elektrik tüketimini (kWh/yıl) göstermektedir. Dairenin dikey konumunun yüksekliği, o ülkedeki ortalama bir kişinin yılda ne kadar elektrik tükettiğini ifade eder. Yukarıda bulunan daireler yüksek tüketimi, aşağıda bulunanlar ise düşük tüketimi belirtir.
- Dairelerin Rengi: Dairelerin renkleri herhangi bir özel veri kategorisini temsil etmemektedir; farklı ülkeleri görsel olarak ayırt etmek amacıyla kullanılmıştır.
- Etiketler: Her dairenin yanında, temsil ettiği ülkenin adı yer almaktadır.

Grafikten Çıkarılabilecek Bazı Gözlemler:

- Kanada ve ABD: Bu ülkeler, yüksek kişi başına düşen elektrik tüketimi ve nispeten büyük nüfuslarıyla dikkat çekmektedir. Daireleri grafiğin üst kısmında, orta büyüklükte yer alır.
- Singapur ve Japonya: Bu ülkeler de yüksek kişi başına elektrik tüketimine sahip olsalar da, nüfusları Kanada ve ABD'ye göre daha düşüktür. Daireleri yukarıda konumlanmış ancak daha küçüktür.
- Çin: Çin'in dairesi oldukça büyük olup, bu durumu yüksek bir nüfusa sahip olduğunu gösterir. Ancak kişi başına düşen elektrik tüketimi, grafiğin orta seviyelerinde yer almaktadır. Bu durum, toplam elektrik tüketiminin yüksek olmasına rağmen, nüfusa bölündüğünde ortalama tüketimin diğer bazı gelişmiş ülkelere göre daha düşük olduğunu ifade eder.
- Hindistan ve Cezayir: Bu ülkelerin daireleri grafiğin alt kısımlarında ve küçüktür. Bu, hem kişi başına düşen elektrik tüketiminin düşük olduğunu hem de nüfuslarının diğer bazı

ülkelere göre az olduğunu göstermektedir (Hindistan'ın dairesi Cezayir'e göre daha büyük olup, bu da Hindistan'ın daha yüksek bir nüfusa sahip olduğunu belirtir).

Brezilya, Meksika ve Türkiye: Bu ülkeler, orta seviyede kişi başına elektrik tüketimine ve orta büyüklükte nüfusa sahiptir. Daireleri grafiğin orta kısımlarında bulunmaktadır.

Özetle, bu grafik, farklı ülkelerin elektrik tüketimi alışkanlıkları ile nüfus büyüklüklerini bir arada ele alarak ilginç karşılaştırmalara imkân tanımaktadır. Yüksek yaşam standardına sahip ve sanayileşmiş ülkelerde, genellikle kişi başına düşen elektrik tüketimi daha yüksektir. Öte yandan, kalabalık ama gelişmekte olan ülkelerde toplam tüketim yüksek olsa da, kişi başına düşen tüketim daha düşük seviyelerde kalabilmektedir.

Y eksenindeki değerler elektrik tüketimini, X ekseni ise çeşitli ülkeleri temsil etmektedir. Baloncuk boyutları, her ülkenin kişi başına düşen Gayri Safi Yurt İçi Hasılası (GSYİH) ile orantılıdır; daha büyük baloncuklar, daha yüksek kişi başına GSYİH'yi simgeler. Elektrik tüketiminde ABD 10. , Çin 47. ve Hindistan 137. sırada yer almaktadır.

SONUÇLAR

Bu çalışma, gelişmekte olan ülkelerdeki elektrik tüketimini detaylı bir şekilde incelemektedir. Elektrik enerjisinin bu ülkeler için taşıdığı önemi vurgulamaktadır. Dünya genelinde nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik ilerlemeler, enerji talebinin hızla artmasına sebep olmaktadır. Bu durum, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi daha da önemli hale getirmektedir. Elektrik enerjisi, modern yaşamın ve üretim süreçlerinin vazgeçilmez bir unsuru olarak, bu ülkelerin kalkınma süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, elektrik tüketimindeki artışın enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ve çevresel etkileri gibi önemli sonuçları da bulunmaktadır.

ISBN: 978-625-372-661-4

Kaynakça:

Balitskiy, S., Bilan, Y., Strielkowski, W., & Štreimikienė, D. (2016). Energy efficiency and natural gas consumption in the context of economic development in the European Union. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 55, 156-168.

Bayar, Y., & Gavriletea, M. D. (2019). Energy efficiency, renewable energy, economic growth: evidence from emerging market economies. Quality & Quantity, 53(4), 2221-2234.

Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. Applied Energy, 162, 733-741.

Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. The review of economic studies, 47(1), 239-253.

Doğan, H., & Yılankırkan, N. (2015). Türkiye'nin enerji verimliliği potansiyeli ve projeksiyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 3(1), 375-384

Granger, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. Econometrica, 37, 424-438.

Grene, W. H. (1991). Econometric analysis. New Jersey: Prentice Hall, Inc.

Gujarati, D. (1991). Temel ekonometri. (Çev. Ü. Şenesen & G. G. Şenesen). İstanbul: Literatür Yayınları.

Johansen, S. & Juselian, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inferences on co-integration with application to the demand for money. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 52, 169-210.

Kamu Enerji (2009, 16 Aralık) http://www.kamuenerji.com/Anasayfa/turkiye-nin-elektriktuketimi-artiyor.html (Erişim Tarihi, 10 Mart 2010)

Kar, M. & Kınık, E. (2008). Türkiye'de elektrik tüketimi çeşitleri ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin ekonometrik analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, X(II), 333-353.

Lee, C. C. & Chang, C. P. (2005). Structural breaks, energy consumption, and economic growth revisited: Evidence from Taiwan. Energy Economics, 25,857-872.

Lise, W. & Montfort, K. V. (2007). Energy consumption and GDP in Turkey: Is there a co-integration relationship? Energy Economics, 29, 1166-1178

Rosenberg, N. (1998). The Role of Electricity in Industrial Development, The Energy Journal, 9, 7-24.

Sümer, K.K. (2013). Makro Ekonometrik Modeller, İstanbul: Beşir Kitabevi.

Tatoğlu, F.Y. (2012). İleri Panel Veri Analizi, İstanbul: Beta Yayınları.

Ünver, Ö. (1973). Türkiye'de Elektrik Üretim ve Tüketimi, Ankara: Ankara İktisadi ve İlimler Akademisi Yayınları.

Wolfram, C., Shelef, O. ve Gertler, P. (2012). How Will Energy Demand Develop in the Developing World?, Energy Institute at Haas Working Paper Series, 226, 1-19.

Yapraklı, S. ve Yurttançıkmaz, Z. (2012). Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik: Türkiye Üzerine Ekonometrik bir Analiz, CÜ İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 13(2), 195-215.

Yoo, S. ve Kwak, S. (2010). Electricity Consumption and Economic Growth in Seven South American Countries, Energy Policy, 38, 181-188.

Yoo, S. ve Lee, J. (2010). Electricity Consumption and Economic Growth: A Cross Country Analysis, Energy Policy, 38, 622-625.

Zaman, K., Khan, M., Ahmad, M. ve Rustam, R. (2012). Determinants of Electricity Consumption Function in Pakistan: Old Wine in a New Bottle, Energy Policy, 50, 623-634

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

The Place of Athermic Glass and Solar PVB Glass in the Automotive Industry

Hilal ZEYTİNCİ[1]
Mehmet Akif Çevik[2]
Onur KOZBAY[3]

Abstract

Today with the developing technologies in the automotive industry is also increasingly focusing on increasing passenger comfort, energy efficiency and safety. In this context there are new technologies related to vehicle glass, which is the first to be seen in terms of contact with the external conditions used in vehicles in order to improve driver driving area and in-car experiences. Some of these are: Athermic Glass and Solar PVB glass. Athermic glass, also known as heat reflecting, consists of a layer with infrared (IR) and ultraviolet (UV) filtering properties as a result of the addition of some metal oxide coatings to the glass composition during production, while Solar PVB glass is laminated glass with a special PVB application. This article will mention the production methods, features, application areas and differences between these glasses.

Keywords: Laminated Glass, Tempered Glass, Athermic Glass, Solar PVB, Heat Reduction, Heat Reflective

[1] Tasarım Uzmanı, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Orcıd: 0009-0003-9211-4135
[2] Tasarım Uzmanı, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Orcıd: 0009-0007-6685-8279
[3] Tasarım Uzmanı, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Orcıd: 0009-0002-2463-0341

ISBN: 978-625-372-661-4

1.Atermic Glass

Athermic windshields are a subcategory of laminated glass that contain small metal particles such as titanium and silver. The metal particle coating (metalisation) is applied to the inner layer glass of the laminated glass, creating the athermic windshield. The coating can be clear or tinted, its depending on the preference and regulations of the manufacturer and customer. Some athermic windshields also have an electric heating element into in the glass to help defrost or defog the windshield in cold weather. These particles reflect most of the UV, meaning less heat enters the passenger compartment. This improves thermal conditions for the occupants by lowering the temperature inside the vehicle and reducing the effects of UV rays on the skin and eyes. [2]

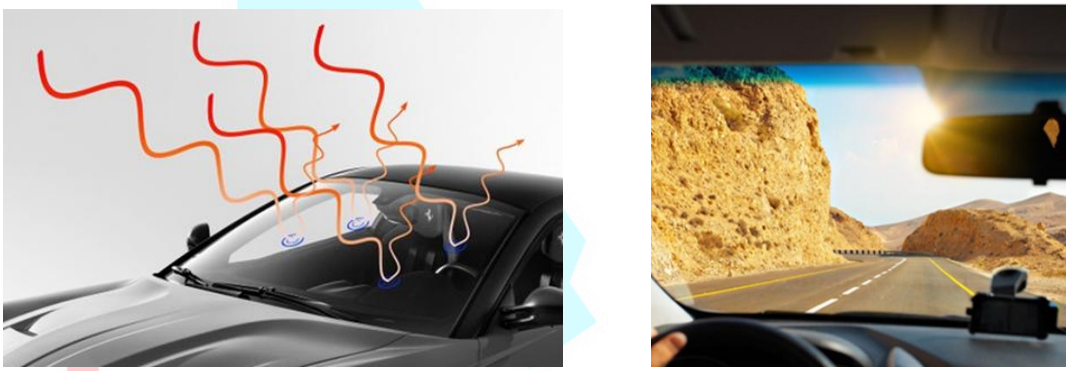
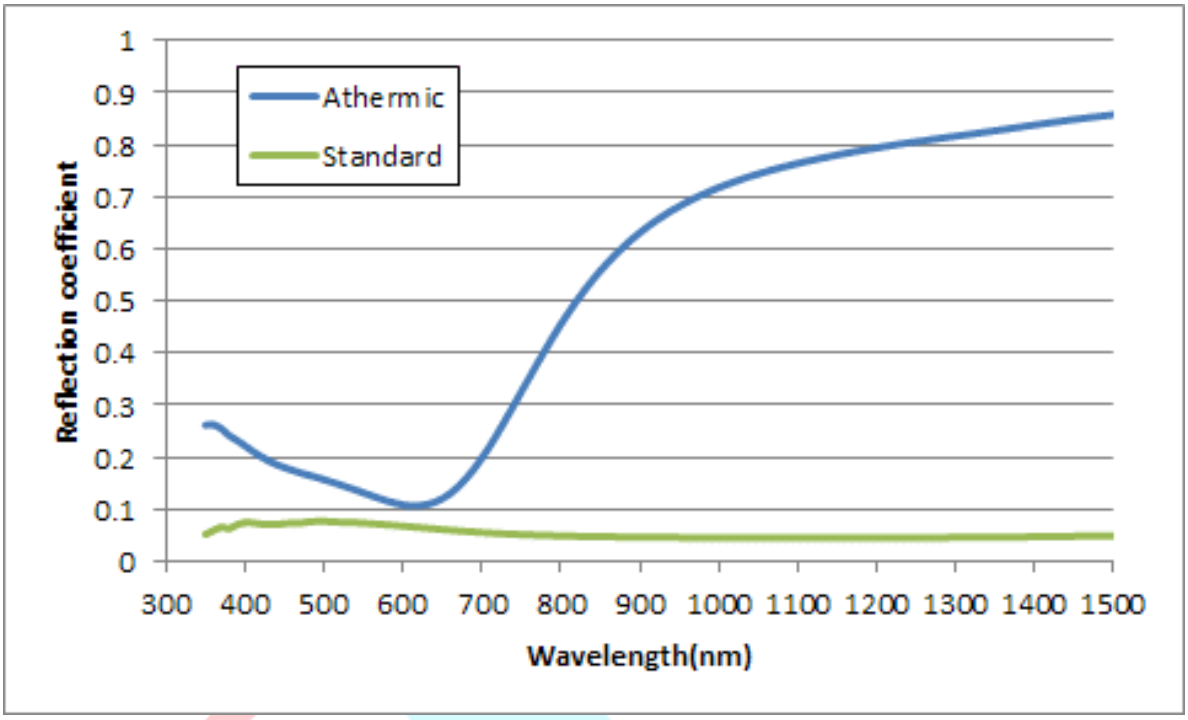


Figure 1 : Atermic Glass Reflection UV

a- How does the mechanism of an athermic windshield work

Athermic glass blocks some of the IR (Infrared Radiation) and visible light waves and prevents them from entering the cabin. Infrared waves are responsible for heating objects, while visible light waves are responsible for illuminating them. UV rays are harmful to the skin and can cause sunburn, premature aging, and skin cancer. IR rays are responsible for most of the heat that enters the car through the windshield. By reflecting some of these waves, an athermic windshield reflects the amount of heat and light that reaches the passenger compartment.

However, this can also make it difficult for an athermic windshield to pass certain signals and rays, such as GPS signals or toll tags. For this reason, the athermic coating is removed around the rearview mirror of an athermic windshield to allow these signals and rays to pass. This area is usually marked on the windshield with dotted lines or a thermometer symbol. [2]



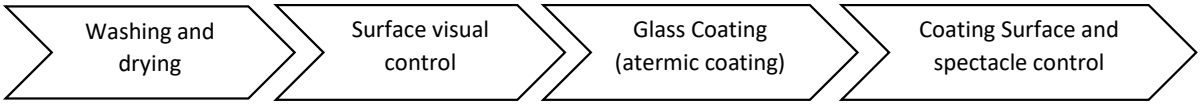
Graphic 1 : Reflectance spectrum of an athermic car windshield compared to a standard windshield [3]



Figure 2 : Atermic Glass vs Standart Lamination Glass

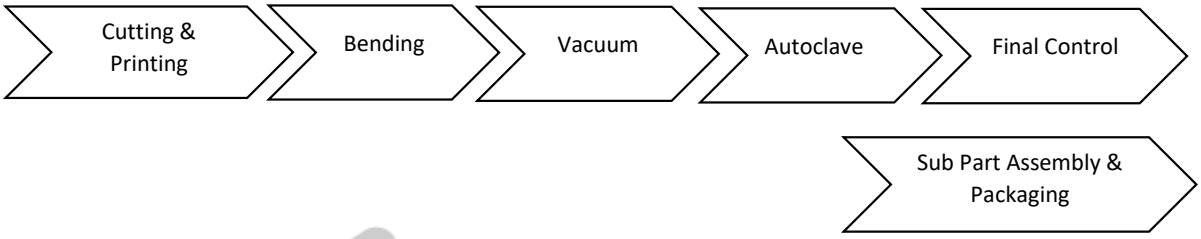
b- How is Athermic Glass Produced

Basically, the production of athermic glass is similar to the laminated glass production process. When the glass is in its flat, this athermic coating is applied according to the steps in the diagram.



Shema 1 : Flat Atermic Glass Production

And than, the production processes are the same as laminated glass. An interlayer such as polyvinyl butyral (PVB) is placed between two or more layers of glass and combined under high heat and pressure.



Shema 2 : Auto Lamiantion Glass Production

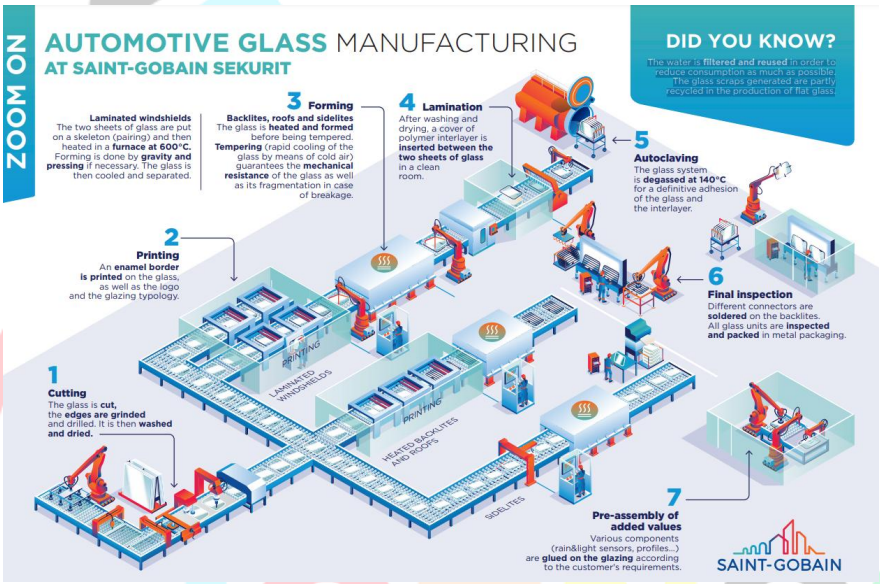


Figure 3 : Glass Production

c- Athermic Glass Advantages & Disadvantages

Athermic windshield has many advantages over standard laminated glass:

- It increases driver and passenger comfort by keeping the interior temperature lower and more constant.
- It provides fuel economy by reducing the need for air conditioning and reduces carbon emissions.
- It protects the instrument panel, electronics and other parts from cracking or melting over time due to exposure to sunlight.
- It increases driver's vision and safety by reducing glare and reflections from the windshield.
- It prevents some of the harmful UV & IR rays from reaching the passengers' skin and eyes.
- It protects you from heat accumulation that may occur inside your car and cause discomfort, dehydration, fatigue or sunburn.

Athermic Glass Disadvantages

- Athermic glass can interfere with some electronic devices that rely on radio signals, such as GPS navigation systems, toll tags, mobile phones or remote control keys. This is because the metallic coating acts as a shield that blocks or weakens some of these signals.

- Can be more expensive than traditional glass, depending on the type of coating, quality, and installation process.
- Can be more difficult to repair or replace if damaged or cracked. Some types of athermic glass require special tools and techniques to install or remove. [2]

2.Solar PVB Glass (Solar Control Glazing)

A simple laminated glass consists of two ply of glass annealed or tempered, joined by heat and pressure by an intermediate ply of polyvinyl butyral (PVB). Unlike athermic glass, the Solar PVB feature is that solar control can be achieved with the help of the PVB layer.

Automotive windshields provide occupant visibility yet also enable the sun's energy to enter and build up inside the vehicle-more than 40% of heat transmitted into a vehicle enters via the windshield. Laminated windshields consist of two pieces of glass held together by a polyvinyl butyral (PVB) interlayer forming a strong bond that tends to stay together even after breakage occurs. For decades, PVB usage has been mandated in windshields by National Highway Traffic and Safety Administration (NHTSA) and the international community for safety reasons, however, advanced laminated glazings have increasingly been utilized by original equipment manufacturers (OEMs) to improve fuel efficiency and reduce CO2 remissions while enhancing occupant comfort. In addition to providing traditional safety benefits of automotive laminated glazing, solar Control interlayers absorb infrared (IR) wavelengths that were previously transmitted through the vehicle's glazings, which reduce air-conditioning usage and improves vehicle fuel economy and CO2 emissions. [4]

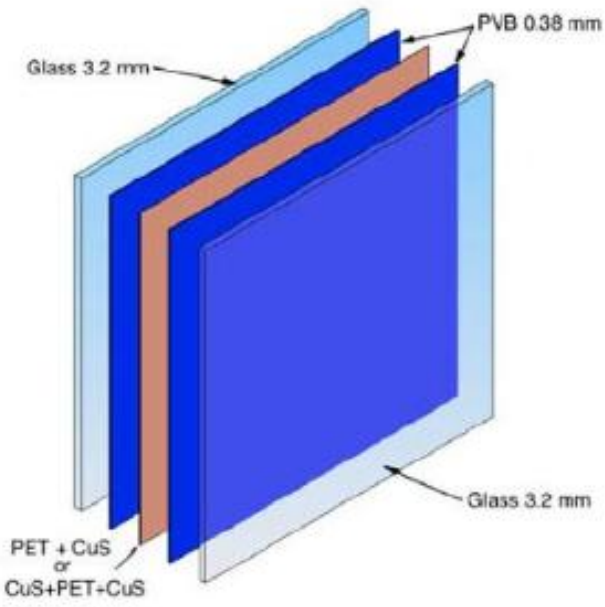


Figure 4 : Optical properties of laminated solar control glazing [5]

Solar Control Film blocks infrared and UV (ultraviolet) rays but allows visible light rays for optical clarity without blocking the electromagnetic transmissions necessary for mobile phone and sensor communication. Solar absorbing glass realized Solar Control Film protects the driver and passengers because the cabin stays cooler and your skin does not burn. [6]

c- Solar PVB Glass Advantages

Solar Windshield Glass is a way to reduce your carbon footprint, as well as make your vehicle more energy efficient. The other benefits :

- Reduction in the need for air conditioning
- Reduction in the need for defrosters and wiper blades
- Reduction in the need for headlights and batteries

d- Solar PVB Glass Disadvantages

- Can be more expensive than traditional glass, depending on the quality of PVB, and installation process.
- Can be more difficult or cost to repair or replace if damaged or cracked.
- According design constrains Solar glass panels must be installed in positions that **maximize solar exposure**—typically the roof or sunroof. However, design limitations, aesthetics, and roof geometry can reduce effectiveness. Additionally, shading from roof racks, parked locations, or interior components can significantly lower energy output due to the sensitivity of PV cells to partial shading.

In conclusion the integration of athermic and solar glass technologies in modern vehicles represents a significant advancement in material science and energy management. Athermic glass, through the use of multi-layered coatings—often incorporating materials like silver, indium tin oxide (ITO), or titanium dioxide—selectively reflects infrared (IR) radiation while maintaining high visible light transmittance. This selective spectral filtering not only reduces thermal load but also improves HVAC efficiency, resulting in measurable fuel or battery savings.

As vehicle architecture becomes increasingly electrified and thermally complex, the application of advanced functional glazing such as athermic and solar glass is not only desirable but necessary. These technologies exemplify how smart materials can directly influence energy efficiency, occupant comfort, and environmental impact—key parameters in the development of next-generation automotive platforms.

ISBN: 978-625-372-661-4

RESOURCES

[1] https://www.s-lecfilm.com/en/solar-auto/
[2] https://asapwindscreen.co.uk/blog/athermic-windscreens/
[3] https://eclat-digital.com/visualization-of-car-windshields/
[4] John Rugh, Larry Chaney, Laurie Ramroth,, Travis Venson 'Impact of Solar Control PVB Glass on Vehicle Interior Temperatures , Air – Conditioning Capacity, Fuel Consumption and Vehicle Range' , August 2013
[5] J. O. Aguilar1,*, J. M. Rodríguez-Lelis2, M. Carrasco de la Fuente1, C. López-Mata1, J. A. Arellano-Cabrera2 and F. Chan 'Impact of Solar Control PVB Glass on Vehicle Interior Temperatures, Air-Conditioning Capacity, Fuel Consumption, and Vehicle Range' , February 2012
[6] https://www.s-lecfilm.com/en/solar-auto/

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

AUTOMOTIVE GLASS AND PRODUCTION METHODS

Hilal ZEYTİNCİ[1]
Mehmet Akif Çevik[2]
Onur KOZBAY[3]

Abstract

Developing technologies in the automotive industry are become more and more important every day with the competitive culture provide. Today, passenger comfort, energy efficiency and security, which are becoming increasingly important, are being focused on in these areas. Instead of usinge the vehicles as only transportation-oriented, users see them as an area of experience, and these changing consumer preferences have increased the need to provide more comfortable, safe and efficient interior design in the automotive industry. Initially automotive glass was used as a safety element to protect drivers and passengers from the effects of the external conditions, it has become the subject of many studies. Among modern needs, acoustic glass can be preferred to provide sound insulation, Athermic and Dimmable glass to adjust the ambient temperature, Solar PVB for protection against harmful radiation coming from the sun and Dimmable glass for privacy purposes. This paper will mention laminated and tempered glass with these features and areas of use, along with developing production methods and techniques.

Keywords: Laminated Glass, Tempered Glass, Athermic Glass, Dimmable Glass, Solar PVB

[1] Tasarım Uzmanı, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Orcıd: 0009-0003-9211-4135
[2] Tasarım Uzmanı, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Orcıd: 0009-0007-6685-8279
[3] Tasarım Uzmanı, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Orcıd: 0009-0002-2463-0341

ISBN: 978-625-372-661-4

The production of automotive glass is a complex, multidisciplinary process that blends materials science, mechanical engineering, and optical physics to deliver high-performance glazing systems tailored to the dynamic demands of modern vehicles. Automotive glass is no longer a passive transparent barrier, a structural component, a thermal insulator, a light filter, and even an energy generator. Core manufacturing techniques such as float glass production, chemical tempering, and lamination are combined with advanced functional coating to enhance optical clarity, thermal regulation, and mechanical strength. As the automotive industry accelerates toward electrification, autonomous driving, and integrated sensor technologies, the role of automotive glass is expanding from passive safety to active functionality necessitating new material innovations and production strategies to meet these evolving performance criteria. This article will discuss the types and production methods of increasingly important glasses that used in automotive sector.

1- Glass Types that used Automotive

- Laminated Glass:

Features: Provides high impact resistance and safety. There is a PVB layer between the two glass layers.

Advantages: When broken, the pieces do not scatter, which increases the safety of the driver and passengers.

- Tempered Glass:

Features: Provides high strength and durability. When broken, it breaks into small pieces.

Advantages: Important in terms of safety and durability

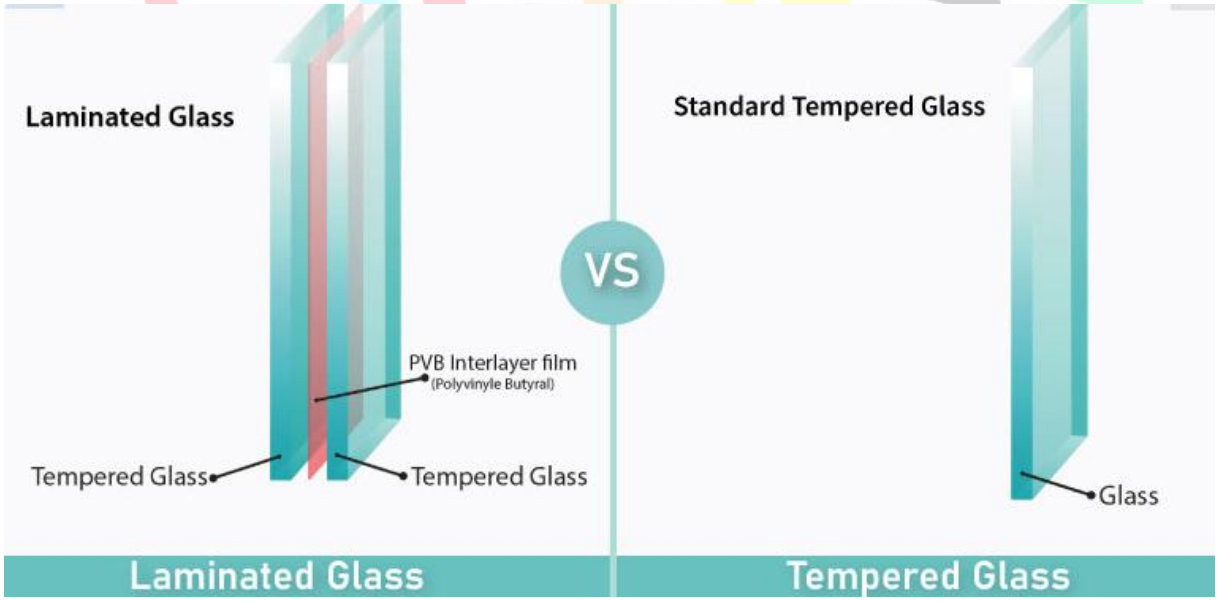


Figure 1 : Laminated & Tempered Glass [1]

2- Glass Options (Different Types of Automotive Glass)

In modern vehicles, glass serves functions far beyond simple protection from external elements. With advancements in materials and technology, automotive glazing now plays a critical role in enhancing comfort, safety, energy efficiency, and even aesthetics. Below are some of the most common and functional types of automotive glass used today:

Athermic Glass

- Features: Contains special coatings that reflect or absorb infrared (IR) and ultraviolet (UV) radiation from the sun, reducing solar heat gain.
- Advantages: Lowers cabin temperature, reduces reliance on air conditioning, and protects interior materials from UV-related fading and degradation.

