ICENSS

# 2nd International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies

# Full Papers

07-09 May 2022
Ankara / Turkey

BİDGE Yayınları

# 2nd International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies

# Full Papers

**07-09 May 2022**

**Ankara/Turkey**

All Rights Reserved

It may not be reproduced in any way without the written permission of the publisher and the editor, except for short excerpts for promotion by reference.

ISBN: 978-605-71156-5-2

1st Edition

2022

2nd International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies

Full Papers

Support and Development of Science Association Publications pursuant to the law of intellectual and artistic works, it may not be quoted, copied, reproduced or published in any way without written permission.

**Editors**

Hikmet Y. ÇOĞUN

Zeynel KARACAGİL

**Publisher**

Support and Development of Science Association Publications

----Bidge Publications----

Certificate No: 46367

Oğuzlar Mahallesi 1397 Cadde No:11/1 Çankaya Ankara

bidgeyayin@gmail.com

**SCIENTIFIC COMMITTEE**

Prof. Ali Allahverdi – Kuwait University
Prof. Dr. Ali Savaş Bülbül – Sütçü İmam University
Prof. Dr. Adem Kılıçman – University Putra Malaysia
Prof. Dr. Belgin Coşge Şenkal – Bozok University
Prof. Dr. Cengiz Güler – Düzce University
Prof. Dr. Duygu Kocaefe – University of Quebec at Chicoutimi
Prof. Dr. Emine Erman Kara – Niğde Ömer Halisdemir
Prof. Dr. Erkan Can – İzmir Katip Çelebi University
Prof. Dr. Filiz Pekiner (Namdar) – Marmara University
Prof. Dr. Hamdi Temel – Dicle University
Prof. Dr. Hikmet Y. Çoğun – Çukurova University
Prof. Dr. İlknur Akgün – Isparta Uygulamalı Bilimler University
Prof. Dr. İrfan Ersin Akıncı – Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Prof. Dr. Kenan Köprücü – Fırat University
Prof. Dr. Kenan Sezer – Hacettepe University
Prof. Dr. M Çiğdem Sayıl – İstanbul University-Cerrahpaşa
Prof. Dr. Mehmet Atçeken – Tokat Gaziosmanpaşa
Prof. Dr. Mustafa Aytekin – University of Bahrain
Prof. Dr. Mustafa Koyun – Bilecik Şeyh Edebali University
Prof. Dr. Necibe Füsun Oyman Serteller – Marmara University
Prof. Dr. Nurgül Ay – Karadeniz Teknik University
Prof. Dr. Orhan Dengiz – Ondokuz Mayıs University
Prof. Dr. Osman Uçan – Altınbaş University
Prof. Dr. Semir Paşa – Mardin Artuklu University
Prof. Dr. Talat Özpozan – Nuh Naci Yazgan University
Prof. Dr. Yaşar Pancar – Eskişehir Osmangazi University
Doç. Dr. Ahmet Ali Sertkaya – Selçuk University
Doç. Dr. Aslıhan Esringü – Atatürk University
Doç. Dr. Can Karagülle – Bolu Abant İzzet Baysal University
Doç. Dr. Erhan Pişkin – Dicle University
Doç. Dr. Erol Yavuz – Uşak University
Doç. Dr. Haşim Pıhtılı – Fırat University
Doç. Dr. Hatice Pekmez – Gaziantep University
Doç. Dr. Idrıs Bedırhanoglu – Dicle University
Doç. Dr. Işık Sezen – Atatürk University
Doç. Dr. Kamran Polat – Ankara University
Doç. Dr. Mehmet Çelik – Karabük University
Doç. Dr. Mehmet Eyüp Kiriş – Afyon Kocatepe University
Doç. Dr. Metin Ersoy – Afyon Kocatepe University
Doç. Dr. Serap Titretir Duran – İnönü University
Doç. Dr. Yasin Şöhret – Süleyman Demirel University

**REVIEWER COMMITTEE**

Aydan Aksoğan Korkmaz – Malatya Turgut Özal University
Aydan Aksoğan Korkmaz – Malatya Turgut Özal University
Ayşegül Güneş Seferoğlu – Gümüşhane University
Bahattin Öztoprak – Bolu Abant İzzet Baysal University
Ercan Yüksekyıldız – Samsun University
Erman Ülker – İzmir Katip Çelebi University
Fatih Çolak – Uşak University
Güzide Şenel – Amasya University
Hasan Arslanoğlu – Kırşehir Ahi Evran University
Hasan Erge – Van Yüzüncü Yıl University
Hediye Deniz Ada – Kütahya Dumlupınar University
Hüseyin Baba – Hakkari University
Kemal Armagan – Karamanoğlu Mehmetbey University
Levent Kara – Erzincan Binali Yıldırım University
Levent Yurdaer Aydemir – Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji University
Mahmut Kayar – Marmara University
Mert Şafak Tunalıoğlu – Hitit University
Meryem Göktaş – Bilecik Şeyh Edebali University
Meryem Göktaş – Bilecik Şeyh Edebali University
Meryem Göktaş – Bilecik Şeyh Edebali University
Mevlüde Doğan – Ondokuz Mayıs University
Müjde Durukan – Manisa Celâl Bayar University
Nuray Küp Aylıkcı – İskenderun Teknik University
Nurettin Akçakale – Bolu Abant İzzet Baysal University
Osman Kara – Gümüşhane University
Ömer Fatih Sak – Doğuş University
Recep Koç – Balıkesir University
Salih Özer – Muş Alparslan University
Süleyman Gökmen – Karamanoğlu Mehmetbey University
Şadiye Çakmak – Eskişehir Osmangazi University

**ORGANIZERS COMMITTEE**

Bilimi Destekleme ve Geliştirme Derneği

**Contents**

Influence of Cellulose Nanocrystals and Nano Silica on Mechanical Performance of Cement-Based Materials ..... 11

Ali Satar Jaber AL-ASKARY ..... 11

Didem OKTAY ..... 11

Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Sistemleri Yönetimi "Bursa Şehri İncelemesi" ..... 26

Aliye Nalan FİDAN ..... 26

Ayhan KARADENİZ ..... 26

Gökhan GELİŞEN ..... 26

Meyve ve Sebzelerin Kurutulması Sonrası Biyoaktif Bileşenlerin Biyoerişilebilirliğindeki Değişikliklerin Araştırılması ..... 49

Azime ÖZKAN KARABACAK ..... 49

Ömer Utku ÇOPUR ..... 49

Actinide Transmutation Performance Evaluation of Accelerator Driven Subcritical Reactor with Thorium Bearing Fuel ..... 58

Banu BULUT ACAR ..... 58

Kahramanmaraş'ta Farklı Yaşlardaki Zeytin Bahçeleri Topraklarının Verimlilik Durumlarının Değerlendirilmesi ..... 71

Kahramanmaraş'ta Farklı Yaşlardaki Zeytin Bahçeleri Topraklarının Verimlilik Durumlarının Değerlendirilmesi ..... 71

Cafer Hakan YILMAZ ..... 71

Gurney Flap Yapısının Kanat Aerodinamik Karakteristiğine Etkisinin İncelenmesi ..... 89

Cumali KILIÇ ..... 89

Cuma KARAKUŞ ..... 89

Sevgi ASLAN ..... 89

Gıda Analizlerinde Akıllı Telefon ile Renk Ölçümü: Spektrofotometrik Ölçüme Kolay ve Düşük-Maliyetli Bir Alternatif ..... 112

Deniz BAŞ ..... 112

Seda ÖZGEN ..... 112

Elektrikli Araçların Batarya Kutularında Tasarımın Yapıştırma Uygulamasına Etkisi ..... 123

Dilek ŞENGÜL NİŞANCI ..... 123

Enes KURTULUŞ ..... 123

Investigating the Effect of Colloidal Foulants on SDI and MFI Tests ..... 133

Doruk Güneş GÖSTERİŞLİOĞLU ..... 133

Oruç Kaan TÜRK ..... 133

Mehmet ÇAKMAKCI ..... 133

$MnO_2$ Katkılı Poli(*N*-vinil karbazol) Filmlerinin Çelik Üzerinde Elektrokimyasal Sentezi, Karakterizasyonu ve Antikorozif Özellikleri ..... 141
Eda ŞİMŞEK ..... 141
Berrin DURAN ..... 141
Blueberry' Nin Yapısal Özellikleri ve Alternatif Kullanım Alanı Olarak Sağlık ..... 153
Emre AYDEMİR ..... 153
Murat ALTAN ..... 153
Aslı Bilge TEKŞAM ..... 153
Eksenel Bir Gaz Türbini Kademesinin Tasarımı ve Optimizasyonu ..... 163
Emre YILDIRIM ..... 163
Onur ÖZDEMİR ..... 163
Halit KARABULUT ..... 163
CFM56-7B Tarafından Kullanılan Yakınsak-Iraksak Nozul için Geometrik Optimizasyon ve Performans Analizi ..... 179
Ender Can YAKAR[,2a] ..... 179
Halit KARABULUT[,*] ..... 179
Karides ve Pavurya Kabuklarından Kitosan Üretimi ve Baryum Adsorpsiyonunda Kullanılması ..... 204
Etkinnur CELIK ..... 204
Zehra Ozden OZYALCIN ..... 204
Azmi Seyhun KIPCAK ..... 204
Dolusavak Su Yüzü Profilinin Farklı Türbülans Yöntemleri ile İncelenmesi ..... 211
Eyyüp Ensar YALÇIN ..... 211
Erdinç İKİNCİOĞULLARI ..... 211
Nihat KAYA ..... 211
Portland Çimentosu İkamesinin Kalsiyum Alüminat Çimentolu Harçların Taze Hal Özellikleri ve Uzun Dönemli Dayanım Performansına Etkileri ..... 222
Faruk EREN ..... 222
Muhammer KESKİNATEŞ ..... 222
Burak FELEKOĞLU ..... 222
Kamile TOSUN FELEKOĞLU ..... 222
Atıksu Sistemlerinde Tıkanmalara Neden Olan Tuvalet Kâğıdı Yüklemelerinin Değerlendirilmesi ..... 238
Murathan AKÇA ..... 238
Fatih KARADAĞLI ..... 238

Mechanical Behavior of Concretes Containing Macro Synthetic Fibers and High Strength Steel Fibers ..... 248
Fatih ÖZALP ..... 248
Diyarbakır Hasan Paşa Hanı'nın Bellek Mekânın Sürekliliği Bağlamında İncelenmesi ..... 259
Fatma Azize Zülal AYDINOL ..... 259
Mehtap ÖZBAYRAKTAR ..... 259
Prediction of Heart Failure Disease with a Proposed Method Based on Deep Neural Networks ..... 279
Gaffari ÇELİK ..... 279
Time in Natural Phenomena, Space of Time ..... 290
Gasanbek ARAZOV ..... 290
Tarana ALIYEVA ..... 290
Determination of the Effect of Diagonal Bars on Dynamic Parameters of Model Steel Bridge with Finite Elements ..... 296
Hakan AYDIN ..... 296
Damage Detection in Mechanical Structures via Transmissibility Concept ..... 309
Hakan UÇAR ..... 309
The Effect of Mixing Ratios and Curing Time on Physical-Mechanical Properties of Sorel Cement ..... 318
Metin DAVRAZ ..... 318
Hatice AKÇA ..... 318
Nuri IŞILDAR ..... 318
Adana ve Mersin İli Örtüaltı Domates ve Biber Üretim Alanlarında Sorun Olan Yabancı Ot Türleri, Yoğunlukları ve Rastlama Sıklıklarının Belirlenmesi ..... 329
Hilmi TORUN ..... 329
Blokzincir Kullanarak IoT Sistemlerinin Veri Güvenliğinin Sağlanması ..... 337
Kubilay TANYERİ ..... 337
Gül Fatma TÜRKER ..... 337
Performance of Autonomous Vehicles on a Bottleneck: A Simulation Study with SUMO ..... 353
Mehmet Nedim YAVUZ ..... 353
Halit ÖZEN ..... 353
İmplant Malzemesi Cp-Ti Alttaşlar Üzerine RF Magnetron Sıçratma Yöntemi Kullanılarak NiTi Kaplamalar Uygulanması ..... 364
Mehmet POYRAZ ..... 364
Development of In Cabin Temperature Sensor for Vehicles Taşıtlar için İç Kabin Sıcaklık Sensörü Geliştirmesi ..... 374
Şemsetiin Melih AKYOL ..... 374

Bahadır BİLEN ..... 374
Murat DİKTAŞ ..... 374
Sercan DEVECİ ..... 374
On Catalan Transformations of the Gaussian Fibonacci Sequence ..... 388
Mine UYSAL ..... 388
Engin ÖZKAN ..... 388
Eskişehir Kuru Koşullarında Bazı Makarnalık Buğday (Triticum durum L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Karşılaştırılması ..... 395
Zekiye BUDAK BAŞÇİFTÇİ ..... 395
Nazife Gözde AYTER ARPACIOĞLU ..... 395
Assessment of the Environmental Impacts of Municipal Waste Management Activities in the Thrace Region of Turkey ..... 403
Nesli AYDIN ..... 403
Fabrication of hBN-PEO based Electrohromic Devices Using Sol-Gel Process ..... 412
Özge AKPINAR SARIHAN ..... 412
İbrahim İNANÇ ..... 412
Mikrodalga Yöntemiyle Kurutulan Çarkıfelek Meyvesinin Matematiksel Modellemesi ..... 425
Pınar ATA ..... 425
Zehra Özden ÖZYALÇIN ..... 425
Azmi Seyhun KIPÇAK ..... 425
Radyal Fan Çarkında Kullanılan Kanat Yapısının ve Pozisyonunun Sonuca Olan Etkisi ..... 437
Muhsin KILIÇ ..... 437
Sultan FİDAN ..... 437
Epoksi Reçinenin Kuruma Durumunun Bej Doğal Taşın Eğilme Dayanımına Etkisi ..... 452
Taner ÇELİK ..... 452
Servet DEMİRDAĞ ..... 452
Lise Öğrencilerinin Alan Seçimlerinin Eğitsel Veri Madenciliği Yöntemleri ile Tahmini ..... 464
Uğur Ataseven ..... 464
Pınar Yıldırım ..... 464
Bir İşletmenin İnsan Kaynakları Bölümünde Çalışan Seçim Sürecinin Eniyilenmesi ..... 475
Ayşenur BATI ..... 475
Gültekin ÖZDEMİR ..... 475
Fibonacci Sequences in Finite Groups ..... 496
Engin ÖZKAN ..... 496
Gelecek Nesil Haberleşme Sistemleri için İHA-Temelli Haberleşme Ağlarının İncelenmesi ..... 511

Ahmet Aytuğ AYRANCI ..... 511
Hacı İLHAN ..... 511
Intercalation and Exfoliation of Simav (Turkey) Kaolinite with n-Butanol and Isopropanol .... 523
Hatice ÜNAL ERCAN ..... 523
Kendi Ağırlığına Maruz Ara Mesnetli ve Uç Kütleli Kolonun Serbest Titreşimi ..... 532
Esra ALBAYRAK ..... 532
İrfan COŞKUN ..... 532
$MnO_2$ Katkılı Poli(*N*-vinil karbazol) Filmlerinin Çelik Üzerinde Elektrokimyasal Sentezi, Karakterizasyonu ve Antikorozif Özellikleri ..... 543
Eda ŞİMŞEK ..... 543
Berrin DURAN ..... 543
Ankara İli Sıcaklık Değişimlerinin İncelenmesi ..... 555
Zeliha SELEK ..... 555
Mehmet Furkan ÇELİK ..... 555
On Row Co-divisors and Column Co-divisors in Regular Square Matrices ..... 568
Hasan KELEŞ ..... 568
On Some Conclusions the Relationship between Profit and Loss Functions ..... 574
Hasan KELEŞ ..... 574
On Some Conclusions the Relationship between Demand and Supply ..... 581
Hasan KELEŞ ..... 581
SORT Cycle CO2 Emission Simulation of an Intercity Bus with VECTO ..... 589
Muammer ÖZCAN ..... 589
Tarkan SANDALCI ..... 589
Research of Minimization of Energy Consumption by Life Cycle Analysis of Washing Units Used in Metal Industry ..... 599
Cansu BİRİKTİR UYANIK ..... 599
Beytullah EREN ..... 599
Murat SOLAK ..... 599

# FULL PAPERS

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Influence of Cellulose Nanocrystals and Nano Silica on Mechanical Performance of Cement-Based Materials

*Ali Satar Jaber AL-ASKARY 1*
*Didem OKTAY 2*

**Abstract**

Nanomaterials are used in various fields to enhance material properties. In recent years, eco-friendly nanomaterials have been widely used in concrete technology. By considering the developments in this field, the effects of using cellulose nanocrystal (CNC) and nanosilica (NS) on the mechanical performance of cement-based materials have been investigated within the scope of this experimental study. Cement mortars were prepared with the inclusion of 0.25%, 0.50%, and 0.75% wt. with a 0.5 w/c ratio for NS groups, and similar contents for CNC groups. compressive strength, flow table, and water absorption tests were performed with 7 different mixtures to examine the influence of different types and amounts of nanomaterials. The flow table results showed a decrease in flow diameter with the increase of CNCs. NS has decreased the flow diameter but did not cause a significant change compared to CNC conclude that NS has low effectivity in low quantities, which requires higher NS amounts to show an influence on the flow table. A compressive strength test was used for 3, 7, 28, and 90 days, the results for CNC concluded that increasing CNC content in the mixture increased the compressive strength where it showed high compressive strength in 0.75% dosage. Similarly, NS inclusion showed higher compressive strength in 0.75% content. The absorptions test results showed that increasing CNCs content led to the absorptivity increasing, while the void content showed decreasing. NS results in absorptivity showed stable results, at the same time, the void ratio decreased only in 0.50% dosage. The detailed results of this study will be shared as the study proceed.

**Keywords:** Nanosilica (NS); Cellulose Nanocrystals (CNC); Cement-based materials; Compressive strength; Workability; Water absorption.

[1] Öğrenci, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendiliği, 0000-0003-3795-9728:
[2] Dr. Öğr. Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, 0000-0002-0093-1994:

ISBN: 978-605-71156-5-2

## Introduction

It has been known in recent years that nanotechnology, majority is one of the dynamically developing multidisciplinary fields of technology and science. They include and link scientific problems in chemistry, physics, biology as well as bioengineering and material engineering. It's all about these substances in terms of their properties by the molecular measurements, which are at least one to 100 nm away, and that can be summarized by their different properties from showing in macroscopic chemical peers, that a reason to their quantum effects (Oke et al. 2017: 36).

Nanotechnology provides the ability to model, develop and manufacture nanomaterials. Some methods are used in nanotechnology, including that from the bottom to the top that can be described as self-arranged particles and, from top to bottom which explained as reducing these nanoparticles, other methods in enabling the arrangement of the surface and modifying of the structure by adding nano-modification admixtures (Rao et al. 2015: 114).

Recently, scientists have highlighted a modification of materials in term of eco-friendly materials as additions and admixtures, termed as biopolymers. An example of nature biopolymer, and the most interested of these biopolymers is this so-called cellulose nanocrystals (CNC). Cellulose nanocrystals, most advantages are that they have a high strength tensile with low thermal expansion and a high modulus of elasticity with low density. Besides, they exhibit an exceptionally good electrical conductivity (Moon et al. 2016: 2386).

It has been scientifically compatible in the use of this CNC as an additive in cementitious materials. It was proved that CNC addition to cement materials improves the mechanical characteristics (Cao et al. 2015: 82 and 2016: 78), increases the degree of hydration (Cao et al. 2015: 77), also gives a microstructural enhancement for the cement composites (Flores et al. 2017: 8).

On the opposite side of this study, Nanosilica (NS) among all nanomaterials showes as the mostly suitable additon for the cement-based productions the reason is related to its amorphous, high in purity, also has a high specific surface area (Chithra et al. 2016: 795). A pozzolanic reaction productions has been reported after adding NS to portland cement which describe the mean length of calcium silicate (C-S-H) haydration chain, that gives a solidation and bonding structure stabilitiy (Hou et al. 2013: 446 , Monasterio et al. 2015: 116).

NS particles able to interfere in the pores among or inside layers of calcium silicate (C-S-H). These particles as mentioned act as filler in pores. Additionally, a secondary production of C-S-H after a reaction of pozzolanic in NS with calcium, a higher densification outcomes from the matrix that make improvements in the strength and also the durability of the material. In recent studies (Collepardi et al., 2005; Senff et al., 2009; Jo et al., 2007; Björnström et al., 2004; Qing et al., 2007) stated NS addition able to make modification in the fresh and hardened characteristics of cementitious materials in comparison to the classical mineral admixtures. For instance, NS to silica fume, it has been reported as it is shortening the setting time for the mortars also reducing water bleeding and segregation, in same time, it gives improvement in the cohesiveness of the blends in fresh state of the cementitious materials (Collepardi et al. 2005:4). Further, the NS particles colloidally appear to be significantly influence on the hydration dynamics for the $C_3S$.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Senff et al. (2009) examined the influences in NS dosages use from 0 to 2.5% from mass of the cement on mortars and in the pastes which was produced with 0.35 w/b. It has been stated that the yielding stress raised in the increasing of NS dosage; but a less visibility was reported in the effect of viscosity. The mortars fluidity was also reduced by the inclusion of a higher NS dosages (Senff et al. 2009: 2489).

In the consideration of all previous discussed benefits, nanocellulose and especially the concerned CNC have appeared as a promising resource in construction materials providing an enhancement to performance of cement-based composites. In this study, an experimentally comprehensive work provided a fundamental explanations for the possible mechanisms of CNC and NS impacting the performances and characteristics of cement-based composites. The hypothesis of this study was that the CNC and NS slurries nanoparticles will improve the compressive strengths in resulting a further promotions on mechanical properties of cement-based composites. This hypothesis was tested through the compression test. Flow table and water absorption tests were also performed on cement mortars in order to examine physical properties.

## Experimental Study

### Materials and Methods

This section describes the properties of the materials physical and chemically that were used in this study as well as explaining the mixes proportions of the productions. In this study, cement mortar was prepared to examine the mechanical properties for nanosilica as well as nanocrystals cellulose samples. Several tests have been studied to ensure their effects and quality before using them in mixtures.

In the experimental study, Portland cement (OPC) CEM I 42.5 R has been used. As addition materials, cellulose nanocrystals (CNC) were brought from CelluForce NCC®, it was prepared as liquid suspension by the biotechnology lab which related Chemistry-Metallurgy faculty Yildiz technical university and used in dosage of 0.25%, 0.50%, and 0.75% from the weight of the cement. In the opposite, nanosilica (NS) was used as the same dosage as the CNC used. Nanosilica was obtained from Nanografi company. Standard sand was used according to TS EN 196-1. In order to obtain a workable mortar with low water amount, a polycarboxylate based superplasticizer (Plastol Ultra 218) was employed in all mixtures. Chemical compositions of the OPC, CNC, and NS according to XRF results are presented in Tables 1.

Mixing has been done according to ASTM C305-20. NS and CNC have been added to the mixtures by mass of cement. The w/c ratio was kept constant in all mixes as 0.50. A mortar mixer was used to produce mixes. Mix proportions and mixture codes are given in Table 2. After producing the products, the mixes have been casted in 50 x 50 x 50 mm molds following the vibration to ensure the compatibility.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 1 – Chemical and physical properties of cement (OPC).

| **Compositions (%)** | **OPC** | **NS** | **CNC** |
|---|---|---|---|
| CaO | 81.5 | 0.3 | 5.6 |
| $SiO_2$ | 5.3 | 97.7 | - |
| $Al_2O_3$ | 0.3 | - | - |
| $Fe_2O_3$ | 5.9 | 0.5 | 2.4 |
| MgO | 1.6 | - | - |
| $Na_2O$ | - | - | - |
| $K_2O$ | 1.1 | - | - |
| $SO_3$ | 2.6 | - | 52.8 |
| PdO | - | - | 22.4 |
| Loss on ignition | 1.7 | - | - |

Table 2 – Mix Proportions and Mixture Codes.

| Samples names | Water (gr.) | Cement (gr.) | Sand (gr.) | Nanosilica (%) | Cellulose Nanocrystals (%) | SP (%) * |
|---|---|---|---|---|---|---|
| OPC | 450 | 900 | 2700 | - | - | 1.2 |
| CNC0.25 | 450 | 900 | 2700 | - | 0.25 | 1.2 |
| CNC0.50 | 450 | 900 | 2700 | - | 0.50 | 1.2 |
| CNC0.75 | 450 | 900 | 2700 | - | 0.75 | 1.2 |
| NS0.25 | 450 | 900 | 2700 | 0.25 | - | 1.2 |
| NS0.50 | 450 | 900 | 2700 | 0.50 | - | 1.2 |
| NS0.75 | 450 | 900 | 2700 | 0.75 | - | 1.2 |

*SP: Superplasticizer

**Sample Preparation and Testing Procedure**

In examining the mortar processability, the flow behavior of plain mortar samples has been measured using flow table disc with mold and tamping rod according to ASTM 1437-20 standard. This test was performed to analyze the effects of CNC and NS on the flow behavior of mortars. The flow behavior was distinguished from mortar diameters that was measured in both horizontal and vertical directions in each mortar using flow table disc after the standardization of the vertical impacts. A high flow properties could be obtained in a large paste diameter and that depend on the mortars processability. According to ASTM C1437-20 an acceptable flow of 110 ± 5% with 25 drops in 15 s. The average of the two different diameter measurement has been considered of all mixtures.

Mechanical performance has been tested for mortar samples using compressive strength test. Three cubes of 50 mm cement mortars for each series were prepared. The mixture was casted and vibrated in the molds (mold dimensions 50 x 50 x 50 mm) after that, it was covered by cling film sheet to avoid evaporation of water, then it was stored in a temperature room at 20 ± 2 C° and within 24 ± 0.5h for hardening. All samples placed into the moist cabinet were kept at 20 C°

ISBN: 978-605-71156-5-2

with 55% RH until the testing days (3, 7, 28, and 90 days). Samples were tested according to ASTM C109/C109M –using ALŞA company hydraulic test device. Compressive strength has been calculated taking the average of three samples for each series. The samples were subjected to a compressive load with a testing speed of 4 mm/min.

In water absorption examination, 3 cubes for each contents of NS and CNC were cured for 28 days. They have been measured depending on methods explained in the ASTM: C642-13 standard. It has taken the average of 3 cubes in each dosage. Absorption after immersion and boiling (AIB, %) and the volume of permeable pore space (voids) (VPP, %) of mortars can provide general information about the pore structure. These parameters have been calculated according the Eqs. (1) and (2), respectively.

$$AIP, \% = \left(\frac{m_{sd} - m_{od}}{m_{od}}\right) \cdot 100\% \quad (1)$$

$$VPP, \% = \left(\frac{g_2 - g_1}{g_2}\right) \cdot 100\% \quad (2)$$

Here, $m_{sd}$ is the mass of surface-dry sample in air after immersion; $m_{od}$ is the mass of oven-dried sample in air, g; $g_2$ apparent density, $Mg/m^3$; $g_1$ is bulk density, dry, $Mg/m^3$.

## Result and Discussion

### Flow Table Test

The consistency, which constitutes the flow properties and the workability for fresh mortars is presented in Fig. 1 that shows the effect of CNC and NS on the flow table results of different batches using various amounts of CNC and NS in different mixes. The results for NS show that the decreasing in flow started only in 0.50% compared to 0.25% content, after an increasing in 0.25% it has decreased 20 mm in 0.50% then remind constant with the 0.75% dosage. If we notice that the NS decreases did not cause a significant change compared to CNC that conclude the NS has low effectivity in low quantities, that requires higher NS amounts to show an influence on flow table. Similar opinions can be found in (Sneff et al. 2010: 1434) literature that the incorporation of 3.5% and 7% contents of NS, the 3.5 % was 1.5 higher in flow diameter than 7% that mean in 7% content the flow diameter has been decreased and the mortar indicated a more cohesive property. (Ghafari et al. 2014: 5) In other studies it has been also found in inclusion of 1% of wt. NS has not indicated any significant effects in decreasing the flow diameter while using NS of 2% wt. and 3% of wt. as expressed a consecutive reduction of 9 mm and 12 mm compared to reference mix. in 3 to 4 wt. % demonstrated higher decreasing in flow diameter (19 mm) with the increasing of NS between 3 to 4 wt. % which has showed a significantly decreases of the workability.

It is expected usually a higher specific surface area in NS means an increasing in demand of water used in cement-based mixes, and that somehow make impact on the workability. Similar findings in Collerpardi et al. (2002) studies, they have studied self-compacted concrete properties

ISBN: 978-605-71156-5-2

with the inclusion of NS, the results showed the existence of NS improve mixture in cohesivity (similar finding to Sneff et al. 2010), a reduction in water bleeding and also in segregation that lastly show positive impact on rheological behaviors for the fresh state of cementitious mixes.

On the other hand, CNC results show that the flow decreasing in the increasing of CNC dosage for each group. It has decreased sufficiently from the reference sample in 0.25% and 0.50% content by 70 mm and 110 mm respectively and in 0.75% dosage remained constant. It implies the CNC have decreased the workability for all groups. In the literature, (H.-J. Lee, W. Kim, et al. 2020: 40) CNC has been included in high-toughness cement composite (ECC) with the dosage of 0.4, 0.8, 1.2 vol% (cement vol%). The flowability studies were conducted to evaluate CNC mixes with and without SP. In case of not using SP, it has been found that the increasing of CNCs led to decrease the flow diameter. However, in case of SP is added, with the varying of CNC contents it has been stated a reduction in liquidity. It has been reported that these findings suggest that the property of hygroscopicity in absorbing and water retention is related to the proportions between high water hydrophilicity and the increasing of CNCs in mixes because of –OH combinations abundant on the surface.

Other studies, (Hadad Kolour et al. 2018: 471) investigated the effects of incorporation cellulose nanofibrils (CNF) in cement paste and concrete with dosages of (0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.5%, 1%, 1.5%, and 3% vol.) with different quantity of w/c. In same study has been reported these results interpret the reasons of workability decreasing is that CNF agglomerating possibility.

Similar studies used pure CNF (PCNF), silica coated CNF (SCNF), and lignin-containing CNF (LCNF) with a 0.1% (by weight) concentration for each group, and a w/c of 0.35 Kamasamudram et al. 2020: 5). Cement paste samples with PCNF showed an 8% reduction in workability compared to reference sample, similar findings to previous studies because of the PCNF agglomeration. LCNF described in a no change with the workability compared with the reference sample.

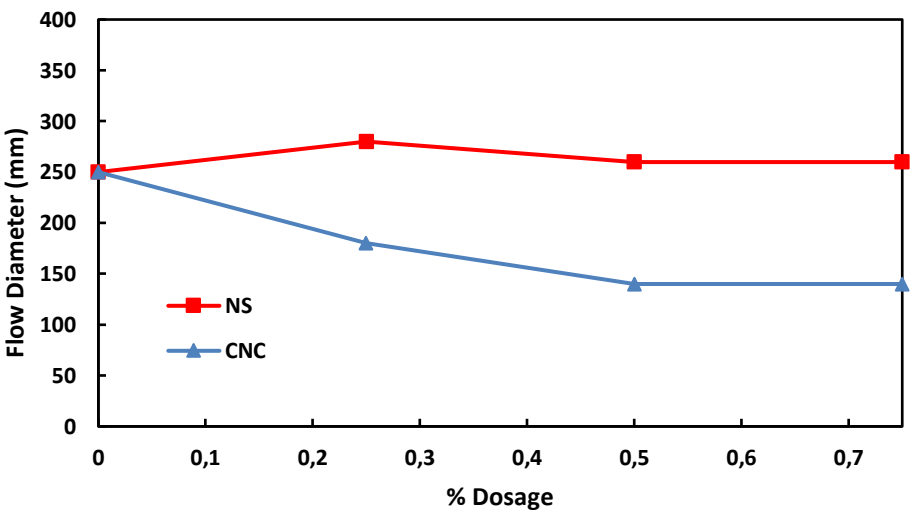



Fig. 1 – Flow diameter versus dosages used in mixes.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Compressive Strength Test**

Compressive strength test results for cement mortars with the inclusion of 0.25%, 0.50%, and 0.75% wt. with 0.5 w/c ratio for NS groups, and similar contents for CNC groups are shown in Fig. 2. The results were used for 3, 7, 28, 90 days of curing. NS results revealed that the increase of NS content increased the compressive strength, from the results is shown that the 0.75% inclusion of NS in 90 days achieved mostly the highest compressive strength score from NS groups compared to the reference sample. in 3 days, the highest results were 35.2 MPa scored by 0.75% content,7 days highest score achieved in 0.50% dosage by 38.7 MPa, in 28 days scored higher with 0.25% by 42.7 MPa, and lastly, the 90 days highest results in NS groups owned by 0.75% content with 44.7 MPa.

Some studies (Pongsak et al. 2015: 165) investigated the physical and thermal conductivity properties with the use of NS in cement pastes containing three types of NS in sizes of 12, 50, and 150 nm. dosages of NS were between 1-5 wt. %, with a 0.5 w/c ratio in all samples. It was indicated the inclusion of NS in size of 50 nm with 4wt% in 28 days achieved higher compressive strength than 12 and 150 nm size particles at age of 28 days of curing. It was also reported that the increase of NS by more than 5% wt.% led to a reduction in compressive strength.

Other studies (Y. Sargam and K. Wang 2021: 8) focused on evaluating the properties of cement pastes including dispersed NS with the addition of various dispersants such as anionic surfactants, sodium dodecyl sulfate (SDS), and superplasticizer based polycarboxylate ether (PCE), also two groups of non-ionic surfactants like tweens and tritons. A constant of 0.45 w/c and 8 gr. of NS was used for all samples and it has tested for compressive strength ages of 1, 3, and 28 days. It was stated that in the class of anionic surfactants, it has been shown that the maximum strength increase was obtained in the condition of PCE; nevertheless, the increase was only 5% at 28-day. It is reported in other studies related to SP that in General, PCE SPs are comb of polymers that include an anionic backbone consisting of carboxylic acid combinations ($COO^-$) and chains being side grafted, that mainly includes hydrophilic polyethylene oxide (PEO) units (Kawashima et al. 2014).

Different studies (Shahrul et al. 2021) also incorporated NS with cement paste but they used crumb rubber instead of fine aggregates. NS dosages were 2.5% and 5% by wt. of cement. It was observed in the compressive strength results the increasing of NS content to 2.5% achieved a good impact on mortar strengths. It was stated that the positive influences of NS in the compressive strengths due to its physical and chemical influence on the mortars. It was also interpreted that in the second process of hydration, the NS starts to react with calcium hydroxide ($Ca(OH)_2$) released from the hydration of the cement in forming more calcium silicate hydrate (C-S-H) gel (Jo et al. 2007). As it is known that NS has a pozzolanic reaction. As mentioned, before it was observed that the hydration production of C-S-H and the reaction of pozzolanic can be the response to the mortar's strengths (Qing et al. 2007). It has been accepted the effects on the physical property, that the NS filling up voids inside the mixes, therefore making the pore structure of the mortar denser and refiner (Li et al. 2004, Ji et al. 2005).

ISBN: 978-605-71156-5-2

Same studies also observed the inclusion of 5% NS dropped the compressive strengths. It can happen in excessive inclusion of NS content that behaves as a nano aggregate inside the mix aggregate which leads reduction in microstructure density (Liu et al. 2015). Increasing NS content led to severe failure due to toughness increment in mortar done by the NS (Shahrul et al. 2021: 6).

CNC results of this study expressed in the increasing of compressive strengths in the increasing of CNC content the, from the results are shown that the 0.75% dosage of CNC in 90 days showed the highest compressive strength in all the groups of this study compared to the reference sample. in 3 days, the highest results were 30.9 MPa scored by 0.75% content,7 days highest score achieved again in 0.75% dosage by 37.8 MPa, in 28 days scored higher also with 0.75% by 42.7 MPa, and lastly, the 90 days highest results in CNC groups as mentioned before, owned by 0.75% content with 47.6 MPa.

In the literature on CNC regarding compressive strength results, it was rarely found individually studies for CNC, some have studied different types of cellulose nanomaterials (CNMs) together, and some have focused especially on CNF. (Mazlan et al. 2016: 47) An individual study on the inclusion of CNC and its effects on cement mortar properties. CNCs inclusion was 0, 0.2, 0.4, and 0.6 % by the wt. of cement. The compressive strength results were reported at curing ages of 7, 14, and 28 days. The strength development of mortars depended on the amount of CNC addition up to 0.2% only. The results showed that the addition of 0.4% CNC dosage decreased the strength of the mortar. It was reported that the increasing high content of CNC led to the formation of C-S-H gel the reason for highly bonding in the cement mix. And that results in decreasing strength due to the composition becoming so brittle.

Studies related to various type of CNMs inclusions (S. Nassiri et al. 2021: 10), one of them was using CNC (0.020%, 0.035%, 0.045%, 0.050%, 0.065%, 0.100%, 0.150%, 0.200%, 0.400%, and 0.600% by wt. % of cement) and CNF (0.020%, 0.035%, 0.045%, 0.050%, 0.065%, 0.085%, 0.100%, and 0.150% wt.). The compressive strengths test was calculated on 7 and 28 days on the age of curing. The results revealed in the increase of CNC increased the compressive strength at the ages of 7 and 28 days. While the 0.05% content reduced the strength by a 4% decline in 7 days. 0.1 and 0.6% of CNC was stated to a drop by 5 and 2% 28-day strength. This erroneous trending in compressive strength could be the reason for the tendency in CNCs to air entrapping, as well it referred to in another study (Claramunt et al. 2019: 65) or localized agglomeration. The higher increase in 7, and 28 days strength were by 29 and 17% at 0.4% content, respectively, and that been agreed well with the positive effect reported previously (Mazlan et al. 2016: 47) on compressive strength results with CNC inclusion greater than 0.2 %. CNC incorporations raised the 28 days strength by 5, 8, 6% at 0.02, 0.035, 0.045% and also at higher concentrations by 4, 9, 17% at 0.15, 0.2, and 0.4%. CNC concentrations of more than 0.065 % achieved better results than concentrations of CNF, which had an adverse influence on strength in dosage greater than 0.065 %. Further, 0.4% showed a decrease in strength and dropped by 2% below the strength of the reference on the 28-d age.

ISBN: 978-605-71156-5-2

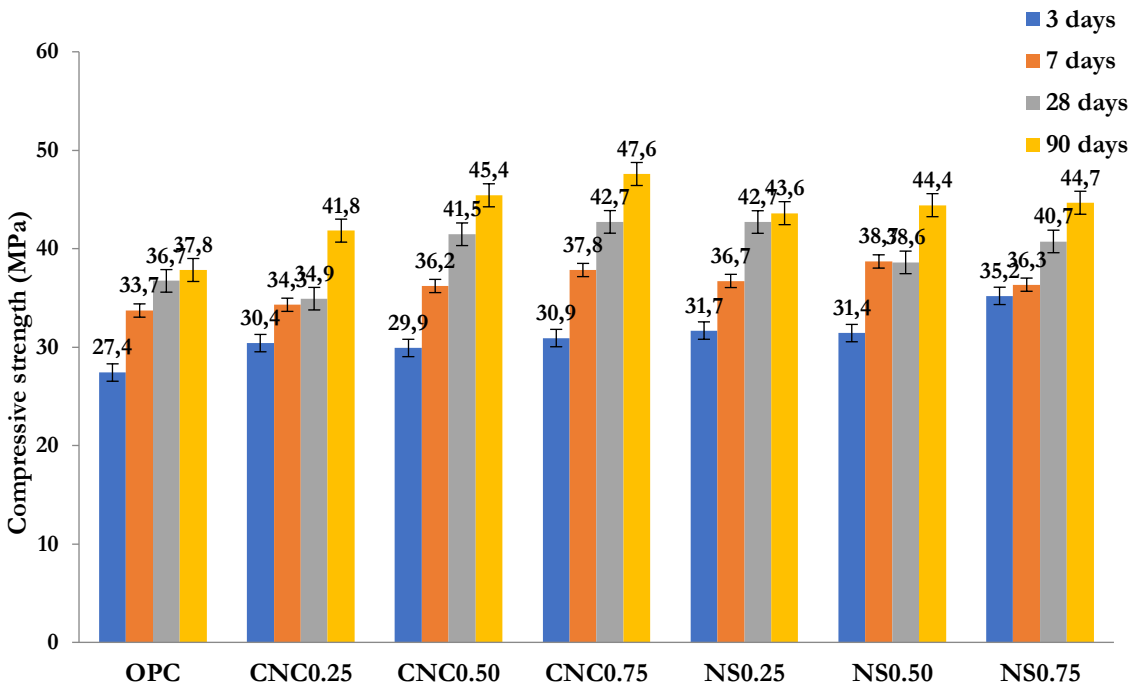



Fig. 2 – CNC and NS compressive strength results.

**Water Absorption Results**

The water absorption results have been measured through the calculation of AIP% and VPP% using the Eqs. 1 and 2. The results presented in Fig. (3) express the effect of NS and CNC addition on the absorptivity property of cement mortars. NS groups effects started in 0.75% content with the inclining curve of void ratio as well as the column of that content. 0.25% and 0.50% have not shown desirable results that 0.25% dosage tends to increase water absorption and void ratio similar to it the results of 0.50%. It can be expressed that the quantity of NS used in the mixture was not appropriate for a significant change in water absorption results. In resultant, the results revealed the increase of NS content led to decreasing in water absorption and void ratio.

In literature, the investigation (Tsampali et al. 2019: 135) of cement mortars affected by adding NS and nano-$Al_2O_3$ has been studied. 1.5% and 3% NS incorporated mortars were prepared. The capillary absorption parameter was tested after a curing age of 28 days according to EN 1015-18:2002. Capillaries significantly affected the water absorption by the intensifications in the preparation of the sample, the water quantity added to the cement, and the conditions of the maintenance. A slight change in water absorption was observed with the NS addition into the mix, in a positive declination for the composites with NS and particularly for 3%, where was shows a lower absorption ratio. In the porosity, the values measured fundamentally represent the opening pores in the sample. Generally, a low porosity performs to higher strength. In all mixes, a porosity decrease was reported over time. In mixes containing nanomaterials, a reduction in porosity was stated to a higher extent, to be compared with the reference mortar. Porosity values reduced by 41% and 59% for the addition of 1.5% and 3%addition of NS.

ISBN: 978-605-71156-5-2

CNC effect of water absorption on cement mortars presents in Fig. (3). It was first increased in the content of 0.25% but then tended to decrease in 0.50% and 0.75% content, similar expression in void ratio curves. It is well observed that the addition of CNC decreased the water absorption as well as decreased the void ratio.

In the literature, (Barnat-Hunek et al. 2019: 8), it has been studied the inclusion of CNC with different amounts (0.5%, 1.0%, and 1.5%) by weight of cement and its side effects on cement mortars. NCMs were observed to decrease the porosity of cement mortars the reason was reported as the polymeric materials sealing the mortar structures. The 1.5% CNC wasn't mostly sealing. In the Porosity, the same studies mentioned it decreased by 19.8% compared to the reference. Moreover, water absorption dropped with the increase of CNC content by 32% lower for the 1.5% content mortars in comparison to the reference. Increasing of CNC dosage was stated the reduction absorptivity in cement mortars. The most decrease was found in the 1.5% content sample by a 51.3% reduction in water absorption compared to the reference.