Solar PVB Laminated Glass

- Features: Utilizes solar-absorbing PVB (polyvinyl butyral) interlayers within laminated glass to trap solar energy and prevent heat transfer into the vehicle cabin.
- Advantages: Enhances thermal comfort for occupants, reduces energy consumption, and contributes to overall energy efficiency.

Acoustic Glass

- Features: Composed of multiple layers with a specialized acoustic PVB interlayer that dampens sound transmission.
- Advantages: Minimizes road and wind noise, creating a quieter cabin environment and improving passenger comfort—particularly beneficial for high-speed driving or premium vehicle segments.

Dimmable (Electrochromic) Glass

- Features: Incorporates a layer that can adjust its light transmittance electronically. Technologies include electrochromic or suspended particle device (SPD) systems.
- Advantages: Provides dynamic light and heat control by darkening in response to sunlight or user input. Enhances cabin privacy and contributes to thermal regulation—commonly used in panoramic roofs of luxury vehicles.

Heated Glass

- Features: Equipped with fine conductive silver wires or coatings that generate heat through electric current.
- Advantages: Prevents fogging and ice buildup on the glass surface in cold weather. Frequently used for rear windows and areas around windshield wipers to improve visibility and ensure proper wiper function.

These advanced glass technologies represent the convergence of material science, comfort engineering, and automotive design innovation. Selecting the appropriate glass configuration based on vehicle type and climate conditions directly impacts the vehicle's performance, efficiency, and user experience.

3- Glass Production Methods

- Float Glass Production

Definition: In the float glass process, molten glass is poured onto a bed of molten tin. Due to the difference in density, the glass floats and spreads out evenly over the tin surface, forming a flat, uniform sheet as it cools and solidifies.

Application: This method is the foundational process for producing base glass used in automotive glazing. The resulting glass is later processed (e.g., tempered, laminated, coated) depending on its intended function in the vehicle.

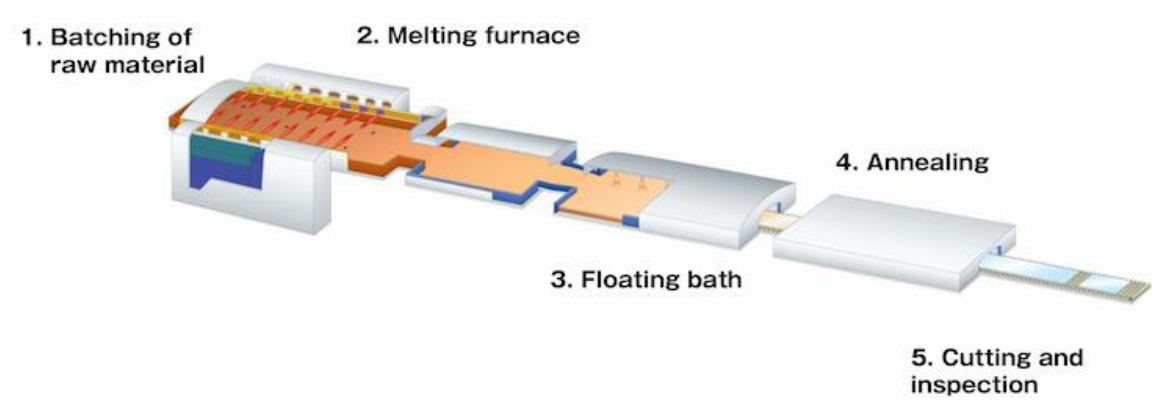
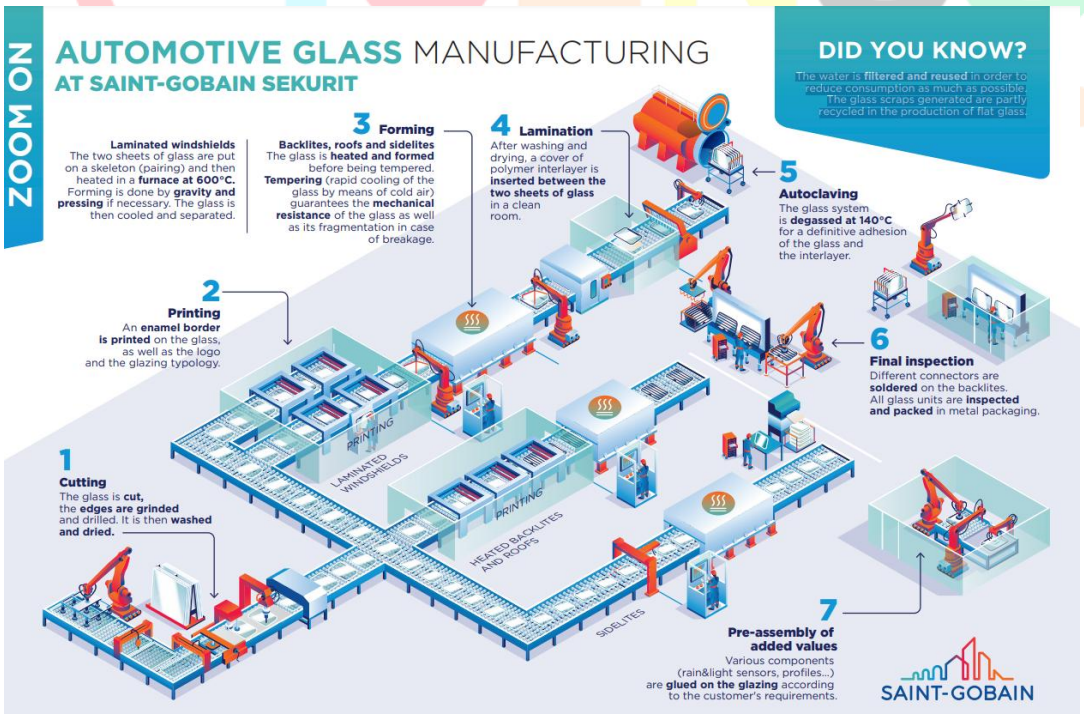


Figure 2 : Float Glass Production [2]

- Laminated Glass Production

Definition: A layer of polyvinyl butyral (PVB) or similar interlayer is placed between two or more layers of glass. The assembly is then bonded under high heat and pressure.

Application: Commonly used in windshields. In the event of breakage, the glass fragments remain adhered to the interlayer, preventing the glass from shattering and thus enhancing safety.



- Tempered Glass Production

Definition: Glass is heated to a high temperature and then rapidly cooled, creating compression stresses on the surface of the glass.

Application: Used in side and rear windows. When it breaks, it shatters into small, blunt pieces that are less likely to cause injury, increasing safety.

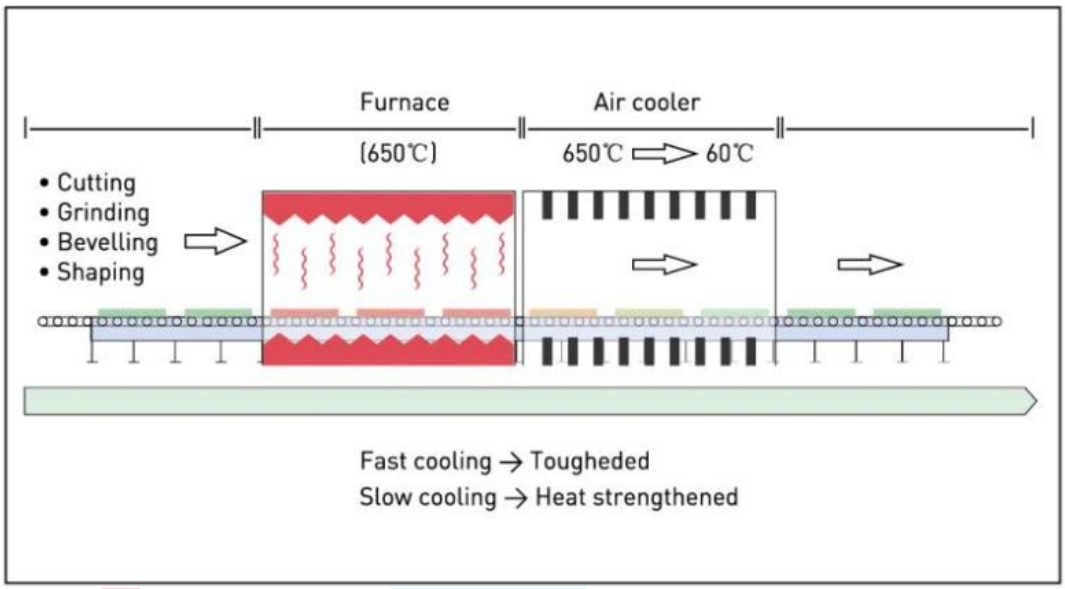


Figure 3 : Tempered Glass Production [3]

- Float Glass Production Details

Definition: The float glass method is the most commonly used technique for producing flat glass. In this process, molten glass is poured onto a bath of molten metal (typically tin), where it floats and spreads evenly, forming a flat, uniform sheet. This process is known as the Pilkington Process. [4]

Stages of Production:

I. **Raw Material Mixture**: Raw materials, including silica sand, soda ash, and limestone, are carefully blended to create the appropriate composition for glass formation.
II. **Melting**: The raw material mixture is heated to approximately 1700°C in a furnace, turning it into a molten state.
III. **Float Bath**: The molten glass is poured onto a bath of molten tin. The glass floats on the surface, where it spreads evenly and forms a smooth, flat sheet.
IV. **Cooling**: The flat glass is then gradually cooled in a controlled environment, where it is cut into desired shapes and sizes.

- Laminated Glass Production Details

Definition: A layer of polyvinyl butyral (PVB) or similar interlayer is placed between two or more sheets of glass, which are then bonded together under high heat and pressure.

Stages of Production:

I. **Preparation of Glass Sheets**: Two or more sheets of glass are prepared, ensuring uniformity and cleanliness.

II. **Placement of PVB Layer**: A PVB layer is placed between the glass sheets.

III. **Heat and Pressure Application**: The glass sheets and PVB layer are combined in an autoclave, a high-pressure vessel, under controlled high heat and pressure.

IV. **Cutting and Processing**: After bonding, the laminated glass is cut into the desired dimensions and the edges are finished.

There are two main methods for producing laminated glass: the dry method and the wet method. The dry method, which is primarily used for PVB laminated glass production, involves placing PVB between two glass pieces and applying high heat and pressure.

To produce laminated glass using this method, the following materials and equipment are necessary: high-quality glass, PVB film, and specialized equipment. A sandwich structure of two glass sheets and one PVB layer is prepared and heated in a pre-heating chamber. The excess air is evacuated using a vacuum valve, and the assembly is heated to a temperature of 120-140°C for approximately 40-60 minutes.

The assembly is then placed into an autoclave, where 1.1-1.3 MPa of pressure is applied. Once the temperature in the autoclave drops to about 50°C, the pressure is gradually released, and the laminated glass is removed. Any defective laminated glass is inspected and sent back to the autoclave for correction.

An alternative method, known as the wet method, involves injecting a liquid resin such as di-n-butyl phthalate between the glass sheets, evacuating excess air, and applying heat or UV treatment to solidify the resin into a laminate. Although this method does not require expensive equipment or high-tech machinery, it is only used for specialized applications due to its limitations in achieving the same safety and quality as the dry method, particularly with respect to moisture retention which could affect the laminate's integrity. [5]

- Solar Control Glass Production

Definition: These glasses feature special coatings that block heat and UV radiation, helping to manage solar energy and enhance comfort inside the vehicle.

Stages of Production:

I. **Preparation of Glass Sheet:** A flat glass sheet is prepared as the base material for the solar control glass.

II. **Coating Application:** Special coatings that block infrared (IR) heat and ultraviolet (UV) radiation are applied to the glass surface.

III. **Thermal Treatment:** The coated glass is subjected to a thermal process at a specific temperature to ensure proper bonding of the coating.

IV. **Cutting and Processing:** The solar control glass is cut to the desired dimensions, and the edges are processed and finished.

- Acustic Glass Production

Definition: These glasses contain special layers that provide sound insulation, helping to reduce noise and enhance the comfort inside the vehicle.

Stages of Production:

I. **Preparation of Glass Sheets**: Two or more glass sheets are prepared to form the base for the acoustic glass.

II. **Placement of Sound Insulation Layer**: A sound insulation layer is placed between the glass sheets.

III. **Heat and Pressure Application**: The glass sheets and sound insulation layer are bonded together under high heat and pressure.

IV. **Cutting and Processing**: The acoustic glass is cut to the desired dimensions, and the edges are processed and finished.

- Tempered Glass Production

Definition: Glass is heated to high temperatures and then rapidly cooled. This process creates compressive stresses on the surface of the glass, which increases its strength and safety.

Stages of Production:

I. **Heating**: The glass is heated to approximately **620°C**. This heating cycle is also used for shaping or bending the glass. In this process, the heated glass either "sags" under the effect of gravity into a pre-formed mold, or it is pressed into molds for more complex shapes.
II. **Rapid Cooling**: Once heated, the glass is rapidly cooled using air blowers. This cooling process creates surface compression stresses in the glass.
III. **Cutting and Processing**: The tempered glass is then cut into the desired [6]

The tempering process involves heating glass to temperatures between 600°C and 650°C using specialized heating systems, followed by rapid cooling with air. As the temperature decreases, the surface of the glass hardens. Initially, the outer layers cool, followed by the inner layers, creating compressive stresses on the surface and tensile stresses inside the glass.

After tempering, the glass cannot undergo cutting, grinding, or drilling operations. The thermal treatment does not change the volume, color, clarity, or chemical composition of the glass. Additionally, tempered glass can be produced in various colors and thicknesses.

Tempered glass can withstand thermal shock up to 300°C, while non-tempered glass may break when exposed to thermal shock of about 40°C.

Mechanical testing of tempered glass is often conducted through the high-drop ball test. In this test, a 6 mm tempered glass breaks when a 500-gram steel ball is dropped from a height of 2 meters, whereas non-tempered normal glass breaks when the same ball is dropped from just 30 cm. [7]

As a result the advanced production techniques, such as the **float process**, **lamination**, **tempering**, and **solar control coatings**, have significantly enhanced the structural integrity, durability, and functionality of automotive glass. These manufacturing processes are not only pivotal in optimizing vehicle safety but also in achieving thermal regulation and noise attenuation, which are becoming increasingly important in the context of evolving regulatory standards and consumer preferences.

In summary, automotive glazing technologies are advancing in parallel with the automotive industry's broader goals of safety, efficiency, and sustainability. As the sector continues to push the boundaries of material science and manufacturing processes, automotive glass will undoubtedly continue to evolve, becoming smarter, lighter, and more integrated into the overall driving experience.

ISBN: 978-625-372-661-4

SOURCES

[1] https://www.glassgenius.com/blog/laminated-glass-vs-tempered-glass/
[2] https://agc-electronics.com/en/specialty-glass/blog/detail/how-is-glass-made
[3] https://www.laurelglasstech.com/news/tempered-glass-production-process-30850676.html
[4] 13. Pilkington LAB. Proc R Soc Lond Ser A Math Phys Sci 1969;314:1–25.
[5] M. Y. ZANG AND S. H. CHEN South China University of Technology, Guangzhou, China "Laminated Glass" September 2011
[6] https://www.pilkington.com/en/global/knowledge-base/glass-technology/glass-processing/automotive-shaping-and-strengthening#
[7] https://malzemebilimi.net/temperlenmis-cam-guvenli-cam.html

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Thermal Cycle Test Of Automotive Industry While Component Development

Hami GÜLER[1]

Abstract

There are tests that all parts developed in the automotive sector, regardless of the department, must receive approval. These tests simulate situations where many parameters such as material tests and road tests are examined. The main focus in these tests is undoubtedly the examination of material strength. The most challenging of these tests is the Thermal Cycle test. Because this test simulates both the coldest and hottest conditions. In addition to temperature, another variable is relative humidity. Many different conditions are tested, from the driest to the most humid. During the test, these conditions are not completed in one go. Temperature and humidity are changed continuously for long hours with at lats of different cycles. The conditions of this test have been determined according to the relevant information in the each OEM. These test conditions vary depending on which part of the vehicle the part to be developed is. Another point where it varies is whether the part is aesthetic or non-aesthetic. The intention here is whether the customer can see this part or not. The most challenging conditions are when the part is visible to the customer. Especially in the interior of the vehicle, the parts that the customer sees and touches the most, such as the dashboard and console, are the most important places. Thermal Cycle tests performed here fall to maximum and minimum degrees. These temperatures are really challenging. Also, humidity values are constantly changing. This test continues until the defined cycles are completed. And separate times are defined for each cycle. Parts that successfully pass this challenging test receive an official approval report and their validation is completed.

Keywords: thermal, cycle, temperature, humudity, validation, evaluation

[1] Ar&Ge Interior Bölümü, Tofas Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. hami.guler@tofas.com.tr

ISBN: 978-625-372-661-4

1. Introduction

There are subjects that need to be taken into consideration during the product development process in the automotive industry. One of the inevitable actions of product development processes is material testing. These tests measure the durability, performance and safety levels of the product. Perhaps the most important point to pay attention to is to see how the product copes with the temperature differences it may encounter throughout its life and to look at its condition under these conditions. This makes thermal cycle testing an indispensable tool for verifying the design and material.

As the name suggests, global automotive manufacturers manufacture for all markets in the world. This means different countries and geographies. As it is known, each geography has its own variable humidity and temperature values. Thermal cycle testing is used to see how the parts in the vehicle will react in these variable conditions. For example, a model to be produced has customers from both Scandinavian countries and North African countries. Therefore, vehicle parts must be resistant to both different geographical conditions. If they cannot, a better material or different alternatives should be considered. Sending the produced vehicle to each geography separately and subjecting it to tests would be both costly and time-consuming. Therefore, conditioned test cabins are used for this purpose. The temperature and humidity values in these cabins can be changed. The humidity and temperature differences of the desired country can be simulated in that cabin. In this way, the conditions of the parts can be evaluated in the test cabin.

2.What is Thermal Cycle Testing?

The thermal cycle test begins with the vehicle parts being placed in a conditioned environment isolated from the outside world. These environments are called test cabins. The temperature and humidity in these cabins are not constant. The temperature and humidity in the cabins change between the highest and lowest defined values at certain periods.

This change is repeated as many times as necessary. When the test is completed, the effects of temperature and humidity on the part are evaluated.

2.1 Test Purpose

Determination of Deficiencies in the Material Used; The suitability of the material selected during the design process of the part is revealed as a result of this test. Unwanted situations such as small-sized cracks, geometric deterioration or corrugation can be observed on the material.

Evaluation of Part Integrity; If there are structures such as adhesives or tapes used on the part other than the material, the function of these fasteners is measured as a result of this test.



Figure 2.1 Thermal Cycle Test Cabin

Simulation of Conditions; Each main industry has its own test specifications. Each company determines the duration of the test, the values between which the temperature and humidity will vary.

Control of Results; As a result of the test, the part is subjected to the necessary evaluations and result control under the supervision of the relevant competent personnel. Afterwards, a report is made and published.

2.2 Application in Product Development Process

2.2.1 Electronic Control Units (ECUs)

ECUs with complex structures are evaluated with thermal cycle testing. Because the most important point here is safety. Short circuits that occur in ECUs due to temperature and humidity can cause fire and other malfunctions in the vehicle. Regulations in almost all countries are very sensitive in this regard, so the test requirements for electronic units are very strict and there is no room for flexibility. If the tests are positive, it is possible to continue production. Vehicle manufacturers pay special attention to this subject.

2.2.2 Plastic Materials

A lot of plastic materials are used inside and outside the vehicle. Plastic materials are prone to geometric deterioration and therefore their conditions are checked with thermal cycle testing. Plastic materials can experience shrinkage or shrinkage due to their structure. Therefore, when selecting before use, the raw material suitable for the part should be selected by looking at the material technical document. However, even if the selection is made by looking at the technical document, the part printed with the selected material should be subjected to thermal cycle testing. After receiving the test approval, mass production approval is given with the selected plastic material.

2.2.3 Fasteners

It is very important to check whether the adhesives and seals used maintain their functions. The test results check whether there is any loss of function.

2.2.3 Test Cabin

The cabins where the tests are performed vary. The cabin where the test will be performed should be selected according to the size of the part. For example, there is no need to use large cabin tests for small parts of the vehicle. Because it would be very costly to provide and change the temperature and humidity values in the large cabin. Similarly, small cabins should not be selected for large parts. Because if the part to be tested is aesthetic, it should remain in the cabin as it is in the vehicle. In addition, in order for the test to be carried out properly, the part must fit completely into the cabin. The part should not touch the cabin edges. In addition, the part or the fixture where the part is placed should not coincide with the area where the exits and entrances that provide the cabin temperature and humidity change are located.



Figure 2.2.3.1 Thermal Cycle Test Cabin

2.3 Benefits

- Ensuring compliance with standards
- Guaranteeing product safety
- Preventing possible malfunctions
- Protecting brand value and customer satisfaction
- Eliminating gaps in design
- Creating infrastructure for improvements

3.Conclusion

In conclusion, thermal cycle testing is a must for product development processes in the automotive world. Every part that will be put into service and offered to customer use must be subjected to this test. It must complete the test positively by reaching the desired level of results. In this way, errors that may be encountered during use are prevented, customer satisfaction is ensured and brand value continues to be protected. Thermal cycle testing will continue to be important in the future and will be performed for parts developed in the automotive world. Because tests performed in cabins are less costly than real environment tests, and also require less time in terms of hours spent. Global companies will definitely need cabin tests, whether they are in-house or in external laboratories. Of course, having them in-house will reduce costs even further. That is why the main vehicle automotive manufacturers are making cabin test investments and will continue to do so.

ISBN: 978-625-372-661-4

5.Referances

[1] How the Thermal Cycle Works, https://www.dellamarca.it/en/how-the-thermal-cycle-works/

[2] Integration and Test > Thermal Testing, https://s3vi.ndc.nasa.gov/ssri-kb/topics/45/

[3] Thermal Cycling Failure in Electronics, https://www.ansys.com/blog/thermal-cycling-failure-in-electronics

[4] Basic Concepts, High Temperature Corrosion, https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/thermal-cycling

[5] Temperature Humidity Test Chamber Temperature Cycling Testing **https://www.aslitesting.com/**

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Utilization of Second Life Battery Energy Storage Systems in Energy Arbitrage

Esra BİLAL[1]
Ali Rıfat BOYNUEĞRİ[2]
Feyza TURAN[3]

Abstract

Traditional energy production methods based on fossil fuels are gradually being phased out in favor of renewable energy sources, driven by rising environmental concerns, the urgent need to combat climate change, and global sustainability targets. As part of this transition, energy storage technologies have gained importance for overcoming key challenges associated with renewables, particularly their intermittent nature. Among these solutions, battery energy storage systems are expected to play a central role in both present and future energy infrastructures, not only by supporting the technical stability of interconnected grids but also by enhancing the financial viability of renewable energy investments.

This study introduces a MATLAB-based simulation model incorporating Second Life Battery solutions, designed to optimize energy storage performance and economic returns in wind energy systems, with a particular emphasis on arbitrage strategies under dynamic electricity pricing. To ensure the validity of the model real production data from a 2 MW wind power plant located in the Aegean region and operated by a global brand were incorporated into the analysis, reinforcing theoretical findings with practical.

The analysis integrates wind energy generation data, electricity market price, and battery storage dynamics, including Second Life Battery (SLB) solutions to maximize economic returns while ensuring long term battery efficiency. The primary objective of this study is to evaluate and compare three financial scenarios for wind energy systems: a system without battery storage, one using second life batteries, and another with new batteries.

Moreover, the simulations conducted in this study incorporate dynamic degradation characteristics, including State of Health (SoH) and Depth of Discharge (DoD) parameters for different battery options. The findings suggest that second-life battery systems may offer a more feasible solution for storage-integrated power plants.

Keywords: Second Life Battery, Wind, Energy Storage, Energy Management, Battery Degradation

[1] Master Degree Student, Yildiz Technical Univercity, Electrical Engineering Department, esra.bilal@std.yildiz.edu.tr
[2] Associate Professor, Yildiz Technical Univercity, Electrical Engineering Department, alirifat@yildiz.edu.tr
[3] Instructor, Istanbul Topkapi Univercity, Electrical and Energy Department, feyzaturan@topkapi.edu.tr

ISBN: 978-625-372-661-4

1. Introduction

Renewable energy and sustainability trends in response to increasing global warming around the world have led to growing energy storage needs in all areas. One of the areas with the largest share in this field is electric vehicles. As the demand for electric vehicles continues to uprise, a substantial number of EV batteries are expected to reach the end of their driving service life in the near future. Although no longer suitable for traction applications due to diminished performance, these batteries typically retain sufficient capacity to support secondary uses, particularly in energy storage systems. Similarly, batteries deployed in off-grid or on-grid energy storage installations may also qualify for second-life applications once their primary operational phase concludes [1]. Battery manufacturers generally design their products with a service life covered by a warranty period of approximately 8 to 10 years. By the time this period concludes, most batteries retain only 70–80% of their initial capacity. While they may no longer satisfy the performance standards stipulated by the original warranty, they often remain operational and are well-suited for repurposing in second-life applications [2].

In the coming years, various initiatives are being formulated to utilize the numerous volumes of batteries projected to reach second-life status at the terawatt-hour scale.

Once their initial operational life, batteries can be managed through one of three primary strategies. The first is direct disposal. This approach is typically used for cases where the battery has been substantially damaged such as an impact or where facilities for reuse or repurposing is lacking. The second option battery use is recycling given the composition of valuable and rare metals in batteries, recycling is essential for the effective recovery of these critical resources. The final option following a battery's first life is its second-life utilization under suitable conditions. Second-life applications can take various forms, among which grid-connected energy storage systems for power plants represent one of the most promising options. These systems deliver critical services to the energy sector, including frequency regulation and the ability to respond to sudden peaks in demand, thereby enhancing overall grid stability. Therefore, preparing second-life batteries for reuse in a safe and reliable manner is of great economic and environmental value.

Among the second life applications of batteries, their use as energy storage systems in renewable energy systems is one of the topics discussed in the literature. This type of use can be used to obtain energy arbitrage. There are many studies in the literature examine energy arbitrage through both technical and economical viewpoints, and some are given:

- A study on energy management strategy in photovoltaic systems was examined with the goal of increasing system profitability (Borkowski, Oramus, Brzezinka, 2023)
- A wind energy power plant located on an island was studied in terms of its application for storing surplus energy using a second-life battery system, with a focus on environmental impact and government financial aid. (López, Díaz, Rodríguez, Gurriarán, Mendez-Perez, 2023)

- An examination of energy storage systems in power plants was carried out, highlighting the lack of technical standards for the second-life use of electric vehicle batteries. (Al-Alawi, Cugley, Hassanin, 2022)
- Lithium-ion and lead-acid batteries were compared in a techno-economic way in renewable energy power plants (Kebede, Coosemans, Messagie, Jemal, Behabtu, Mierlo, Berecibar, 2021)

Today's electricity generation systems can significantly benefit from energy storage, and the reuse of batteries offers a practical solution to this need. As is well known, electricity demand fluctuates daily and seasonally, while energy production is designed and planned to meet peak demand. Battery energy storage systems (BESS) can supply power to the grid during periods of high demand, enabling generators to operate more efficiently and significantly reducing the financial cost of maintaining reserve capacity. Also, BESS enable the stable integration of renewable energy into the interconnected grid. In power plants that generate energy discontinuously, such as wind and solar, storage systems help balance production and ensure a steady supply to the grid. In contrast, energy facilities without storage must feed the generated power into the system immediately.