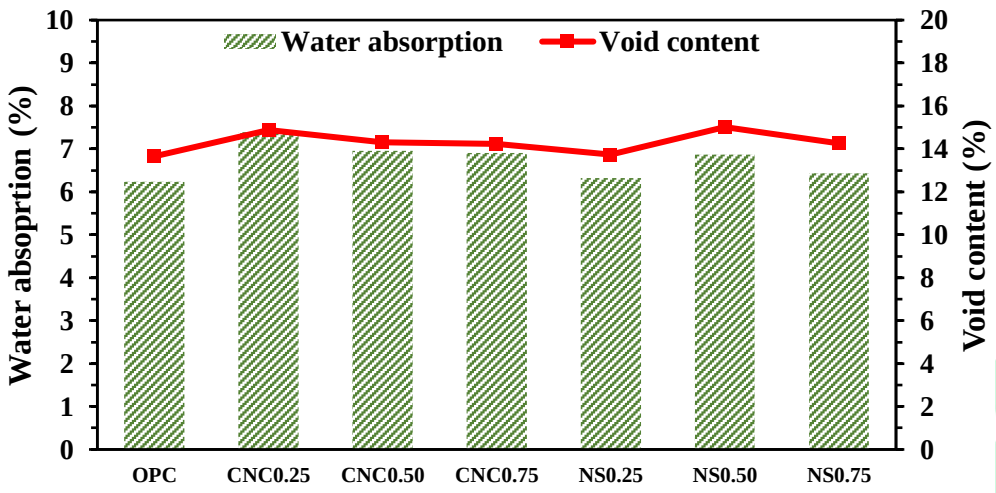



Fig. 3 – CNC an NS water absorption and void ratio results.

## Conclusion

The effects of using cellulose nanocrystal (CNC) and nanosilica (NS) on the mechanical performance of cement-based materials have been investigated within the scope of this experimental study. Cement mortars were prepared with the inclusion of 0.25%, 0.50%, and 0.75% wt. with a 0.5 w/c ratio for NS groups, and similar contents for CNC groups. Several important conclusion can be drawn:

- CNC showed most of decreasing in flow diameter compared to NS with the increasing of CNC content, While NS started to decrease the flow diameter only in 0.50% content. NS decreases did not cause a significant change compared to CNC that conclude the NS has low effectivity in low quantities, which requires higher NS amounts to finally show a notable effect on the workability.

ISBN: 978-605-71156-5-2

- Compressive strength results showed the CNC achieved higher strengths than NS with the same dosage used. It was revealed the increasing of CNC content led to increases in the compressive strength and that was observed in 0.75 % in 90 days content with highest strengths in CNC and NS groups. NS results also shown increasing in compressive strengths with the increasing of NS content, the 0.75% inclusion of NS in 90 days achieved mostly the highest compressive strength score in NS groups compared to reference sample.
- Absorption results concluded the decreasing of absorption and void ratio was achieved mostly by CNC while NS results in absorptivity showed stable results, at the same time, the water absorption and void ratio started to be decreased only in 0.75% dosage.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Acknowledgements**

This study was supported by Yildiz Technical University Research Foundation (Project No: FYL-2022-4795).

**References**

ASTM C305. (2020). Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C642-21. (2021). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, United States. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C511-21. (2021). Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water. Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C109/109M-21. (2021). Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens). Annual Book of ASTM Standards.

Björnström, J., Martinelli, A., Matic, A., Börjesson, L., and Panas, I. (2004). "Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium–silicate–hydrate formation in cement." Chem. Phys. Lett., 392(1–3), 242–248. https://doi.org/10.1016/j.cplett.2004.05.071

Barnat-Hunek, D., Grzegorczyk-Frańczak, M., Szymańska-Chargot, M., & Łagód, G. (2019). Effect of eco-friendly cellulose nanocrystals on physical properties of cement mortars. Polymers, 11(12). https://doi.org/10.3390/polym11122088.

Collepardi, M., et al., (2002).: Influence of amorphous colloidal silica on the properties of self compacting concretes. In: Proceedings of the International Conference - Challenges in Concrete Construction - Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction, Dundee, UK, pp. 473–483.

Collepardi, S., Borsoi, A., Ogoumah Olagot, J. J., Troli, R., Collepardi, M., Cursio, A. Q. (2005). "Influence of nano-sized mineral additions on performance of SCC." Proc., 6th Int. Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, R. K. Dhir, K. A. Paine, and M. C. Tang, Thomas Telford, Technology and Engineering, Dundee, U.K., 5–7. https://doi.org/10.1680/aonicd.34082.0006.

Cao, Y.; Zavaterri, P.; Youngblood, J.; Moon, R.; Weiss, J. The influence of cellulose nanocrystal additions on the performance of cement paste. Cem. Concr. Res. 2015, 56, 73–83. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.11.008.

Chithra S, Senthil Kumar SRR, Chinnaraju K (2016) The effect of colloidal nano-silica on workability, mechanical and durability properties of high-performance concrete with copper slag partial fine aggregate. Constr. Build Mater 113:794–804. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.119.

Cao, Y.; Zavattieri, P.; Youngblood, J.; Moon, R.; Weiss, J. The relationship between cellulose nanocrystal dispersion and strength. Constr. Build. Mater. 2016, 119, 71–79. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.077.

D. Mazlan, M.F. Din, C. Tokoro, I.S. Ibrahim, (2016). CELLULOSE NANOCRYSTALS ADDITION EFFECTS ON CEMENT MORTAR MATRIX PROPERTIES, 3 (n.d.) 5.

E. Ghafari, H. Costa, E. Júlio, A. Portugal, L. Duraes, ˜ The effect of nanosilica addition on flowability, strength and transport properties of ultra high performance concrete, Mater. Des. 59 (2014) 1–9,
https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.051.

Flores, J.; Kamali, M.; Ghahremaninezhad, A. An Investigation into the Properties and Microstructure of
Cement Mixtures Modified with Cellulose Nanocrystal. Materials 2017, 10, 498. https://doi.org/10.3390/ma10050498.

Hou P, Kawashima S, Kong D, Corr DJ, Qian J, Shah SP (2013) Modification effects of colloidal nanoSiO2 on cement hydration and its gel property. Compos Part B Eng 45:440– 448. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.05.056.

Ji, T. Preliminary Study on The Water Permeability and Microstructure of Concrete Incorporating Nano-SiO2. Cem. Concr. Res. 2005, 35, 1943–1947. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.07.004.

Jo, B. W., Kim, C. H., Tae, G. O., and Park, J. B. (2007). "Characteristics of cement mortar with nano-SiO2 particles." Constr. Build. Mater., 21(6), 1351–1355. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.020

Jittabut, P., Chindaprasirt, P., & Pinitsoontorn, S. (2015). The study of physical and thermal conductivity properties of cement paste containing nanosilica. Key Engineering Materials, 659, 164–168. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.659.164.

J. Claramunt, H. Ventura, R.D. Toledo Filho, M. Ardanuy, Effect of nanocelluloses on the microstructure and mechanical performance of CAC cementitious matrices, Cement Concr. Res. 119 (2019) 64–76, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.02.006.

Kolour, H. H., Ahmed, M., Alyaseen, E., & Landis, E. N. (2018). An investigation on the effects of cellulose nanofibrils on the performance of cement paste and concrete. Advances in Civil Engineering Materials, 7(1), 463–478. https://doi.org/10.1520/ACEM20180048.

Kamasamudram, K. S., Ashraf, W., & Landis, E. N. (2021). Cellulose nanocomposites for performance enhancement of ordinary portland cement-based materials. Transportation Research Record, 2675(9), 11–20. https://doi.org/10.1177/0361198120958421.

Li, H.; Xiao, H.-G.; Ou, J.-P. A Study on Mechanical and Pressure-Sensitive Properties of Cement Mortar with Nanophase Materials. Cem. Concr. Res. 2004, 34, 435–438. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.08.025.

Liu, J.; Li, Q.; Xu, S. Influence of Nanoparticles on Fluidity and Mechanical Properties of Cement Mortar. Constr. Build. Mater. 2015, 101, 892–901. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.149.

Lee, H. J., & Kim, W. (2020). Long-term durability evaluation of fiber-reinforced ECC using wood-based cellulose nanocrystals. Construction and Building Materials, 238, 117754. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117754.

Monasterio M, Gaitero JJ, Erkizia E, Guerrero Bustos AM, Miccio LA, Dolado JS, Cerveny S (2015) Effect of addition of silicaand amine functionalized silica-nanoparticles on the microstructure of calcium silicate hydrate (C-S-H) gel. J Colloid Interface Sci 450:109–118. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.02.066.

Moon, R.J.; Schueneman, G.T.; Simonsen, J. Overview of Cellulose Nanomaterials, Their Capabilities and Applications. JOM 2016, 68, 2383–2394. https://doi.org/10.1007/s11837-016-2018-7.

Nassiri, S., Chen, Z., Jian, G., Zhong, T., Haider, M. M., Li, H., Fernandez, C., Sinclair, M., Varga, T., Fifield, L. S., & Wolcott, M. (2021). Comparison of unique effects of two contrasting types of cellulose nanomaterials on setting time, rheology, and compressive strength of cement paste. Cement and Concrete Composites, 123(January), 104201. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104201.

Oke, A.E.; Aigbavboa, C.O.; Semenya, K. Energy Savings and Sustainable Construction: Examining the Advantages of Nanotechnology. *Energy Procedia* **2017**, *142*, 3839–3843. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.285

Qing, Y., Zenan, Z., Deyu, K., and Rongshen, C. (2007). "Influence of nano-SiO2 addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume." Constr. Build. Mater., 21(3), 539–545. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.09.001

Rao, N.V.; Rajasekhar, M.; Vijayalakshmi, K.; Vamshykrishna, M. The Future of Civil Engineering with the Influence and Impact of Nanotechnology on Properties of Materials. *Procedia Mater. Sci.* **2015**, *10*, 111–115. https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.06.032

Senff, L, Labrincha, J. A., Ferreira, V. M., Hotza, D., and Repette, W. L. (2009). "Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars." Constr. Build. Mater., 23(7), 2487–2491. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.02.005

Senff, L., Hotza, D., Repette, W. L., Ferreira, V. M., & Labrincha, J. A. (2010). Mortars with nano-SiO2 and micro-SiO2 investigated by experimental design. Construction and Building Materials, 24(8), 1432–1437. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.01.012.

S. Kawashima, T.S. Jung-Woo, D. Corr, M.C. Hersam, S.P. Shah, Dispersion of CaCO3 nanoparticles by sonication and surfactant treatment for application in fly ash cement systems, Mater. Struct. Constr. 47 (2014) 1011–1023, https://doi.org/10.1617/s11527-013-0110-9.

Sargam, Y., & Wang, K. (2021). Influence of dispersants and dispersion on properties of nanosilica modified cement-based materials. Cement and Concrete Composites, 118(January), 103969. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.103969.

Shahrul, S., Mohammed, B. S., Wahab, M. M. A., & Liew, M. S. (2021). Mechanical properties of crumb rubber mortar containing nano-silica using response surface methodology. Materials, 14(19). https://doi.org/10.3390/ma14195496.

Jo, B.W.; Kim, C.H.; Tae, G.H.; Park, J.B. Characteristics of Cement Mortar with Nano-SiO2 Particles. Constr. Build. Mater. 2007, 21, 1351–1355. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.020.

Tsampali, E., Tsardaka, E. C., Pavlidou, E., Paraskevopoulos, K. M., & Stefanidou, M. (2019). Comparative study of the properties of cement pastes modified with nano-silica and Nano-Alumina. Solid State Phenomena, 286, 133–144. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.286.133.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Sistemleri Yönetimi "Bursa Şehri İncelemesi"

*Aliye Nalan FİDAN*[1]
*Ayhan KARADENİZ*[2]
*Gökhan GELİŞEN*[3]

**Abstract**

Şehirlerde etkili ve sürdürülebilir bir yönetim anlayışının kazandırılması amacıyla Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin etkin bir biçimde kullanılmasını öngören akıllı şehir kavramı 2000'li yılların başında gündeme gelmiştir. Akıllı ekonomi, akıllı yönetişim, akıllı çevre, akıllı yaşam, akıllı ulaşım ve akıllı insan gibi bileşenlerin bağlantılı olduğu bu yaklaşımda amaç; toplumun yaşam kalitesinin artırılması ve şehirlerin sürdürülebilirliğinin sağlanmasıdır. Şehirlerin geleceğine yön verilmesinde çevre duyarlılığının olması sürdürülebilirliğin temelidir. Çağımızda artık gelişen yeni teknolojilerin kentsel yönetime, altyapıya ve üstyapıya uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle teknolojik gelişmeler kullanılarak ve şehre bütünleştirilerek, enerji verimliliğin artırılması ve ulaşımda güvenliğin sağlanması ve karbon emisyonlarının azaltılması gibi faktörleri içeren "Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Sistemleri" uygulamaları geliştirilmelidir. Akıllı ulaşım kavramı, dünyadaki tüm gelişmelere paralel olarak Türkiye'de de ulaşım politikalarında ve yerel yönetim uygulamalarında yerini aldığı görülmektedir. Bu makale, sürdürülebilir akıllı ulaşım sistemlerinin şehrin gelişimine, ulaşım politikalarına nasıl etkilediğini ortaya koymaktır. Sanayi ve turizm şehri olan, hızlı göç alan ve çeşitli kentsel sorunlara çözümler arayan Bursa'da "akıllı şehir" uygulamaları kapsamında Büyükşehir Belediyesi tarafından uygulanan akıllı ulaşım politikaları ve uygulamaları incelenmiş, sürdürülebilirlik yaklaşımı ele alınmıştır.

**Keywords:** Sürdürülebilir, Akıllı Şehir, Akıllı Ulaşım, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS).

[1] Yük.Şehir Plancısı, Bahçeşehir Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, Orcid: 0000-0003-0745-4585
[2] Harita Müh., Bahçeşehir Üniversitesi; Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, Orcid:0000-0001-5205-9117
[3] Dr. Öğretim Üyesi, Bahcesehir Üniversitesi, İnşaat ve Doğa Bilimleri Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Orcid: 0000-0002-2711-6658

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Yöntem**

Literatür araştırması yapılarak Sürdürülebilirlik ve Akıllı Şehir kavramlarını inceledikten sonra, Akıllı Ulaşım Sistemlerine odaklanılarak sistemini detayları incelenmiştir. Dünya ve ülkemizdeki şehir örnekleri taranarak, Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Bursa'da nasıl devreye girdiği, kullanılan teknolojiler ve uygulamalar incelenmiştir.

Kentleşmenin ve çevre kirliliğini azaltmanın yeterli olmadığı durumlarda günümüz şehirlerinde sürdürülebilir akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları uygun bir yöntemdir.

**Sürdürülebilir Akıllı Şehirler ve Akıllı Ulaşım**

Sürdürülebilirlik kavramına şehir ölçeğinde bakıldığında, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlar çerçevesinde, sistemlerin çeşitliliğinin ve devamlılığının sağlanarak sürdürülebilir yerleşkeler oluşturulmasıdır. "Çevresel tasarım", "ekolojik tasarım", "eko- kent" ve "sürdürülebilir tasarım" gibi kavram çeşitliliği ile birlikte fosil yakıtlardan, doğaya zarar veren çözümlerden, yenilenebilir enerjiye ve ekosistem çözümlerine geçilmeye başlanmasıyla tüm Dünya'da sürdürülebilirliği hayata geçirmek için kararlı politikalar, ekonomik ve sosyal değerlerde değişimler, ekolojik tasarım alanında ilerlemeler gündeme gelmiştir. Bu anlayış içinde bölgesel boyutta planlama, ulaşım alternatifleri vb. değişim ve gelişim sürecine girmiştir.

Şehirler son yıllarda önüne birtakım sıfatlar takılarak anılmaktadır. 'Bağlı Şehir', 'Yeşil Şehir', 'Sürdürülebilir Şehir', 'Marka Şehir', 'Yenilikçi Şehir' ve 'Dijital Şehir' gibi sıfatlar şehirlerin önüne getirilerek şehirler tanımlanmaktadır. Şehir yöneticileri bu kavramları kullanarak şehrin cazibesini arttırmak, yatırım çekmek, turizmi arttırmayı hedeflemektedir. Tüm bu kavramlar şehirde bir hareketlilik meydana getirse de bu kavramların hiçbiri tam manası ile şehri ve içinde yaşayanları ifade etmemektedir. İşte tam da burada **akıllı şehir kavramı** öne çıkmaktadır. İçerisinde hem bağlılık (nesneler arası), hem sürdürülebilirlik, hem yenilikçilik hem de teknolojiyi barındırmaktadır (Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023), 2019).

1994 yılında OECD tarafından Çevresel Sürdürülebilir Ulaşım Projesi kapsamında sürdürülebilir ulaşım terimi gündeme getirilmiştir. OECD Sürdürülebilir ulaşımı şöyle tanımlar: Bireylerin günlük temel ulaşım faaliyetlerini sosyal adalet ilkesi, çevre dostu ve ekonomik bir biçimde sunan, çevreci, ekonomik ulaşım alternatifleri sunan, kitle ulaşımı ve ulaşımda yeşil modları teşvik eden, ulaşımda alternatif yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak yenilenemez kaynak kullanımını en aza indirgeyen, fosil yakıt kullanımı kaynaklı kirletici etkileri sınırlayan, yerleşim alanlarında güvenli bir biçimde yürüyüş ve bisiklet kullanımını teşvik eden, özel araç bağımlılığını azaltacak ulaşım hizmetleri sunan bir yapıda olması gerekliliğini belirtmiştir (OECD, 1994).

Sürdürülebilir ulaşım ekonomik anlamda verimli hareketlilik, yerel ekonomik kalkınma ve işlevsel verimi amaçlamaktadır. Sürdürülebilir ulaşımın sosyal alandaki amaçları, insan güvenliği ve sağlığı, sosyal hakkaniyet, alım gücü (ödenebilirlik), toplumsal uyum ve kültürel korumayı göz önünde bulundurmaktadır. Çevresel olarak ise, hava, ses ve su kirliliğinin azaltılması; kaynakların

ISBN: 978-605-71156-5-2

korunması; açık alanların korunması ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik amaçlar taşımaktadır" (Litman, 2014).

(Bayraktar, 2020)'a göre ulaşım-hareketlilik şehirleşmenin en önemli dinamiklerindendir ve ulaşım hareketlilik ile ilişkilendirilen altyapılar her zaman şehri tanımlayan en önemli altyapılar olmuştur. Şehir yaşanabilirliğini ve dolayısı ile ekonomiyi yakından etkilemektedir. Sürdürülebilir yolculuk şekilleri şehir yetkilileri tarafından tercih edilmektedir. Türkiye'de de 2000'li yıllarla birlikte çeşitli yasa ve yönetmeliklerle akıllı ulaşım teknolojilerinin yaygınlaştırılmasına yönelik düzenlemeler yapılmıştır. Kalkınma planları, Ulusal Akıllı Ulaşım Stratejileri Belgesi, Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar gibi belge ve yönetmeliklerde, akıllı ulaşım teknolojilerinin yaygınlaştırılması, ulaşımda akıllı hareketliliğin sağlanması için etkin ve sistemli bir planlamanın yapılmasına yönelik bazı hedefler yer almaktadır. Son yıllarda iklim değişikliği ve çevresel sorunlar üzerindeki ulaşımdan kaynaklı etkilerin azaltılmasına yönelik çalışmalar da akıllı hareketlilik kavramını gündeme getirmiştir.

2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı'na göre, Akıllı Ulaşım-Hareketlilik ile teknoloji destekli, bütünleşik taşımacılık ve lojistik sistemleri kastedilir. Akıllı Ulaşım-Hareketlilik temiz ve çoğunlukla motorsuz seçeneklere öncelik verir. Bu kapsamda çok modlu, düşük emisyonlu, gerçek zamanlı bilgilerin yayıldığı, tasarruflu seyahat planı seçenekleri sunulan güvenli ve birbirine bağlı sistemler öne çıkmaktadır. Akıllı Ulaşım-Hareketlilik ile daha konforlu, daha güvenli, daha çevreci, daha erişilebilir insan odaklı ve bütünleşmiş bir ulaşım hedeflenmektedir (T.C.Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

Sürdürülebilir Akıllı Ulaşımda trafik sıkışıklığı azaltılmalı, özel araç kullanımı ihtiyacı azaltılmalı, toplu taşıma, yürüme ve bisiklet yolları cazibesi artırılmalı, emisyonlar ve fosil yakıt kullanımı azaltılmalı, trafik güvenliği artırılmalıdır. Gelişmiş ülkelerde, raylı taşımacılık; ulaşım sektörü içinde sürdürülebilir kentsel gelişmeyi sağlayan en önemli bileşendir (Cirit, 2014). Birçok ülkede alt yapı yatırımları ve teknoloji desteği ile akıllı duraklar ve akıllı bilet uygulamaları kullanıma sunulmakta; elektronik ve dijital destekli ücret ödeme sistemleri yaygınlaşmaktadır. Böylelikle kent içinde yolcuları tek bilet sistemiyle farklı ulaşım modları arasında metro, tren, tramvay, otobüs veya deniz taşıtı ile seyahat edebilmesi toplu ulaşımın kullanımını kolaylaştırmaktadır. (Akbulut, 2016).

**Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)**

AUS sistemleri araçların hızı, konumu ve trafikteki yoğunluk gibi verileri kendi süzgecinden geçirerek sistemi kullanan kişilere çeşitli faydalar sağlamayı hedefler. Bu faydalar;

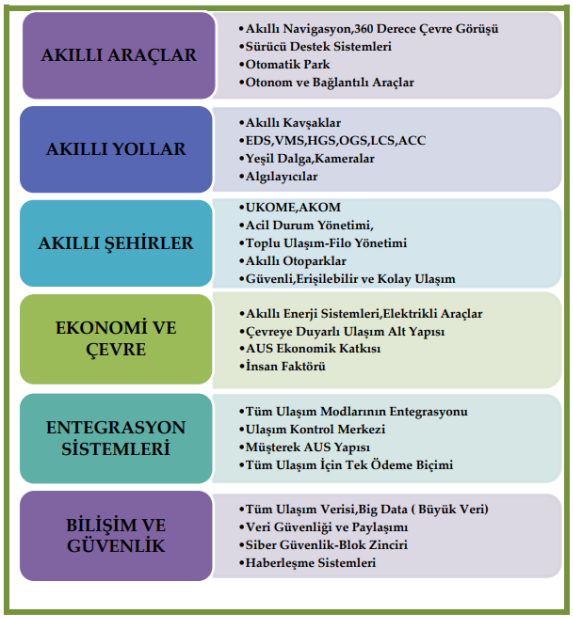
Engelli, yaşlı, hamile ve buna benzer dezavantajı bulunan kişileri toplu ulaşıma dâhil ederek hem toplu taşımı kullanan kimselerin hem de dezavantajlı durumu olanların ulaşım ihtiyacını en kısa sürede gidermek,

Trafiğe katılan araç sayısını azaltarak olası kaza durumlarında yaralanma ve ölüm riskini en aza indirmek,

Ulaşım konusundaki belirsizlikleri ve ani yoğunlukları daha planlı, daha hızlı ve daha ucuz yöntemlerle sonuca ulaştırmak,

ISBN: 978-605-71156-5-2

Ulaşımda yakıt tasarrufu sağlandığı, karbon salınımının azaldığı, araç yıpranma süresinin kısalması, dolayısıyla çevre kirliliğinin azalması ve daha yönetilebilir bir ulaşım sistemi kılmaktır (Tektaş & Tektaş, 2019).




**Şekil 1.** Mevcut ve gelecek AUS uygulamalarının sektörlere göre dağılımı.[1]

AUS çok disiplinli bir takım çalışması ile ancak mümkündür. Ulaştırma mühendisleri, Şehir plancıları, Elektrik-elektronik mühendisleri, bilgisayar mühendisleri, harita mühendisleri vb. farklı meslek disiplinlerinden uzmanlardan oluşmalıdır.

Ulaşımın Geleceği "Sürdürülebilir ve Akıllı Ulaşım" sistemleridir. Sıfır ya da Düşük Karbonlu geleceğin sürdürülebilir ulaşım sistemlerinde olmazsa olmasıdır. Sürdüremiyorsanız "Teknolojik" olabilir ama "Akıllı" Değildir. Yanlış planlanmış bir şehri veya ulaşım sistemi AUS ile doğru yönetilemez. Sürücü ve yolcu kararlarının değiştirilmesinde etkin bir araç olabilmesi için, bu sistemlerin topluma, vatandaşa ve kullanıcılara iyi anlatılması gereklidir. AUS, insan odaklı olmalı ve kullanılan teknolojik çözüm kullanıcıya fayda yaratmalıdır. AUS bu yüzden bir amaç değil, bir araçtır ve destek mekanizmasıdır. Gerekmeyen araçlar için boşa kaynak harcamamak gerekmektedir. Çünkü bu uygulamaların yatırım maliyetleri oldukça yüksektir.

## Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Enerji Verimliliği

Ulaşımda enerji verimliliği genellikle yakıt tüketimi olarak tanımlanır, yakıt tüketimi ise yakıt ekonomisinin karşılığıdır. Yapılan güncel araştırmalara göre; ulaşım, küresel enerji kullanımının yaklaşık yüzde 19'unu tüketmekte ve enerjiyle ilgili karbon emisyonlarının yüzde 23'ünü üretmektedir. Hareketliliğe yönelik artan küresel talep ve kalkınma eğilimleri, ekonomik entegrasyon ve kentleşmenin tümü, daha iyiye duyulan ihtiyaca işaret etmektedir. Bunlar;

[1] Kaynak: (Tektaş & Tektaş, 2019)

ISBN: 978-605-71156-5-2

kaynakların bu talepleri karşılamak için kullanılması ve insan ayak izini azaltmak olarak özetlenebilir.

Verimli olmak ise, başarıya ulaşmak için minimum kaynakları kullanmaktır. Küresel anlamda verimliliğin değerlendirilmesine bakılacak olursa, bu husus ulaşım sistemlerinin çeşitli unsurları açısından değerlendirilebilir, ancak ülkeler arasında yapılacak bir karşılaştırma elde mevcut verilerle sınırlıdır. Bu sınırlamalar sadece bir tanesine odaklanmaya yol açar. Buradaki temel gösterge, Dünya Bankası tarafından geliştirilmiş olan Lojistik Performans Endeksi (LPI)[2] olarak adlandırılmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, ulaşım verimliliği açısından taşınan yolcu ile ilgili olarak ulaşım-hareketlilik performans endeksi (MPI) kullanılması ve geliştirilmesi de söz konusudur.

Diğer verimlilik göstergeleri Tablo-1'de özet olarak gösterilmiştir.

| S.Nu. | Gösterge | Açıklaması |
|---|---|---|
| 1 | "Düzenleyici Sınırdaki mesafe | Bu, Dünya Bankası'nın "Doing Business" girişimine dayanmaktadır. Bu ölçüt, iş düzenlemeleri ve mülkiyet haklarının korunması konularını içeren nicel bir göstergedir. 0'dan 100'e kadar ölçek, burada 0 en kötü performansı ve 100 sınırı temsil eder. |
| 2 | Elektrik-karbon Yoğunluğu | Bu, Uluslararası Enerji Ajansı kompozit elektrik/ısı faktörüdür (kgCO2/kWh). |
| 3 | Kişi başına GSYİH | Ülke nüfusu başına Satın Alma Gücü Paritesi ile ölçülen Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla. |
| 4 | Hükümet Verimliliği | Bu, Dünya Bankası'nın Dünya Çapında Yönetişim Göstergeleri (WGI) projesinin bir bileşenidir. Yönetişimin altı boyutu için göstergeler: Söz ve Hesap Verebilirlik, Siyasi İstikrar ve Şiddet, Devletin Etkinliği, Düzenleyici Kalite, Hukukun Üstünlüğü ve Yolsuzluğun Kontrolü. |
| 5 | Arazi alanı | 10 km kare başına ölçütler. |
| 6 | Motorizasyon oranı | 1000 kişi başına düşen araç. |
| 7 | Akıllı telefon kullanım oranı | |
| 8 | Arazi sağlamlığı | Bu, ortalama yükseklik farkı cinsinden ölçülür. |
| 9 | İhracat noktasına olan zaman | Bu aynı zamanda Dünya Bankası'nın Doing Business girişimine dayanmaktadır. Gün cinsinden ölçülür. |
| 10 | Ticari Açıklık | Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'nın (GSYİH) payı olarak ithalat artı ihracatın toplamı olarak tanımlanır. |
| 11 | Ulaşım Altyapı Endeksi | Altyapı kapsamının ve kalitesinin önemini vurgulamaktadır. |

[2] LPI, uluslararası tedarik zincirlerinin etkinliğinin kapsamlı bir ölçüsüdür; ülkelerin ticaret lojistiği konusundaki performanslarında karşılaştıkları zorlukları ve fırsatları ve performanslarını iyileştirmek için oluşturulmuş etkileşimli bir kıyaslama aracıdır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | | |
|---|---|---|
| | | Bu önlem şunları birleştirir: genel altyapı kalitesi, yol kalitesi, demiryolu altyapısı kalitesi, liman altyapısının kalitesi, hava taşımacılığı altyapısının kalitesi ve mevcut havayolu koltuk kapasitesi. |
| 12 | Kentsel nüfus | Yüzde cinsinden kentsel nüfus oranıdır (Toplamın yüzdesi). |

**Tablo 1.** Verimlilik Göstergeleri (Birleşmiş Milletler)[3]

Tabloda sunulan bilgiler verimlilik kavramının ölçülmesine yönelik olarak kabul edilmiş örnek birtakım kıstasların mevcudiyetinin vurgulanması amacıyla verilmiştir. Konu ile ilgili ayrıntılara bu çalışmada değinilmemiştir.

(Noussan, Hafner, & Tagliapietra, 2020)'e göre, ulaştırma sistemlerinin çevre üzerinde önemli etkileri vardır ve dünya enerji tüketiminin ve karbondioksit emisyonlarının %20 ila %25'ini oluşturmaktadır. Mevcut emisyonların çoğu, neredeyse %97'si, fosil yakıtların doğrudan yakılmasından kaynaklanmaktadır. Petrol ürünlerine olan güçlü bağımlılığı nedeniyle ulaşım, şu anda dünya çapında ulaşımda nihai enerji tüketiminin yaklaşık %92'sini temsil eden en karbon yoğun sektörler arasında yer almaktadır.

Mevcut ulaşım teknolojileri ve uygulamaları, diğer tüm ekonomik ve sosyal faaliyetlerle sıkı bir şekilde bütünleşmiştir. Bu, kişisel davranışlarımızın, sosyal alışkanlıklarımızın ve iş uygulamalarımızın ulaşım sektörü tarafından şartlandırıldığı anlamına gelmektedir. Yine de taşımacılığın çok yaygın ve entegre doğası, tüm ekonomi ve toplumdaki alanlarda değişimi etkileyebileceği ve destekleyebileceği anlamına gelmektedir. Ulaşımın bu yüksek önemi, yaygın ulaşımı sağlamak ve bundan yararlanmak için hükümetlerin ve özel sektörün büyük ilgisini çekmektedir. Sadece kişisel davranışlar ve sosyal alışkanlıklar değil, yerleşik uygulamalar, hâlihazırda bunları sağlayanlar tarafından benimsenir ve korunur. Sonuç olarak, verimli sürdürülebilir ulaşım için en büyük zorluklar kamuoyu ve siyasi iradedir.

(İnnovITS, 2013) Raporuna göre gerek kamuoyu baskısı, gerekse artık zorunluluk haline gelen önlem alma ihtiyacı; enerji verimli sürdürülebilir akıllı ulaşım yaklaşımına dair yeni uygulamaları da beraberinde getirmiştir. Enerji verimli sürdürülebilir akıllı ulaşım teknolojilerinin kullanıldığı kentlerde umut verici düzeyde sonuçlar elde edilmiştir. Avrupa'daki pek çok şehir, gerçek dünya projelerinde AUS hizmetlerini kullandığından, daha sürdürülebilir bir kentsel hareketliliğe yönelik birçok fayda elde edilmiş durumdadır. Buna bir örnek olarak yapılan bir araştırmada; AUS 'nin kullanılmasının bir dizi mod, altyapı ve faaliyet genelinde ulaşım sistemleri üzerinde olumlu etkileri olduğu tespiti yapılmıştır. Bu çalışmaya göre; şebeke verimliliği ile ilgili önlemler kapsamında karbon (CO2) emisyonlarında %10-15 oranında; diğer çevresel emisyonlardaki (CO, NOx, PM10) % 2-20, yakıt tüketiminin % 5-15, trafik sıkışıklığının %12-30 azaldığı verilerine ulaşılmıştır.

AUS çözümleri, ilgili farklı paydaşların ihtiyaçları ve önceliklerinin yanı sıra şehirlere göre uyarlandığından, nihai kesin faydalar belirli saha uygulamalarına göre değişiklik göstermektedir. Sürdürülebilir, çevresel faydalar sağlayan bir enerji verimliliği kapsamında bir hizmete örnek olarak,

[3] Kaynak: (World Bank, 2019) uyarlanmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

sürücülerin trafik nedeniyle durmak zorunda kalmamak için sinyalize bir kavşağa yaklaşırken uygulamaları gereken en iyi hız hakkında araç içi bilgilere sahip olmalarını sağlayan Yeşil Işık Optimum Hız Danışmanlığı (GLOSA) verilebilir. Bu sistem sayesinde sürücünün; bir kırmızı ışıkta durmak yerine, yavaşlaması ve daha sonra seyir hızına geri dönmek suretiyle yakıt tüketiminin azaltılması ve sürüş konforunun artırılması hedeflenmiştir. Bu konu ile ilgili diğer örnekler; acil servisler veya toplu taşıma araçları için sinyalize kavşaklarda "Yeşil Öncelik" veya park yeri arayan bir araçta daha az zaman harcanması nedeniyle trafik sıkışıklığını ve kirliliği azaltabilen cadde ve cadde üstü park yerleri hakkında gerçek zamanlı bilgiler sağlanması olarak verilebilir (E.U. ERTICO – ITS Europe with the Centre for Research and Technology Hellas (CERTH)., 2019).

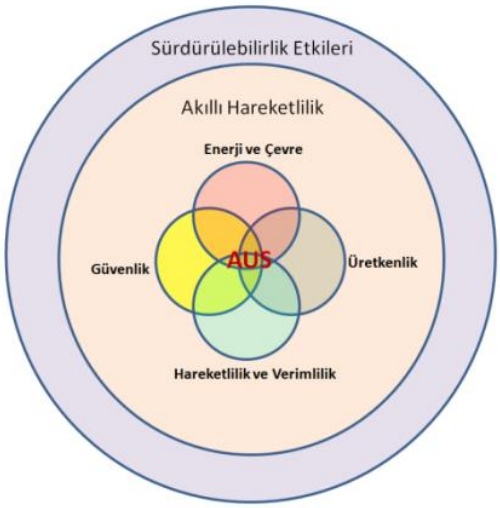
**Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Yöntemleri**

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), dijital çağın damgasını taşıyan bilgi ve iletişim teknolojilerindeki devrimin bir ürünüdür. AUS, günümüzde bütünleşmiş ulaşım ağlarının işletilmesini, ağlar üzerinde çalışan araçların kontrolünü ve bu araçları kullanan operasyonların verimli bir şekilde planlanmasını (bireysel yolculuk planlaması ve filo lojistiği dahil) desteklemektedir. Basit bilgi aktarımından son derece karmaşık kontrol sistemlerine kadar çok çeşitli kullanıcı destek işlevleri içermektedirler. Bir başka ifade şekilde ifade edilecek olursa, AUS hizmetleri bir bilgi zinciri olarak düşünülebilir. Bilgi zinciri, veri toplama (ulaşım sisteminden), iletişim, veri işleme, bilgi dağıtımı ve bilgi kullanımını içerir.

Bilgi zinciri kavramı, kapsamlı trafik sistemlerini yönetenler için yeni değildir. Bununla birlikte, AUS 'inde nispeten yeni olan teknolojiler ve sistem kavramları şunlara yöneliktir: Birden fazla merkezi içeren bilgi alışverişi ve karar koordinasyonu (örneğin, intermodal taşımacılık hizmetleri için trafik ve transit yönetim merkezleri arasında), araç ve yol altyapısı arasında bilgi edinme ve uyum (dinamik rota kılavuzu gibi işlevler için), yeni özel sektör kuruluşlarıyla bilgi alışverişi (örneğin, cep telefonları veya İnternet), ulaşım dışı kuruluşlarla bilgi alışverişidir.

Ulaştırmada AUS'nin dikkate alınmasının tam olarak değerlendirmesine yetecek tek bir sürdürülebilirlik ölçütü olmadığı ifade edilebilir. Bu nedenle, genel olarak; çevresel koruma, ekonomik üretkenlik ve sosyal refahın temel yönlerine odaklanan sürdürülebilirliğin üç sütunu üzerine inşa edilmiş bir çerçeveden söz edilebilir. Bu nedenle, Şekil 2'de gösterildiği gibi, AUS etkilerini değerlendirmek maksadıyla, daha geniş ve entegre bir yaklaşım ortaya konmuştur (İnnovITS, 2013).

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 2.** AUS ve faydaları için sürdürülebilirlik etki çerçevesi[4]

Bu alanların her biri altındaki temel etki göstergeleri aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

**Enerji ve Çevre:** Enerji ve çevre alanındaki etkiler tipik olarak yakıt tasarrufu ve azaltılmış kirletici araç emisyonlarıdır. Buna ana sera gazı (GHG) olan karbondioksit (CO2) ve azot oksitler (NOX), kükürt oksitler (SOX), hidrokarbonlar (HC) ve partikül madde (PM10, 20) dahil olmak üzere diğer çevresel emisyonlar dahildir. Bu emisyonlar, araç ve sürücü davranışlarıyla yakından ilişkilidir.

**Hareketlilik ve Verimlilik:** Hareketlilik ve verimlilik etkileri, tipik olarak, ulaşım ağı genelinde seyahat süresi veya gecikme azaltılmasından kaynaklanan tasarrufları, seyahat süresi bütçe tasarrufları ve zaman performansındaki iyileştirmelerle ilgilidir. Bu aynı zamanda azaltılmış trafik tıkanıklığı, daha fazla kapasite sağlanması, planlama ve yönetim dâhil olmak üzere operasyonel verimliliğe yönelik faydaları da içerir.

**Üretkenlik:** Bu etkiler genellikle ulaşım sağlayıcıları, yolcular veya nakliyeciler için maliyet tasarruflarındaki iyileştirmelerle ilgilidir. Bu, yük yönetimi, binek araç güvenliği, ulaştırma yönetimi, karar destek sistemleri ve çok çeşitli diğer uygulama alanları için olumlu fayda-maliyet oranlarını içerir.

**Güvenlik:** Bu etkiler, çok çeşitli ulaşım yöntemleri ve altyapı kullanımı genelinde kazalarda, yaralanmalarda, olay yönetiminde ve müdahale süresinde azalma, ölüm vakalarında azalma ve genel olarak iyileştirilmiş yolcu güvenliği ile ilgilidir.

Her şehir birbirinden farklı olduğundan, AUS çözümleri yerel bağlama uyarlanmalı ve şehrin politika hedeflerine hizmet etme vizyonu ve hedefleri ile uyumlu olmalıdır. Kentsel hareketliliği karakterize eden sosyal, ekonomik ve çevresel zorlukları ele almak için çeşitli alanlardan uzmanlık ve AUS çözümlerinin etkilerini ve sonuçlarını anlamak için teknik uzmanlık gereklidir. "Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planlaması (SKHP/SUMP)" yerel ve bölgesel yönetimler tarafından stratejik hareketlilik planlaması maksadıyla uygulanan bir planlama kavramıdır. SUMP Rehberine göre, SKHP/SUMP daha kaliteli bir yaşam maksadıyla şehirler ve çevrelerindeki bireyler ve işletmelerin hareketlilik ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış stratejik bir plan olarak

[4] Kaynak: (İnnovITS, 2013) Raporundan uyarlanmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

tanımlanabilir. Mevcut planlama uygulamaları üzerine kuruludur ve uyum, katılım ve değerlendirmeyi gerekli şekilde dikkate alan bir uygulamadır (European Union, 2014).

Avrupa Birliği için hazırlanan, Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planlamasında (SUMP) Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (AUS) Rolü çalışmasında, SUMP hedeflerine ulaşmak için toplam 15 adet AUS yöntemi tespit edilmiştir. Bu yöntemler aşağıda özet olarak açıklanmıştır (E.U. ERTICO – ITS Europe with the Centre for Research and Technology Hellas (CERTH)., 2019).

**Reaktif ve Tahmine Dayalı Trafik Yönetimi ve Kontrolü Sistemi**

Reaktif yönetim, basit kavşaklar içindir. Sistem neler olduğunu ölçer ve ardından ona tepki verir. En temel sistemler bile hala farklı hareketlilik politikalarını destekleyebilir ve bu nedenle anılan hizmeti kurmak isteyen yerel makamların yayaları, bisikletçileri, otobüsleri ve tramvayları da düşünmesi ve bu farklı yol kullanıcılarına verilecek öncelikle ilgili kararları dikkate alması gerekmektedir. Genel trafik kontrolünü erişim kontrolü, park etme ve otobüs veya tramvay önceliği gibi diğer sistemlerle ilişkilendirmek de trafik yönetiminin bu genel başlığına girer. Tahmine dayalı sistemler ek verimlilik ve esneklik sağlar. Merkezi kontrol yazılımı, ağ üzerindeki trafik akışlarına ilişkin geçmiş verileri saklar ve geçmişte tıkanıklığa neden olan araçların mevcut hareketindeki kalıpları arar. Daha sonra trafik sinyalleri, herkes için daha uygun bir yol bulmak için trafik akışı yavaşlamadan önce ayarlanabilir ve revize edilmiş trafik sinyali gönderilerek gerekli uyarı yapılabilir.

**Toplu Taşıma ve Acil Durum Aracı Önceliği Sistemi**

Bir trafik yönetim hizmeti, belirli bir aracın konumundan ve hedeflenen varış noktasından haberdarsa, o araca öncelik verebilir. Örneğin, araç yaklaşırken sinyallerin yeşile ayarlanması ve hızlanmak için aracın amaçlanan rotası boyunca sinyallerin zamanlamasının değiştirilmesi trafik akışını ve yolu açık bulundurulmasını sağlar. Etkileşim birkaç yolla sağlanabilir. Şehirlerdeki otobüsler genellikle veri alışverişi yapmak için trafik yönetim yazılımıyla "konuşabilen" bir filo yönetim sisteminin parçasıdır. Benzer şekilde; ambulans, itfaiye vb. acil durum araçlarında da gerekli çıkış ve varış bilgilerini sağlayabilecek bir kontrol merkezi bulunacaktır.