Wind and solar energy sources often does not coordinate with peak demand hours, which means that a significant share of this energy must be supplied to the grid, typically at lower prices compared to other times of the day in the absence of a storage system. Grid supply and price-forecast-based energy storage applications represent an ideal use case for second-life batteries, and demand in this area is growing rapidly. Currently, in Turkey, government-supported initiatives are also underway to promote energy storage as part of renewable energy incentives [3].

In this study, a battery storage system integrated into a 2 MW wind power plant in the Aegean region was examined from a technical and economic perspective. In doing so, the battery's degradation dynamics were included in the calculations, and a system was established to maximize profit using a GAMS-based optimization problem. Three different scenarios were analyzed: the use of new batteries, the use of second-life batteries, and operation without any energy storage system. This study provides an analysis to evaluate the effectiveness of second-life battery energy storage systems compared to new battery systems and battery-free systems within the framework of energy arbitrage.

2. Methodology

In order to conduct the techno-economic analysis of using second-life batteries (SLBs) as an energy storage system in a 2 MW wind power plant application, three different scenarios were evaluated and compared. In the scenario where the power plant operates without an integrated battery energy storage system, the entire wind energy output is instantaneously supplied into the interconnected grid, as no intermediate storage or buffering mechanism is employed. In scenarios involving BESS energy power plants the operational strategy is defined according to dynamic energy production and market conditions. When wind power generation is low and the battery is fully charged, electricity is discharged from the battery and supplied to the grid. Conversely, during periods of high wind availability when the battery is depleted, the generated energy is fed directly into the grid without charging the battery, as elevated electricity prices render immediate sale economically advantageous. Under conditions where

wind production is high but market prices are relatively low, energy is not dispatched to the grid. Instead, the battery is charged to store excess energy for future use when prices are expected to be more favorable, thereby optimizing overall system profitability.

Considering the techno-economic analysis of an energy storage system, it is crucial to account for battery capacity degradation. As the battery ages, its internal resistance increases, leading to reduced performance and efficiency. The degradation process is influenced by the operating conditions of the battery. Degradation that occurs during charging and discharging is referred to as cycle degradation, whereas degradation occurring while the battery is not in use is known as calendar degradation. In this study, Arrhenius-based equations were employed to model both calendar and cycle degradation for $LiFePO_4$ batteries. Accordingly, the remaining capacity of the battery (Q_remain) was dynamically calculated and updated daily to reflect the new effective battery capacity. The Arrhenius equation used in modeling the degradation of batteries over time is given in Eq (1).

$$Q_{loss} = A.e^{-\left(\frac{E_a+B.C_{rate}}{R.T_{bat}}\right)}.A_h^z \quad (1)$$

For lithium-ion batteries, this equation is adapted as below.

$$Q_{loss} = 0.0032.e^{-\left(\frac{15162-1516.C_{rate}}{R.T_{bat}}\right)}.A_h^{0.824} \quad (2)$$

To ensure a fair comparison, it is necessary to evaluate the lifespans of new and second-life batteries that would provide service over the same operational period. Based on the calculations derived from Equation 1, a second-life battery with an initial State of Health (SoH) of 80% and a capacity of 500 kWh would demonstrate equivalent performance and operational lifetime to a new battery with a capacity of 185 kWh and 100% SoH in such an application.

Electricity price data were obtained from the official EPIAS [4] platform, ensuring that the analysis reflects recent and realistic market conditions.

In order to obtain maximum income from SLB BESS system, GAMS optimization was created to maximize profit. Due to the nonlinearity of degradation model, difficulties such as solver requirement in calculations, long calculation time, data capacity exceeding were encountered while solving nonlinear problems in GAMS. Therefore, the study was carried out in two stages to facilitate the calculation. In the first stage, the charge and discharge values of the batteries were calculated in GAMS for a period of one year. Using these values, average annual C ratio values were determined. In the second stage, the initial capacity values of each day obtained as a result of degradation simulation performed in MATLAB software depending on these calculated C ratio values were used as input data in GAMS for the battery. In this way, battery capacity degradation was updated within the simulation cycle for one year.

The methodology has been replicated for the new battery scenario.

Without a battery storage system, the GAMS program has been modeled on the basis that all energy generated from wind was directly sold to the grid system.

4. Results

This study represents a comparative economic assessment of three different energy generation strategies which are new battery, second-life battery (SLB), and no battery energy storage system (BESS) based on a GAMS analysis, also performed for 500 kWh battery (second use) and 185 kWh battery (new) system was integrated with a 2 MW power generation plant.

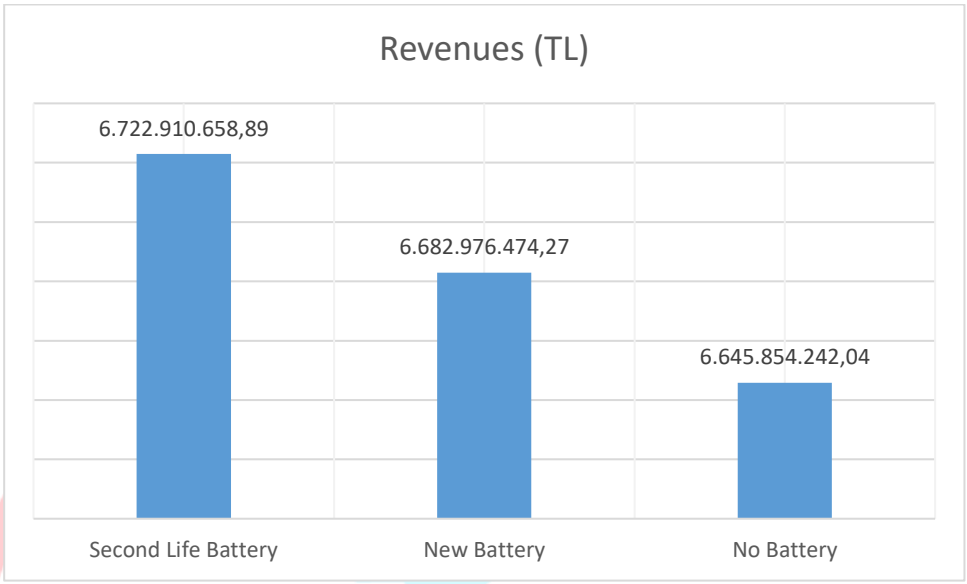


Figure 1. *Annual revenues comparison for systems*

Due to this result using SBL system yields 39.934.184 TL profit than compared to new battery systems. To near look for the profits of the system represented at below.

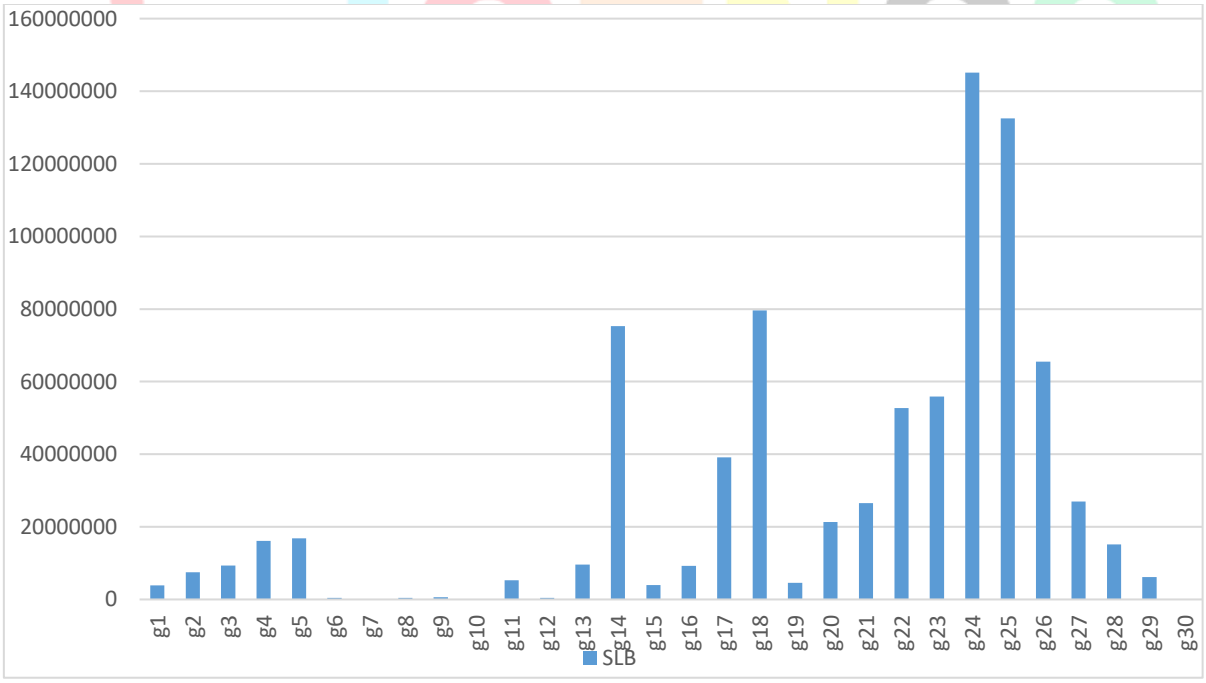


Figure 2. *Daily profit value for SLB*

As shown in figure 2, the monthly profit from the SLB system exhibits noticeable fluctuations over time. A sharp increase is noticable between day 20 and day 26, indicating periods of effective operation due to electricty market conditions.

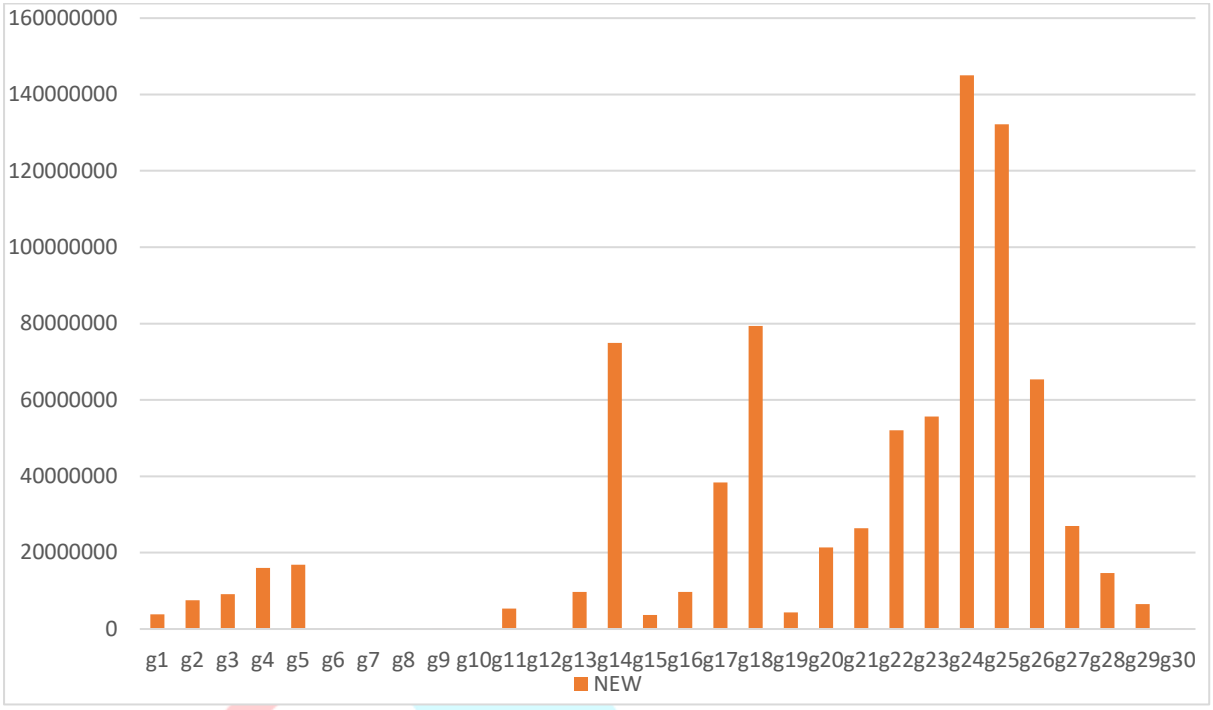


Figure 3. *Daily profit value for new battery*

Figure 3 shows the monthly profit from the new battery system variation on the same days in a similar manner to SLB.

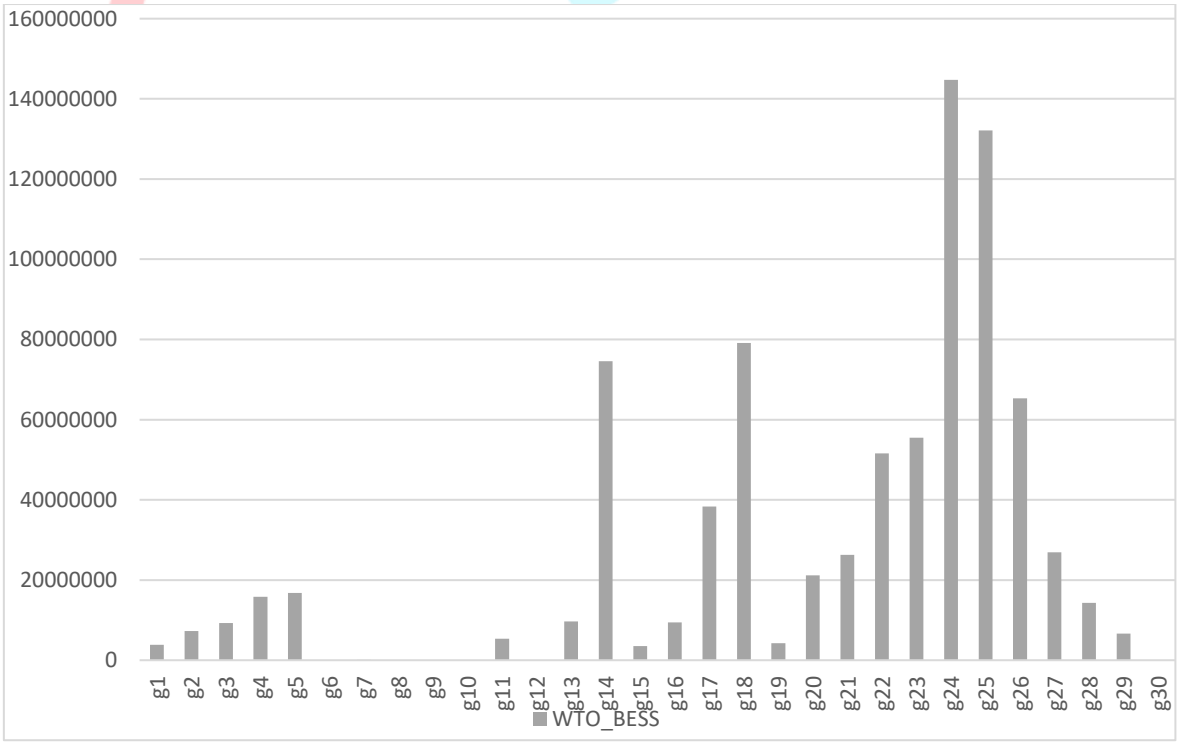


Figure 4. *Daily profit value for without BESS*

Figure 4 shows the monthly profit values for the system operating without BESS. Similar to the SLB and new battery scenarios, profit levels fluctuate across the 30-month period. Although certain peak values are observed especially around day 24 to day 26 the absence of storage flexibility leads to more irregular profit distribution.

When the annual profit values are compared, it is clearly observed that the use of second-life batteries (SLBs) offers a more advantageous outcome.

5. Conclusions

The GAMS-based simulation demonstrated in this study indicates that second-life batteries provide a cost effective solution for energy storage applications.

This comparison provides insight into the potential benefits that Battery Energy Storage Systems (BESS) can offer to power generation plants. Since the effects of battery degradation are incorporated into the comparative model, the study can be considered a realistic representation of long-term system performance. In future studies, it is planned to extend the scope of the analysis by incorporating the economic impact of the initial acquisition cost of second-life batteries (SLBs) and by evaluating the net investment profitability over the entire project lifetime.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

[1] Hossaın E., Murtaugh D., Mody J., Faruque H., Sunny H., Mohammad N. (2019, March) A Comprehensive review on second-life batteries: current state, manufacturing considerations, applications, impacts, barriers & potential solutions, business strategies, and policies, *IEEE Access*, *Vol 7*, (2)

[2] Haram M., Lee J., Ramasamy G., Ngu E., Thiagarajah S., Lee Y.,(2021, October) Feasibility of utilising second life EV batteries: applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges, *Alexandria Engineering Journal*, *Vol 60*, (3)

[3] https://resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/11/20221119-4.htm, (2025, March)

[4] https://www.epias.com.tr/, (February, 2025)

[5] Tahir M., Hu S., Khan T., Zhu H., (2024) Sustainable hybrid station design framework for electric vehicle charging and hydrogen vehicle refueling based on multiple attributes, *Energy Conversion and Management*, *Vol 300*

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Some Important Pests That Cause Galls on Forest Trees

Emir ACARI[1]
Ayşe YEŞİLAYER[2]

Abstract

Galls, which constitute aberrant proliferations in plant tissues, arise due to the influence of various biotic agents, including viruses, bacteria, fungi, bee, mite, nematodes, insects, and even parasitic plants. These aberrant growths are triggered by the secretion of specific biochemical compounds, eliciting anomalous cellular proliferation and differentiation within the host plant. The intricate interplay between the host's defense mechanisms and the gall-inducing agents underscores the multifaceted nature of these formations, rendering them significant subjects of study within the fields of entomology, plant pathology, and ecological interactions. Plants possess the capacity to withstand moderate gall formation; however, severe infestations can significantly compromise their physiological integrity. Excessive galling adversely affects plant vigor, disrupts photosynthetic efficiency, and precipitates premature foliar abscission, ultimately culminating in plant mortality. Gall-inducing mite and insects rank among the most detrimental pests in global agricultural systems, exerting substantial economic and ecological consequences due to their pervasive and destructive impact on host plants.

In this study, information is given about the important pests that cause galls. And This review is expected to be a reference point for further investigation of the Plant galls gall chemistry, and researchs from them.

Keywords: Gall, mite, bee, aphid, pest

[1] Ziraat Mühendisi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Orcıd: 0009-0001-8743-4316, acaremir5@gmail.com

[2*] Doç. Dr. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Orcıd: 0000-0001-7174-9324, ayesilayer@gmail.com

ISBN: 978-625-372-661-4

Giriş

Bitkilerde meydana gelen böcek, akar, nematod, bakteri ve virüs gibi dış etmeler nedeniyle oluşan tümör benzeri anormal büyümeler gal olarak adlandırılır (Shorthouse ve Rohfritsch, 1992; Shorthouse ve ark., 2005; İpekdal ve ark., 2014; Azmaz, 2021). Gal, insanlar tarafından farklı bir yapı gibi görünse de aslında konukçu bitkiye ait bir parçadır. Hemiptera, Diptera, Thysanoptera, Lepidoptera, Coleoptera ve Hymenoptera gal yapma özelliğine sahip böcek takımlarıdır (Liljeblad ve Ronquist 1998).

Afit Galleri (Hemiptera/ Aphidoidea) : Şişkin yapılı görünüme neden olan Afit türlerinde, galler tüy ile kaplı olarak görülür (Şekil 1). Tüylü dış yapılar doğal düşmanlara karşı koruma sağlar.



Şekil 1 (Mordwilkoja vagabunda' ya ait gal yapısı) (Boles, 2020)

Psillid Galleri (Hemiptera/ Pysillidae): Genellikle orman ağaçlarından çitlembik türlerinde görülür (Şekil 2). Ayrıca avokado ağaçlarında gal yapmalarıyla bilinirler. Salgıladıkları tatlımsı madde nedeniyle ağaçların yaprak yüzeyince ciddi birikimlere neden olurlar, bu yüzden ağaca en çok zarar verdiği düşünülen türlerdir.



Şekil 2 (Çitlembik türünde görülen Pachypsylla celtidismamma ya ait gal yapısı) (Murray, 2012)

Sinek Galleri (Diptera/ Cecidomyiidae): Bu türlere ait galler çok yaygındır ve genellikle kuru çalılıklarda görülür. Türlere göre sinek galleri çok farklı görünüşlere sahip olabilir (Şekil 3).



Şekil 3. Schizomyia viticola (Harvey, 2014)

Arı Galleri (Hymenoptera/ Cynipidae): Boyut, şekil,doku ve renk bakımından en çok çeşitliliğin görüldüğü takımdır. Gal yapan canlılar arasınca Cynipidae familyası özel bir yere sahiptir ve en geniş gruplardan biridir (Stone ve ark. 2008, İpekdal ve ark., 2014; Buffington ve ark. 2020). Ancak bazı Cynipidae türleri ise gal oluşturmayarak larvalarını başka galler içine bırakırlar (Ronquist ve ark., 2015; Pénzes ve ark., 2018; Buffington ve ark., 2020; Azmaz,2021).

Gal Oluşumda Cynipidae Familyasının Yeri ve Gal Yapısı

Farklı bitkilerde de gale neden olduğu bilinse de meşe (Quercus spp.) ve gül (Rosa spp.) türleri Cynipidae familyasının en önemli konukçularıdır. Cynipidae türleri gal oluşturabilmek için canlı hücrelere ihtiyaç duyar. Dişinin ovipozisyonu ile başlayan gal oluşum mekanizması çok bilinmese de genel olarak başlama, gelişme ve olgunlaşma olarak 3 aşamada adlandırılır (Shorthouse ve Rohfritsch, 1992; LeBlanc ve Lacroix, 2001; Azmaz, 2021). Dişiler konukçu bitkide gal yapacakları bölgeyi belirledikten sonra bu noktaya yumurtalarını bırakır böylece yumurta ve larvaya ait salgılarla gal oluşumu başlatılmış olur (Azmaz, 2021; Mutun, 2023). Yumurtadan çıkan larva gal dokusunda beslenerek gelişimini tamamladıktan sonra gal duvarında bir delik açarak çıkış yapar (Shorthouse ve Rohfritsch, 1992).

Gal yapısı temel olarak incelendiğinde gal merkezinde böceğe ait larva ya da pupanın yer aldığı görülür. Türe göre gal merkezinde tekli ya da çoklu larva veya pupalar bulunabilir. Gal merkezinden dışa doğru gidildikçe çekirdek duvarı ve besleyici doku görülür. Larva gal içinde beslendiği için konukçunun paraziti olarak kabul edilir (Stone ve Cook, 1998).

Türkiye' de Cynipidae Faunası

Türkiye' de Cynipidae türlerine ait ilk çalışma 2008 yılında yapılmış ve 81 tür belirlenmiştir (Katılmış ve Kıyak, 2008; Azmaz, 2021). Bu sayı günümüze kadar süre gelen çalışmalarla birlikte 151 tür olarak güncellenmiştir (Azmaz ve Katılmış, 2017; Bayrak ve Avcı, 2019; Mutun ve ark., 2020; Azmaz, 2021).

Türkiye' de ve Dünya' da Görülen Bazı Önemli Cynipidae Türleri

Amphibolips murata

Meşelerde elmeya benzer gal görüntüsüne neden olduğu için "meşe elma gali" ismini alır. Quercus myrtifolia, Q. inopina, Q. laurifolia, *Q. incana* görüldüğü meşe türleridir. Larvayı ortada askıya alan çok karmaşık bir ağ sistemine sahip gallere neden olurlar (Şekil4). Karmaşık ağ yapısı sayesinde larva diğer böceklerden korumaktadır.



Şekil 4. Amphibolips murata 'ya ait galin ağ benzeri iç yapısı (NH Garden Solutions, 2016)

Andricus quercusfoliatus

Meşe ağaçlarında neden olduğu galler "yaprak meşe gali" olarak da tanımlanır. *Q. virginiana, Q. geminata* türlerinde yaprak benzeri yapılarla kaplı gallere neden olur (Şekil 5).



Şekil 5. Andricus quercusfoliatus türüne ait yaprak benzeri yapılarla kaplı gal görünümü (Schmidt, 2015)

Andricus quercuslanigera

Q. virginiana, Q. geminata türlerinde gallere neden olur. Saç benzeri yapılarla kaplı galleri yaprağın ana damarı üzerinde görülür (Şekil 6).



Şekil 6. Andricus quercuslanigerum 'a ait gal yapısı (Schmidt, 2017)

Andricus quercuspetiolicola

Q. micgauxii, Q. alba, Q. bicolor, Q. stellata, Q. macrocarpa, Q. muehlenbergii, Q. chapmanii gallere neden olduğu türlerdir. Galler yaprak sapında görülür ve sert yapıları sayesinde kırılmaları oldukça güçtür (Şekil 7).



Şekil 7. Andricus quercuspetiolicola' nın meşe yaprak sapında görülen gal yapısı (Katovich, n.d.)

Belonocnema quercusvirens

Q. virginiana ve *Q. geminata* türlerinde görülen galler boyutları gereği bezelyeye benzetildiği için "bezelye gal" olarak adlandırılır (Şekil 8). Bezelye benzeri küçük yapılar beyazdan kırmızıya farklı renklerde görülürken olgunlaştıkça kahverengiye döner. Yumuşak yapılı ve savunmasız oldukları için bir ağaç üzerinde çok fazla sayıda görülürler.



Şekil 8. Belonocnema quercusvirens galleri (Engel, 2010)

Disholcaspis quercusomnivora

Q. cahpmanii türünde görülen galler başlangıçta kırmızı ve sarı renklerdeyken olgunlaştıkça kahverengileşir (Şekil 9). Artan lignin sayesinde çok sert ve dayanıklı bir yapı halini alır. Kuruyan gal üzerinde arının çıkış yaptığı delikler görülür. Bu yapılar ağaçta uzun yıllar asılı kalır.



Şekil 9. Disholcaspis quercusomnivora türüne ait gal yapısı (Zhang, n.d.)

Disholcaspis spongiosa

Q. chapmanii, Q.virginiana, Q. geminata ve *Q. minima* türlerin süngerimsi yapılı galler ile tanınırlar (Şekil 10). Bu gal yapılarının çekirdeğinde bir tane larva olabileceği gibi birden fazla larva da bulunabilir.



Şekil 10. Disholcaspis spongiosa ya ait gal yapısı (Lillybyrd, 2023).

Callirhytis quercusbatatoides

İç yapısı patatese çok benzediği için "patates gali" olarak adlandırılır. *Q. virginiana, Q. geminata, Q. minima* türlerinde görülen galler içerisinde birden fazla larva barındırır (politalamus). Basit bir yapıya sahiptir ve dış katmanda kırılması oldukça güç olan ağaç kabuğu vardır (Şekil 11).



Şekil 11. Callirhytis quercusbatatoides türüne ait gal ve üzerinde görülen çok sayıda çıkış delikleri (McClellan,2015)

Trigonaspis polita

Q. chapmanii ve *Q. stellata* türlerinde görülen bu türe ait galler yaprak ana damarı üzerinde bulunur (Şekil 12). Narin yapıda olup, uzun süre ağaçta asılı kalırlar.



Şekil 12. Yaprak yüzeyinde Trigonaspis polita ya ait gal yapısı (Pynklynx, 2020)

Neuroterus quercusminutissimus & Neuroterus quercusverrucarum

Birbirine çok benzer yapıda gallere neden olan bu iki türün ayrımı için konukçu olduğu meşe türüne bakılır. *N. quercusminutissimus* türü *Q. virginiana, Q. geminata* ve *Q. minima* türlerinde gallere neden olurken *N. quercusverrucarum* ise *Q. alba, Q. chapmanii, Q. stellata, Q. margaretta* türlerinde gallere neden olur. İki tür de temel olarak yaprak altlarında, sıcaktan ve yırtıcılardan korunmayı sağlayan tüylü yapılara sahip küçük gallere neden olurlar (Şekil 13,14).