**Yolcu Bilgileri Sistemi**

Yolcu bilgi sistemleri, toplu taşıma kullanıcılarına, sürücülerine, seyahat planlayıcılarına ve filo yöneticilerine zamanında ve doğru bilgiler ileterek rota ve yöntem seçimlerinin bu bilgiler ışığında ayarlanabilmesini amaçlamaktadır. Hizmetlere bilgisayar terminallerinden, akıllı telefonlar gibi elde taşınan cihazlardan ve araç içi ekipmanlardan erişilebilir. Kullanıcılar, kesintiler, kişisel tercihlerine dayalı alternatif çözümler veya davranışlarını etkileyebilecek koşullar (hava durumu, dinamik fiyat değişikliği, olası indirimler) hakkında gerçek zamanlı olarak bilgilendirilebildiğinden, bu hizmetler özellikle önem taşımaktadır.

**Park Yönetimi ve Bilgi Sistemi**

Birçok şehirde, araçlar park edecek yer ararken trafikte dolaşırken yoğun zaman kaybı yaşarlar ve bu da gaz emisyonlarını artırır. Daha büyük olan ve yönetilen otoparkların yeri her

ISBN: 978-605-71156-5-2

zaman iyi işaretlenmemiş olabilir. Sürücüler yavaş veya zorlu bir yolculuktan sonra otoparkın dolu olduğunu görürler. Hem işletmeciler hem de kullanıcılar için faydalı olan çözüm, parklara giren ve çıkan araçları sayan ve böylece mevcut boş kontenjan sayısını gösterebilen bir tür park yönetim sistemidir.

ABD Los Angeles şehri, sokak ve caddelerdeki alanların yönetimi ve dinamik fiyatlandırması açısından başarılı bir şekilde düzenlemeler yapmıştır. Yol kenarındaki sensörler, araçların varlığını algılayarak, park uygulaması aracılığıyla abonelere boşlukların bildirilmesini sağlamaktadır. Aşırı kullanılmayan alanlar indirimli fiyatla sunulmakta ve çok popüler bölgelerdeki alanlara ek ücret ödenebilmektedir. Bu yeni yaklaşım, alan kullanımını yaklaşık %30 oranında artırmış ve yaklaşık %15 oranında gelir artışı sağlanmıştır. Sürücüler, gecikmeli bir varışın kaçırılmış bir park fırsatına yol açmayacağından daha emin olduklarından, park etme sürelerinin biraz azaldığına dair de bulgular elde edilmiştir (Glasnapp, ve diğerleri, 2014).

**Kırmızı Işık ve Park Yasağı Uygulaması**

Birçok şehir, kırmızı ışıkta geçişi tespit etmek için kavşaklara statik kameralar yerleştirmiş ve belediye araçlarına, özellikle otobüslere, yasa dışı parkları ve özellikle kavşaklardaki veya otobüs şeritlerindeki kısıtlı alanlarda park etmeyi tespit etmek için mobil kameralar takmıştır. Bu uygulamalar, araç sahiplerini plaka numarasından takip eden ve destekleyici fotoğraflı kanıtlarla süreci otomatik olarak başlatan merkeze kolayca bağlanabilmektedir.

**Harita ve Konum Referans Verme Uygulaması**

Haritalar, çoğu AUS hizmetinin temel bileşenleridir ve 30 yılı aşkın bir süredir geleneksel tarzdaki 'analog' haritaları dijital formata dönüştürmek için sürekli çalışmalar yapılmıştır. Mevcut dijital haritalar çok hassastır ve yerel özellikler hakkında bilgi katmanları eklenebilmektedir. Dijital haritaların ve depolama ve güncelleme tekniklerinin geliştirilmesine paralel olarak, uydu sinyalleri kullanılarak konum belirlemede büyük bir gelişme olmuştur. 5 m veya daha iyi konumsal doğruluk elde etmek artık çok kolay hale gelmiş ve taşınabilir veya araç içi alıcıların maliyeti düşmeye devam etmektedir.

**Dinamik Rota Yönlendirmesi**

90'lı yılarda, dijital bir harita üzerinde gösterilebilecek konumu belirlemek için GPS kullanan ilk ticari ürün ortaya çıkmıştır. Bir kablosuz telefon bağlantısı, sistemin trafik sıkışıklığı, kötü hava koşulları ve olaylardan haberdar edilmesini ve böylece bir varış noktasına giden hesaplanan rotanın değiştirilebilmesini sağlamıştır. Birçok AUS yönteminde olduğu gibi, fiziksel boyut ve maliyet önemli ölçüde düşmüş ve rota yönlendirme hizmetleri veya "SatNav" artık akıllı telefonlarda önemsiz ekstra maliyetle sunulur hale gelmiştir.

**Aktif Araç Verileri**

Trafikte ve karayolu ağında konumlarını paylaşan katılımcı araçlara dayalı bir veri hizmetidir. Birden fazla nokta arasındaki zaman farkını karşılaştırılarak noktalar arasındaki yolculuk

ISBN: 978-605-71156-5-2

süresi ölçülebilir. Birçok araçtan gelen verileri birleştirmek, ağ yöneticilerine ağdaki farklı yerlerdeki trafik hızlarının ayrıntılarını verir. Singapur, ortalama trafik hızlarını ölçmek için donanımlı taksiler kullanmakta ve bu bilgiler, fiyatlarda değişiklik yapmak için kullanılmaktadır. Ancak özel araç sürücülerinin, verilerin sağlanmasından bir fayda görmesi gerekir ve mahremiyetlerini sağlamak için sıkı önlemler gerektirebilir.

**Yol Ücretlendirilmesi**

"Yol fiyatlandırması" veya 'tıkanıklık ücreti' olarak da bilinen yol kullanıcı ücreti, tıkanıklıkla mücadele etmek, karbon ve diğer kirletici emisyonları azaltmak, yakıt vergilerinden düşen gelirleri telafi etmek, mevcut ulaşım altyapısının verimliliğini artırmak, yeni altyapı maliyetlerini karşılamak ve geri kazanım sağlamak için dünya çapında kullanılmaktadır. Yol fiyatlandırması birçok ülkede hâlihazırda kullanımdadır, ancak özellikle yeni projeler için kullanıcı kabulüne ilişkin sorunlar devam etmektedir.

Yol kullanıcı ücretlendirmesi, değişik ihtiyaçları karşılayabilen en eski yerleşik AUS hizmetlerinden biridir. Bu konuda örneklerden biri Stockholm Tıkanıklığı Ücretlendirme Sistemidir. Stockholm şehir merkezindeki trafik sıkışıklığını azaltma hedefi olan bu sistem; ücretli geçiş İstasyonları, veri servis merkezi, Ana Ücretlendirme Merkezi Sistemi bölümlerinden oluşmaktadır.

**Filo Yönetim Sistemi**

Filo yönetimi, çalışan araçların organizasyonu ve koordinasyonudur. Etkili filo yönetimi, iş araçlarını tutmanın maliyetini düşürmeye ve verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir ve genellikle bir aracın konumu ve mekanik bilgilerinin izlenmesinin yanı sıra bir dizi yerleşik sensör ve kablosuz veri toplama kullanılarak sürücü davranışının izlenmesinden oluşur. Bu sayede, örneğin, daha yüksek işletme maliyetleri olan 12,5 tonluk bir kamyonun değil, yalnızca 5 tonluk bir yük için 7,5 tonluk bir kamyonun tahsis edilmesi için düzenlemeler yapılabilir.

**Talebe Duyarlı Ulaşım (TDU) Sistemi**

Talebe duyarlı ulaşım (TDU), halk otobüsü taşımacılığının bir çeşididir. Otobüs taşımacılığı her zaman sabit güzergâhlar üzerinde tarifeler belirlemek için çalışır, bu nedenle güvenilir ulaşım planlaması sağlayan düzenli bir hizmetin birçok faydası vardır. Bununla birlikte, bunun olumsuz yanı, bazı müşteriler için sabit güzergâhın yolculuğa başlamak istedikleri yere yeterince yaklaşmamasıdır.

Talebe duyarlı hizmetin özü esnekliktir. Müşteri, D veya E tarihlerinde saat x civarında A noktasından B noktasına bir yolculuk yapmak için bir merkez ofisle (telefon görüşmesi, çevrimiçi erişim veya posta talebi) iletişim kurar. Merkez ofis daha sonra çeşitli teklifleri bir araya getirir ve teslimat şirketlerinin seyahatleri planlamak için kullandıkları türde bir yazılımı kullanarak kat edilen mesafeyi en aza indiren ve teslim alma sayısını en üst düzeye çıkaran bir rota tasarlamak için kullanır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**E-bilet ve E-ödeme**

Geleneksel bir ulaşım "bileti", ücreti ödenen yolculuğun başlangıç ve varış noktası, esneklik gibi ilişkili koşullar, kullanıma izin verilen günün saatleri ve yolculuğun yapıldığı yasal koşullar gibi ayrıntıları içeren bir kâğıt veya karton parçasıdır. Yolculara daha fazla esneklik sağlamak ve bilet almak için bir tür yazıcıya erişim gereksinimini azaltmak maksadıyla birçok toplu taşıma şirketi artık akıllı telefonda görüntülenebilen QR kodlarına dayalı olanlar da dâhil olmak üzere bir dizi bilet türü sunmaktadır.

Biletlemedeki yenilikler, ödeme teknolojilerindeki yeniliklerle de çakışmış durumdadır. Çok sayıda şehir şimdi, az miktarda işlemci gücü ve depolamaya sahip kredi kartı boyutunda bir cihaz olan bir tür akıllı kart vermektedir. E-biletleme ve E-Ödeme kullanımı, tek seferlik bir seyahat için "tek seferlik" olarak düzenlenebilir, kullandıkça öde gezileri için haftalık, aylık veya daha uzun seyahatler için ücret alınabilmektedir.

**Hizmet Olarak Mobilite (MaaS) Sistemi**

Hizmet Olarak Mobilite (MaaS), araba gibi bir seyahat yönteminin kişisel mülkiyetinden uzaklaşmayı ve diğer herhangi bir hizmetle aynı şekilde sağlanan hareketlilik çözümlerinin bir karışımını satın almaya geçişi tanımlamak için kullanılan bir terimdir. MaaS ile genel seyahatin öğelerini oluşturan ve yöneten, kullanıcıların tek bir hesapla ödeme yaptığı birleşik bir ağ geçidi aracılığıyla kamu ve özel sağlayıcıların ulaşım hizmetleri birleştirilerek etkinleştirilir. Kullanıcılar seyahat başına veya belirli bir "hareketlilik" hacmi için aylık bir ücret aracılığıyla ödeme yapmayı seçebilirler.

**Sürdürülebilirlik Bağlamında Türkiye'de Akıllı Ulaşım Sistemleri**

(TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, 2020)'ne göre Türkiye'deki sürdürülebilir akıllı ulaşım sistemlerindeki uygulamaların, nüfusun yaklaşık olarak %20'sini içeren İstanbul'da başladığı anlaşılmaktadır. Diğer kentlere bakılacak olursa; Ankara, Bursa, İzmir, Kocaeli, Eskişehir, Konya, Antalya, Gaziantep, Manisa gibi kentlerde de önemli projelerin hayata geçirildiği görülmektedir (Şengül & Yüksel Altıntaş, 2020).

Türkiye'deki akıllı hareketlilik, çevresel sürdürülebilirlik ve karbon emisyon azaltım gibi hedefleri açısından akıllı ulaşım plan ve uygulamaları bulunan belli başlı kentler ile önemli bazı uygulamaları Tablo-2'de özetlenmiştir.

| S.Nu. | Şehir | AUS Uygulaması |
|---|---|---|
| 1 | İstanbul | Akyolbil |
| | | Filo Komuta Sistemi Uygulaması |
| | | Toplu Ulaşım Bilgi Sistemi |
| | | Akbil-İstanbulkart ve Elektronik Bilet |
| | | MobİETT Uygulaması |
| | | Trafik Kontrol Merkezi |
| 2 | Ankara | Araç Takip Sistemi |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | | |
|---|---|---|
| | | Otobüs Hatları Bilgilendirme Sistemi Mobil Uygulamaları(EGO Cep'te) |
| | | Ankara Trafik Yoğunluğu Haritası |
| | | Trafik Kontrol Merkezi |
| | | Ankara Kart |
| | | Akıllı Durak Sistemi |
| 3 | Kocaeli | Akıllı Sinyalizasyon Sistemleri ve Sinyalizasyon Kontrol Merkezi |
| | | Toplu Ulaşım Kontrol Merkezi |
| | | Kent-kart ve Temassız Kart |
| | | Değişken Mesaj Sistemi |
| | | E-Komobil Uygulaması |
| | | Akıllı Duraklar |
| | | Akıllı Direkler |
| | | Kocaeli Akıllı Bisiklet Sistemi (KOBİS) |
| | | Yeşil Dalga Uygulaması |
| 4 | Bursa | Levha Yönetim Programı |
| | | VMS(Video Mesaj Sistemi) |
| | | Trafik Ölçüm Sistemleri |
| | | Sinyalizasyon Sistemi Uygulamaları |
| | | Kavşak Gözlem Kameraları |
| | | Trafik Kontrol Merkezi |
| 5 | İzmir | Elektrikli Otobüsler ve Güneş Enerjisi Santrali |
| 6 | Antalya | Akıllı Şehir Yönetim Platformu |
| 7 | Konya | Elektronik Denetleme Sistemleri (EDS) |
| | | "Konya" Mobil Uygulaması |
| | | Bisiklet Yolları ve Akıllı Bisiklet Sistemi |
| 8 | Çanakkale | ÇABİS Akıllı Bisiklet Kiralama Sistemi |
| 9 | Şanlıurfa | Güneş Enerjili Sinyalizasyon |
| | | Mobil Sinyalizasyon |
| | | Araç Sayım Kameraları |
| | | Trafik Kontrol Merkezi |
| 10 | Kayseri | Akıllı Kavşak |
| 11 | Gaziantep | Elektronik Denetleme Sistemi (EDS) |
| | | Bas-Geç Kavşaklar |
| | | Erişilebilir Yaya Butonu |
| | | Loop Sensörler |
| | | Video Mesaj Sistemi (VMS) |
| | | Trafik Sinyalizasyon Görev Yönetimi |
| | | Trafik Ölçüm Sistemleri |

**Tablo 2**. Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Sistemi: Şehirler ve Örnek Uygulamalar

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Sistemleri Yönetiminin**

**Bursa Şehrinde İncelenmesi**

Bursa Büyükşehir Belediyesi yeni yollar, kavşaklar, raylı sistem ve toplu taşıma gibi mevcut ulaşım altyapısının iyileştirme ve geliştirme çalışmalarının yanında akıllı ulaşım ve hareketlilik alanındaki projeler ile Bursa'ya değer katmaya, yeniliğe ve işbirliğine odaklanarak Bursa'nın sürdürülebilir kalkınmasını hedeflemekte, şehir sakinlerinin hayatını kolaylaştırmaya ve yaşam koşullarını iyileştirmeye devam etmektedir. Bu kapsamda, Bursa Büyükşehir Belediyesi Türkiye Akıllı Ulaşım Sistemleri Derneğin bir (AUS Türkiye) üyesidir.

**Bursa Büyükşehir Belediyesi Mevcut AUS Uygulama Örnekleri**

Bursa Büyükşehir Belediyesi yürütülen AUS uygulamalarının aynı zamanda sürdürülebilir ulaşım odaklı olduğu esasından hareketle, uygulanan proje ve sistemler aşağıdaki maddelerde özet olarak belirtilmiştir (Bursa Büyükşehir Belediyesi, 2021).

**Tam Trafik Uyarmalı (Detektörlü) Kavşak Yapısı.**

Akıllı Kavşak Uygulamaları ile kapasitesi yetersiz kavşaklarda, mevcut kavşak düzeni incelenmiş, zirve saatlerde kavşağa gelen trafik yükleri sayım yapılarak tespit edilmiştir. Mevcut mülkiyet durumları ve kavşaktaki zirve saat araç sayımları ışığında; şerit sayısı ve depolama kapasitesi artırımını da içeren geometrik düzenleme tasarımları yapılmıştır.

Gerçekleştirilen geometrik tasarım çalışması ve trafik sayımları doğrultusunda kavşaklarda bilgisayar programları yardımı ile modelleme ve simülasyonlar yapılmış, sinyal optimizasyonuna ek olarak kuyruk boyu hesabı yapan sensörler yardımı ile yarı adapte sinyalizasyon sistemi oluşturulmuştur.

**Yeşil Dalga Sistemi.**

Belirlenen güzergâhlarda belirli bir hızda seyahat edildiğinde tüm trafik ışıklarından yeşil ile geçiş yapmayı sağlayan sistem; zaman ve yakıt tasarrufuna imkân vermekte, sürücülerin bekleme süresini en az %50 oranında azaltmaktadır. Yeşil dalga sistemi ile yasal hız limitlerine uyum avantaj teşkil ettiğinden hız limitlerine uyum da teşvik edilmiş olmaktadır. (Bursa Büyükşehir Belediyesi, 2021)

**Bas-geç Yaya Sinyalizasyon Sistemi.**

Bu sistem ile, yaya butonu konularak yaya geçişinin olmadığı zamanlarda araç trafiğinin kesintisiz akışı sağlanmaktadır. Aynı zamanda anılan kavşaklarda engelli vatandaşlara yönelik kabartmalı yaya butonları ve ortam gürültüsüne göre ses şiddetini otomatik olarak ayarlayan yaya sesli uyarı cihazları da bulunmaktadır (Bursa Büyükşehir Belediyesi, 2021).

**Öncelikli Hat.**

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tramvayın çakıştığı tüm sinyal gruplarına kırmızı ışık yakılarak tramvaya geçiş önceliği sağlandığı bir sistemdir.

**Bluetooth Sensörleri.**

Noktadan noktaya seyahat süresi, ortalama hız ölçümü ve güzergâhlar arasında araç çakışma analizinde yapılan sistemdir.

**Sürücü Bilgilendirme Sistemleri-Değişken Mesaj İşaretleri.**

8 Adet VMS ile Bluetooth sensörleri tarafından üretilen seyahat süreleri ve ortalama hız verileri yol kullanıcıları ile anlık olarak paylaşılmaktadır. Değişken Mesaj İşaretleri; (DMİ) LED teknolojisine sahip, sürücülere trafik, yol, meteorolojik koşullar gibi bilgileri vermek üzere kullanılan, mevcut bluetooth sensörlerden ve trafik kontrol merkezinden aldığı veriler ile sürücülere bilgilendirme ve yönlendirme yapan sistemlerdir.

**Kavşak Gözlem Kameraları.**

Ana arterlerdeki anlık trafik durumunun 7/24 izlendiği sistemdir.

**Yolcu Bilgilendirme Sistemleri.**

Hafif Raylı Sistem araçlarını kullanan yolculara, gelecek trenlerin varış sürelerini ve hatlarını gösteren dijital ekranlardır. Yolculara istasyon içinde tahmini bekleme sürelerini gösterir. Yolcuların toplu taşımada, bulundukları duraktan geçecek hatlara ait otobüslerin varış sürelerini gösteren ekranlardır. Otobüs içlerinde bulunan ekranlarda son durak bilgisi, gelecek duraklar, bu duraklara yaklaşık varma zamanını gösterir.

**Raylı sistem haberleşme sistemleri.**

SCADA, CCTV, PA, TETRA gibi Raylı sistem haberleşme sistemleri bulunmaktadır.

**Park Et Devam Et Sistemi.**

Toplu taşımanın özendirilmesi ve teşvik edilmesi için raylı sistem istasyonları yakınlarında oluşturulan otoparklardır.

**Kişiselleştirilmiş Seyahat Kartları.**

Bursa'da başarı ile uygulanan bir sistem olmuştur.

**Kart Dolum ve Bilet Satış Kioskları.**

Bursa Kart Elektronik Ücret Toplama Sistemi içerisinde kullanılan temassız elektronik kartlarla yapılan işlemlerin insansız olarak gerçekleştirilmesini sağlayan ve elektronik biletlerin satışını yapan makinelerdir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Bursa Kart Mobil.**

Yolcuların seyahat planlaması, bakiye sorma, bakiye yükleme, NFC veya QR kodlu kullan at uzun veya kısa hat bilet alma gibi işlemler yapılabilmektedir.

**Elektrikli Araç Şarj İstasyonları.**

İlk aşamada seçilen açık otoparklara 22 kilowatlık elektrikli araç şarj üniteleri kurulmuştur.

**Bursa Levha Yönetim Programı.**

Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Trafik Şube Müdürlüğüne gerçekleştirilen proje ile Düşey (Levha) İşaretleme operasyonlarının takibi, mevcut saha çalışmalarına hızlı erişim, saha personeli ile yüksek seviyede koordinasyon sağlanması için kullanılan program sayesinde gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilen çalışmalar ile depo ve saha envanterinin takibi yapılmakta, kentin trafik güvenliğine katkı sunulmaktadır.

**Trafik Yönetim Merkezi.**

Kavşakların Trafik Yönetim Merkezi bağlantısının kurulması, sinyalizasyon optimizasyonunun gerçekleştirilmesi amacı ile Dinamik Kavşak Kontrol Sistemi'nin tesisi, sinyal koordinasyonunun sağlanması, yollarda araç yoğunluklarının tespit edilerek seyahat süreleri üretilerek istatistiksel veriler elde edilmesi, elde edilen veriler ile sürücü bilgilendirme sistemlerinin beslenmesi amaçlanmaktadır. Kurulacak olan dinamik sistem ile kavşaklara bağlı yönlerden görüntü tabanlı olarak toplanacak olan araç sayısı, türü, yoğunluk ve ortalama hız verileri sistem dâhilinde bulunan dinamik kavşak yönetimi algoritmaları tarafından değerlendirilerek kavşağın anlık yoğunluk verileri ışığında dinamik olarak yönetilmesi sağlanacaktır.