Şekil 13 N. quercusminutissimus a ait galler (Keller, 2020)



Şekil 14. N. quercusverrucarum a ait galler (Wilson, 2016)

Gal ve İnsan İlişkileri

Gal yapıları insanlar tarafından ağaca zarar veren ve büyümesini engelleyen yapılar olarak değerlendirilir. Gal yapılarının tadına bakılacak olunursa acı bir tat ile karşılaşılacaktır. Bu acı tadın sebebi ise tanenler yani tanik asit olarak gösterilir. Gal yapısında bulunan tanik asit gibi bileşiklerin patojen ve parazitoit benzeri dış etmenlere karşı koruma sağladıkları ve bu özellikleri taşıyan gallerin daha dayanıklı oldukları kabul görmektedir (Abe 1995; Azmaz ve ark., 2020; Kuster ve ark., 2020; Mutun, 2023).

İnsanlar açısından düşünülecek olursa tanenler başlıca dericilik ve boya sanayinde kullanılmaktadır (Galil, 1968). Çay, kahve, şarap, bira, kakao gibi ürünler tatlarını tanenlerden alırken, kalp-damar rahatsızları, karaciğer hasarı, kanser ve AIDS gibi birçok hastalığın tedavisinde de tanenler kullanılmaktadır.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKLAR

Abe, Y. (1995). Relationships between the gall wasp, *Trichagalma serratae* (Ashmead) (Hymenoptera: Cynipidae), and two moth species, *Andrioplecta pulverula* (Meyrick) (Lepidoptera: Tortricidae) and *Characoma ruficirra* (Hampson) (Lepidoptera: Noctuidae). *Applied Entomology and Zoology, 30*, 83–89.

Azmaz, M. (2021). *Doğu Karadeniz Bölgesi'nin gal arıları (Hymenoptera: Cynipidae) faunası* (Yayımlanmış Doktora tezi). T.C. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye.

Azmaz, M., Kılınçarslan Aksoy, Ö., Katılmış, Y., & Mammadov, R. (2020). Investigation of the antioxidant activity and phenolic compounds of *Andricus quercustozae* gall and host plant (*Quercus infectoria*). *International Journal of Secondary Metabolite, 7*(2), 77–87.

Azmaz, M., & Katılmış, Y. (2017). Updated species list of Cynipidae (Hymenoptera) from Turkey. *Zootaxa, 4303*(3), 361–378.

Bayrak, S., & Avcı, M. (2019). Gall forming Cynipini (Hymenoptera: Cynipidae) species in Isparta oak forests. *Munis Entomology & Zoology, 14*, 552–564.

Boles, R. (2020, Haziran 28). *Poplar Vagabond aphid from Greenbelt, Ottawa, ON, Canada* [Fotoğraf]. iNaturalist. https://www.inaturalist.org/observations/51419902

Buffington, M. L., Forshage, M., Liljeblad, J., Tang, C.-T., & van Noort, S. (2020). World Cynipoidea (Hymenoptera): A key to higher-level groups. *Insect Systematics and Diversity, 4*(4), 1–69.

Engel, V. (2010, Ekim 10). *Belonocnema kinseyi galls on Virentes leaves* [Görsel]. iNaturalist. https://www.inaturalist.org/photos/84944481

Galil, J. (1968). An ancient technique for ripening sycamore fruit in East-Mediterranean countries. *Economic Botany, 22*, 178–190.

Harvey, P. (2014). *Schizomyia viticola galls on a wild grape leaf in Baltimore City, Maryland* [Görsel]. Wikimedia Commons. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/84/Schizomyia_viticola_galls.jpg

İpekdal, K., Coşkuncu, K. S., Aytar, F., & Doğanlar, M. (2014). Chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae): An update for its situation on the world and in Turkey and its management. *Türk Bitki Koruma Dergisi, 4*(4), 241–257.

Katılmış, Y., & Kıyak, S. (2008). Checklist of Cynipidae of Turkey, with a new genus record. *Journal of Natural History, 42*(31–32), 2161–2167.

Katovich, S. (n.d.). *Neuroterus quercusfoliatus gall on Quercus species* [Fotoğraf]. Bugwoodcloud. https://bugwoodcloud.org/images/384x256/5602178.jpg

Keller, J. L. (2020, Aralık 12). *Neuroterus quercusminutissimus* [Görsel]. iNaturalist. https://www.inaturalist.org/observations/66494843

Kuster, V. C., Rezende, U. C., Cardoso, J. C. F., Isaias, R. M. S., & Oliveira, D. C. (2020). How galling organisms manipulate the secondary metabolites in the host plant tissues? A histochemical overview in Neotropical gall systems. In J. M. Mérillon & K. G. Ramawat (Eds.), *Co-evolution of secondary metabolites* (pp. xx–xx). Springer International Publishing.

LeBlanc, D. A., & Lacroix, C. R. (2001). Developmental potential of galls induced by *Diplolepis rosaefolii* (Hymenoptera: Cynipidae) on the leaves of *Rosa virginiana* and the influence of *Periclistus* species. *International Journal of Plant Sciences, 162*(1), 29–46.

Liljeblad, J., & Ronquist, F. (1998). A phylogenetic analysis of higher-level gall wasp relationships (Hymenoptera: Cynipidae). *Systematic Entomology, 23*, 229–252.

McClellan, G. R. (2015, Nisan). *Callirhytis quercusbatatoides on Quercus species* [Görsel]. BugGuide.net. https://bugguide.net/node/view/1046304

Murray, T. (2012). *Hackberry nipplegall maker - Pachypsylla celtidismamma*. Northampton, Hampshire County, Massachusetts, USA. https://pbase.com/tmurray74/image/145429059

Mutun, S. (2023). Bitki ve böcekler arasındaki bilek güreşi: Gal oluşumu ve gal arıları. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 24*(2), 151–159.

NH Garden Solutions. (2016, May 25). *Oak apple gall, inside view* [Photograph]. NH Garden Solutions. https://nhgardensolutions.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/05/8-oak-apple-gall-inside.jpg

Pynklynx. (2020, Temmuz 7). *Trigonaspis polita* [Görsel]. iNaturalist. https://www.inaturalist.org/photos/83187293

Schmidt, J. (2015, May 12). *Andricus quercusfoliatus gall on Quercus species* [Fotoğraf]. BugGuide.net. https://bugguide.net/node/view/881453

Schmidt, J. (2017, June 15). *Andricus querculanigerum gall on Quercus species* [Fotoğraf]. BugGuide.net. https://bugguide.net/node/view/1019145

Stone, G. N., & Cook, J. M. (1998). The structure of Cynipid oak galls: Patterns in evolution of an extended phenotype. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 265*, 979–988.

Stone, G. N., van der Ham, R. W., & Brewer, J. G. (2008). Fossil oak galls preserve ancient multitrophic interactions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 275*, 2213–2219.

Weld, L. H. (n.d.). *Disholcaspis quercusomnivora (agamic)*. Gallformers. https://www.gallformers.org/gall/830

Wilson, T. (2016, Ağustos). *Neuroterus quercusverrucarum galls on a white oak leaf in Baltimore City, Maryland* [Görsel]. BugGuide.net. https://www.marylandbiodiversity.com/species/19114

Zhang, M. (n.d.). *Disholcaspis quercusomnivora (agamic)*. Gallformers. https://www.gallformers.org/gall/830

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Investigation of the Effect of Injector Geometry on Hydrogen Spray Characteristics by Numerical Simulation Method

Şerefcan DURANLI[1]
Orkun ÖZENER[2]

Abstract

In the ongoing global effort to find viable alternatives to fossil fuels, hydrogen stands out as a promising option due to its potential for zero carbon emissions. Nevertheless, hydrogen's unique physical characteristics result in notable deviations in in-cylinder injection dynamics and mixture formation compared to traditional fuels. This study explores how variations in injector tip geometry affect the spray behavior of hydrogen injected into a cylindrical chamber, operating under constant injection pressure and a time-dependent mass flow rate. The research is conducted without accounting for combustion processes and focuses on key spray metrics such as jet penetration length, spray cone angle, and the spatial distribution of hydrogen within the domain. Numerical simulations were carried out using CONVERGE CFD software, and the resulting flow fields and scalar distributions were post-processed with Tecplot 360 EX. The results demonstrate that injector tip design has a substantial influence on spray development. Specific geometric features, including tip caps, poppet valves, pintle protrusion, and tip curvature, significantly affect spray patterns and mixture uniformity under varying pressure conditions. These insights offer valuable guidance for the design and optimization of hydrogen injectors and spray strategies in hydrogen-fueled internal combustion engines.

This work has been supported by Yıldız Technical University Scientific Research Projects Coordination Unit under project number FYL-2024-6336.

Keywords: Hydrogen, injector geometry, spray characteristics, simulation

[1] Makine Mühendisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği YL, serefcan.duranli@std.yildiz.edu.tr, Orcıd: 0009-0001-0881-4813
[2] Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, oozener@yildiz.edu.tr, Orcıd: 0000-0001-9168-5161

ISBN: 978-625-372-661-4

GİRİŞ

Fosil yakıt rezervlerinin azalması ve uluslararası çevre regülasyonlarının sıkılaşması, ulaşım sektöründe sürdürülebilir ve çevre dostu alternatif enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda hidrojen, sıfır karbon salımı potansiyeli, yüksek özgül enerji içeriği ve geniş tutuşma limitleri gibi üstün termofiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde içten yanmalı motorlar için ideal bir alternatif yakıt olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, hidrojenin düşük enerji yoğunluğu, düşük yoğunluğu ve yüksek laminer alev hızı gibi özellikleri, özellikle doğrudan enjeksiyon sistemlerinde önemli tasarımsal ve işletimsel zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle hidrojenin etkin kullanımı, enjektör nozulu geometrisi, enjeksiyon parametreleri ve motor tasarımının hassas bir şekilde optimize edilmesini gerektirmektedir.

Literatürde gerçekleştirilen çok sayıda araştırmada hidrojen jetlerinin sprey penetrasyonu, şok oluşumu, karışım dağılımı ve enjeksiyon sonrası türbülans davranışları gibi kritik parametrelerin incelenmesine yoğunlaşılmıştır. Yapılan çalışmalar, nozulların açısal pozisyonu, delik geometrisi, sayısı, nozulun montaj şekli ve piston tasarımı gibi farklı geometrik ve operasyonel parametrelerin sprey penetrasyon derinliği, jet açısı ve türbülans yoğunluğu üzerinde belirgin etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde, jetin penetrasyon derinliğinin artırılması ve homojen bir karışım sağlanması için enjektör nozullarının geometrik tasarımının kritik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Bu bağlamda nozulların yüzeye gömülü ya da belli bir mesafede geri çekilmiş olması gibi konfigürasyonların jet penetrasyonuna ve türbülans oluşumuna doğrudan etki ettiği belirtilmektedir.

Bunun yanı sıra, hidrojen jetlerinin nozul çıkışında oluşan Mach diskleri ve şok dalgaları, karışımın homojenliğini olumsuz yönde etkileyebilecek faktörler olarak gösterilmektedir. Bu durumun özellikle yüksek enjeksiyon basınçlarında ve düşük oda basıncı oranlarında belirginleştiği ve karışım kalitesini olumsuz etkileyebileceği ifade edilmektedir. Ancak son dönemlerde yapılan yenilikçi tasarımlar, örneğin çok delikli nozullar ve Coanda etkisi gibi yaklaşımlar sayesinde hidrojenin hava ile daha iyi karışması sağlanarak bu olumsuzlukların önüne geçilmesi mümkün hale gelmiştir.

Bu çalışma kapsamında, enjektör uç geometrisinin hidrojen sprey karakteristikleri üzerindeki etkisi, sabit enjeksiyon basıncı altında zamana bağlı değişen kütlesel debi koşullarında gerçekleştirilen hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonlarıyla detaylı biçimde incelenmiştir. Silindirik bir ortamda gerçekleştirilen analizlerde yanma reaksiyonları ihmal edilerek, farklı enjektör ucu geometrilerinin jet penetrasyon uzunluğu, sprey yayılım açısı ve yakıt dağılımı gibi parametreler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca farklı geometrik varyasyonların karışım homojenliği üzerindeki etkileri analiz edilerek, tasarım parametrelerinin motor performansı açısından önemi vurgulanmıştır. Sonuçlar, enjektör ucunda kep kullanımı, poppet valf kullanımı, çıkıntılar ve yuvarlatmalar (radyus) gibi geometrik değişikliklerin sprey penetrasyonu ve karışım kalitesini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bu bulgular, hidrojen enjeksiyon sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu için değerli bilgiler sağlamakta, motor performansının artırılması ve emisyonların azaltılması açısından önemli katkılar sunmaktadır.

YÖNTEM

Bu çalışmada uygulanan yöntem, doğrudan enjeksiyonlu hidrojen motorlarındaki jet penetrasyonu davranışını ve sprey karakteristiklerini belirlemek amacıyla geliştirilen sayısal modelleme yaklaşımına dayanmaktadır. Literatürde özellikle Kamimoto ve arkadaşları tarafından yapılan deneysel çalışmalarda, hidrojen jetlerinin penetrasyon uzunluğunun enjeksiyon basıncı ve ortam basıncı oranına kuvvetle bağlı olduğu ortaya konmuş ve kritik basınç oranının aşılması durumunda nozuldaki akışın boğulduğu ve jet penetrasyonunun belirli bir seviyede sabitlendiği deneysel olarak doğrulanmıştır. Benzer bulgular Akar ve Özener'in gerçekleştirdiği sayısal çalışmalarda da görülmüş olup, motor içi gaz hareketlerinin ve karışım homojenliğinin jet penetrasyonunu önemli ölçüde etkilediği ortaya konmuştur.

Bu doğrultuda, mevcut çalışmada Kamimoto'nun deneyleri esas alınarak, benzer basınç ve enjeksiyon koşullarında hidrojen jet penetrasyon davranışı sayısal simülasyonlarla yeniden üretilmiştir. Bu simülasyonların güvenilirliğini sağlamak için ilk olarak Kamimoto'nun kritik basınç oranları ve penetrasyon ölçümleri temel alınarak, oluşturulan CFD modelinin validasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu adımda, Akar ve Özener'in çalışmalarında da izlenen yöntemle benzer şekilde üç boyutlu simülasyon ortamı hazırlanmış, hidrojen gazının fiziksel ve termodinamik özelliklerini doğru temsil edecek uygun türbülans ve gaz modelleri seçilmiştir. Simülasyon sonuçlarının deneysel verilerle uyumu değerlendirildikten sonra, doğrulanan bu model üzerinden farklı geometrik parametrelerin jet davranışına etkileri detaylıca incelenmiştir.

Kamimoto deneyleri 1-2-3-4 ms sürelerinde jet penetrasyonu parametresi üzerinden Kamimoto makalesinde verilen kritik basınç oranı (Pc=1.89) gözetilerek makalede ele alınan 1.3Pc, 1.0Pc, 0.7Pc ve 0.4Pc sınır şartları için simüle edilmiştir.

***Tablo 15**: Simülasyonların 1ms'deki karşılaştırmalı sonuçları*

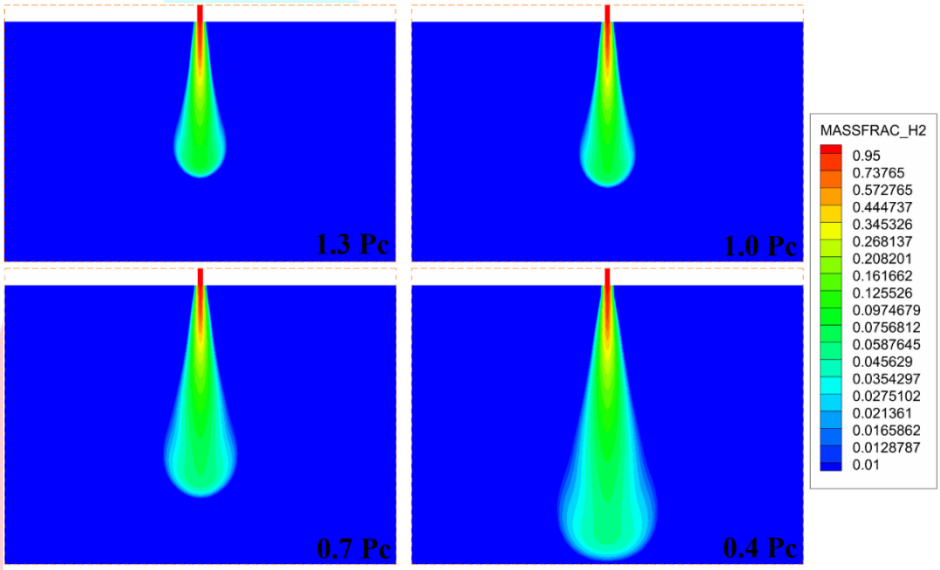
Geri Basınç Oranı	**Kamimoto Deneyleri**	**Analiz Sonuçları**
0.4Pc	~50mm	49.45mm
0.7Pc	~39mm	38.15mm
1.0Pc	~30mm	29.81mm
1.3Pc	~28mm	28.11mm

Özellikle bu çalışmada ele alınan enjektör nozulu geometrileri, Kamimoto'nun çalışmasında kullanılan standart silindirik nozullardan farklıdır. Bu farklılık, hidrojen jetinin penetrasyon ve karışım davranışlarını geliştirmek amacıyla belirlenmiş olup, özellikle nozula eklenen çıkıntı, kep ve yuvarlatma gibi geometrik modifikasyonlarla zenginleştirilmiştir. Bu yenilikçi geometri seçimleri, jetin karakteristik özelliklerindeki değişime nozul ağzının etkisini göz önüne koymak adına kritik rol oynamaktadır. Enjektör lokasyonu Kamimoto deneylerindeki gibi yanal yüzeyde değil silindirin üst yüzeyinde olacak şekilde motor benzeri geometri sağlamak adına tasarlanmıştır. Bu aşamada, Kamimoto'nun deneylerinde elde edilen temel jet penetrasyon verilerinin sayısal olarak doğrulanması, simülasyon modelinin fiziksel geçerliliğini ortaya koymuş ve farklı enjektör geometrilerinin penetrasyon üzerindeki etkilerini güvenle karşılaştırmaya imkân sağlamıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar, hidrojen yakıtlı motorlarda optimum sprey dağılımını elde etmek için kritik tasarım parametreleri sunmaktadır.

Sayısal simülasyonlarda hidrojen gazının fiziksel özelliklerini hassas bir şekilde temsil edebilmek amacıyla Redlich-Kwong-Soave hal denklemi tercih edilmiş, bu sayede hidrojenin yüksek basınç altı ve üstü koşullardaki gerçek gaz davranışı daha doğru biçimde modellenmiştir. Kritik sıcaklık, basınç ve eksantriklik faktörü gibi parametreler COOLPROP veri tabanından alınarak species-dependent tanımıyla doğrudan modele dahil edilmiş ve

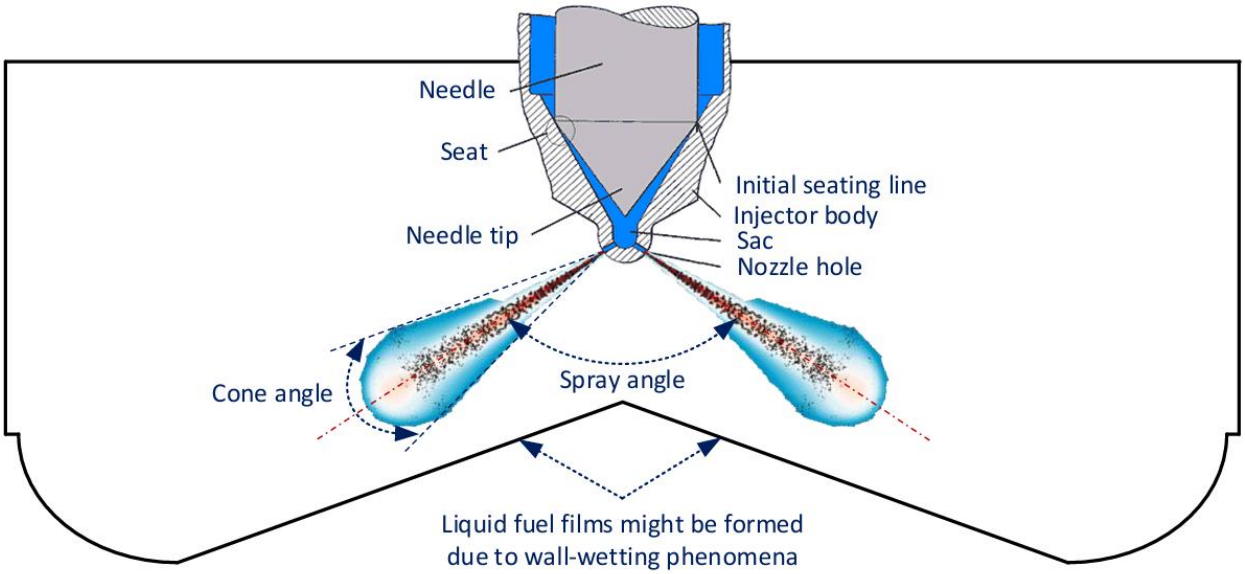
böylece hidrojenin benzersiz fiziksel özellikleri güvenilir biçimde yansıtılmıştır. Karışım içindeki viskozite, ısı iletkenliği ve difüzyon gibi transport özellikleri için karışım ortalamalı (mixture-averaged) yaklaşım benimsenirken, pseudo-critical karışım kuralı kullanılarak çok bileşenli gaz davranışının simülasyonlardaki kararlılığı artırılmıştır.

Türbülanslı akış alanlarının çözümü için Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) yöntemi kullanılmış ve türbülans modellemesinde RNG k-ε türbülans modeli tercih edilmiştir. Bu model, yüksek türbülans gradyanları ve düşük Reynolds sayılarında klasik k-ε modeline kıyasla daha yüksek doğruluk sağlamaktadır. Ayrıca, duvar bölgelerinde gelişen karmaşık akış yapılarını daha iyi yakalamak için enhanced wall treatment yöntemi uygulanmıştır. Adaptif mesh rafineleştirme (AMR) yöntemi ile özellikle yüksek hız gradyanlarının ve türbülanslı jet yapılarının oluştuğu bölgelerde çözüm ağı lokal olarak iyileştirilmiş ve böylece çözüm hassasiyeti artırılmıştır. Bu yöntemsel seçimler ve uygulamalar, Kamimoto ve arkadaşlarının deneysel çalışmalarında elde edilen jet penetrasyonu verileriyle başarılı bir şekilde doğrulanmış, gerçekçi ve güvenilir sonuçların alınmasına olanak sağlamıştır.

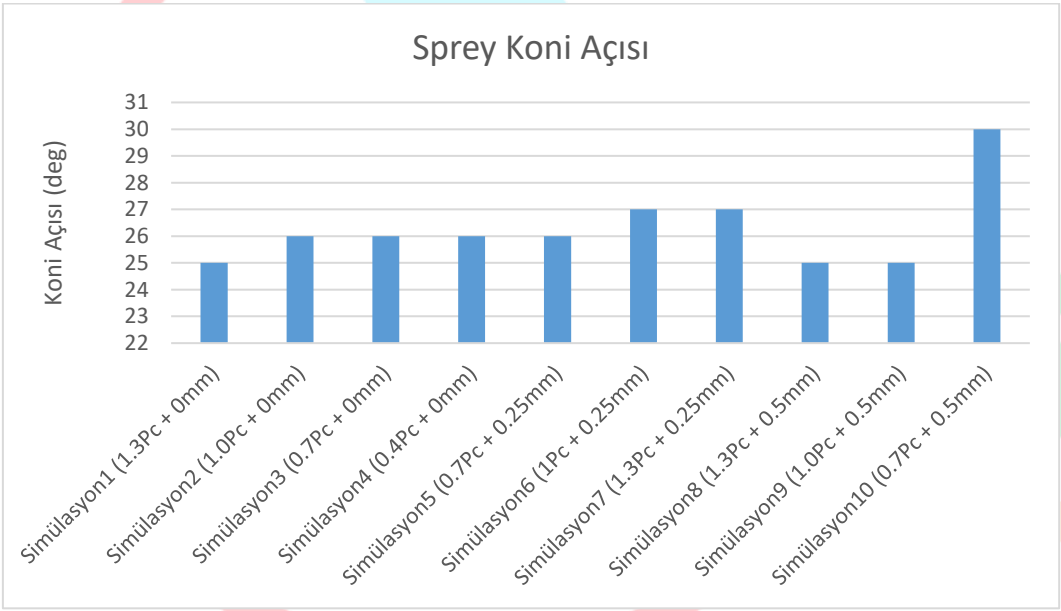


Şekil 1: *Farklı basınç oranlarındaki hidrojen jetinin 1ms anındaki karşılaştırması*

Enjektör geometrisi çeşitli hidrojen sprey özelliklerini gözeterek farklı şekillerde tasarlanmış ve çeşitli sınır şartlarında karşılaştırılmıştır. Bunlardan ilk parametre sprey koni açısıdır. Sprey koni açısı, hidrojen jetinin ortamla etkileşim alanını doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. Farklı geri basınç ve nozul geometrileri kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarda, geri basıncın azalmasıyla sprey koni açısının genişlediği ve nozul ucunda yuvarlatma kullanılmasıyla açının belirgin biçimde arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, karışımın daha geniş bir alana yayılması ve türbülans etkisinin artmasına yol açmaktadır.

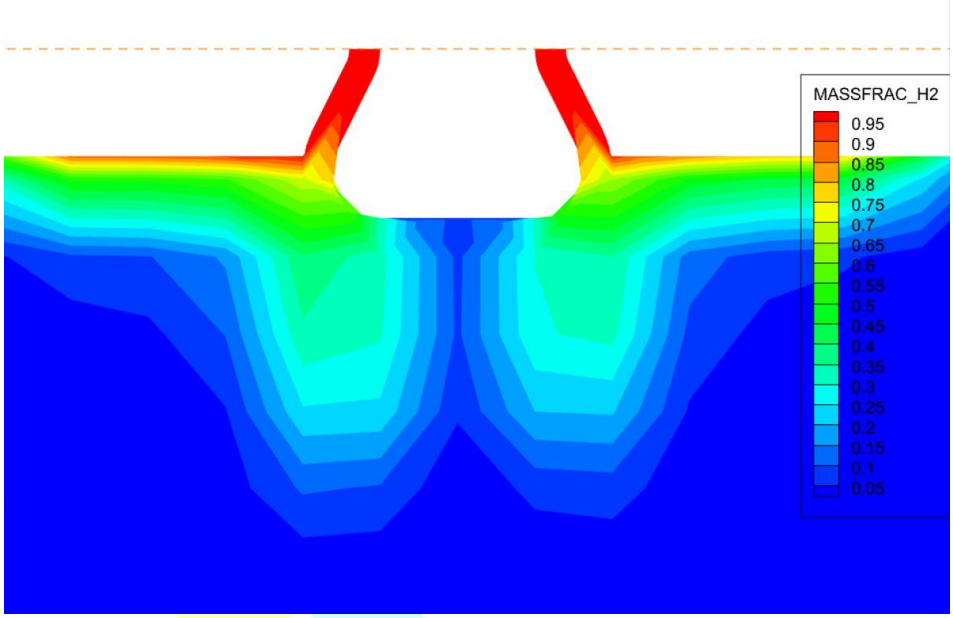


***Şekil 2**: Sprey koni açısı şematik gösterimi (Pham vd., 2022)*

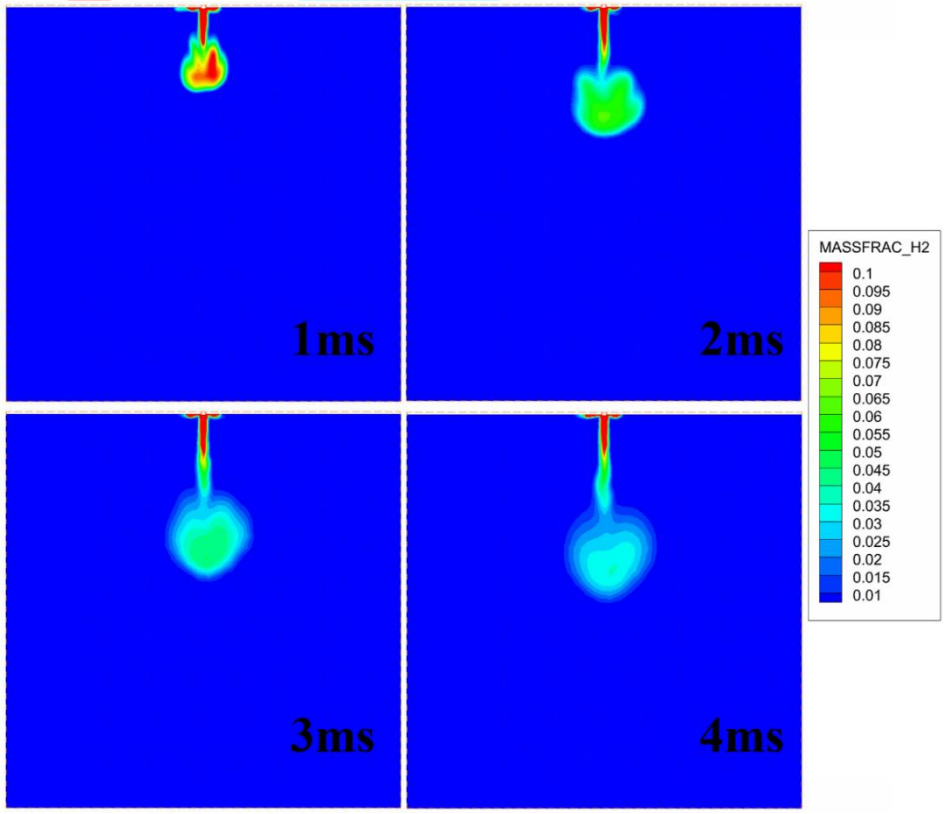


***Şekil 3**: Simülasyonlardaki koni açılarının dağılım grafiği*

Bir diğer incelenen enjektör geometrisi ise iğneli tip enjektör geometrisidir. Enjektörün doğası gereği iğneli enjektör (poppet valf) tipi tasarımların geometri sebepli akışa etkisi göz ardı edilemeyecek seviyededir. İğneli tip enjektör geometrisi kullanımı Coanda etkisini arttırmış, hidrojen jetini konik yayılımdan mantarsı bir görünüme büründürmüştür. Jet penetrasyon boyları marjinal seviyelerde düşmüştür.