**Paylaşımlı Bisiklet Sistemleri.**

Bursa Büyükşehir Belediyesi ve Dünya kaynaklarını verimli kullanılarak vatandaşların sağlığını ve ekosistemi koruyan sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturmak için paylaşımlı bisiklet sistemlerinin şehir geneline yayılması amaçlanmaktadır. İlk ve son kilometre yolculukları toplu taşıma için önem arz etmekte çoğu zaman bireylerin toplu taşıma kullanımında belirleyicidir. Bu nedenle; şehir genelinde, toplu taşıma sistemleri ile entegre paylaşımlı bisiklet sistemlerinin kurulması hedeflenmektedir. 1 ve 2. Etap çalışmalarda; Gölyazı, Mudanya ve Şehir Merkezinde gerçekleştirilen Paylaşımlı Bisiklet Sistemi uygulamasından elde edilen veriler de analiz edilerek yeni sistem planlaması yapılmakta mevut bisiklet yollarının rehabilitasyonu ve yeni bisiklet yolları oluşturma çalışmaları devam etmektedir.

**LoRa WAN Haberleşme Altyapısı.**

Akıllı Şehir Uygulamalarına Yönelik Bursa il alanını kapsayacak LoRa WAN altyapısı için şebeke planlama çalışması yapılmaktadır. Altyapısı Planlama çalışmaları akabinde belirlenen pilot bölgede sensörlerle sistemin kurulumu yapılacaktır. Kurulacak sistemin geliştirme ve genişletme çalışmaları süreç dâhilinde devam edecektir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Bursa Açık Veri Platformu.**

"Açık Veri", herhangi bir telif hakkı, patent ya da farklı kontrol mekanizmalarına tabi olmaksızın herkes tarafından ücretsiz, tekrar kullanılabilen ve dağıtılabilen veri anlamına gelmektedir (Kaya, Okul, & Şimşek, 2020). Paylaşılan veriler ile (Burulaş Günlük Yolcu Sayıları, Toplu Taşıma Güzergâhları, Kaza Kara Noktaları, Mahalle Bazlı Nüfus Verileri, Minibüs Hatları, Dolmuş Hatları, Teleferik Yolcu Sayıları, Burulaş Araç Konumları, Burulaş Araç Özellikleri, Bisiklet Tamir İstasyonları vb.) ülkedeki ve Bursa'daki girişimciler, teknoloji firmaları, akademisyenler ve öğrenciler gerçekleştirecekleri çalışmalarda veri ile desteklenmektedir.

**Bursa BŞB Akıllı Ulaşım ve Hareketlilik Planlama Çalışmaları**

**Kıyaslama Çalışması Şehir Seçimi**

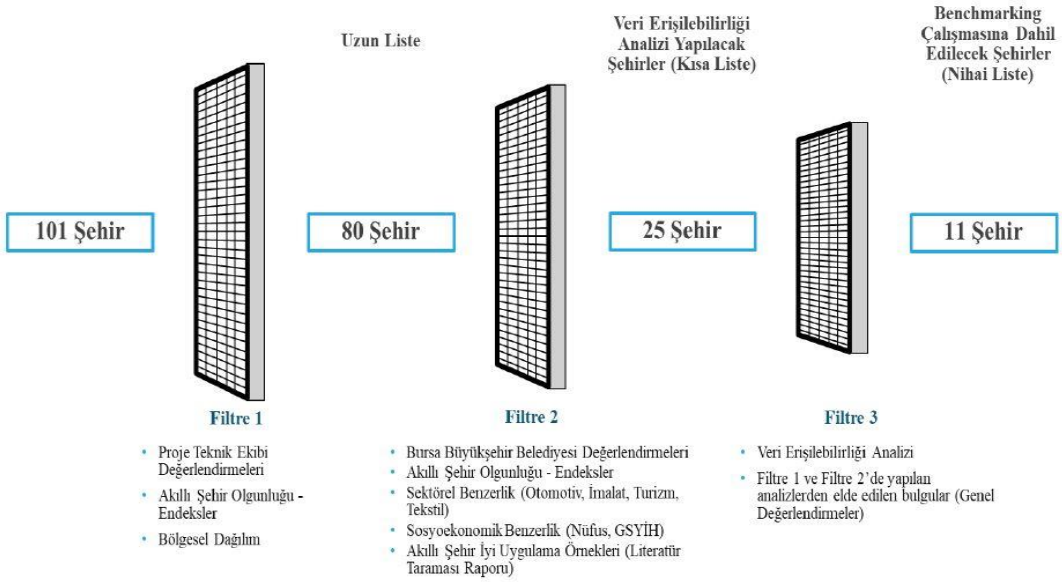
Mevcut ve devam eden akıllı ulaşım projelerinin yanı sıra Bursa'nın akıllı şehre dönüşümü projesi kapsamında akıllı ulaşım ve hareketlilik planlaması da yapılmıştır. Çalışma Kapsamında daha önceki şehrin "Mevcut Durum ve Ulaşım Sektör Analizleri" yapılmıştır. Kıyaslama (Benchmarking) çalışması kapsamında Bursa ve seçilen 11 küresel şehrin dâhil olduğu bir endeks oluşturulmuştur (Tablo 3). Birçok kurum ve kuruluşla yapılan görüşmelerin yanı sıra, derinlemesine görüşme yöntemiyle "Vatandaş İç Görüsü" çalışması yapılarak şehirlilerin doğrudan görüşleri de alınmıştır. Şehrin, vatandaşın ve paydaşların mevcut durumu, yaşanan zorluklar, ihtiyaçlar, öncelikler ve iş birliği potansiyelleri belirlenerek bir olgunluk modeline dönüştürülmüştür (BŞB-Akıllı Şehircilik ve İnovasyon Dairesi Başkanlığı, 2021).

| ŞEHİR | ÜLKE | BÖLGE |
|---|---|---|
| Londra | İngiltere | Batı Avrupa |
| Milano | İtalya | Batı Avrupa |
| New York | ABD | Kuzey Amerika |
| Melbourne | Avustralya | Asya Pasifik |
| Stockholm | İsveç | İskandinavya |
| Montreal | Kanada | Kuzey Amerika |
| Bogota | Kolombiya | Güney Amerika |
| Münih | Almanya | Batı Avrupa |
| Singapur | Singapur | Asya Pasifik |
| Guangzhou | Çin | Asya Pasifik |
| Kuala Lumpur | Malezya | Asya Pasifik |

**Tablo 3.** Kıyaslama Yapılan Küresel Şehirler[5]

[5] Kaynak: (Bursa Büyükşehir Belediyesi, 2021) uyarlanmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 3.** Kıyaslama Çalışması Şehir Seçimi.[6]

Endeksin oluşturulması amacıyla seçilen11 şehir ve Bursa için Akıllı Ulaşım ve Hareketlilik alanında 4 kategoride 18 gösterge belirlenmiştir (Şekil 5).

| | KATEGORİ | İNDİKATÖR |
|---|---|---|
| AKILLI ULAŞIM VE HAREKETLİLİK | Lojistik Yönetimi | Lojistik Performans Endeksi |
| | Lojistik Yönetimi | Şehir Merkezinin En Yakın Limana Mesafesi |
| | Lojistik Yönetimi | Karayolu Altyapı Kalitesi |
| | Lojistik Yönetimi | Liman Altyapı Kalitesi |
| | Sürdürülebilir Ulaşım ve Hareketlilik | Yaya Ulaşımının Toplam Ulaşım Türleri İçindeki Payı |
| | Sürdürülebilir Ulaşım ve Hareketlilik | Bisikletle Ulaşımın Toplam Ulaşım Türleri İçindeki Payı |
| | Sürdürülebilir Ulaşım ve Hareketlilik | Binek Araçla Ulaşımın Toplam Ulaşım Türleri İçindeki Payı |
| | Sürdürülebilir Ulaşım ve Hareketlilik | Toplu Taşıma Kart Bedelinin Kişi Başına Düşen GSYİH İçindeki Payı |
| | Sürdürülebilir Ulaşım ve Hareketlilik | Kişi Başına Düşen Bisiklet Yolu Uzunluğu |
| | Toplu Taşıma Yönetimi | Toplu Ulaşım Kullanma Sıklığı |
| | Toplu Taşıma Yönetimi | Toplu Ulaşımın Toplam Ulaşım Türleri İçindeki Payı |
| | Toplu Taşıma Yönetimi | Kişi Başına Düşen Metro Hat Uzunluğu |
| | Toplu Taşıma Yönetimi | Raylı Sistem (Metro, HRS) Kullanım Sıklığı |
| | Toplu Taşıma Yönetimi | Raylı Sistem (Metro, HRS) İstasyon Sayısı |
| | Trafik Yönetimi | Sıkışıklıkta Geçirilen Süre |
| | Trafik Yönetimi | Trafik Sıkışıklık Seviyesi |
| | Trafik Yönetimi | Ulaşım kaynaklı ölüm sayısı (100.000 nüfusa düşen) |
| | Trafik Yönetimi | Otomobil Sahipliği |

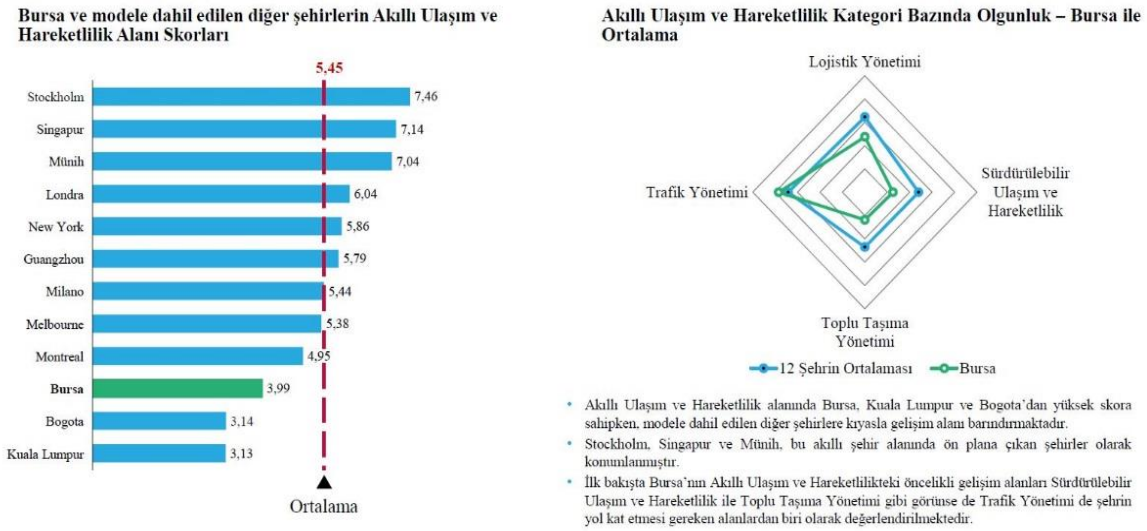
**Şekil 4**. Kıyaslama Çalışması Gösterge Seçimi.[7]

Yapılan analizler sonucunda Bursa'nın ve modele dâhil edilen şehirlerin birbirleri ile kıyaslamalı Akıllı Ulaşım ve Hareketlilik olgunluğunun derecelendirilmesi amaçlanmıştır. Böylece karşılaştırmalı bir bakış açısıyla Bursa'nın gelişme alanları tespit edilmiştir.

[6] Kaynak: (BŞB-Akıllı Şehircilik ve İnovasyon Dairesi Başkanlığı, 2021).
[7] Kaynak: (BŞB-Akıllı Şehircilik ve İnovasyon Dairesi Başkanlığı, 2021)

ISBN: 978-605-71156-5-2

Kıyaslama Çalışmasının sonucunda Bursa'nın kıyaslandığı 11 şehre göre konumu; genel ortalama ve fonksiyonel alan bazında değerlendirilmiştir (Şekil 5-6).




**Şekil 5.** Kıyaslama Çalışması Skor ve Ortalama Verileri[8]

**Şekil 6.** Akıllı ulaşım ve hareketlilik fonksiyonel alanı kıyaslama çalışması kategori sonuçları.[9]

## Bursa Akıllı Ulaşım Projelerinin Belirlenmesi

Projelerin belirlenmesi sürecinde ilk önce Literatür Taraması yapılarak dünyadaki ve Türkiye'deki iyi uygulama örneklerinden oluşan bir proje listesi oluşturulmuştur. Oluşturulan proje listesine başta kilit paydaşlar olmak üzere tüm paydaşların katkı vermesiyle uzun proje listesine

[8] Kaynak: (BŞB-Akıllı Şehircilik ve İnovasyon Dairesi Başkanlığı, 2021)
[9] Kaynak: (BŞB-Akıllı Şehircilik ve İnovasyon Dairesi Başkanlığı, 2021)

ISBN: 978-605-71156-5-2

ulaşılmıştır. Ardından paydaş görüşmeleri ve çalıştayları ile hem kısa proje listesi oluşturulmuş hem de paydaşların derinlemesine görüşleri alınarak projeler olgunlaştırılmıştır.

Belirlenen projelerin kısa, orta ve uzun vadede yol haritasına yerleştirilebilmeleri için önceliklendirilmesi yapılmıştır. Belirlenen projeler:

Ulaşım Yönetim Merkezinin Kurulması, Olay Tahmin ve Önleme Sistemi, Akıllı Yaya Geçiş Sistemi, Akıllı Otopark Sistemi, Toplu Taşıma İzleme ve Analiz Sistemi, Akıllı Aktarma Merkezleri, Ana arter Akıllandırma, Filo Yönetim Sistemi, Servis Paylaşım Sistemi, Güvenli Okul Yolu, Erişilebilir Toplu Taşıma, Yaya Dostu Sokak Uygulaması, Trafikte Olay Tespit Dronları, Paylaşımlı Araç Sistemi, Akıllı Geçiş Üstünlüğü, Ulaşım Altyapısı Akıllandırma, Bursa Ulaşım Mobil Uygulaması (MaaS), Toplu Taşıma Öncelikli Şerit Uygulaması, Yolcu Bilgilendirme Sistemleri, Dinamik Sürücü Bilgilendirme Sistemleri, Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı (SUMP), Bursa Akıllı ve Otonom Hareketlilik İnovasyon Merkezi, Bursa Lojistik Ana Planının Hazırlanması, Bölgesel Lojistik Merkezi, Bursa Lojistik Merkezi, Paylaşımlı Skuter ve Bisiklet Sistemi, Toplu Taşıma Hat Optimizasyonudur.

**Tartışma ve Sonuç**

Akıllı ulaşımın temel işlevlerinden biri enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uygulamaların yaygınlaştırılmasıdır. Ulaşımda enerji verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin en aza indirilmesine yönelik sürdürülebilir akıllı ulaşım politikaları uygulanmalıdır.

Ulaşımda fosil yakıt kullanımının ekonomi açısından enerji bağımlılığını sürekli kılması, çevresel açıdan sera gazı salımını hızlandırarak iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi sorunlara kaynak oluşturması, enerjinin verimli kullanılmasını ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi gerekli kılmaktadır.

Akıllı Şehir uygulamaları genel olarak hızlı nüfus artışı ve şehir altyapılarının ve imkânlarının artan nüfusun ihtiyaçlarına cevap verememesi sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Akıllı şehir uygulamalarını genel olarak tetikleyen faktörler; iklim değişikliği ve çevresel etkenler, erişilebilirlik ve ulaşılabilirlik problemleri, sosyal refah, katılımcılık ve sosyal eşitsizliklerdir. Makalede görüldüğü gibi gerçekleştirilen akıllı şehir projeleri ağırlıklı olarak bu ihtiyaçlara ve sorunlara çözüm bulma amacıyla tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bunların yanı sıra, vatandaş talep ve ihtiyaçlarını anlamak, daha etkin stratejiler üretmek ve daha verimli bir yönetim yapısı kurgulamak için özellikle akıllı yönetişim alanında veri yönetimine ilişkin projeler de gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırmalara göre gelecekte AUS uygulamaları şehirler ve ülkeler arasında büyük bir rekabet olacaktır. Bursa'da bu uygulamaların başladığı, geliştirildiği ve sahiplenildiği ortadadır. Ülkemizde ise diğer ülkelerle olan ulaşım rekabetinde ilerleme sağlanabilmesi için AUS uygulamalarında kullanılan ekipmanları ve yazılımları kendi üretmesi gerekir. Bunun için AR-GE yapabilecek nitelikli istihdam, uzmanlık bölümlerinde eğitim programları oluşturulmalı, kapasite geliştirilmesi sağlanmalıdır. Bu uygulamalar ülke politikası haline getirilmeli, ekonomiye avantaj saplamalı, stratejik planlara işlenmelidir. Yerel yönetimler ise bir kentsel vizyon oluşturulmalı ve

ISBN: 978-605-71156-5-2

sürdürülebilir eylem planları yapmalıdır. AUS bir teknoloji hamlesi olurken, sürdürülebilir ve akıllı olmalıdır.

Sonuç olarak, "Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Sistemleri" makalemizde açıklandığı gibi disiplinler arası uygulamaları içerir. Araştırma kapsamında incelenen Bursa ve diğer şehirlerde de politika, yöntem ve stratejik plan arasında tutarlılık tespit edilmiştir. Bu şehirlerin, akıllı şehir değerlendirme modelleri esas alındığında üst sıralarda yer alması, sürdürülebilirlik hedeflerinin irdelendiğini, yöntemlerinin doğruluğunu ve önemini desteklediği görülmüştür. Türkiye'de de gelecek dönemde akıllı şehir uygulamalarına ilişkin atılacak adımların ulusal seviyede belirlenen strateji ve eylem planına uyumlu ilerlemesi, ülkemizdeki şehirlerin sürdürülebilir akıllı şehir, dolayısıyla akıllı ulaşım olgunluklarını geliştirmelerine katkı sağlayacaktır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynakça**

AKBULUT, F. (2016). Kentsel Ulaşım Hizmetlerinin Planlanması ve Yönetiminde Sürdürülebilir Politika Önerileri. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*(11 (1)), 336-355. 12 20, 2021 tarihinde https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/309392 adresinden erişildi.

BAYRAKTAR, O. (2020). Enerji Verimli Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Planlaması ve Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Kayseri Kent İçi Ulaşımı. (Yüksek Lisans Tezi). 12 15, 2021 tarihinde https://www.researchgate.net/publication/348920024_ENERJI_VERIMLI_SURDURULEBILIR_AKILLI_ULASIM_PLANLAMASI_VE_UYGULAMALARININ_DEGERLENDIRILMESI_KAYSERI_KENT_ICI_ULASIMI adresinden erişildi.

BİA Haber Merkezi. (2021). *Bianet.* 12 05, 2021 tarihinde Bağımsız İletişim Ağı: https://m.bianet.org/bianet/iklim-krizi/253407-cop26-nin-ardindan-turkiye-enerji-politikalarini-gozden-gecirmeli adresinden erişildi.

BŞB-Akıllı Şehircilik ve İnovasyon Dairesi Başkanlığı. (2021, 12 05). Bursa Büyükşehir Belediyesi Mevcut Raporların Derlenmesi. Bursa.

Bursa Büyükşehir Belediyesi. (2021, 12 12). *Akıllı Şehir Bursa.* akillisehir.bursa.bel.tr: http://akillisehir.bursa.bel.tr/yesil-dalga-sistemi-3/57/ adresinden erişildi.

CİRİT, F. (2014). *Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması. Uzmanlık Tezi, Yayın No: 2891,* (Cilt Yayın No: 2891). Ankara: T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü. 12 14, 2021 tarihinde https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/FarukCirit.pdf adresinden erişildi.

E.U. ERTICO – ITS Europe with the Centre for Research and Technology Hellas (CERTH). (2019). *The Role of Intelligence Transport Systems (ITS) in Sustainable Urban Mobility Planning.* 12 09, 2021 tarihinde https://www.eltis.org/sites/default/files/the_role_of_intelligent_transport_systems_its_in_sumps.pdf adresinden erişildi.

European Union. (2014). *Guidelines, Developing and implementing Sustainable Urban Mobility Plan* . European Union, European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans. European Union. 12 07, 2021 tarihinde https://www.eltis.org/sites/default/files/guidelines-developing-and-implementing-a-sump_final_web_jan2014b.pdf adresinden erişildi.

GLASNAPP, J., DU, H., DANCE, C., CLİNCHAN, S., ALEX , P., DANIEL, M., & ZOETE, O. (2014). Understanding Dynamic Pricing for Parking in Los Angeles: Survey and Ethnographic Results. (s. 316-327). Switzerland: Springer International Publishing. 12 09, 2021 tarihinde https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-07293-7_31.pdf adresinden erişildi.

İnnovITS. (2013). *Impact Study on Intelligent Mobility, A sustainability impact framework and case analysis of energy and environment.* 12 03, 2021 tarihinde http://www.telematics.com/wp-content/uploads/2013/10/Impact-Study-on-Intelligent-Mobility.pdf adresinden erişildi.

ISBN: 978-605-71156-5-2

KAYA, Ş., OKUL, T., & ŞİMŞEK, G. (2020, 1-13). Açık Veri İdeolojisi ile Turizm X.0 Stratejilerinin Değerlendirilmesi. *Journal of New Tourism Trends (JOINNTT)*. 12 03, 2021 tarihinde https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1908206 adresinden erişildi.