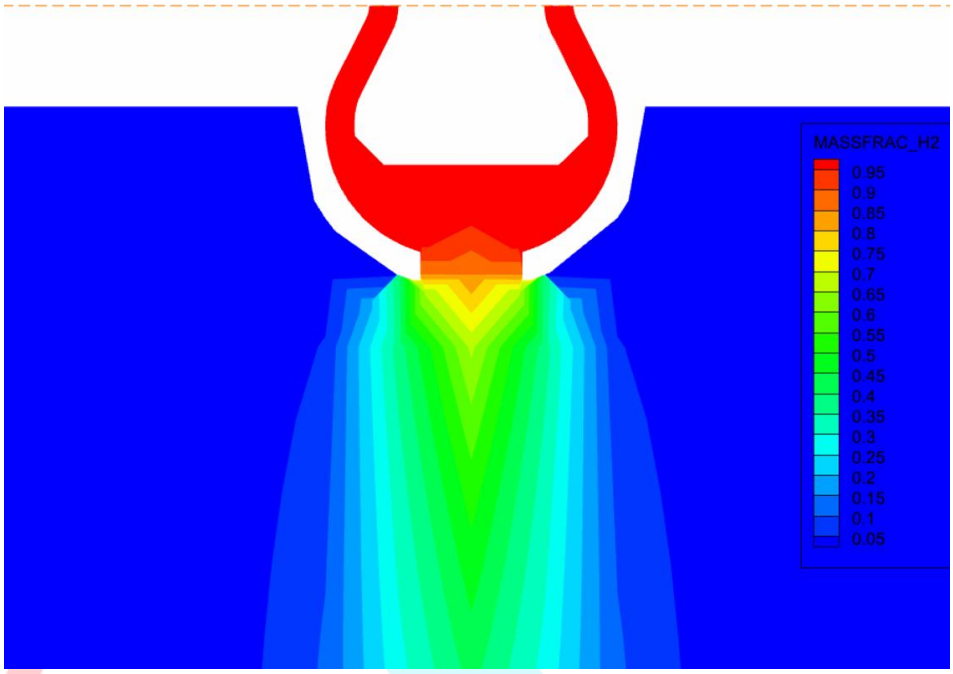
***Şekil 4**: İğneli tip enjektör geometrisinin 1.3Pc basınç oranında enjeksiyon başlangıcındaki 0.1ms görüntüsü*



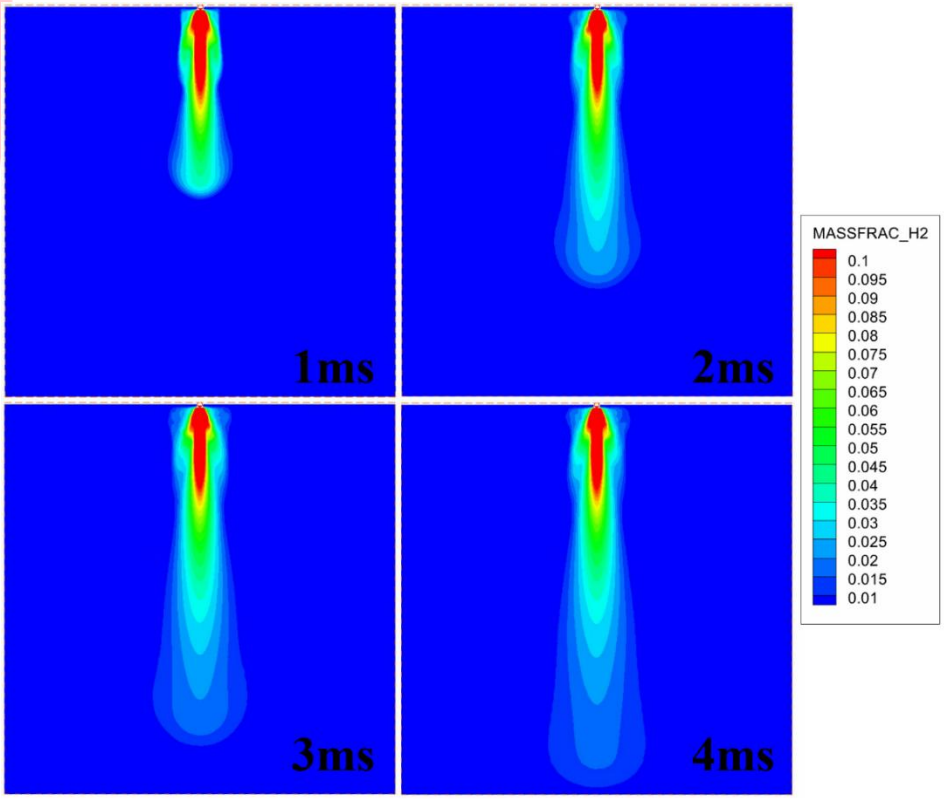
***Şekil 5**: 1.0Pc basınç oranı altında iğneli tip enjektör geometrisinde hidrojen kütle fraksiyonu dağılımının 1 ms, 2 ms, 3 ms ve 4 ms zaman anlarındaki gelişimi.*

Şekil 4'te görülmektedir ki Coanda etkisi sebepli hidrojen jeti yayvanlaşarak, jet penetrasyon boyu marjinal olarak düşmüştür. Önceki simülasyonlarda 4ms anında 70mm'lik silindirik kabın en alt yüzeyine kadar vurarak geri dönen hidrojen spreyi, iğneli geometride ise 35mm jet penetrasyon boyundadır 4ms anında. Bu durum, iğneli tip enjektör geometrisi sonrası hidrojen spreyi düzenleyici bir kep gerekliliğini ortaya koymuştur. Weber ve arkadaşlarının

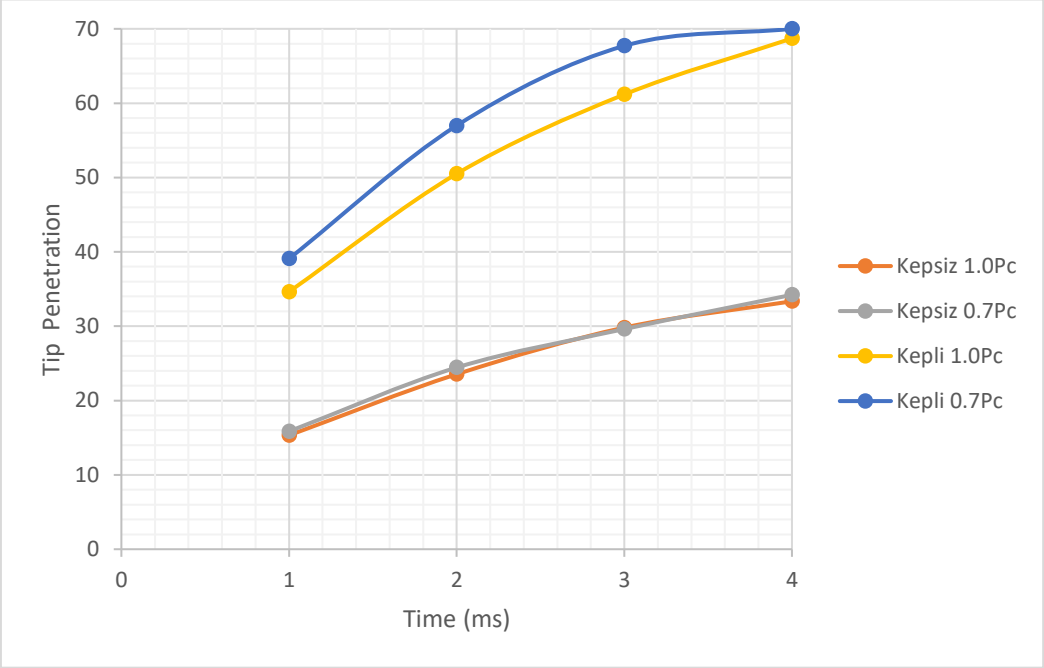
deneysel çalışmalarından esinlenerek tasarlanan kepli enjektör geometrisi simülasyonlara tabi tutulmuştur.



***Şekil 6**: 1.0Pc basınç oranında kepli geometrinin başlangıçta ~0.1ms anındaki simülasyon görüntüsü*

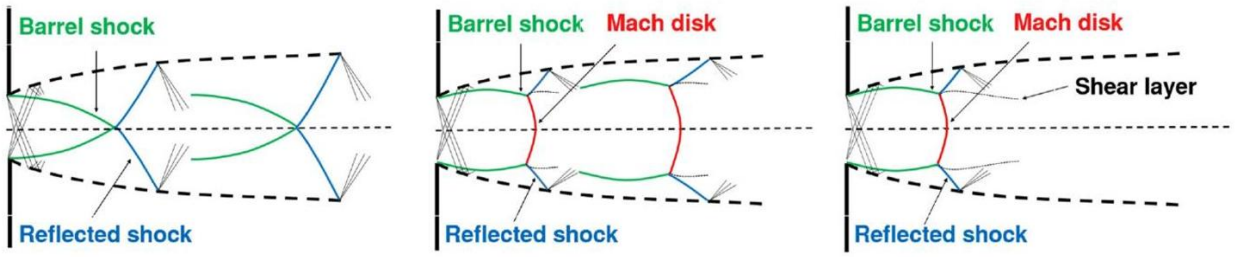


***Şekil 7**: 1.0 Pc basınç oranı altında kep geometrisinde hidrojen kütle fraksiyonu dağılımının 1 ms, 2 ms, 3 ms ve 4 ms zaman anlarındaki gelişimi*



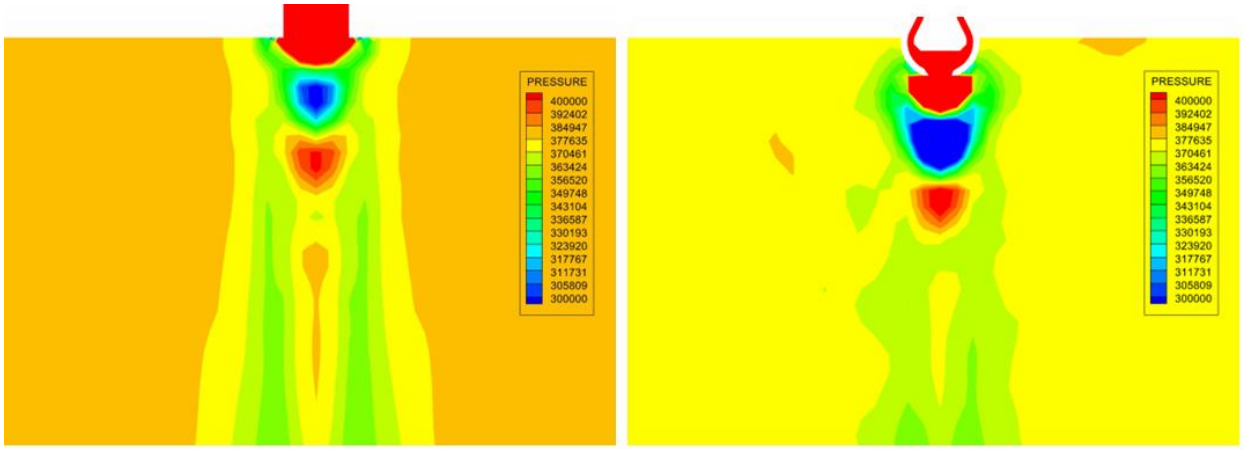
***Şekil 8**: Kepsiz ve kepli geometrilerde jet penetrasyon grafiğinin zamana bağlı gösterimi*

Düşük kritik basınç oranlarında enjektör çıkışında oluşan Mach diskleri ve oblik şok yapılarının hidrojen jetinin gelişimine etkisi incelenmiştir. Bu yapıların underexpanded jet koşullarında oluştuğu Reimer ve arkadaşları tarafından deneylerle ortaya konmuştur. Simülasyonlar, düşük basınç oranlarında jetin Mach diskleri ile oblik şok yapıları oluşturduğunu ve bu yapıların jette süreksiz ve ekstrem fiziki özelliklere sahip bölgeler oluşturduğunu oraya koymuştur. Düz silindirik enjektör nozulu ve kepli nozul bu parametre için incelenmiştir.

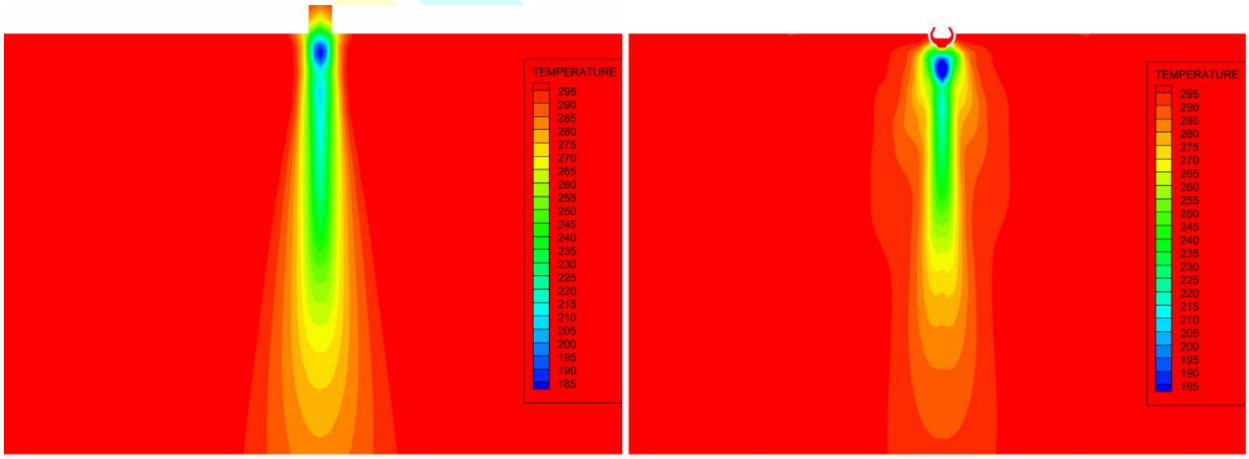


***Şekil 9**: Underexpanded jetlerin farklı formları (Reimer vd., 2023)*

Bu yapıları gözlemleyebilmek için Reimer ve arkadaşlarının kullandığı basınç oranlarına benzer bir oran olan 0.28Pc seçilmiş ve simülasyonlar iki farklı geometri için gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık görünümü göstermektedir ki 185 Kelvin gibi düşük sıcaklıklarda süreksiz bölgeler barrel shock ve mach disk ile örtüşecek şekilde ortaya çıkmaktadır.



***Şekil 10**: Kepsiz ve kepli geometrinin 0.28Pc basınç oranında 1ms anındaki basınç kontur görünümü*



***Şekil 11**: Kepsiz ve kepli geometrinin 0.28Pc basınç oranında 1ms anındaki sıcaklık kontur görünümü*

SONUÇ

Bu çalışmada, hidrojen yakıtlı doğrudan enjeksiyonlu motor uygulamalarında farklı enjektör geometrilerinin sprey karakteristikleri üzerindeki etkileri sayısal olarak analiz edilmiştir. CONVERGE yazılımı ile yürütülen simülasyonlarda elde edilen veriler Tecplot 360 EX ile görselleştirilmiş ve çeşitli parametreler (sprey koni açısı, jet penetrasyon boyu, Mach disk oluşumu, kep varlığı) açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular özetle şu şekilde sıralanabilir:

1. **Sprey Koni Açısı:** Yuvarlatma artışıyla sprey koni açısı belirgin şekilde genişlemiştir. Tüm konfigürasyonlarda ortalama 25–26° olan açı, 0.5 mm yuvarlatmalı nozulda yaklaşık 30°'ye ulaşmıştır.
2. **İğneli Tip Enjektör Geometrisi:** Kep içermeyen iğneli tip konfigürasyonlarda jet yönsüz ve kısa menzilli bir yapıya sahip olmuş, oluşan mantar benzeri sprey yapısı eksenel ilerlemeyi sınırlamıştır.
3. **Kepli Geometri:** İğneli tip geometri ve tek açıklıklı kubbesel kep içeren konfigürasyonda, özellikle Pc=0.7 oranında en uzun jet penetrasyonları elde edilmiştir. Jetin merkezde odaklanarak ilerlemesi, dar ve derin yanma odalarına uygun kararlı sprey yapıları oluşturmuştur.
4. **Mach Disk ve Oblik Şok Yapıları:** Düz ve kepli nozullarda yapılan analizler göstermiştir ki; Mach disk ve oblik şok yapıları 0.28Pc basınç oranında net şekilde gözlenmiştir. Kepli geometriler, çıkışta Prandtl-Meyer süpersonik genişleme fanı etkisiyle ani genişlemeye maruz kalmış ve daha fazla sayıda oblik şok yapısı üretmiş ve her iki geometride de süreksiz bölgeler oluşmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün FYL-2024-6336 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ISBN: 978-625-372-661-4

KAYNAKÇA

Akar, F., Özener, O. (2024). Numerical investigation of in-cylinder gas motion dynamics in a heavy-duty direct injection hydrogen internal combustion engine. International Journal of Hydrogen Energy, 86, 730–741. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.08.338

Kamimoto, T., Kohama, T., Seki, H., Yamamoto, Y., Moriyoshi, Y. (2004). Development of a Transient Hydrogen Jet in a High-Swirl Constant Volume Chamber. In J. H. Whitelaw et al. (Eds.), Thermo- and Fluid Dynamic Processes in Diesel Engines 2. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Pham, V. C., Le, V. V., Yeo, S., Choi, J.-H., Lee, W.-J. (2022). Effects of the Injector Spray Angle on Combustion and Emissions of a 4-Stroke Natural Gas-Diesel DF Marine Engine. Applied Sciences, 12(23), 11886. https://doi.org/10.3390/app122311886

Weber, O., Leberwurst, J., Broz, J., Steinmill, J. (2023). Optimized Hydrogen Injection for Lowest NOx Emissions. 5th International Congress of Hydrogen Technologies. Schaeffler Technologies AG & Co. KG.

Reimer, J., Bucherer, M., Pfeil, J., Koch, T. (2023). Analysis of the Jet Propagation of Hydrogen and Helium with PFI- and DI-Injectors Using BOS. Proceedings of the Conference on Hydrogen Combustion, Karlsruhe Institute of Technology. https://www.researchgate.net/publication/370952719

Duranlı, Ş. (2025), Investigation of the Effect of Injector Geometry on Hydrogen Spray Characteristics by Numerical Simulation Method, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Modeling of Chassis Lifter Moving at Constant Speed on Vehicle Dynamics Software

Berk Can KUL[1]

Abstract

In this study, a chassis lifter system was investigated by Vehicle Dynamics Software with a parametric function. While conventional suspension models utilize a constant preload value, this approach enables greater flexibility in managing suspension height and ride mode transitions purely at the software level. In the proposed model, the preload force is directly linked to driving modes, allowing it to function as a dynamic variable. This eliminates the need for an additional subsystem and implements the height adjustment solely through the preload function.

A time-domain full vehicle analysis was performed to verify the model's accuracy. The results demonstrated that the preload function facilitated a seamless and stable shift between driving modes, allowing ride height changes to occur without disrupting the vehicle's overall dynamic behavior. This study demonstrates a software modeling approach by incorporating preload adjustments through a functional structure rather than a separate subsystem. The methodology does not aim to influence vehicle performance but instead focuses on verifying the correct operation of the function as a modeling technique within the software environment.

The simulation results confirmed that the vehicle maintained consistent dynamic behavior throughout the preload transition, with no abrupt changes in suspension displacement or vehicle attitude, verifying that the preload function successfully achieved its goal of simulating ride height variation purely within the software layer and providing a reliable, streamlined modeling approach for integrating height-adjustable systems into virtual concepts without added complexity.

Keywords: Vehicle Dynamics, Chassis Lifter System, Function Builder, Ride Height

[1] Virtual Analysis Engineer, TOFAŞ, AR-GE, berk.cankul@tofas.com.tr, 0009-0005-7155-8110

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

In modern vehicle design, the ability to adapt suspension characteristics to varying driving conditions has become increasingly important for improving ride comfort, handling, and versatility. One such adaptation is the chassis lifter system, commonly used to alter ride height based on selected driving modes. Traditionally, implementing such a feature in multibody simulation environments requires additional subsystems or additional control logic to manage suspension height.

This study proposes a simplified and integrated approach by embedding ride height control directly into the damper-spring system through a variable preload function. By replacing the constant preload value typically used in standard full-vehicle models with a parametric function to driving modes, the system is capable of adjusting suspension preload—and consequently vehicle height—without the need for an auxiliary subsystem.

The main contribution of this work lies in demonstrating that preload-based ride height control can be achieved within the existing damper-spring architecture of Vehicle Dynamics Software. This method provides a more efficient modeling approach while preserving the model's modularity and simplicity. Although this implementation does not aim to directly affect the vehicle's dynamic behavior, it introduces a new way to simulate height-adjustable systems for validation, prototyping, or control development purposes within Vehicle Dynamics Software simulation environments.

Methodology

In conventional full-vehicle models in Vehicle Dynamics Software, the damper preload is typically implemented as a numerical constant value within the force function of the suspension model. This constant value defines the initial loading state of the suspension but does not allow for dynamic adjustment during simulation [1].

To overcome this, a dynamic preload control was implemented using conditional logic in the form of time-based expressions embedded within the .adm file, accessed after running the background simulation. This method leverages Function Builder of Vehicle Dynamics Software's mathematical capabilities to dynamically model preload changes in response to ride mode transitions without introducing an additional control subsystem [2][3].

Damper force is pre-defined as two variables on Vehicle Dynamics Software,

Variable ID A is refer to damper velocity, and it is measured between upper and lower strut velocity, and value is defined by velocity function:

VariableA = vr (A1,A2),

Upper Strut I part Marker ID: A1

Lower Strut J part Marker ID: A2

Variable ID B is refer to damper force variable and it is defined by velocity-force spline with AKISPL function:

VariableB = -akispl(varval(A), 0, C) * (1-0)-1.0 * (varval(A)) * 0

Damper graph (Velocity – Force) ID number: C

Damper force is written below for right handside, so left ID number is different but the functions are symmetric for RHS and LHS.

,SFORCE/X *(Force ID number, it is assigned for each element)*

,TRANSLATIONAL *(Joint Type between upper and lower strut)*

,I= A1 *(Part ID)*

,J= A2 *(Part ID)*

,FUNCTION = 1.0 * varval (B) *(Force veriable)*

,- STEP (varval (A), -10, -0.0/2, 10, 0.0/2) * (1-0) *(velocity veriable)*

,-Stiffness * (DM(I part,J part) – Spring Length) + PRELOAD *(Stiffness * Working Length + Preload)*

Sforce element for damper force function

Function was modified by replacing the constant preload term PRELOAD with a time-based conditional preload function. This modification allows for dynamic control of preload over the course of the simulation, enabling ride height adjustment according to driving mode.

There are some methods to change vehicle ride height by using the function in below *Figure1*,

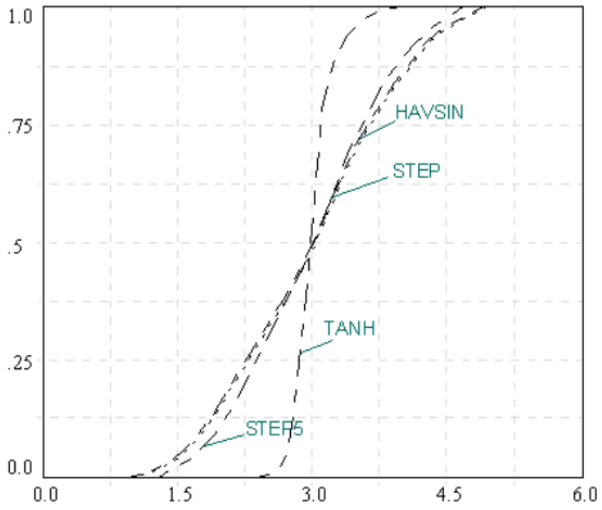


Figure1: Function Builder of Vehicle Dynamics Software STEP Functions

If these functions are applying to damper force function instead of PRELOAD value, Vehicle height velocity is not constant when lift up or down motions. Observation of system velocity is shown in below *Figure2.*

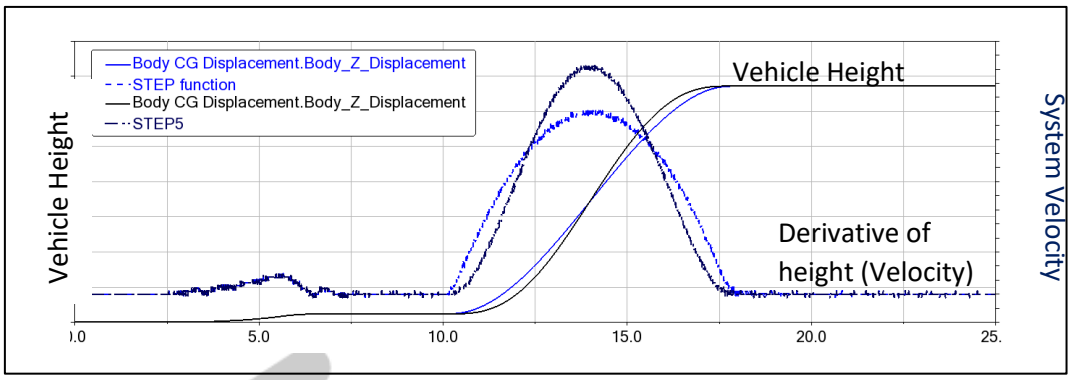


Figure2: STEP and STEP5 Functions Application

The height curve is asymptotic, so when the height curve is derivative of time, velocity curve is not constant cause of vehicle height slope is not constant.

"IF" function is used to provide constant system velocity,

The generated preload function is a time-dependent function and is defined in the .adm file created by solving the background of a time-dependent analysis. The terms TIME used in the function indicate the time at which the ride height of the vehicle is controlled at each damper preload.

To simulate a change in ride height, a time-dependent preload adjustment is applied within a defined time window. The transition begins at a specified starting time and ends at a final time. During this interval, the preload value smoothly changes from its initial value to the final target value at a controlled rate. The rate of change is governed by a constant that ensures a gradual and stable transition. Outside of this time window, the preload remains constant at either the initial or final value, depending on the current simulation time. This method allows for a controlled increase or decrease in ride height without introducing abrupt dynamics into the system. Final Ride height change and system velocity graph is shown below *Figure3*.

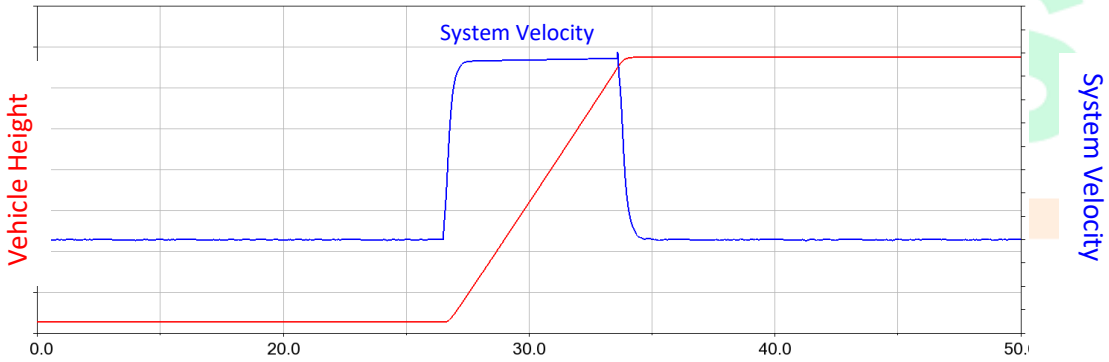


Figure3: System Velocity Calculation on time based Full Vehicle Analysis

This method eliminates the need for an additional subsystem or actuator model, and instead introduces a modular preload-based lifter control. It provides a new way to simulate ride height changes using only the damper's built-in force definition, offering a simplified an effective function for driving modes in virtual vehicle concepts.

Results

The implemented preload function was evaluated through a time-based full vehicle analysis, focusing on the consistency and controllability of the suspension system during ride height transitions. The simulation results confirmed that the vehicle maintained consistent dynamic behavior throughout the preload transition. There were no abrupt changes in

suspension displacement or vehicle attitude, and the system responded in a stable and predictable manner [3].

The simulation results confirmed that the vehicle maintained consistent dynamic behavior throughout the preload transition. There were no abrupt changes in suspension displacement or vehicle attitude, and the system responded in a stable and predictable manner.

These findings verify that the preload function successfully achieved its goal of simulating ride height variation solely within the software layer. The method proved to be reliable, offering a streamlined modeling approach for integrating height-adjustable systems into virtual concepts without additional complexity.

Conclusıon

This study presented a simplified method for implementing a chassis lifter system in Vehicle Dynamics Software by dynamically modifying the preload term in the suspension's damper function. By embedding a time-based preload function into the damper architecture, ride height variation was achieved without additional subsystems or control models [1].

The success of this method in simulation demonstrates the flexibility of Vehicle Dynamics Software' expression language in modeling complex mechanical behavior with minimal model complexity. This work introduces a practical modeling strategy for ride-height systems that can aid in early design-phase simulations and control development studies [2].

While the method does not directly enhance vehicle performance, it introduces a novel modeling strategy within the multibody simulation environment. The approach highlights the flexibility of Vehicle Dynamics Software' mathematical expression capabilities and opens up new avenues for simulating intelligent suspension behaviors without increasing modeling complexity.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

[1] MSC Software. *ADAMS Help Documentation*. MSC Software Corporation.
[2] MSC Software. *ADAMS/Car – Full Vehicle Modeling Guide*. MSC Software Corporation.
[3] MSC Software. *Function Builder Reference Manual*. MSC Software Corporation.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

An Algorithm with Dna Encryption Using Discrete Wavelet Transform and Subblockıng Methods

Gülay ÇAĞLI[1]
Hüseyin ÇAKIR[2]

Abstract

Image encryption is a method developed to ensure the security of digital image data. In this method, pixel values are encrypted and only authorized persons are allowed to access them. Security is provided by rendering the image meaningless with encryption algorithms. In this study, a stronger encryption system that applies both spatial and frequency-based operations on the image is presented by using discrete wavelet transform (DWT), subblock separation and DNA encryption methods together to ensure the security of color images. Thus, encryption is strengthened both locally and statistically. Discrete wavelet transform (DWT) is a method that allows analyzing the image by separating it into different frequency components. Subblocking provides easier encryption by dividing the image into smaller pieces. Each block is encrypted separately. In DNA encryption, image data is converted to binary form as 00-01-10-11. This two-bit group is converted to a DNA base. The obtained DNA sequence is encrypted with the XOR encryption algorithm. The RGB image is decomposed with a single-level DWT for each channel to obtain the LL component, and these components are divided into fixed-size subblocks. Each block is encrypted according to the DNA coding rules and combined to form the encrypted image. Visual and histogram analyses of the system developed using Matlab App Designer have shown that the method provides effective hiding. Thanks to the user-friendly application applied, the image selected with three different methods can be displayed in its encrypted form. The decryption result is also seen. In this way, image storage and transfer has become more secure.

Keywords: Encryption, decryption, subblocking, wavelet, DNA

[1] Master's Degree Student , Gazi University, Institute of Informatics, gulay.cagli@gazi.edu.tr, Orcıd: 0009-0004-4627-6085

[2] Doc. Dr. , Gazi University, Computer and Instructional Technologies Education, hcakir@gazi.edu.tr, Orcıd: 0000-0001-9424-2323

ISBN: 978-625-372-661-4

1. INTRODUCTION

Image encryption is becoming more and more important with increasing technology. Encryption is a technology needed in many sectors that require security such as military, medical, and banking transactions. In order to ensure security in the transfer and storage of digital images, image encryption technology has become a technology that needs to be continuously developed. Encryption and watermarking methods have been developed. With these developed methods, digital data is protected from unauthorized access and data integrity is ensured. Methods such as digital watermarks, steganography, and visual cryptography have been developed. Digital watermarks are placed on documents to protect the copyright of documents. Steganography is the application of hiding information in another message or physical object in order not to be detected. Visual cryptography separates different layers that reveal the original image when combined. However, data security has not been sufficiently ensured with the algorithms developed today. Since decryption processes are performed by unauthorized persons or persons, there is a need for continuous development of encryption algorithms. The more chaotic encryption algorithms are applied, the more difficult the job of crypto analysts becomes.

Traditional image encryption algorithms such as symmetric encryption, asymmetric encryption, ECC, 3DES, AES and IDEA are designed to protect text data and are inefficient in protecting digital multimedia content due to their large size [7]. Symmetric encryption (AES, DES) is an encryption method that uses the same key for decryption. Asymmetric Encryption (RSA) is a method that uses different keys. Classical encryption methods are insufficient due to the large size and correlation structure of images [9]. Recently, new algorithms have been studied. These are categorized as XOR operations, chaotic encryption methods, pixel position permutation, value transformation [1]. Mathematical functions and chaotic systems are used in chaotic encryption methods. Digital data is made unreadable with mathematical operations [17]. Thus, encryption is performed. The encrypted data is made readable again with the correct key and decryption, i.e. decryption, is performed.

When similar studies are examined in the literature, there are many applications where different encryption algorithms are used separately. In the study prepared by Kumari et al., a study on image encryption techniques and various performance measurements such as the working logic of these techniques, differential, statistical and quantitative attack analyses were presented [3]. In the study prepared by Kumar and Srivastava, a study was conducted on a series of image encryption algorithms based on chaotic maps [2]. Parvaz and Zarebnia conducted a study on the development and analysis of chaotic systems [4]. In the study prepared by Bao and Zhou, a new image encryption system was created. A study in which simulation results and security analysis and encryption performance measurements of the proposed method were made was presented [5].

In 2015, a lossless visually meaningful image encryption scheme was proposed by Bao and Zhou. The proposed scheme consists of two stages. The first stage is defined as preprocessing, the second stage is defined as data embedding. The preprocessing stage encrypts the input plain image using an existing scheme to create a random image. The aim of this stage is to increase the security level of the proposed scheme. If the secret image is not very sensitive, this stage can be skipped. The embedding stage, which is the main contribution of this study, is performed in the frequency domain. It decomposes the main image into four sub-bands, namely a proximity matrix and three detail matrices, using 2D Discrete Wavelet Transform

(DWT). Then, it mixes the (mixed) image resulting from the pre-processing stage into the detail coefficients. Finally, the final stego-image is generated via the inverse transform. Simulation results show that the proposed scheme produces high-quality stego images and is robust against a range of security threats. Bao and Zhou method is the first known VMIES (Visual Meaningful Image Encryption Scheme) method in the literature [5]. It consists of pre-encryption and reference image encryption parts. In this method, it is clearly seen that the pre-encryption method can use one of the secure image encryption methods in the literature. The originality of the method is the reference image encryption [1]. Image-specific, biologically based and frequency space-based methods offer more effective solutions [10].

Studies have been conducted to increase security by combining frequency-based methods and spatial methods. Geng et al. proposed an image encryption algorithm using discrete wavelet transform and DNA coding methods together. The image was first separated into its components with DWT. The resulting sub-bands were mixed with the Hilbert curve method. The recombined image was encrypted with DNA coding. With this developed method, both the content was hidden and stronger protection against attacks was provided [20].

Zhang and Wen proposed a two-layer dynamic feedback structure and DWT-based information hiding method. In their work, the image was first separated into frequency components and then DNA encryption was performed. The effect of each pixel on the encryption process was increased with dynamic feedback. The developed method provided more secure image transmission compared to traditional methods [21].

Zou et al. developed a new encryption algorithm based on DNA coding and supported by chaotic systems for color images. In this method, image data was first converted to DNA sequences, and then mixing (permutation) and diffusion operations were performed with the help of chaotic maps. In particular, changing DNA strands and mixing data according to the control parameters of chaotic structures increased the security of the encrypted image [22].

The aim of this study is to prepare an application with DNA encryption using both discrete wavelet transform and sub-block separation methods by taking advantage of chaotic encryption methods. Decryption will also be done by applying the reverse of the encryption operations. It is anticipated that this application will be the key to the applications to be developed later.

2. CONCEPTUAL FUNDAMENTALS

In this section, the definition, advantages and disadvantages of the concepts studied are explained.

2.1. Discrete Wavelet Transform (DWT)

It is a transformation method that allows the analysis of the image by separating it into different frequency components [16]. This method provides the ability to examine the signal in both time or space and frequency domains. It can observe the changes in the signal depending on frequency and time. DWT expresses the image or signal with small wave-like functions called wavelets [11].

It works by separating the image into high and low frequency components. It performs this process in several stages.

2.2. Block Based Partitioning

The process of dividing an image or signal into smaller pieces, namely sub-blocks. This method is generally used in applications such as image processing, data compression, video encoding and analysis. Each sub-block represents a portion of the image and operations

(e.g. filtering, compression, encryption) are performed on these smaller blocks. Sub-blocking is useful for easier processing and analysis of data.

2.3. DNA Encryption

It provides encryption of digital data using the 4 nucleotide bases of DNA. It can store large amounts of data in very small sizes. Therefore, it offers high efficiency and security. DNA encryption is done with algorithms that mimic biological DNA sequences. Digital data is in binary format. This binary data is converted to the four bases of DNA [13].

3.MATERIALS AND METHODS

There are two stages in the thesis study: encryption and decryption. The general flow of the study is presented in Figure 3.1.

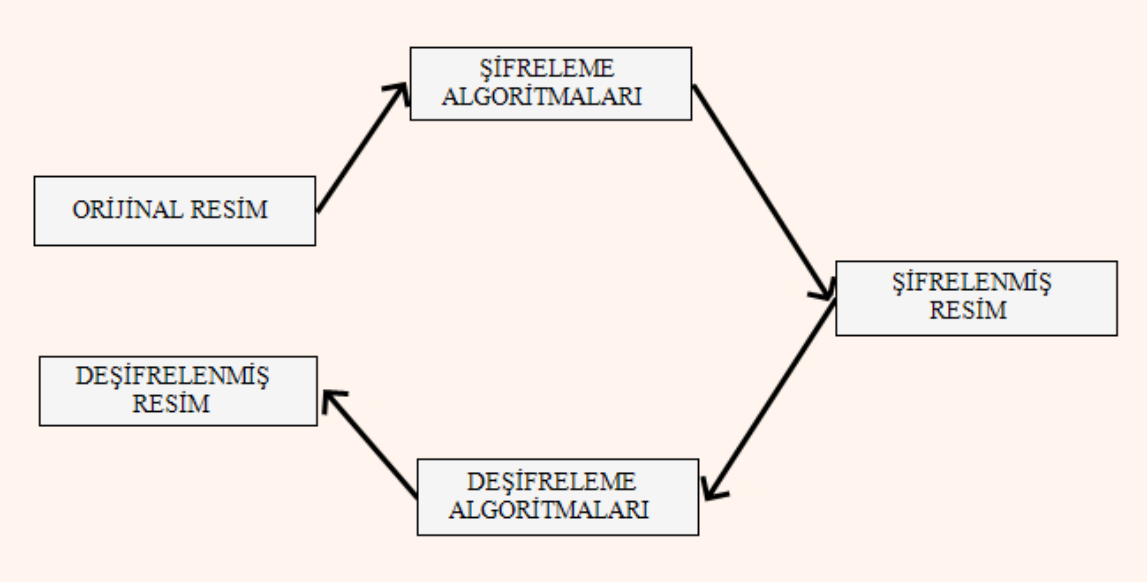


Figure 3.1. Recommended approach

The steps for image encryption in Matlab are given below.

1. Image Loading: The image is loaded with the imread function.
2. DWT Application: Discrete wavelet transform is applied to the image with the dwt2 function.
3. Block Separation: The coefficiencies obtained after the transformation are separated into blocks.
4. DNA Encryption: The encryption algorithm is applied by representing the blocks with DNA sequences.
5. DNA-Based Vernam Encryption: The data is subjected to XOR operation with a randomly generated DNA sequence.
6. Inverse Transformation: The idwt2 function is used to retrieve the encrypted image.
7. Decryption

4. FINDINGS

There are many algorithms and encryption methods used in encrypting an image. Image encryption analysis can be performed to examine the results obtained from these encryption algorithms used in image encryption and to determine whether a change has been made to an image [6]. For the analysis of encryption algorithms; various security analyzes are performed to measure the security of the image such as histogram analysis, correlation coefficient, linear

and differential attack (NPCR), information entropy analysis, encryption quality, key space analysis and encrypted keying [8].

With histogram analysis, the frequency distribution of the pixel values of the image is shown graphically. A histogram is a graph showing the distribution of statistical data sorted into groups. A typical histogram consists of an x-axis, a y-axis and rectangular bars. The value group is located on the x-axis, while the y-axis shows the frequency number.

There should be no similarity between the histogram of the encrypted image and the histogram of the original image. The more homogeneous the distribution of the histogram, the more successful the encryption is considered and the more difficult the decryption process becomes. However, only the difficulty of deciphering the password does not indicate that the encryption method is useful. In addition to the difficulty of deciphering the password, it is useful in that it has a performance advantage over other algorithms with the current number of operations. The analysis methods used reveal the quality of the encryption [1]. The histogram result of the original image is presented graphically with the visual Figure 4.1, and the histogram result of the encrypted image is presented graphically with the visual Figure 4.2.

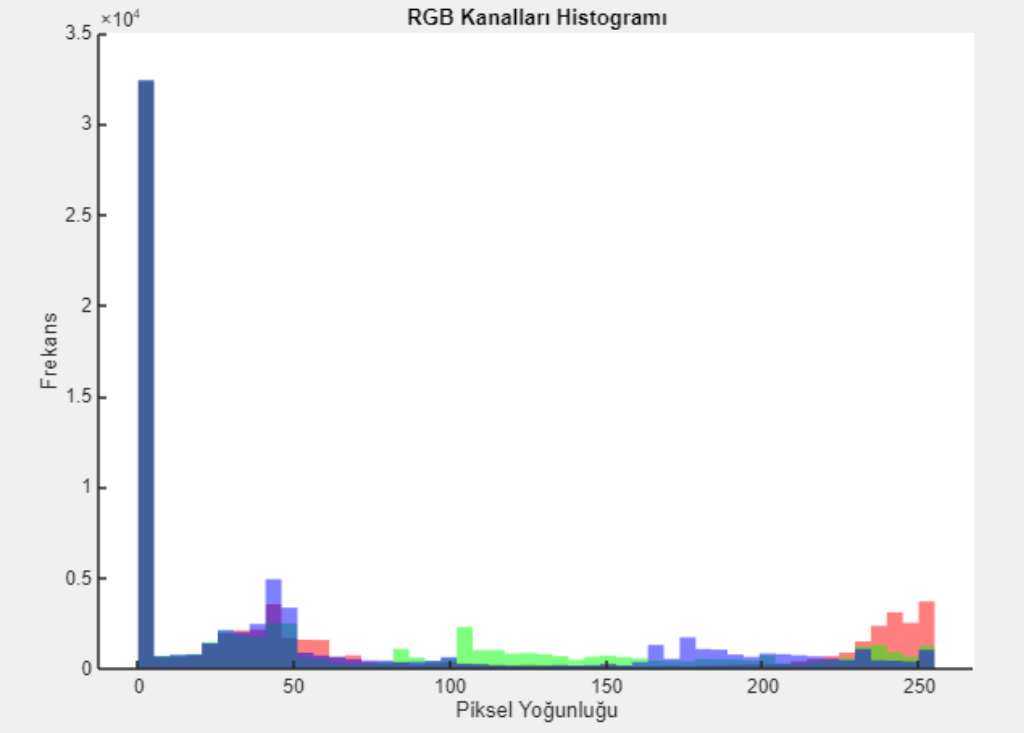


Figure 4.1. Histogram result of the original image

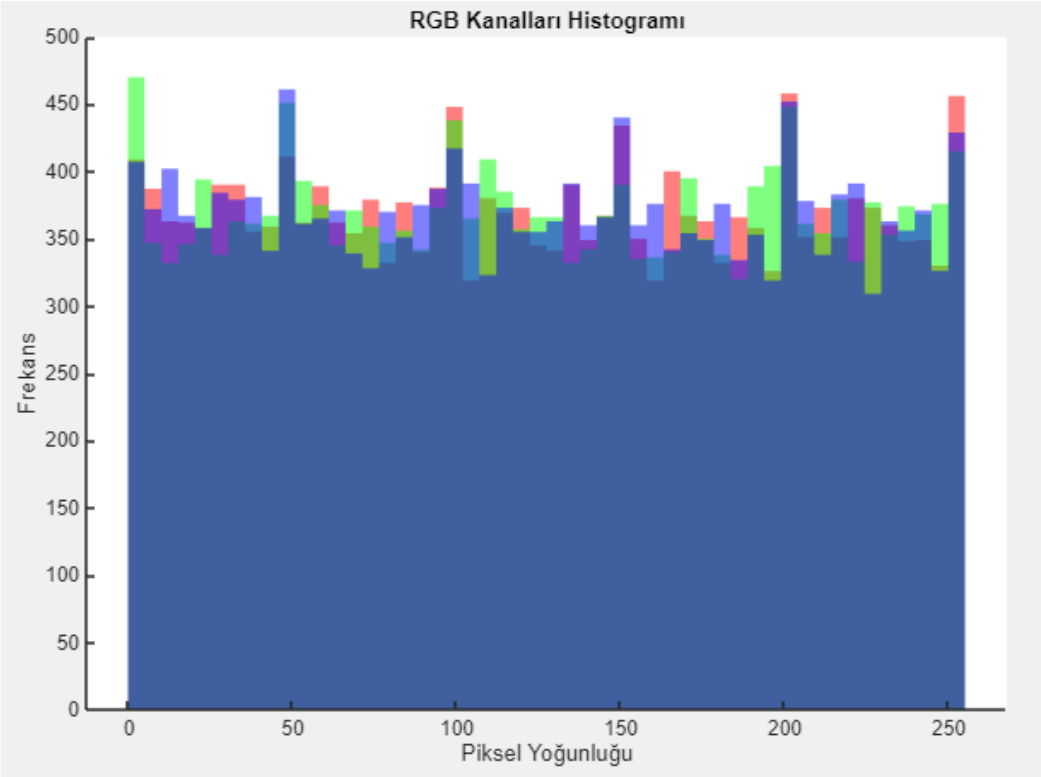


Figure 4.2. Histogram result of encrypted image

In image histograms, the frequency value shows how often the pixel density repeats. As seen in Figure 4.1, the pixel values in the histogram of the original image are concentrated in certain intervals. In Figure 4.2, the histogram of the encrypted image shows a homogeneous distribution. This shows that the encryption algorithm provides visual information loss by randomizing the pixel values and increases the security of the image.

A system that encrypts and decrypts the image selected by the user using the developed algorithm on a GUI created with MATLAB is presented within the scope of the study.

6. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this thesis, an algorithm using discrete wavelet transform, sub-block separation and DNA encryption was developed. The relationship between the original image and the encrypted image was observed with histogram analysis. The complex algorithm developed made the decryption process difficult. The aim of the proposed algorithm in the study is to be more secure than simple algorithms in the image storage and transfer process. When the literature is examined, it can be seen that all three methods are used independently of each other.

The existence of other algorithms in the literature and the fact that the decryption process is getting easier with the constantly developing technology can be considered as a limitation. Researchers should first develop algorithms with post-quantum security levels resistant to quantum computers.

In the next study, security can be increased in encryption with different algorithm methods. Low resolution was obtained in images with DWT. Algorithms that can work with high resolution can be prepared. Blocking increased the security of DNA operations and provided encryption diversity. I have used the DNA Based Vernam Encryption method. DNA encryption also offers different methods. These are; expansion and permutation methods, encryption with polymeric chains, etc. In future studies, it is planned to integrate multi-level DWT and chaotic maps into the system.

ISBN: 978-625-372-661-4

RESOURCES

Atalay, N. S., Doğan, S., Tuncer, T., & Akbal, E. (2019). İmge Şifreleme Yöntem ve Algoritmaları. DÜMF Mühendislik Dergisi, 10(3), 815-831. http://dergipark.gov.tr/dumfGülesin.

Kumar, S. (2014). Image encryption using Simplified Data Encryption Standard (S-DES). International Journal of Computer Applications, 104(2), October.

Kumari, M., Gupta, S., & Sardana, P. (2017). A survey of image encryption algorithms. 3D Research Center, Kwangwoon University and Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature. https://doi.org/10.1007/s13319-017-0148-5.

Parvaz, R. (2017). A combination chaotic system and application in color image encryption. University of Mohaghegh Ardabili, Department of Mathematics, Ardabil, Iran.

Longbao, L., & Yicong, Z. (2015). Image encryption: Generating visually meaningful encrypted images. University of Macau, Department of Computer and Information Science, Macau, China.

Ping, P. (2017). Designing permutation substitution image encryption networks with Henon map. Hohai University, College of Computer and Information, Nanjing, China.

Liu, S., Guo, C., & Sheridan, J. T. (2014). A review of optical image encryption techniques. Electronic and Communication Engineering, 57, 327–342. University College Dublin, School of Electrical, Electronic and Communication Engineering, Dublin, Ireland.

Uzaktan Eğitim. (n.d.). Histogramlar nedir? Tanım, türler ve nasıl oluşturulur. https://uzaktanegitim.com/blog/histogramlar-nedir-tanim-turler-ve-nasil-olusturulur.

Wang, X., & Zhang, Y. (2010). A novel image encryption algorithm based on DNA sequence addition operation. International Journal of Computer Applications, 24(6), 1–6.

Liu, H., & Wang, X. (2011). Color image encryption using chaotic maps. Chaos, Solitons & Fractals, 42(5), 2513–2522. https://doi.org/10.1016/j.chaos.2011.04.022

Coşkun, M. (2017). DNA şifreleme algoritmalarıyla görüntü güvenliği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(3), 487–496. https://doi.org/10.35414/akufemubid.356407

Fu, C., Lin, D., & Miao, Y. (2012). A chaos-based digital image encryption scheme with an improved permutation–diffusion structure. Optics Communications, 285(9), 2325–2333. https://doi.org/10.1016/j.optcom.2011.12.089

Ye, G., Zhao, S., & Tang, K. (2010). A novel chaos-based image encryption scheme with an efficient permutation–diffusion mechanism. Optics Communications, 284(22), 5290–5298. https://doi.org/10.1016/j.optcom.2010.07.042

Zhang, Y., & Xiao, D. (2016). An image encryption scheme based on DNA encoding and chaos map. Multimedia Tools and Applications, 75(24), 17761–17784. https://doi.org/10.1007/s11042-015-2783-5

MathWorks. (2024). MATLAB App Designer documentation. https://www.mathworks.com/help/matlab/app-designer

Demirci, K. T. (2020). Görüntü iletiminde wavelet tabanlı rastgele permütasyon ile bir şifreleme metodu geliştirilmesi [Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi].

Ambritha, T., & Poorani Sr., J. (2016). Visual cryptography scheme for colored image using XOR with random key generation. International Journal of Engineering and Computer Science, 5(4). https://doi.org/10.18535/ijecs/v5i4.45

Hazarika, N., Borah, S., & Saikia, M. (2014). A wavelet based partial image encryption using chaotic logistic map. In 2014 IEEE International Conference on Advanced Communications, Control and Computing Technologies. IEEE.

Rakesh, S. (2012). Image encryption using block-based uniform scrambling and chaotic logistic mapping. International Journal on Cryptography and Information Security, 2(1), 49–57. https://doi.org/10.5121/ijcis.2012.2105

Geng, S., Li, J., Zhang, X., & Wang, Y. (2023). An image encryption algorithm based on improved Hilbert curve scrambling and dynamic DNA coding. Entropy, 25(8), 1178. https://doi.org/10.3390/e25081178

Zhang, J., & Wen, H. (2024). Secure image communication based on two-layer dynamic feedback encryption and DWT information hiding. PLOS ONE, 19(8), e0300228. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300228

Zou, C. Y., Wang, X. Y., Zhou, C. J., Xu, S. J., & Huang, C. (2022). A novel image encryption algorithm based on DNA strand exchange and diffusion. Applied Mathematics and Computation, 430, 127291. https://doi.org/10.1016/j.amc.2022.127291

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Application of Talk Filler in Plastic Materials and Its Effect on the Material

Ahmet SUCU[1]
Alp Eren ENGIN[2]

Abstract

This paper investigates the role of talc filler in plastic materials utilized in the automotive industry and evaluates its impact on the mechanical and thermal properties of polymer-based components. Automotive applications require materials that fulfill various criteria, including structural integrity, thermal stability, ease of processing, and reduced weight for improved fuel efficiency. Talc, a widely used mineral filler, is incorporated into polymer matrices to enhance stiffness, dimensional stability, and heat resistance. These enhancements make talc-filled plastics suitable for under-the-hood components, interior trim parts, and other structural applications. However, while increasing the talc content can improve strength and rigidity, it often leads to reduced impact resistance and elasticity, posing limitations in applications where flexibility or toughness is essential. This paper presents a comprehensive overview of the advantages and drawbacks of talc fillers in automotive plastics, with a focus on balancing performance requirements through optimized filler content and potential hybrid filler strategies. It also discusses the influence of talc particle size, shape, and dispersion on final part performance. By understanding the trade-offs and engineering considerations, this work contributes to the development of more efficient and application-specific polymer formulations for the evolving needs of the automotive sector.

Keywords: Plastic Stiffness, Durability, Talk, Thermal Resistance

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd:
[2] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd:

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

Lightweight and high-performance materials have become more and more in demand in the automotive industry over the past few decades. Due to their affordability and versatility, plastics have emerged as the most widely used material class. However, the materials frequently need to be adjusted in order to meet the high requirements of mechanical performance, processability, and thermal resistance. Talc filler is the most often used additive to improve the performance of plastics. The use, benefits, and drawbacks of talc filler for automobile plastic parts are covered in this article.

1.TALC FILLER

1.1 Chemical Composition and Properties

The metamorphic mineral talc, or Mg3Si4O10(OH)2, is found in solid form. Hydrated magnesium silicate is the full scientific term. Although talc can be found naturally as a rock known as soapstone or steatite, it is typically found alongside other minerals like carbonate and chloride. The most common colors of talc are blue, white, gray, brown, or colorless. Talc is ground into a white powder and combined with other materials to create what is known as talcum powder in a variety of sectors, including plastics, cosmetics, paper, and more. Moreover, "soft stone" is another term for talc. As the name implies, this stone is utilized extensively in sculpture because of its unique softness.