LITMAN, T. (2014). *"Win-Win transportation solutions: Mobility management strategies that provide economic, social and environmental benefits*. (Victoria Transport Policy Institute) 12 12, 2021 tarihinde https://www.vtpi.org/: https://www,vtpi,org/winwin,pdf, adresinden erişildi.

NOUSSAN, M., Hafner, M., & TAGLIAPIETRA, S. (2020). *The Future of Transport Between Digitalization and Decarbonization Trends, Strategies and Effects on Energy Consumption, Springer Briefs in Energy*. doi:10.1007/978-3-030-37966-7

OECD. (1994). *Çevresel Sürdürülebilir Ulaşım Projesi*. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü .

ŞENGUL, R., & YÜKSEL ALTINTAŞ, H. (2020). Akıllı Kentin Bir Bileşeni Olarak Akıllı Ulaşım Uygulamalarının İncelenmesi: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Örneği. *Uluslararası Kültürel ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (UKSAD)*, 6(2): 487-502. doi:10.46442/intjcss.716124

T.C.Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). *2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı*. 12 14, 2021 tarihinde https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf adresinden erişildi.

TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü. (2020). *Akıllı Şehirler Kapasite Geliştirme ve Rehberlik Projesi*. 12 09, 2021 tarihinde https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf adresinden erişildi.

TC. Cumhurbaşkanlığı. (2019). *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Değerlendirme Raporu*. Ankara. 12 04, 2021 tarihinde https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/03/Surdurulebilir-Kalkinma-Amaclari-Degerlendirme-Raporu_13_12_2019-WEB.pdf adresinden erişildi.

TEKTAŞ, M., & TEKTAŞ, N. (2019). Akıllı ulaşım sistemleri(AUS) uygulamalarının sektörlere göre dağılımı. 20 Aralık 2021 tarihinde adre. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi 2 (1)*, 32-41. 12 20, 2021 tarihinde https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/44655/547872 adresinden erişildi.

Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023). (2019). Ankara. 12 14, 2021 tarihinde https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf adresinden erişildi.

United Nations. (1972). *UN Conference on the Human Environment*. Stockholm.

World Bank. (2019). *Global Roadmap of Action Toward Sustainable Mobility, Efficiency*. 12 8, 2021 tarihinde https://thedocs.worldbank.org/en/doc/770771571411013799-0090022019/original/EfficiencyGlobalRoadmapofAction.pdf adresinden erişildi.

Yeşil Gazete. (2021, 12 05). *yesilgazete.org*. https://yesilgazete.org/cop26-sonrasinda-turkiye-enerji-politikalarini-gozden-gecirmeli/ adresinden erişildi.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Meyve ve Sebzelerin Kurutulması Sonrası Biyoaktif Bileşenlerin Biyoerişilebilirliğindeki Değişikliklerin Araştırılması

*Azime ÖZKAN KARABACAK*[1]
*Ömer Utku ÇOPUR*[2]

**Özet**

Besin matrisinden salınabilen besin fraksiyonu olarak tanımlanan biyoerişilebilirlik, *in vitro* bir yöntem kullanılarak ölçülür. Biyoerişilebilirlik, biyoaktif bileşiklerin en önemli özelliğidir, çünkü fonksiyonel gıdaların tasarımında ve üretiminde çok önemli bir rol oynar. Meyve ve sebzelerde bulunan biyoaktif bileşenler, toplam fenolikler, flavonoidler, antosiyaninler, fenolik asitler ve karotenoidler gibi sağlık için önemli olan ikincil metabolitlerdir.

Meyve ve sebzelerin muhafazasında kullanılan en yaygın yöntemlerden biri kurutmadır. Kurutma işlemi ile gıdaların su aktivitesi (aw) azaltılır ve ürün mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal açıdan dirençli hale gelir. Bu sayede ürünlere uzun süre depolama ve nakliye kolaylığı sağlanmaktadır.

Kurutma, biyoaktif bileşenlerin biyoerişilebilirliğini etkileyen faktörlerden birisidir. Bu çalışmanın amacı, meyve ve sebzelerin kurutulmasından sonra biyoaktif bileşenlerin biyoerişilebilirliklerindeki değişiklikleri tartışmaktır. Isıya, ışığa ve oksijene duyarlı fitokimyasallar kurutma sırasında bozunmasına rağmen, ısıl işlemler, işlenmiş meyve ve sebzelerin biyoaktif bileşenleri üzerinde farklı etkilere yol açabilir. Bu nedenle, aynı ürün olsa bile, çeşitli kurutma koşulları için farklı araştırmacılar tarafından farklı sonuçlar bildirilmiştir. Genel olarak, bu çalışmada, meyve ve sebzelerde biyoerişilebilir biyoaktif bileşenlerin korunması için kurutma işleminin etkili bir yol olabileceğini vurgulanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Biyoerişilebilirlik, kurutma, fenolik asitler, karotenoidler, flavonoidler

[1] Dr, Bursa Uludag University, Gemlik Asim Kocabiyik Vocational School, Food Technology Program, 16600 Gemlik, Bursa–Turkey, Orcıd: 0000-0003-4175-4477
[2] Prof. Dr., Bursa Uludag University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineeering, 16059, Gorukle, Bursa–Turkey, Orcıd: 0000-0002-1951-7937

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Giriş**

Meyve ve sebze tüketiminin, kardiyovasküler hastalıklar, obezite, tip 2 diyabet ve nörodejeneratif hastalıklar gibi kronik hastalıkların görülme sıklığını azalttığı ileri sürülmektedir (Boeing vd., 2012: 650); (Krinsky ve Johnson, 2005: 502); (Thane ve Reddy, 1997: 60). Meyve ve sebzelerin sağlık üzerine bu yararlı etkileri, biyoaktif bileşenlerin varlığı ile ilişkilendirilmiştir (Boyer ve Liu, 2004: 4).

Meyve ve sebzeler bozulabilir olduğundan, bu ürünlerin raf ömrünü uzatmak ve besinsel ve fiziksel özelliklerini korumak için etkin bir muhafaza yöntemi gereklidir.

Kurutma, üründen suyun uzaklaşmasını sağlayarak meyve ve sebzelerin bozulma oranını azaltan en yaygın kullanılan gıda işleme yöntemlerinden biridir (Limpaiboon, 2011: 161). Bu yöntem ile ortamın su aktivitesi azaltılarak, ürün enzimatik, mikrobiyolojik ve kimyasal yönden oluşabilecek bozulmalara karşı dayanıklı hale getirilmektedir (Compaore vd., 2019: 3349); (Kaya vd., 2015: 16).

"Biyoerişilebilirlik" terimi, besin matrisinden ayrılan ve bağırsakta emilim için mevcut olan bir besin maddesinin potansiyel kısmını veya fraksiyonunu ifade eder (Montiel-Sánchez vd., 2021-128087). Diyet bileşenlerinin gastrointestinal davranışını araştırmak için, sindirim süreçlerini taklit eden *in vitro* yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sindirimin etkilerini araştırmak için, insanlar üzerinde yapılan klinik deneyler mevcut olsa da, *in vitro* gastrointestinal sindirim modelleri, hızlı, ucuz ve daha uygulanabilir olması yanı sıra etik kısıtlamalardan arınmış olma avantajlarına sahiptir (Alminger vd., 2014: 415).

Yukarıda sunulan bilgiler dikkate alınarak bu makalenin amacı, kurutma işlemine tabi tutulan meyve ve sebzelerde biyoaktif bileşenlerin biyoerişilebilirliklerindeki değişikliklere ilişkin bulgulara genel bir bakış sunmaktır.

**Meyve ve Sebzelerde Bulunan Biyoaktif Bileşenler**

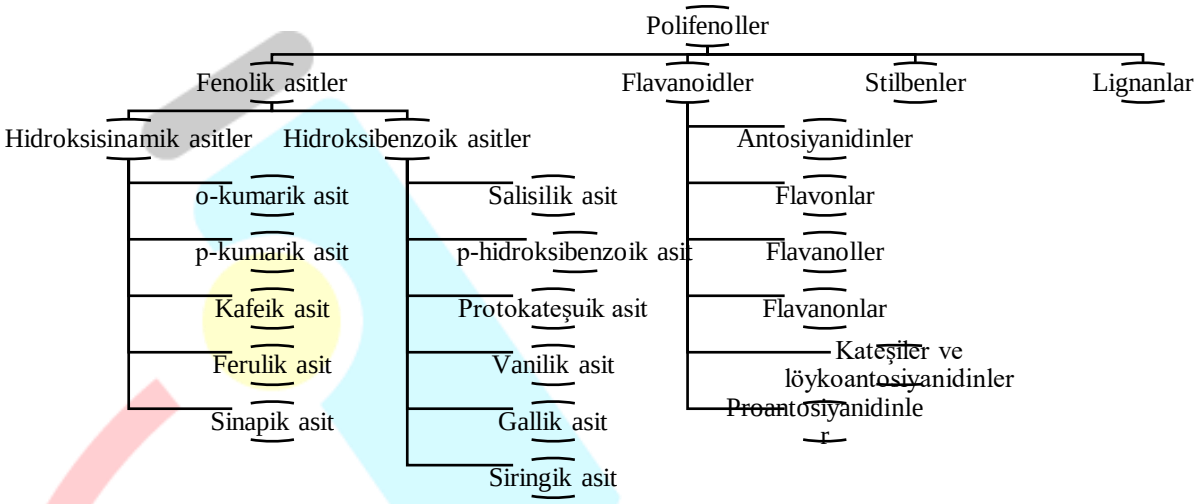
**1. Fenolik Bileşikler**

Bitkilerin sekonder metabolit olarak ürettiği fenolik bileşikler, bir veya birden fazla hidroksil grubu bağlanmış benzen halkasına ve fonksiyonel gruba sahiptir. Bitkiler yoğun stres altında kaldıklarında, korunma amaçlı fenolik bileşikleri üretmektedir. Bununla birlikte, meyve ve sebzelerin dokusunda bulunan fenolik bileşiklerin tat ve renk verme özellikleri de vardır (Zhang ve Tsao, 2016: 15).

Canlılar üzerindeki sağlığa yararlı etkilerinden dolayı polifenollerin araştırılması, farmasötik ve gıda endüstrileri tarafından ilgi çekmeye başlamıştır. Fenolik bileşikler sebzelerde, meyvelerde, tahıllarda, baklagillerde ve çay kahve, bira, şarap vb. gibi bitki kaynaklı içeceklerde de bulunur. Polifenoller, antioksidan, antienflamatuar (Zhang ve Tsao, 2016: 16), antimikrobiyal (Daglia, 2012: 175) ve antikanser (Niedzwiecki vd., 2016: 553) etki göstermektedir. Fenol halkalarının sayısı ve bu

ISBN: 978-605-71156-5-2

halkaları birbirine bağlayan yapı elemanları dikkate alındığında polifenoller (i) fenolik asitler, (ii) flavonoidler, (iii) stilbenler ve (iv) lignanlar olarak sınıflandırılabilir (Cemeroğlu, 2011) (Şekil 1).




**Şekil 1.** Polifenollerin sınıflandırılması

**Fenolik asitler:** İçinde bulunan –OH ve –OCH3 gruplarına göre, hidroksisinamik asitler ve hidroksibenzoik asitler olmak üzere iki gruba ayrılır.

***a) Hidroksisinamik asitler:*** Hidroksisinamik asitlerde hidroksil grubuna sahip fenilpropan halkası bulunur. Hidroksisinamik asitlerin antimikrobiyal, antikanserojen, antidiyabetik ve antimikrobiyal etkisinin olduğ kanıtlanmıştır.

***b) Hidroksibenzoik asitler:*** Bitkilerde çok az miktarda bulunur. Bu grup, hidroksisinamik asitlerin oksidasyonu ile oluşur.

**Flavanoidler:** Polifenollerin en büyük grubunu oluşturan flavanoidler, düşük molekül ağırlığına sahip olup, bitkilere turuncu, kırmızı ve yeşil renk vermektedir. Temel kaynakları meyve/sebze olmakla birlikte, kahve çekirdeğinde, baharatlar ve soya üzerinde bulunur. Flavanoidler, aminoasitler ve karbonhidratlar gibi birincil metabolitlerden türeyen, bitkilerin sekonder metabolitleridir.

**Stilbenler:** Stilbenlerin en yaygını resveratroldür. Antioksidan, antiviral, kardiyoprotektif, yaşlanmayı geciktirici, enfeksiyonlardan korunma, obeziteyi azaltma gibi birçok yararı bulunan resveratrol tıp ve eczacılık alanında sıkça kullanılır.

**Lignanlar:** Stilbenlerle neredeyse aynı etkiye sahiptir. Keten tohumunda, yağlı tahıllarda ve tahıl tanelerinde oldukça çok miktarda bulunurlar.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**2. Karotenoidler**

Karotenoidler, yağda çözünen pigmentlerin en geniş ve önemli grubu olup, birçok meyve, sebze ve bitkiye karakteristik sarı, turuncu ve kırmızı renklerini sağlamaktadırlar (Eggersdorfer ve Wyss, 2018: 20). Karotenoidler kimyasal bileşimlerine göre ksantofiller ve karotenler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Alfa-karoten, β-karoten ve likopen, sadece karbon ve hidrojen atomlarından oluşan karoten grubunun ana üyeleridir. Ksantofiller, hidroksil, epoksi, aldehit, karboksilik asit ve keto grupları içeren çeşitli türevlerden oluşur. Lutein, zeaksantin, α- ve β-kriptoksantin, kantaksantin ve astaksantin, ksantofil grubunun en önemli üyelerindendir (Damodaran ve Parkin, 2017).

Karotenoidlerin en önemli fizyolojik fonksiyonlarından birisi A vitamini ön maddesi olmalarıdır. Karotenoidlerin provitamin A aktivitesi gösterebilmesi için yapısında en az bir $\beta$-iyonon halkası bulunmalıdır (Tapiero vd., 2004: 103). Karotenoidler, gıda maddesinden serbest hale geçtikten sonra sindirim esnasında daha küçük yapıdaki lipid emülsiyon partiküllerine dönüşerek çözünmektedir. Çözünen karotenoidler mideden geçerek ince bağırsağın ilk kısmına (duodenuma) taşınmaktadır. Karotenoidlerin ince bağırsağın ilk kısmındaki sindirimi safra tuzları ile birlikte pankreatik lipaz enziminin etkisiyle gerçekleşmektedir (Parker, 1996: 546). İnsanlarda karotenoidlerin %5-50 civarında absorbe edildiği ve biyoyararlılıklarının taze, pişmemiş sebzelerde % 10' dan az, yağ içinde ise % 50 oranında olduğu bilinmektedir (Deming ve Erdman, 1999: 2215). Proses aşamasında homojenizasyon, ısıl işlem ve yağ ilavesi karotenoidlerin biyoyararlılığını artırmaktadır. Isıl işlem aynı zamanda gıdalardaki trans- formun cis- forma dönüşümünü de hızlandırmaktadır. Karotenoidler gıdaların işlenmesi sırasında serbest kalmakta ve bu da karotenoidlerin biyoerişilebilirliğini artırmaktadır (Garcia-Casal, 2006: 342); (Kopsell ve Kopsell, 2006: 500)

**Biyoerişilebilirlik**

Son zamanlarda, *in vivo* yöntemlerin aksine etik kaygısı taşımayan, gastrointestinal koşulların simüle edildiği *in vitro* sindirim modelleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. *İn vitro* gastrointestinal sindirim modelleri biyoaktif bileşenlerin gıda matrisinden salınımını belirlemek ve vücütta emilmeden önce profillerindeki değişiklikleri değerlendirmek için kullanılmaktadır (Kamiloğlu, 2019: 410).

Biyoerişilebilirlik, tüketilen gıdanın sindirildikten sonra, içerisindeki besin öğelerinin gıdanın matrisinden ayrılan ve ince bağırsakta emilim için hazır olan miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bir gıda bileşeninin biyoyararlı olabilmesi için öncelikle biyoerişilebilir özelliğe sahip olması gerekmektedir. Gıdanın kompozisyonu, diğer bileşenlerle olan etkileşimi ve işleme koşulları biyoaktif bileşenlerin gıda matrisinden ayrılımını ve biyoerişilebilirliğini etkilemektedir.

Meyve ve sebzeler taze olarak tüketilebildikleri gibi kurutma, dondurma ve meyve suyuna işleme gibi proseslerden geçirilerek de raf ömürleri uzatılabilmektedir. Bu işleme proseslerinden kurutma, biyoaktif bileşenlerin biyoerişilebilirliğini etkileyen faktörlerden biridir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Panagopoulou vd. (2021: 4506), kurutulmuş kuş üzümü, incir, kuru erik, kiraz, kayısı ve şeftalideki toplam fenolik madde, bireysel fenolikler, antosiyaninler ve antioksidan kapasitenin in-vitro biyoerişilebilirliklerindeki değişimi araştırmıştır. Toplam polar fenol, flavanol, flavon/flavonol içeriği ve antioksidan kapasiteleri sırasıyla 86-551 mg GAE/100g, 0.2-57 mg CE/100g, 9-71 mg RE/100g ve 6-47 mg AAE/100g aralığında saptanmıştır. Toplam fenolik madde ağız sindirimi sonrası %12-82 arasında azalma göstermiş olsa da, mide sindirimi sonrası artış gözlenmiştir. Aynı eğilim, toplam flavanoller ve flavonlar/flavonollerdeki değişim için de gözlenmiştir.

Diğer bir çalışmada; 40, 50 ve 60°C' de dondurarak kurutulmuş devedikeni çiçeğinde fenolik bileşiklerin ve antioksidan kapasitenin *in vitro* biyoerişilebilirliği üzerine kurutma sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, ABTS veya DPPH yöntemleri ile devedikeni çiçeği üzerinde fenolik bileşiklerin ve antioksidan aktivitenin, 40 °C'den 60 °C'ye kadar artan sıcaklıkla sırasıyla % 20, % 34 ve % 72 oranında azaldığını göstermiştir. Bağırsak emilimi için mevcut olan bileşiklerin miktarı, gastrointestinal sistem boyunca %15-50 oranında azalmıştır. Bununla birlikte, devedikeni çiçeğinin insan sağlığı için potansiyel önemi olan biyoaktif bileşenler açısından zengin olduğu tespit edilmiştir (Guine´ vd., 2017: 192).

Kamiloğlu ve Çapanoğlu (2013: 2621), taze ve güneşte kurutulmuş incirlerin *in vitro* biyoerişilebilirliğini değerlendirmek için, simüle edilmiş gastrointestinal sistemin farklı fazlarında toplam antioksidan kapasitesi, toplam proantosiyanidin içeriği ve başlıca fenolik bileşikleri belirlemiştir. Çalışma sonucunda, incir meyvesinin güneşte kurutulmasının toplam proantosiyanidin içeriği, klorojenik asit miktarı ve toplam antioksidan kapasitesinin biyoerişilebilirliğini artırdığı bildirilmiştir. Öte yandan, güneşte kurutma sonucunda antosiyanin biyoerişilebilirliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

Yapılan diğer bir çalışmada kurutma sıcaklığı 40-60°C, metanol konsantrasyonu % 20-60, ekstraksiyon sıcaklığı 28-60°C, ekstraksiyon süresi 30-60 dk ve limon kabuğu ekstraksiyonunun saklama süresi 0-14 gün olarak belirlenmiştir. Limon kabuğunun toplam polifenol, fenolik asit ve flavanoid içeriğini en çok etkileyen faktörler kurutma sıcaklığı, saklama süresi ve ekstraksiyon sıcaklığı olarak belirlenmiştir (Haida vd., 2022: 574).

Özkan Karabacak (2019: 2739), sıcak hava (60 ve 70 °C), vakum (20 ve 30 kPa ile 60 ve 70 °C) ve mikrodalga (90 ve 180 W) olmak üzere üç farklı yöntemle kurutulan güvem eriği pestillerinin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesinin *in vitro* biyoerişilebilirliğindeki değişimi araştırmıştır. Hem sindirilmemiş hem de mide ve bağırsak sindirimine uğratılmış örneklerin toplam fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesi kurutma işlemleri sonucunda azalmasına rağmen, bağırsak sindiriminden sonra toplam fenolik madde içeriğinde ve antioksidan kapasitede önemli artışlar gözlenmiştir.

Hiranvarachat vd. (2012: 535), sitrik asitte bekletme, suda haşlama ve sitrik asitte haşlama gibi ön işlemlerden geçirildikten sonra sıcak havayla kurutulan (70, 80 ve 90°C'de) havuç örneklerinde β-karoten biyoerişilebilirliğindeki değişimi araştırmıştır. Elde edilen sonuçların seçilen ön işlem ve kurutma sıcaklığına bağlı olarak, kurutulmuş havuçlarda β-karoten biyoerişilebilirliğini göreceli olarak artırabileceğini gösterdiği bildirilmiştir. Kuru havuçlarda β-karotenin

ISBN: 978-605-71156-5-2

biyoerişilebilirliği %47-73'e kadar atış gösterirken, taze (%13) ve ön işlem görmeden kurutulmuş havuçtaki (%31-47) biyoerişilebilirlik değerleri düşük bulunmuştur. Hem ön işlem hem de kurutma işlemleri sırasında önemli β-karoten kayıpları meydana gelmesine rağmen, ön işlemden geçirilerek kurutulmuş havuçların β-karotenin biyoerişilebilirliği taze havuçlarınkiyle benzer sonuçlar vermiştir. Uygun ön işlem ve kurutma parametresi seçiminin, havuç örneklerinin besin değerlerinin korunmasındaki faydasını gösterdiği belirtilmiştir.