It may be claimed that "talcum powder" or "soft stone" has very special qualities that are widely employed in various fields because of the following 5 exceptional features:

- •Moderate softness (Talc has the lowest hardness among other minerals in nature)
- •Very smooth, similar to soap when it comes into contact
- • Good electrical insulation, good insulation, high melting point, low thermal expansion
- • Force with organic substances (can react with organic substances)
- • Is an inert chemical

1.2 Industrial Applications

In the plastics business, talc is used extensively by masterbatch manufacturers to create filler masterbatch. Talc, a high-content plastic filler component, will boost the hardness of several base resins, including polyester, nylon, vinyl, polypropylene, and plastic. Additionally, it can be applied as an anti-stick agent, antifreeze, lubricant, smoothing agent, etc.

2. ROLE OF TALC FILLER MASTERBATCH IN PLASTİCS PRODUCTION

2.1 Composition of Talc Filler Masterbatch

A combination of talc powder, base resin, and auxiliary additives makes up the Talc Filler masterbatch. Masterbatch talc filler is thought to be the best plastic filler since it helps the masterbatch manufacturer increase productivity while lowering manufacturing costs. A specific percentage of main plastic (the raw material used to make products made of plastic) can be substituted with the plastic masterbatch that contains talc powder. The production of plastic is using more and more resources, so this is a smart way to conserve raw materials while reducing the amount of crude oil used. Another amazing impact is that the talc filler will

significantly enhance the plastic's properties, increasing the value of the final plastic products on the consumer market.

Talc filler masterbatch contributes positively to the plastics sector, particularly the masterbatch business, with superior benefits in the following areas. They perform the following superior functions:

•Increase heat resistance of plastics

•Support plastic products to improve its abrasion and slip resistance when touching other products' surfaces

•Reduce plastic shrinkage, support shaping and stabilize product sizes easily

•Improve printing characteristics on the surface of material, limit using surface treatment by corona.

•Improve plastic durability

•Anti-blocking plastic, flatten surface without anti-block additives (enhance anti-block property)

2.2 Functional Advantages in Processing

Since it can be used in almost all conventional processes, including bag blowing, injection molding, extrusion molding, compression molding, etc., without the need for equipment or process technology modification and upgrade, talc filler masterbatch is highly sought after by masterbatch manufacturers. All forms of packaging (food bags, shopping bags, garbage bags, bottles, food containers, etc.), hollow tubes, plates, electric covers, bowls, plates, etc., require the processing of talc fillers mixed with talcum powder.

2.3 Applications in Automotive Components

Let's examine a particular instance of the automotive industry's use of talc filler masterbatch. The hardness and impact resistance of PP base resin can be enhanced by plastic fillers made of talc powder, PP resin, and additional additives. In order to prevent the product output from warping at high temperature conditions, the talc powder can also decrease the thermal expansion coefficient by less than 20% and raise the bending coefficient by 20%. This combination is perfect for making automotive high-impact parts, balance parts, and dampers.

3. INVESTIGATION OF EFFECTS OF TALC FILLER RATIO

3.1 Experimental Design and Bio-Nanocomposite Formulations

This study used an ultra-high-speed melt thermokinetic mixing procedure to first prepare thermoplastic potato starch and delaminated nano-talc-based sustainable bio-nanocomposite PP samples. In order to identify the best bio- and nanofillers, the bio-nanocomposite's spectral, mechanical, thermal, and optical characteristics were investigated. In the first place, the percentage of thermoplastic starch in the PP matrix was maintained at 15, 20, and 25%. Of these, the 20% starch content had tensile strength, elongation, flexural strength, MFI, and melting point of 28.32 MPa, 2.24%, 43.35 MPa, 14.36 g/10 min, and 167.6°C, respectively, which was comparable to other formulations. In the second step, the PP matrix's starch content was maintained at 20%, while FTIR and XRD spectroscopy were used to identify the 1, 3, and 5% talc substitutes used as nano-filler. This guaranteed the uniform dispersion of the starch and nano-talc molecules in the PP matrix as well as their crystal size in the bio-nanocomposite. All of the bio-composites had higher d-spacing than the pure PP, which was indicative of loose packing and disoriented starch molecules in the crystalline structure.

3.2 Spectral, Mechanical, and Thermal Characterization

The addition of nanotalc to the 20% starch bio-composite likewise resulted in a decrease in the d-spacing, confirming the nucleating impact of talc molecules and lowering their d-space. This indicates that the nanoparticles are more evenly distributed and closely packed within the PP matrix. While UV-Vis investigations revealed the starch's photosensitizer nature, which was the cause of the bio-composite materials' higher UV absorbance, XRD results also showed that the starch molecules were disoriented. The nucleating effect of nano-talc in the bio-nanocomposite (PPSTTL 2003 and 2003) with nano-talc loadings of 3 and 5% counteracted the effect. When exposed to significant thermal stress for an extended period of time, the bio nanocomposite's thermal behavior improved as a result of improvements in thermal stability and a decrease in enthalpy shown by DSC and TGA measurements. This change in its mechanical properties may also lead to a reduction in enthalpy. The flexural characteristics of the bio-nanocomposite were similar to those of pure PP; however, melt flow experiments showed that the addition of nanomaterials significantly reduced processability while increasing starch content. We can wrap up by presenting the positive results that suggest successful integration.

Rarely used pure, PP is frequently converted into composites by adding reinforcements or fillers to satisfy strict structural and technical requirements. According to our research, the most often used filler, even at lower concentrations, had an impact on the surface layer structure of PP-talc composites. Although there were notable modifications with the increased talc filling, the talc content improved the material's elasticity and hardness. It's interesting to note that the size-indentation e_ect magnitude was low for a 25 weight percent talc concentration, indicating a more uniform talc particle dispersion. Although the talc content had an impact on scratch resistance, as measured by penetration depth, it had no effect on the friction on the surface layer of samples made using the injection-molding method. Additionally, XRD studies showed that the degree of PP crystallinity in the surface layer reduced as the talc content increased, which most likely started the exfoliation process inside the PP matrix.

The present study developed and characterized two composite materials, PP-MT30 and PP-GF30, to serve as a middle layer in a three-layer sewage pipe. Injection-molded specimens underwent a number of tensile tests. According to the findings, the usage of glass fiber-filled PP and talc-filled PP raised Young's moduli by 289 percent and 124%, respectively. This broad increase in material hardness would enable the production of pipes with reduced thickness, which would result in a significant reduction in cost. Additionally, the inclusion of fillers raised the polypropylene matrix's crystallization temperature, according to differential scanning calorimetry (DSC) study. Better tensile characteristics are the cause of filled polypropylene composites' increased crystallinity. Additionally, a good filler-matrix interaction with a good filler distribution and dispersion was shown by SEM micrographs.

4. RESULTS AND DISCUSSION:

Important information on the compatibility and performance of talc-reinforced bio-nanocomposites was supplied by the FTIR, XRD, and tensile test spectroscopic investigations. Higher talc concentrations were associated with improved stiffness, thermal stability, and crystallinity, albeit to some extent at the expense of elasticity and processability. Notably, the use of talc enhanced the end products' resistance to surface scratches and limited thermal expansion, making it ideal for use in automotive components like impact absorbers and dampers.

5. CONCLUSION

Talc filler masterbatch is the perfect addition for the automotive plastics sector since it significantly improves the qualities of plastic materials, such as increased durability, structural rigidity, and heat resistance. The overall advantages in mechanical and thermal performance

are significant, even though the decrease in flexibility and processability with increased talc content must be taken into account. In order to achieve even greater performance at reduced material costs, future research should examine the best filler combinations and sophisticated nanocomposite architectures.

ISBN: 978-625-372-661-4

6. REFERENCES

Helena, , A, K. M., , B., Georges, , , C. B., Wadih, , , Y. C., Marwan, , , A. R. C., Houssem, , , B. A. ve Alhussein, A. (2022). Development of glass fiber/talc-filled polypropylene composites for use in multilayer sewage pipes application. Composites Meet Sustainability – Proceedings Of The 20 Th European Conference On Composite Materials.

Sarrionandia, M., Lopez-Arraiza, A., Aurrekoetxea, J. ve Arostegui, A. (2009). The structure and mechanical properties of the surface layer of polypropylene polymers with talc additions. Journal Of Applied Polymer Science.https://doi.org/10.1002/app.30080

Goswami, R., Khosla, A. ve Varshney, A. A. A. P. K. (2025). Experimental investigation on the spectral, mechanical, and thermal behaviors of thermoplastic starch and de-laminated talc-filled sustainable bio-nanocomposite of polypropylene. Journal Of The Mechanical Behavior Of Materials.https://doi.org/10.1515/jmbm-2024-0031.

https://europlas.com.vn/en-US/blog-1/what-is-talc-filler-masterbatch-how-was-it-produced-and-applied-2#:~:text=In%20the%20plastic%20industry%2C%20Talc,%2C%20plastic%2C%20nylon%20and%20polyester.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Surface Coatings for Solar Resistance in Plastic Materials in the Automotive Industry

Ahmet SUCU[1]
Mümin BAHAR[2]

Abstract

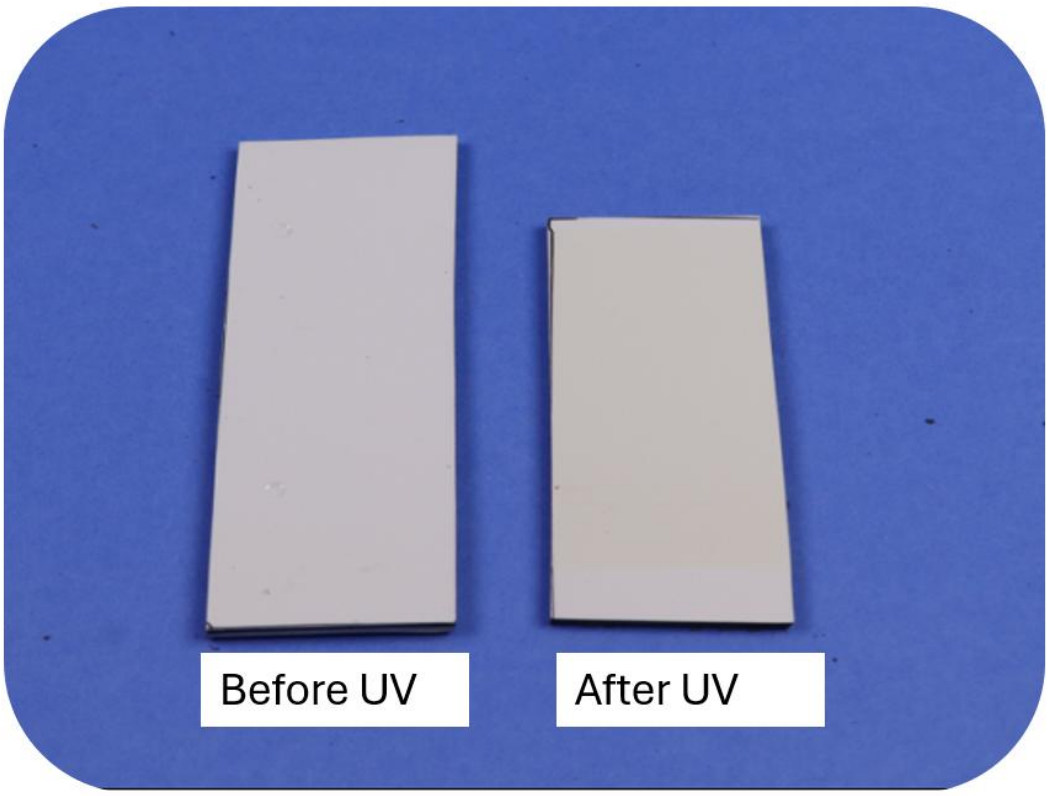
In the automotive sector, plastic materials are commonly utilized due to their lightweight nature, aesthetic appeal, and safety advantages. Nevertheless, the exterior components of a vehicle, which are subjected to outdoor elements, particularly sunlight, encounter challenges in durability. Extended exposure to ultraviolet (UV) rays from the sun can inflict substantial damage on plastic parts, resulting in color fading, surface cracks, and diminished mechanical properties. This kind of deterioration can reduce the lifespan of the plastic components, impacting both their visual attractiveness and structural strength.

To overcome these challenges, UV resistance technologies have been created to improve the UV resistance of plastic materials used in the automotive industry. These operations function by protecting plastic surfaces from UV radiation, thus increasing their resistance to sunlight and extending their durability over time.Besides offering functional advantages, UV resistance processes also aid in preserving the visual appeal of the vehicle by preventing discoloration and deterioration of the material. This paper will examine the different application of UV resistance techniques utilized in the automotive sector, assessing their application ease, cost -effectiveness, and environmental effects. The contribution of these technologies to enhancing both the mechanical and visual longevity of plastic components will be thoroughly discussed.

Keywords: UV Rays, Thermal Resistance, Surface Coatings, Sunlight

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd:
[2] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd:

Figure 1. Plastic part exposed to UV



WHAT IS PLASTIC MATERIAL?

Plastic materials are synthetic or natural substances typically created through the polymerization of organic elements such as carbon, hydrogen, and oxygen. These materials can be shaped under specific heat and pressure conditions and are used in various industries. The structure of polymers varies depending on the type of monomers used, chain length, and degree of cross-linking. Plastics can be melted and formed into specific shapes using plastic injection machines. The molten plastic shaped in injection molds generally has a cycle time of approximately 60 seconds, making plastics suitable for mass production. Under appropriate injection parameters, they are used in many areas due to their high-quality aesthetic appearance, flexibility, moldability, lightness, and durability.

In industries like the automotive sector, plastics are extensively used in exterior surfaces, interiors, engine components, and electronic systems. The advantages of lightness, low cost, and high durability make plastics attractive for use in the automotive industry.

Usage Areas and Importance of Plastic Materials in Automotive

In the automotive industry, plastic materials are used in various areas of vehicle production. The advantages provided by plastics accelerate production processes while reducing costs. Here are some key areas where plastic materials are used in the automotive sector:

- **Exterior Parts:** Bumpers, door trims, headlights, mirrors, roof rails, and fenders are typically made of plastic. These parts are important for both aesthetic and aerodynamic properties. Additionally, the use of plastic parts instead of many sheet metal parts in exterior trim has become widespread. While providing lightness to the vehicle, it is possible to achieve the aesthetic appearance given by metal with plastic. Lightness contributes to vehicle emission values and also makes the market competitive in terms

of cost. Nowadays, single-seater vehicles with entirely plastic exterior trim are available and their prevalence is inevitable.

- **Interior Parts:** Components such as seat upholstery, dashboard panels, air conditioning systems, and interior trim parts are widely made of plastic materials. The lightness of plastics reduces the overall weight inside the vehicle, increasing fuel efficiency. Additionally, interior trim provides aesthetic strength. With coating, paint, and pattern processes on plastic, brand customization can be done inside the vehicle. Glossy mirror-like surfaces elevate the customer's perception of quality to higher levels.
- **Engine Parts:** Plastic materials are also used in the engine compartment. Especially durable and heat-resistant plastics play a significant role in engine protection parts, air filters, and cooling systems. With strong designs and appropriate material selection, plastics have become heat-resistant materials with high strength. Some brackets that were metal in the past have now been converted to plastic. Since plastic can be printed on metal, hybrid parts combining metal and plastic can also emerge.
- **Electronic Components:** Plastic is widely used in the housing and connections of electronic components in automobiles. Plastics providing electrical insulation hold an important place in electric vehicles. With the introduction of electric vehicles into our lives, battery holders made of plastic have become a trend.

The importance of plastics in the automotive industry is reinforced by the features of lightness, durability, moldability, and cost-effectiveness. Plastic materials reduce the weight of vehicles, increasing fuel efficiency and lowering production costs. Additionally, the recycling properties of plastics support environmentally friendly production processes.

REQUIRED STRENGTH CRITERIA FOR PLASTIC MATERIAL USAGE

The use of plastic materials in the automotive sector requires them to meet certain strength criteria. These criteria are essential to ensure the material's resistance to various environmental conditions, loads, and external factors. These requirements can be divided into three main categories:

Structural Strength

Structural strength refers to the properties needed for plastics to withstand mechanical loads without deformation. These properties include tensile strength, hardness, stress, and bending resistance. Plastics used in automotive must ensure load-bearing capacity and safety. Especially exterior parts must be resistant to impact and prevent wear of high-speed moving parts.

Chemical Resistance

Chemical resistance refers to the ability of plastics to withstand various chemicals they are exposed to in the external environment. In automotive, plastic parts that come into contact with motor oil, fuel, saltwater, and other chemical substances are expected to be long-lasting. Chemical resistance is critical for the material to maintain its surface integrity, avoid color changes, and retain structural integrity over time. Chemical resistance varies according to the vehicle's usage area, and after selecting the necessary raw material, additives are added to enhance the plastic's resistance. Subsequently, validation tests are conducted under challenging conditions to confirm this resistance.

Solar Resistance

Solar resistance refers to the ability of plastics to withstand exposure to sunlight. UV rays can cause chemical changes and mechanical degradation in plastic materials. Sunlight-resistant plastics minimize issues such as color fading, cracking, and breaking. Therefore, plastics used in automotive must be resistant to UV rays. This resistance is particularly important for exterior plastic parts. The need for solar resistance is determined based on the market where the vehicle will be used.

Considering the vehicle's exposure to sunlight and general user habits, the UV resistance requirement for the vehicle is established.

PLASTIC UV ADDITIVES

Protecting plastics from UV rays is crucial, especially for those used on exterior surfaces. UV rays can cause degradation in the polymer structure of plastics, shortening their lifespan. Common plastic materials used in automotive exterior trim include:

- PP (Polypropylene)
- ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)
- ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate)
- PC+ABS (Polycarbonate + ABS blend)
- PA (Polyamide, typically PA6 or PA66)
- POM (Polyoxymethylene)
- PMMA (Polymethyl Methacrylate)
- PC (Polycarbonate)
- PVC (Polyvinyl Chloride)
- TPU (Thermoplastic Polyurethane)
- TPO (Thermoplastic Olefin)
- TPE (Thermoplastic Elastomer)

Each of these materials has unique characteristics. For instance, PMMA and ASA have high UV resistance due to their chemical properties. While PP has low UV resistance, it can be enhanced with additives, making it competitive in various applications despite its low cost.

UV additives in plastics assist in absorbing or reflecting ultraviolet (UV) radiation. Typical UV additives include:

- UV stabilizers, which enhance the overall resistance of the polymer to UV-induced degradation,
- UV absorbers, which absorb harmful ultraviolet radiation and convert it into heat,
- Hindered amine light stabilizers (HALS), which neutralize free radicals formed during photo-oxidation.

These additives protect plastics from the harmful effects of sunlight.

The formulation of UV-stabilized plastics is highly dependent on factors such as the type of polymer, the intended application, and the intensity and duration of UV exposure. UV additives are typically incorporated into the polymer matrix at low concentrations, carefully balanced to achieve optimal protection without compromising the material's inherent properties. Excessive use of these additives may lead to degradation of the polymer's mechanical or optical characteristics and can significantly increase the cost per unit due to the high price of specialty additives. Each plastic manufacturer often develops proprietary formulations tailored to specific performance requirements, allowing for customization based on environmental conditions and end-use demands.

Surface Coatings

Surface coatings play a significant role in protecting plastic materials from sunlight and environmental effects. These coatings are thin protective layers applied to the surface of plastics, typically providing UV resistance. Surface coatings not only block UV rays but also improve the aesthetic appearance and durability of the material. Surface coatings can have the following properties:

- High UV resistance: Protects against the harmful effects of UV rays.
- Chemical resistance: Makes the material resistant to chemicals found in vehicles.
- Aesthetic properties: Enhances the appearance of the plastic surface, providing gloss and color.

One common industrial method is hot stamping, where a decorative or functional foil is transferred onto the plastic surface using heat and pressure. This process is widely used in automotive and consumer goods to apply UV-resistant and visually appealing finishes in a fast, automated manner.

Paint Applications

Paints applied to plastic surfaces enhance their aesthetic appearance while protecting them from environmental effects. Paint applications can be solvent-based or water-based. Paints contain pigments with protective properties against UV rays, shielding the plastic surface from UV exposure. The response of paint pigments to UV varies, with white being the most susceptible to yellowing under UV light.

For example, in automotive bumpers and mirror housings, UV-resistant paints are applied using robotic spray systems to ensure uniform coverage and long-term durability under sunlight exposure. In terms of color stability, darker pigments such as black and deep blue tend to offer better UV resistance, while lighter shades—especially white and pastel tones—are more prone to discoloration and degradation over time.

Varnish Applications

Varnishes are thin, transparent protective layers applied to plastic surfaces. Varnishes protect plastics from UV rays and enhance aesthetic properties. Varnish applications are common on automotive exterior surfaces, minimizing issues like cracking, fading, and wear. As the final layer applied to plastic, varnish significantly impacts UV resistance.

In the automotive industry, polycarbonate (PC) headlamp lenses are commonly coated with a UV-curable clear varnish to enhance their resistance to sunlight and surface wear. The varnish is applied directly onto the molded plastic surface using automated spray systems, followed by UV light curing. This process forms a hard, transparent protective layer that prevents yellowing, cracking, and abrasion caused by prolonged UV exposure. Compared to traditional thermal curing methods, UV varnishing significantly reduces processing time and energy consumption

HOW TO VALIDATE TESTS?

Various methods are used to test the UV resistance of surface coatings and plastic materials. These tests simulate how the material will perform under real conditions.

The Xenon Lamp UV Degradation Test is used to simulate the effects of long-term sunlight exposure on plastic materials. By using a xenon arc lamp that replicates the full solar spectrum, including ultraviolet radiation, the test accelerates weathering under controlled temperature and humidity. This allows researchers to evaluate changes in color, surface integrity, and mechanical properties, helping predict how materials will perform in outdoor environments. Thermal Tests: The durability of plastics is tested under high temperatures, measuring their resistance to temperature fluctuations.

While UV resistance is a critical factor in plastic performance, it alone is not sufficient. Depending on the application, plastics must also meet specific chemical, thermal, and mechanical requirements. Therefore, a comprehensive evaluation of all performance needs is essential to ensure the selection of the most suitable material for long-term durability and reliability.

ISBN: 978-625-372-661-4

REFERENCES

[1] D. M. Wiles and G. Scott, "Polymer degradation and stabilization," in *Handbook of Environmental Degradation of Materials*, W. Andrew Publishing, pp. 163–185, 2006.

[2] P. Ghosh, *Polymer Science and Technology: Plastics, Rubbers, Blends and Composites*, McGraw-Hill Education, 2010.

[3] N. C. Billingham and P. D. Calvert, "The degradation and stabilisation of polymers," *Polymer Degradation and Stability*, vol. 2, no. 4, pp. 241–251, 1980.

[4] PlasticsEurope, "Automotive plastics: Driving the future," 2019. [Online]. Available: https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1800-automotive-plastics-driving-future

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Welding Methods and Advantages of Plastic Materials Used in the Automotive Industry

Ahmet SUCU[1]
Mısra Nur ÖZCAN[2]

Abstract

Plastic welding is used to join thermoplastics by heating plastic pieces until they are malleable and then joined into a unified structure. It is used in a wide range of sectors from infrastructure building, plumbing, manufacturing of water tanks and heat exchangers and automotive repairs. The increasing demands for lightness, durability, cost-effectiveness and innovative aesthetic styles in the automotive industry are increasing day by day. These demands are increasing the use of plastic materials even more. The connection methods used due to the visual and functional use of plastic materials are constantly being developed. In this context, plastic welding methods play an important role as a connection technique. In general, the most common welding methods can be classified as ultrasonic welding, vibration welding, laser welding and hot gas welding. The welding connection solution will also bring some welding machine investments according to the method. In order to connect the materials to each other with this method and to meet the requirements, the selection of raw materials suitable for these methods is also of great importance. The use of these methods varies depending on the material properties, part geometry, application area on the vehicle and assembly method. This paper will discuss the different types of welding used for plastic materials in the automotive sector, the differences between them and the advantages, disadvantages and limitations of each method.

Keywords: Plastic Fixation, Welding, Ultrasonic Welding, Vibration Welding

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd:
[2] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd:

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

In recent years, the automotive industry has increasingly turned to plastic materials due to their lightweight nature, high durability, and cost-effectiveness. The need for reducing vehicle weight to improve fuel efficiency and lower emissions has led manufacturers to use more plastic in car parts, ranging from interior components to exterior body parts. However, joining plastic materials requires specialized techniques, as traditional welding methods do not always apply. Therefore, the development of plastic welding technologies is crucial to meet the ever-growing needs of the automotive sector.

This paper focuses on the various welding methods used for plastic materials in the automotive industry, with an emphasis on the advantages and limitations of each method. By understanding the available techniques, manufacturers can choose the most suitable method depending on factors such as part geometry, material properties, and performance requirements.

Plastic Materials in the Automotive Industry

Thermoplastics are the most common material type of plastics used in vehicles due to their feature as manufacturability and melt-processability. Usage area of plastic material:

- Polypropylene (PP): Material of bumpers, battery carrier and interior trims.
- Polyethylene (PE): Common in fuel tanks and ducts.
- Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS): Impact resistance is an advantages, used in dashboards and trim components.
- Polyamide (PA, Nylon): High mechanical strength, proper for using on unaesthetical such as under engine cover.
- Polycarbonate (PC): Used in headlamp lenses and interior applications.

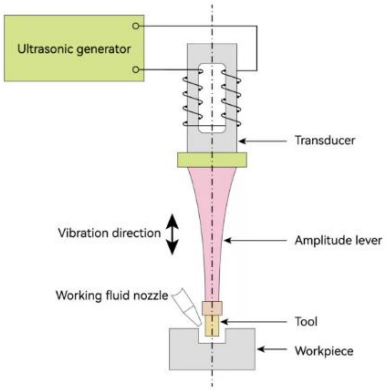
The selection of material depends on the mechanical and thermal requirements of the part, as well as cost and manufacturability and also standart of the regulation and validation.

Welding Methods for Plastic Components

Ultrasonic Welding

Ultrasonic welding involves the application of high-frequency ultrasonic vibrations to a plastic part. The vibrations generate frictional heat at the interface of the materials being welded, which melts the plastic, allowing the parts to fuse together. This method is particularly effective for thermoplastics and is used in joining small and intricate parts.

Figure 1. *Ultrasonic Welding Principle*



Advantages of Ultrasonic Welding:

- Fast processing time.
- No need for additional materials such as adhesives.
- Provides high precision and clean welds.
- Minimal heat-affected zone.
- High repeatability and consistency.

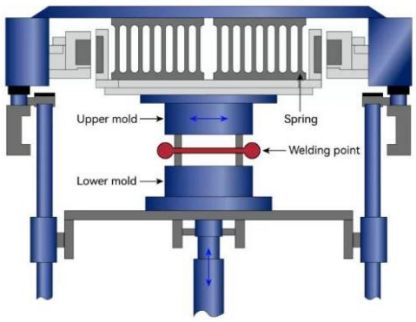
Limitations:

- Limited to smaller parts or thin materials.
- Requires specialized equipment and setup.
- Only applicable to certain thermoplastic materials.

3.2 Vibration Welding

Vibration welding uses mechanical vibrations to generate heat at the interface between two plastic parts. The parts are held together under pressure while the vibrations cause localized melting. Once the parts are melted, pressure is maintained until the materials cool and solidify, creating a strong bond.

Figure 2. *Vibration Welding Principle*



Advantages of Vibration Welding:

- Suitable for large and complex parts.
- Good for materials with varying thicknesses.
- Offers strong, reliable joints.
- Can be used for a wide range of thermoplastic materials.

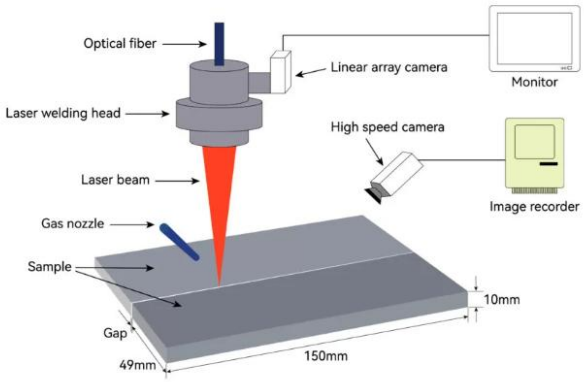
Limitations:

- Requires precise control over vibration amplitude and frequency.
- Not proper for small or thin parts.
- Equipment setup can be costly.

3.3 Laser Welding

Laser welding works with a laser beam to melt the surface of the plastic at the joining interface. The intense heat from the laser causes localized melting of the materials, which then solidify upon cooling, forming a bond. This method is often used for high-precision applications where aesthetics and strength are crucial.

Figure 3. *Laser Welding Principle*



Advantages of Laser Welding:

- High precision and clean welds.
- No contact with the material, minimizing contamination.
- Ideal for complex geometries and fine features.
- High-speed process suitable for mass production.

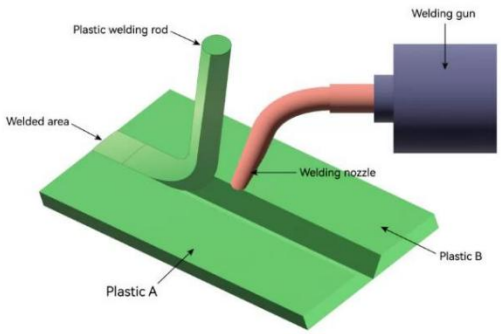
Limitations:

- Equipment cost is relatively high.
- Requires transparent materials or special additives.
- Limited to thin plastic parts.

3.4 Hot Gas Welding

Hot gas welding uses a stream of hot air to heat the interface between two plastic parts. Filling material is often used to reinforce joints. This method is widely used for welding larger parts or when repairing plastic components.

Figure 4 *Hot Gas Welding Principle*



Advantages of Hot Gas Welding:

- Suitable for large components.
- Can weld thicker materials.
- Versatile and capable of welding a wide range of plastics.

Limitations:

- Slower process compared to other methods.
- Requires careful temperature control to avoid overheating.
- The need for filler materials can increase costs.

4 .Factors Influencing the Selection of Welding Methods

Choosing the appropriate welding method for plastic parts depends on several factors:

Material Properties: One of the selection parameters of the plastic welding methods are the material properties of the parts such as thermal behaviours and mechanical strengths. For example, materials that require higher heat might be better choice for vibration or hot gas welding, whereas materials with a low melting point might be better choice for ultrasonic welding.

Part Geometry: Laser welding, which offers great precision and few heat-affected zones, may be necessary for complex or thin-walled parts. On the other hand, vibration or hot gas welding, which can handle higher material volumes, can be advantageous for thicker and larger pieces.

Production Speed: Certain techniques, including laser welding and ultrasonic welding, offer quicker cycle times, which makes them perfect for settings requiring large volumes of production. However, techniques such as hot gas welding are more suitable for larger and simpler parts, but may take longer.

Cost: The cost of equipment and materials also plays a significant role. Ultrasonic and laser welding require high initial investments in machinery, while vibration welding offers a balance between speed and cost-effectiveness. Hot gas welding, while slower, can be more cost-effective for specific applications.

Applications of Plastic Welding in the Automotive Industry

Plastic welding uses in various components of modern vehicles. Some key applications include:

Interior Components: Plastic welding is used to produce and assembly dashboards, instrument panels, and other interior components. The methods ensure that the parts are securely bonded while maintaining a high level of aesthetic quality.

Exterior Body Parts: Bumper assemblies, fenders, and other exterior plastic parts are often joined using vibration or ultrasonic welding. Since these parts must be resistant to external factors and environmental conditions, strong and reliable joints are vital.

Fuel Tanks: Many fuel tanks are made from high-density polyethylene (HDPE), which is welded using hot gas welding to ensure a leak-free and durable bond.

Electrical Enclosures: Plastic enclosures for electrical systems are welded using laser or ultrasonic methods to provide strong, secure, and aesthetically pleasing seals.

Benefits and Challenges of Plastic Welding in the Automotive Industry

Advantages:

Lightweight: Plastic components are lightweight, which lowers the vehicle's total weight and increases fuel economy.

Cost-Efficiency: Fast cycle times provided by welding techniques such as vibration and ultrasonic welding increase production efficiency while also reducing costs.

Aesthetic Quality: Welding methods such as laser welding for parts visible on the interior and exterior of vehicles offer excellent, spotless and undetectable seams.

Durability: Plastic welding provides strong and durable bonds that can withstand environmental challenges such as UV radiation exposure, temperature fluctuations and chemical exposure.

Challenges:

Material Restrictions: The use of some welding techniques is limited because they are incompatible with certain types of plastics or require certain additives.Precision: High-precision methods such as laser welding can be expensive and not suitable for all production environments.

Equipment Cost: The initial investment for welding equipment can be significant, especially for advanced methods such as laser welding.

Conclusion

In the automotive industry, plastic welding techniques are vital for successfully, reliably and economically bonding plastic components. Part geometry, material grades and manufacturing requirements influence the choice of welding process. Each type of welding – ultrasonic, vibration, laser and hot gas – has its own advantages and disadvantages. By understanding the advantages and disadvantages of different approaches, automotive manufacturers can select the best welding process for their application and ensure strong, durable and affordable plastic parts.

ISBN: 978-625-372-661-4

References

1. Strong, A. B. (2006). Plastics: Materials and Processing. Prentice Hall.
2. Grewell, D. A., Benatar, A., & Park, J. S. (2003). Plastics and Composites Welding Handbook. Hanser Publishers.
3. Throne, J. L. (1999). Thermoforming: A Practical Guide. Hanser.
4. Hopmann, C., Windeck, C., & Wipperfürth, J. (2014). Recent Developments in the Laser Welding of Plastics, Journal of Laser Applications, 26(4), 042005.
5. Karger-Kocsis, J., & Bárány, T. (2014). Polymer-Based Lightweight Materials, Journal of Materials Science, 49(1), 1–14.

5th International Congress of Engineering and Natural Sciences

ISBN: 978-625-372-661-4

Optimizing Trunk Volume: A Macro Feasibility Approach to Interior Trim Integration

Ahmet KAHRAMAN[1]

Abstract

In today's automotive industry, companies face numerous challenges while they strive to align with customer expectations and strengthen their positions in the market. Trunk volume, as one of the critical factors affecting customer decisions, is a key element among ergonomics. Although it may appear initially to be a straightforward consideration, trunk volume plays a significant role in the vehicle development stages and requires complex methods for accurate calculation.

This study highlights the importance of considering ergonomic, stylistic, and functional factors in the early phases of trunk volume development. It emphasizes the need for cross-functional collaboration in order to ensure design outcomes align with user ergonomics and competitive storage efficiency. This paper introduces the general definition of trunk volume, its variation across different vehicle segments, and standard measurement methods most commonly adopted in the industry. It also outlines how trunk volume evolves throughout vehicle development process, from early phases to series production.

Furthermore, the relationship between interior trim design and trunk volume is analyzed by examining trunk volume arrangement creation and its integration with interior trims. It is finalized with a macro feasibility analysis of interior trims in relation to trunk volume, illustrated through an example vehicle to demonstrate the evaluation during the development process. Based on these findings, the application of trunk volume inputs in the integration of interior trim parts is detailed and the optimization guideline is proposed.

Keywords: Ergonomics, Trunk Volume, Packing, Interior Trim, Optimization

[1] Makine Mühendisi, Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Orcid: 0009-0007-2906-1893

ISBN: 978-625-372-661-4

Introduction

Since the early phases of vehicle development, trunk volume has been one of the key competitive factors within its segment. Achieving optimal trunk volume requires a comprehensive understanding of its creation and modification, depending on rules and design practices of related components. – in this case, interior trim.

Significance of Trunk Volume In Vehicle Design

Vehicle design is a multidisciplinary process which requires coordination and consideration of many requirements across teams through the various phases of a project. The objective of ergonomics, also referred to as human engineering, is to achieve an optimal fit between users (drivers/passengers) and the equipment (vehicle) by defining targets at the beginning of the project and constantly evaluating other teams' activities to provide feedback. (Bhise, 2012; 3-4)

Trunk volume, which provides competitive advantage, is a significant aspect of ergonomics and important criterion for achieving a higher ranking among vehicles in the same segment. Although it varies depending on the region of residence, family size and the type of journey, trunk volume is crucial to provide sufficient storage space and enhance user comfort.

As shown in the Figure 1 below, geometry of trunk volume varies across different vehicle types and designs. These variations are based on vehicle segment, relevant user requirements and market trends. In addition, considering a closed volume as a trunk volume is not a correct approach, as trunk volume refers to the usable space that can be utilized for packing. Therefore, standardized methods have been developed to calculate and compare trunk volumes consistently across different vehicles. (Demir & Kaya, 2019; 489-490)

Table 1 below compares the trunk volumes across different body styles in the C segment, highlighting the impact of design and architecture type on usable luggage space.

TRUNK VOLUME COMPARISON OF VEHICLES WITH DIFFERENT BODY STYLES IN THE SAME SEGMENT				
	Volvo XC40 Recharge 2021	Volkswagen Golf Alltrack TSi 4Motion 2017	Peugeot 308 1.2 Puretech Allure 2022	Mercedes A-Class A250e AMG Line 2020
Overview				
Segment	C	C	C	C
General Information				
Body style	SUV	Station Wagon	Hatchback	Sedan
Fuel type	Electric	Gasoline	Gasoline	Hybrid gasoline + electricity
GCIE Standard (Trunk Volume)				
GCIE-V210-2 - Closed Luggage Compartment - Second [dm3]	349	430	316	289
Schematic				

Table 1. *Trunk of benchmarking for different body stiles within the same vehicle segment((https://www.a2mac1.com, Access Date: 02.12.2024))*

Standards and Measurement Types of Trunk Volume

Prior to calculating trunk volume, it is essential to consider loading constraints surrounding the packing space. Moreover, factors such as vehicle's architecture, the configurability of seats and parcelshelf, and trunk accessibility significantly influence the car's usable trunk volume. To address these factors, three common standards -DIN 70020, ISO 3832 and SAE J1100- have been developed. These standards outline the measurement criteria for trunk volumes using both virtual or physical methods. (Yaman & Özdemir, 2019; 2-4)

As summarized in Table 2, ISO 3832 classifies luggage compartment volumes into categories based on distinct specific measurement principles and definitions.

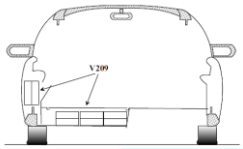
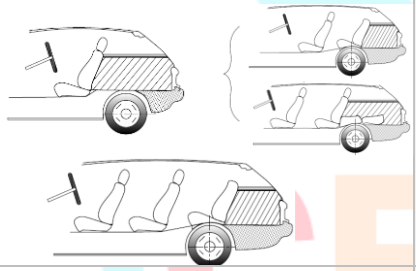
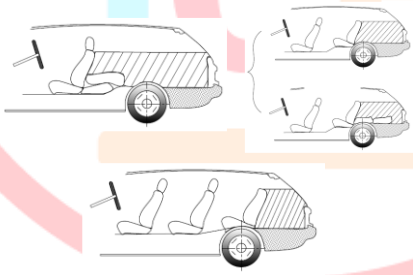
LUGGAGE COMPARTMENT VOLUMES		
Trunk Volume Type	Illustrative Representation	Definition
V209		**Closed Luggage Compartments** Volume of the closed storage areas around the luggage compartment, behind wheel arches, under the floor around the spare wheel. It is measured using ISO 3832 modules and included in the measurements from V210 to V215, as well as V220.
V210 (1-3)		**Closed Luggage Compartment** Volume is defined according to ISO 3832. For vehicles having tailgate, the parcelshelf sets the upper limit and the rear of the front seatback marks the front limit.
V211 (1-3)		**Open Luggage Compartment** Volume height is defined by a line parallel to the main load floor,tangent to the upper edge of the fron seatback. The second – row seats or seatbacks are folded but not removed. The front limit is determined by the rear side of the front seatback and/or the folded second – row seat.

Table 2. *Classification of Luggage Compartment Volumes Based on ISO 3832 (Global Cars Manufacturers Information Exchange Group, 2017; 86-88)*

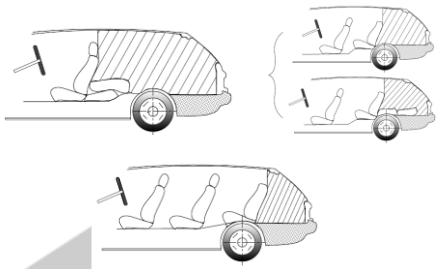
LUGGAGE COMPARTMENT VOLUMES		
Trunk Volume Type	Illustrative Representation	Definition
V214 (1-3)		**Largest Luggage Volume** Largest volume with seats folded but not removed. Volume height is defined by the headlining and the front limit is defined by the backrest height.

Table 3. *Table 2 Continued*

While these classifications provide the basis for calculating trunk volume, the main concern is how much of this space can be effectively utilized packing. This is where packing solutions and methodologies become critical.

Effective trunk volume refers to the usable and accessible space within the luggage compartment that can be practically utilized for packing. It is influenced not only by ergonomic requirements such as ease of packing and unpacking, but also structural design and architecture of trim components in the rear area.

The ISO 3832 method employs five distinct block types prismatic block types, geometrically defined by international standards, to calculate usable space. In contrast, the SAE J1100 standard utilizes various boxes with dimensions specified by international standards to evaluate storage capacity. Both methodologies ensure practical and accurate assessment of trunk volume usability across different vehicle designs. As illustrated in Figure 1, trunk volume measurement involves two distinct approaches adopted in Europe and USA.

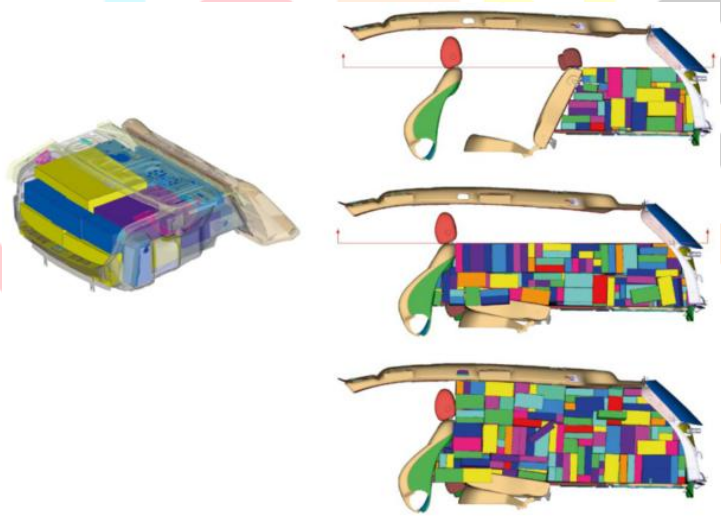


Figure 1. *Volume determination examples – In Europe on the left and in USA on the right (Dziegielewski & Erbes, 2016; 57-58)*

Implementation of Trunk Volume Targets in the Project

The automotive development process consists of five key phases; the definition, the concept, pre – development, series development and early stages of production. Among these, the concept phase plays a pivotal role for the transformation of ideas to tangible targets. (Brunner et al., 2017; 29) During this process, initially specific ergonomic and performance

targets referred to as VOP are set depending on vehicle's segment and its desired competitive position in the market by collaboration of ergonomics, perceived quality and product teams.

Benchmarking is the primary tool for gathering data from competitors to ensure the alignment of specified targets with desired market position. As well as gathering vehicle objectives and performance data, benchmarking is crucial to identify different solutions and designs utilized by other car manufacturers. (Barno & Hallberg, 2020; 25-26) During the initial phases of project, virtual 3D verifications are conducted by using CAD programs to evaluate feasibility and compatibility. Following the pre – production or prototype process, the packaging team performs physical checks to validate the components and their integration within the vehicle architecture.



Figure 2. *SUV segment benchmarking based on five models from different manufacturers and unique trunk solution example (Barno & Hallberg, 2020; 25-26)*

During the initial phases of project, until the primary 3D models of components are released, trunk volume is monitored by ergonomics team. Once the 3D models are released, the involvement of packaging team becomes essential, as integration factors such as mountability and harness layout are taken into account, which directly influence the trunk volume. To ensure alignment with design objectives and integration feasibility, the ergonomics team works closely with packaging team throughout this process.

In terms of trunk volume definition, total volume has been considered by ergonomics team at the beginning of the project as performance targets. After this period, depending on the methodology of automotive brand's requirements, effective volume controls according to European or American standard are carried out virtually in initial phases and both virtual and physical checks in following phases by packaging team. These validations ensure that the final trunk volume meets with both regulatory standards and user expectations, emphasizing practical usability.

MATERIAL AND METHODS

Alignment of Interior Trim Design and Trunk Volume

Before defining the trunk area, it is essential to develop a comprehensive understanding of trim components. Trims are plastic parts located between passenger compartment and main body, contributing to both interior and exterior design of the car. While various types of trims are utilized in automotive design, this article focuses specifically on hard and soft trim components and their influence to trunk volume.

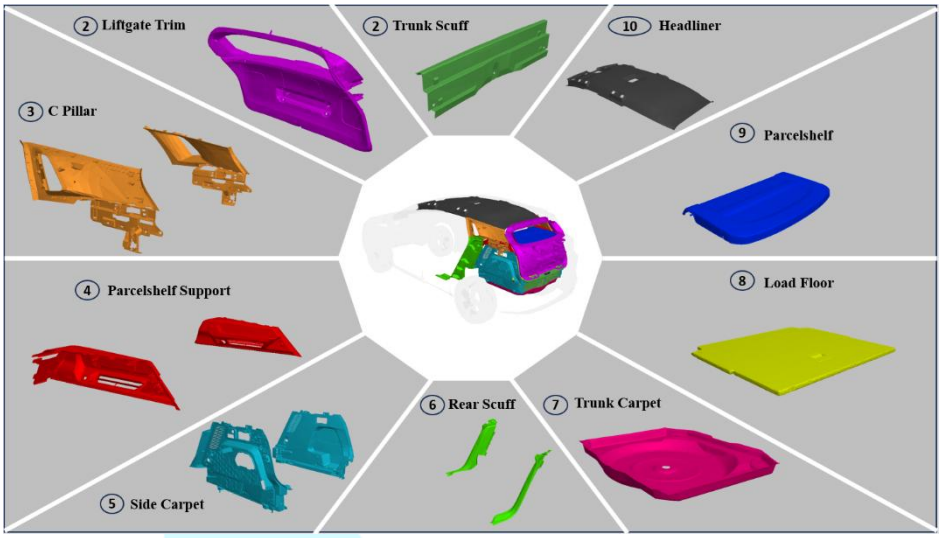


Figure 3. *Architecture of the trunk area and its associated interior trim components (https://www.a2mac1.com, Access Date: 02.12.2024)*

Trunk Volume Arrangement and Its Relationship with Interior Trims

The relationship between trunk volume and interior trim components is critical in automotive design, as these elements not only define the boundaries of the luggage compartment but also influence its usability and effective volume.

As illustrated in Figure 4, with a silhouette view, the side carpets define the limits in the Y direction, while the liftgate trim and rear seats establish the boundaries in X direction. Similarly, the trunk floor carpet and parcelhelf set the limits in Z direction, all of these components form the trunk volume within the surrounding trim components.

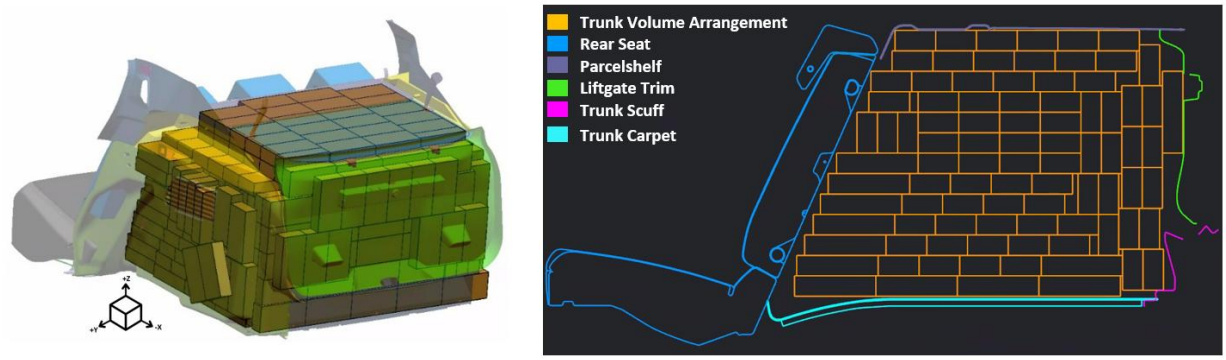


Figure 4. *Architecture of the trunk area and its associated interior trim components with trunk volume arrangement, shown in 3D (left) and corresponding 3D cross – section view (right)*

For passenger cars in Europe, the ISO 3832 standard is commonly applied for both virtual and physical verification of trunk volume, using blocks with a minimum volume of 50x100x200 mm (1 Liter). Although various standards exist for trunk volume validation, this article mainly focuses on the ISO 3832 methodology, which will also be referenced in the next section. (Yaman & Özdemir, 2019; 2-4)

Certain rules must be followed in creating trunk volume arrangement; boxes must not overlap or interfere with the boundary surfaces of the surrounding parts (only interferences with soft trim parts would be evaluated) which are defined in ISO 3832. (Eisenbrand et al., 2015; 1-2)

Additionally, reconfigurable parts are excluded and the arrangement is based on the lowest version of the vehicle. (Yaman & Özdemir, 2019; 2-4) These studies are conducted by concept team using virtual methods, while the packaging team employs both physical and virtual checks after initial 3D and prototype parts are created.

Trunk volume packing, whether carried out virtually or physically, is conventionally time-consuming and manual process that relies heavily on the engineer's expertise and the invested time. To address these challenges and achieve near – optimal and accurate packing, fully automatic packing algorithms have been developed. Many vehicle manufacturers are improving the accuracy and efficiency of their corrective software solutions to integrate the process and reduce dependency on manual effort. (Dziegielewski & Erbes, 2016; 57-58)

Concept Phase Assessment of Interior Trims vs Trunk Volume

During the concept phase, the initial 3D data of components are evaluated to ensure alignment with functional, aesthetic and ergonomic requirements during the concept phase. In this iterative process, the style team provides the 3D surface data of the related vehicle area, which the concept team reviews to deliver technical feedback for the next style release.

While style team focuses on aesthetics and user impressions on design, the related technical teams ensure compliance with packaging checklists and legislative requirements. Achieving a strong convergence between style and concept teams is essential to successfully conclude the concept phase.

Once the style release for interior trims is provided , it must be checked against the current trunk volume arrangement. This verification is carried out in 2D or 3D environments, and necessary indications are shared with the style in order to ensure the alignment of design with volume requirements.

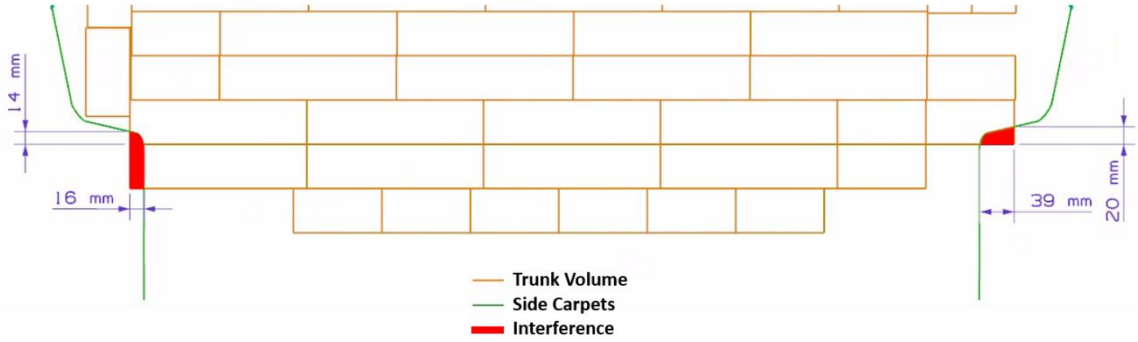


Figure 5. *Z Section for Trunk Volume Side Carpets*

Figure 5 illustrates the example Z section of the side carpet (a soft trim part) in relation to the current trunk volume. To resolve interferences, three primary approaches are considered; (1) relocating the interfering bricks to available areas or (2) altering the trim design to eliminate conflicts while maintaining stylistic and functional integrity, or (3) creating a new brick arrangement to meet the target volume.

Ensuring maximum alignment with style harmony, while avoiding abrupt orientation changes, is a key factor in modification process. In this case, a minor design change successfully eliminated interference. Following this resolution, the revised section is proposed as technical feedback to the style team to facilitate the next aligned style release as the part of iterative loop.

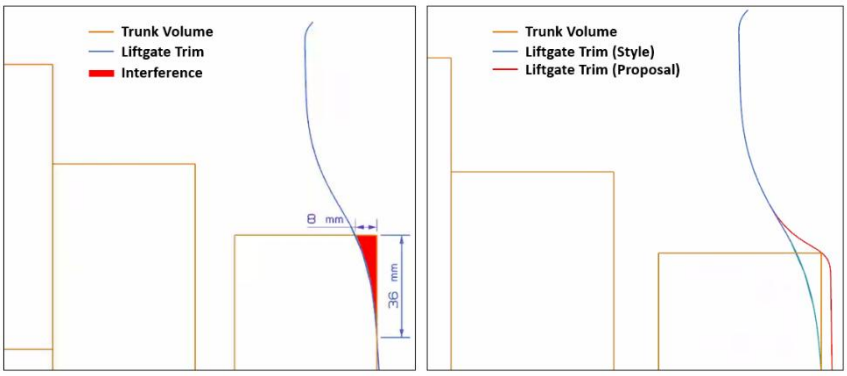


Figure 6. *2nd approach solution for interferences*

Figure 6 demonstrates an example solution approach for altering the design to align with the trunk volume boundaries. The updated geometry ensures the compatibility of the defined volume while maintaining design intent.

RESULTS AND DISCUSSIONS

This article examines the impact of trunk volume constraints on interior trim design during the concept phase. It examines the evaluation of interior trim parts based on trunk volume requirements and outlines approaches of resolution to ensure alignment with ergonomic, stylistic and functional targets. Additionally, the standards and methods for trunk volume creation are discussed along with its evolution within the context of automotive development projects.

To demonstrate the practical evaluation of interior trim components related to trunk volume constraints, example cases are presented for both hard trim (Liftgate Trim) and soft trim (Side Carpet) components. The methodology includes identifying the most compatible resolution approach and providing design-related feedback to the style team. This study provides a comprehensive overview of trunk volume definition and resolution approaches during the concept phase, aiming to outline a general framework for their impact on the integration of interior trim components.

ISBN: 978-625-372-661-4

REFERENCES

A2MAC1. (2024, 12 2). *https://www.a2mac1.com*.

Barno, V., & Hallberg, S. (2020). Car Ergonomics - Inclusive Design for Seniors. *Chalmers University of Technology*, 25-26.

Brunner, H., Hirz, M., & Rossbacher, P. (2017). Sustainable Product Development: Provision Of Information In Early Automotive Engineering Faces. *MOTSP Technical Journal*, 29.

Demir, İ. H., & Kaya, N. (2019). Araç Bagaj Hacminin Hesaplanması İçin Bir Algoritma Geliştirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 489-490.

Dziegielewski, D., & Erbes, D. (2016). Fully Automatic Determination of the Trunk Volume. *Springer*, 57-58.

Eisenbrand, F., Funke, S., Karranbauer, A., Reichel, J., & Schömer, E. (2005). Packing A Trunk - now with a Twist! *DBLPP*, 1-2.

Global Cars Manufacturers Information Exchange Group. (2017). *GCIE Documentation.*

Vivek , D. (2012). Ergonomics in the Automotive Design Process. *Taylor & Francis Group*, 3-4.

Yaman, E., & Özdemir, Ö. (2019). Otomobil Sektöründe Kullanılan Bagaj Hacmi Ölçüm Yöntemlerinin İncelenmesi. *IMSTEC'19*, (s. 2-4).


BİDGE
Yayınları