Özkan Karabacak (2021) tarafından yapılan bir çalışmada sıcak hava (60, 70 °C), vakum (60, 70 °C ve 150, 250 mbar) ve mikrodalga (90, 180 W) yöntemleri ile kurutulan havuç pestillerinin, *in vitro* biyoerişilebilirliklerindeki değişim incelenmiştir. *İn vitro* gastrointestinal sindirim sonrasında pestil örneklerinin biyoerişilebilir toplam fenolik madde, toplam antioksidan kapasite ve karotenoid miktarı kurutulmamış karışımlarından daha yüksek bulıunduğu bildirilmiştir.

Literatürde daha önce yapılan çalışmada, kurutma işleminden sonra Divya vd. (2012: 342) kişniş tohumlarının, Zhang vd. (2018: 357) havuç, tatlı patates, sarı dolmalık biber ve brokolinin karotenoid madde miktarında önemli azalma görüldüğünü bildirmiştir.

**Sonuç**

Literatür bulguları çelişkili olmasına rağmen, çalışmaların çoğu kurutulmuş meyve ve sebzelerde bulunan biyoaktif bileşenlerin biyoerişilebilirliğinin taze meyve ve sebzelere benzer veya daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu nedenle kurutma, meyve ve sebzelerde biyoaktif bileşenlerin biyoerişilebilirliğini korumak için iyi bir yaklaşım olabilir. Bununla birlikte, bu çalışmada sadece kurutma işleminin etkisi tartışılmış olup, meyve ve sebzelerde biyoaktif bileşenlerin biyoerişilebilirliğinin arttırılması için kurutulmuş ürünlerin depolama koşulları da ayrıca ele alınmalıdır. Ek olarak, kurutulmuş meyve ve sebzelerdeki biyoaktif bileşenlerin biyoerişilebilirliğini anlamak için in vivo çalışmalara da ihtiyaç vardır.

**Kaynaklar**

Alminger, M., Aura, A.M., Bohn, T., Dufour, C., El, S., Gomes, A., Karakaya, S., Martinez-Cuesta, M., McDougall, G., Requena, T. (2014). In vitro models for studying secondary plant metabolite digestion and bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 13*(4), 413-436. doi: 10.1111/1541-4337.12081

Boeing, H., Bechthold, A., Bub, A., Ellinger, S., Haller, D., Kroke, A. … Schulze, M. (2012). Critical review: Vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition, 51*(6), 637-663. doi:10.1007/s00394-012-0380-y

Boyer, J., Liu R.H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal, 3*(1), 1-15. doi:10.1186/1475-2891-3-5

Cemeroğlu B. (2011). *Meyve ve sebze işleme teknolojisi* cilt II, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.

Compaore, A., Putranto, A., Dissa, A. O., Ouoba, S., Remond, R., Rogaume, Y. … Koulidiati, J. (2019). Convective drying of onion: modelling of drying kinetics parameters. *Journal of Food Science and Technology, 56*(7), 3347-3354. doi:10.1007/s13197-019-03817-3

Daglia, M. (2012). Polyphenols as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology, 23*, 174-181. doi: 10.1016/j.copbio.2011.08.007

Damodaran, S. Ve Parkin, K.L. (2017). *Fennema's food chemistry*. Oakville, Canada: CRC Press.

Deming, D.M., Erdman, J.W. (1999). Mammalian carotenoid absorption and metabolism. *Pure and Applied Chemistry, 71*(12), 2213-2223. doi: 10.1351/pac199971122213

Divya, P., Puthusseri, B., Neelwarne, B. (2012). Carotenoid content, its stability during drying and the antioxidant activity of commercial coriander (Coriandrum sativum L.) varieties. *Food Research International, 45,* 342-350. doi:10.1016/j.foodres.2011.09.021

Eggersdorfer, M., Wyss, A. (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics, 652*, 18-26. doi: 10.1016/j.abb.2018.06.001

Garcia-Casal, M.N. (2006). Carotenoid increase iron absorbtion from ceral-based food in the human. *Nutritional Research*, *26*, 340-344. doi: 10.1016/j.nutres.2006.06.015

Guine´, R.P.F., Pedro, A., Matos, J., Barracosa, P., Nunes, C., Gonçalves, F.J. (2017). Evaluation of phenolic compounds composition, antioxidant activity and bioavailability of phenols in dried thistle flower. *Journal of Food Measurement and Characterization, 11*, 192–203. doi: 10.1007/s11694-016-9386-0

Haida, Z. Ab Ghani, S., Nakasha, J.J., Hakiman, M. (2022). Determination of experimantal domain factors of polyphenols, phenolic acids and flavonoids of lemon (Citrus limon) peel using two-level factorial design. *Saudi Journal of Biological Sciences, 29*(1), 574-582. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.09.022Get

Hiranvarachat, B., Devahastin, S., Chiewchan, N. (2012). In vitro bioaccessibility of b-carotene in dried carrots pretreated by different methods. *International Journal of Food Science and Technology, 47*, 535–541. doi: 10.1111/j.1365-2621.2011.02874.x

Kamiloğlu, S. 2019. Taze ve dondurulmuş elmalarda ve elma posasında polifenol biyoerişilebilirliğinin değerlendirilmesi. *Gıda*, *44*(3), 409-418. doi: 10.15237/gida.gd19026

Kamiloğlu, S., Çapanoğlu, E. (2013). Investigating the in vitro bioaccessibility of polyphenols in fresh and sun-dried figs (Ficus caria L.). *International Journal of Food Science and Technology, 48*, 2621-2629. doi: 10.1111/ijfs.12258

Kaya, A., Kamer, M.S., Şahin, H.E. (2015). Trabzon Hurmasının (Diospyros Kakı L.) Kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. *Gıda, 40*(1), 15-21. doi: 10.15237/gida.GD14056

Kopsell, D.A., Kopsell D.E. (2006). Accumulation and bioavailability of dietary carotenoids in vegetable crops. *Trends in Plant Science, 11*, 499-507. doi: 10.1016/j.tplants.2006.08.006

Krinsky, N.I., Johnson, E.J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine, 26*, 459-516. doi:10.1016/j.mam.2005.10.001

Limpaiboon, K., Technology, A., Thammarat, N.S. (2011) Effects of temperature and slice thickness on drying kinetics of pumpkin slices. *Walailak Journal of Science and Technology, 8,* 159–166. doi:10.2004/wjst.v8i2.23

Montiel-Sánchez, M., García-Cayuela, T., Gómez-Maqueo, A., García, H. S., Cano, M.P. (2021). In vitro gastrointestinal stability, bioaccessibility and potential biological activities of betalains and phenolic compounds in cactus berry fruits (Myrtillocactus geometrizans). *Food Chemistry, 342*, 128087. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128087

Niedzwiecki, A., Roomi, M.W., Kalinovsky, T., Rath, M. (2016). Anticancer efficacy of polyphenols and their combinations. *Nutrients*, 8, 552. doi: 10.3390/nu8090552

Özkan Karabacak, A. (2019). Effects of different drying methods on drying characteristics, colour and in-vitro bioaccessibility of phenolics and antioxidant capacity of blackthorn pestil (leather). *Heat and Mass Transfer, 55*, 2739–2750. doi: 10.1007/s00231-019-02611-3

Özkan Karabacak, A. (2021). *Farklı yöntemlerle kurutulan havuç pestillerinin kurutma karakteristikleri ile bazı kalite parametrelerindeki değişimin modellenmesi ve in vitro biyoyararlılıklarının belirlenmesi* (Yayımlanmış Doktora Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.

Panagopoulou, E.A., Chiou, A., Bismpikis, M., Mouraka, P., Mangiorou, E., Karathanos, V.T. (2021). Dried fruits: phytochemicals and their fate during in vitro digestion. *International Journal of Food Science and Technology, 56*, 9, 4506-4515. doi: 10.1111/ijfs.15049

Parker, R.S. (1996). Absorbtion, metabolism and transport of carotenoids. *The FASEB Journal, 10*, 542-551. doi: 10.1096/fasebj.10.5.8621054

Tapiero, H., Town, D.M., Tew, K.D. (2004). The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. *Biomedicine & Pharmocotherapy, 58*, 100-110. doi: 10.1016/j.biopha.2003.12.006

ISBN: 978-605-71156-5-2

Thane, C., Reddy, S. (1997). Processing of fruit and vegetables: effect on carotenoids. *Nutrition & Food Science, 2*, 58-65. doi:10.1108/00346659710161858

Zhang, H., Tsao, R. (2016). Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and antiinflammatory effects. *Current Opinion in Food Science*, *8,* 33-42. doi: 10.1016/j.cofs.2016.02.002

Zhang, Z., Wei, Q., Nie, M., Jiang, N., Liu, C., Liu, C. … Xu, L. (2018). Microstructure and bioaccessibility of different carotenoid species as affected by hot air drying: Study on carrot, sweet potato, yellow bell pepper and broccoli. *LWT- Food Science and Technology, 96*, 357-363. doi:10.1016/j.lwt.2018.05.061

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Actinide Transmutation Performance Evaluation of Accelerator Driven Subcritical Reactor with Thorium Bearing Fuel

*Banu BULUT ACAR*[1]

**Abstract**

Spent fuel discharged from nuclear power reactors is a mix of various radionuclides. It contains roughly 95.5 weight percent (w/o) uranium and 1 w/o plutonium with fissile contents of about 0.85 w/o and 65 w/o respectively. The remainder of the spent fuel contains 0.3 w/o fission products and 0.5 w/o minor actinides. Because of this radionuclide mix, spent fuel is highly radioactive and generates heat. The majority of fission products decay fast and their radioactivity reduces considerably 300 years after being removed from the reactor. On the other hand, even though the long-lived minor actinides constitute a small fraction of the spent fuel, they are responsible for the majority of the heat dissipation and radiotoxicity in long term. Therefore, for the sustainability of nuclear power production, the management of long-lived actinides is considered to be the key issue to be addressed. In recent years, efforts are made to transmute minor actinides in advanced nuclear systems to shorter-lived radionuclides to reduce the amount and radiotoxicity level of waste to be sent to disposal. Accelerator-driven reactor is one of the proposed systems to transmute long-lived actinides. This study assesses the actinide transmutation feasibility of a subcritical accelerator-driven reactor with Thorium bearing fuel by simulating the system with the Serpent burnup and depletion code.

**Keywords:** Actinide, Accelerator-driven system, Serpent, Thorium, Transmutation

[1] Assist. Dr. Banu Bulut Acar, Hacettepe University, Engineering Faculty, Nuclear Engineering Department, Orcid: 0000-0002-7498-5151

ISBN: 978-605-71156-5-2

## Introduction

Spent fuel (SF) discharged from nuclear power reactors is highly radioactive and generates a huge amount of heat. It contains mainly remaining uranium (U) with fissile content of 0.8 w/o which is slightly higher than natural U fissile content and converted plutonium (Pu) with fissile content of more than 65 w/o (Bulut Acar and Zabunoglu, 2019). In addition to main constituents U and Pu, roughly 3.5 w/o of SF is Fission Products (FPs) and Minor Actinides (MAs). The main contributor to the decay heat and radioactivity of the SF is FPs but the majority of these isotopes decay fast and their radioactivity reduces considerably in 300 years after being removed from the reactor. On the other hand, actinides are mainly long-lived isotopes and responsible for SF's long-term radioactivity and radiotoxicity. Therefore, for the sustainability of nuclear power production, the management of long-lived actinides is considered to be the key issue to be addressed.

In recent years, efforts are made to separate MAs from SF and transmute them to shorter-lived radionuclides in advanced nuclear systems based on fast and thermal reactor technologies to reduce the amount and radiotoxicity level of waste to be sent to disposal. The accelerator-driven subcritical reactor is one of the proposed systems to transmute long-lived actinides. This system is based on using a subcritical core loaded with nuclear fuel that is coupled with an accelerator to sustain the fission chain reaction. In the system, the accelerator is used to bombard a target with high-energy protons to produce source neutrons, and the subcritical core that surrounds the target is used to multiply produced neutrons subsequently. Fig. 1 shows the basic concept of an accelerator-driven subcritical system (Xenofontos, 2018).

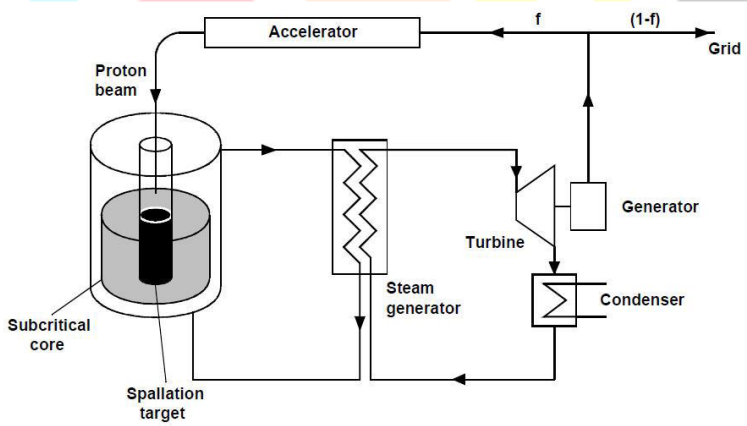



**Figure 1.** Basic concept of an accelerator-driven subcritical system (Xenofontos, 2018).

There are a large number of different accelerator-driven subcritical reactor concepts that have been proposed. These concepts are based on the use of different fuel designs (such as metallic fuels, dispersed fuels, and carbide, nitride, or oxide ceramic fuel forms) and different targets (such as solid, liquid, and particle flow targets) or neutron energies (in the thermal and fast spectrum). Recently, as an alternative to the conventional uranium fuel cycle, the use of thorium in advanced

ISBN: 978-605-71156-5-2

nuclear power systems has been widely investigated. Accelerator-driven system is one of the advanced nuclear technologies that enables the utilization of thorium. Therefore, the feasibility of the use of thorium as fuel material in the accelerator-driven system has been a subject of numerous studies. Since natural thorium (99.98 w/o Th-232) is fertile not fissile, it can only be used as a fuel in conjunction with fissile material. So, the use of Th-232 in combination with different fissile materials in various accelerator-driven system designs has been investigated in previous studies. (David et al. 2000; Barros et al., 2011; Barros et al., 2012; Ali et al. 2021). In these works, neutronic aspects of subcritical cores loaded with fuel based on usage of Th and U233 or Th and fissile material recovered from SF were discussed. In the study, it is aimed to assess the feasibility of the use of an accelerator-driven subcritical core loaded with both thorium and actinides separated from the SF of a conventional LWR to transmute long-lived radiotoxic isotopes in the SF.

## Materials and Method

To assess the feasibility of the use of an accelerator-driven subcritical core to transmute long-lived radiotoxic isotopes in the SF, burnup computations for the full-core model of the system are performed by utilizing the Serpent particle transport code. Then, neutronic parameters such as the effective multiplication coefficient and the evolution of Th, U, Pu and other actinides in the core of the system during the cycle are calculated. By comparing the initially loaded and discharged amounts of actinides to the core, transmutation performance of the system is evaluated.

## Serpent Burnup and Depletion Code

Serpent is a three-dimensional Monte Carlo particle transport code that can be used in reactor physics studies including fuel cycle analysis, research reactor simulations, and verification of deterministic transport codes. It is widely used in the neutron and photon radiation dose rate and shielding calculations in nuclear applications. The developed recent version of the code can be coupled with thermo-hydraulic, computational fluid dynamics and fuel performance codes. In addition, burnup calculations can be made in nuclear fuel cycle applications with the code.

Serpent can calculate homogenized multi-group cross-sections, scattering matrix and kinetic parameters for any energy group and region of interest. It can also generate time-dependent isotopic compositions for the specified burnup scenario and calculate SF properties including radioactivity and decay heat. To neutronic simulation of a system in the Serpent, it is needed to model the geometry of the problem and input the materials, burnup parameters and other necessary options to the code. Similar to other Monte Carlo codes, geometry creation in the code is based on volumes obtained from combining different surfaces.

In the Serpent code, continuous energy cross sections are read from ACE format nuclear data libraries such as JEFF-3.1.1, ENDF / B-VII.0. So, all the continuous energy ACE format data libraries created for MCNP can be used with the Serpent code. Interaction data is available for 432 nuclides at 6 temperatures between 300 and 1800 K. For burnup calculations, decay and fission product data libraries must be defined. An important advantage of the Serpent code over similar Monte Carlo codes is that it has a shorter computation time in burnup calculations

ISBN: 978-605-71156-5-2

(Leppänen and Pusa, 2009). In the code, burnup calculation is performed in a two-step recurrent process. In the first step of the calculations, the rates of all neutron-induced conversion reactions are determined by applying standard Monte Carlo techniques. Then, the first step results are combined with data including decay constants and yields read from nuclear data libraries. The second step of the process consists of solving the Bateman equations for depletion calculations and obtaining new material compositions. Then, by using the updated material compositions the calculation steps are repeated (Leppänen and Pusa, 2009). In the depletion calculations, Bateman equations given in Eqn. 1 are solved to describe the changes in the concentrations of isotopes in the irradiated material:

$$\frac{dN_j}{dt} = \sum_{i \neq j} \lambda_{ij} N_i - \lambda_j N_j,\ N_j(0) = N_0, j = 1, .., n \quad \text{Equation 1.}$$

In Eqn. 1, $N_j$ is the atomic density of the nuclide j, n is the number of nuclei, and $\lambda_{ij}$ are transmutation coefficients. The output of burnup calculations consists of material-specific and total results for composition, activity, ingestion and inhalation radiotoxicity, and decay heat generation rate for each burn step specified in the input file for the system.

**Accelerator-driven system model simulated in Serpent code**

In the study, a subcritical accelerator-driven system is simulated by Serpent burnup and depletion code. The core model created in the Serpent contains three regions: neutron source, subcritical core and reflector. The neutron source is a lead-bismuth alloy with 44.5 at. % Pb and 55.5 at. % Bi. The cylindrical target 80 cm in length and 30 cm in diameter is placed at the center of the system. The core region encloses the target has a radius of 230 cm and height of 460 cm and consists of 90 hexagonal fuel assemblies with 8.72 side lengths. In each fuel assembly loaded with heterogeneous approach, there are 91 fuel rods bearing thorium and actinides in certain fractions. Fuel rods with stainless-steel cladding are 260 cm in length and 0.75 cm in radius. The thickness of the stainless-steel cladding is 2 mm (Korkmaz et al., 2012). Two types of fuel rods are loaded into the fuel assemblies. Each fuel assembly consists of 7 central actinide-bearing fuel rods and 84 surrounding fuel rods loaded with thorium and actinide mixture. It is assumed that the actinide stream separated from spent $UO_2$ fuel of a typical PWR type reactor is used to produce oxide fuel forms to be loaded into the rods. Initial enrichment of the reprocessed $UO_2$ fuel is 3.3 w/o and it is discharged from the reactor after attaining to 33 GWd/tHM average discharge burnup value. After a 5-year cooling period, it is assumed that SF is reprocessed and 99.9 w/o of the U, Pu and other actinides are separated from fission products. Recovered actinide mixture also contains trace amounts of FPs. In the central fuel rods oxide form of recovered actinides is loaded as fuel. In the thorium-actinide bearing rods of the fuel assembly, the actinide stream recovered from spent $UO_2$ fuel is blended with 90 w/o thorium. The fuel compositions used in the central and surrounding fuel rods in the assemblies are presented in Table 1 and Table 2 respectively.

The lead-bismuth target and the core region are cooled by sodium. Outside of the core, a lead reflector region is defined. The reflector enclosing the fuel assemblies has a diameter of 230

ISBN: 978-605-71156-5-2

cm and a height of 460 cm. Since the core is subcritical, to obtain sustainability of nuclear reactions and drive the system, a neutron source is defined in the central target. Defined neutron source has the characteristic spectrum of spallation reactions resulting from the injection of 1 GeV proton beam to the target. (Barros et al., 2010). Top and lateral views of the modeled geometry of the system in the Serpent code are presented in Fig. 2 and Fig. 3.

**Table 1.** Fuel composition in the central and periphery rods (Barros et al., 2015).

| Nuclide | | Central fuel composition (w/o) | Periphery fuel composition (w/o) |
|---|---|---|---|
| Uranium | U-233 | 1.85E-09 | 2.22E-10 |
| | U-234 | 1.38E-04 | 1.66E-05 |
| | U-235 | 7.19E-03 | 8.63E-04 |
| | U-236 | 3.68E-03 | 4.41E-04 |
| | U-237 | 5.24E-06 | 6.28E-07 |
| | U-238 | 8.74E-01 | 1.05E-01 |
| Plutonium | Pu-238 | 1.65E+00 | 1.98E-01 |
| | Pu-239 | 4.33E+01 | 5.20E+00 |
| | Pu-240 | 1.48E+01 | 1.78E+00 |
| | Pu-241 | 1.39E+01 | 1.67E+00 |
| | Pu-242 | 5.26E+00 | 6.31E-01 |
| Americium | Am-241 | 7.41E-01 | 8.89E-02 |
| | Am-242 | 1.36E-03 | 1.64E-04 |
| | Am-243 | 1.01E+00 | 1.21E-01 |
| Neptunium | Np-237 | 4.23E+00 | 5.08E-01 |
| | Np-238 | 6.93E-02 | 8.32E-04 |
| | Np-239 | 4.38E-01 | 5.25E-02 |
| Curium | Cm-242 | 2.31E-01 | 2.77E-02 |
| | Cm-244 | 2.65E-01 | 3.17E-02 |
| | Cm-245 | 9.20E-03 | 1.18E-03 |
| Thorium | Th-232 | - | 7.74E+01 |
| FP's | | 1.19E+01 | 1.21E+01 |
| Oxygen | O | 1.19E+01 | 1.21E+01 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

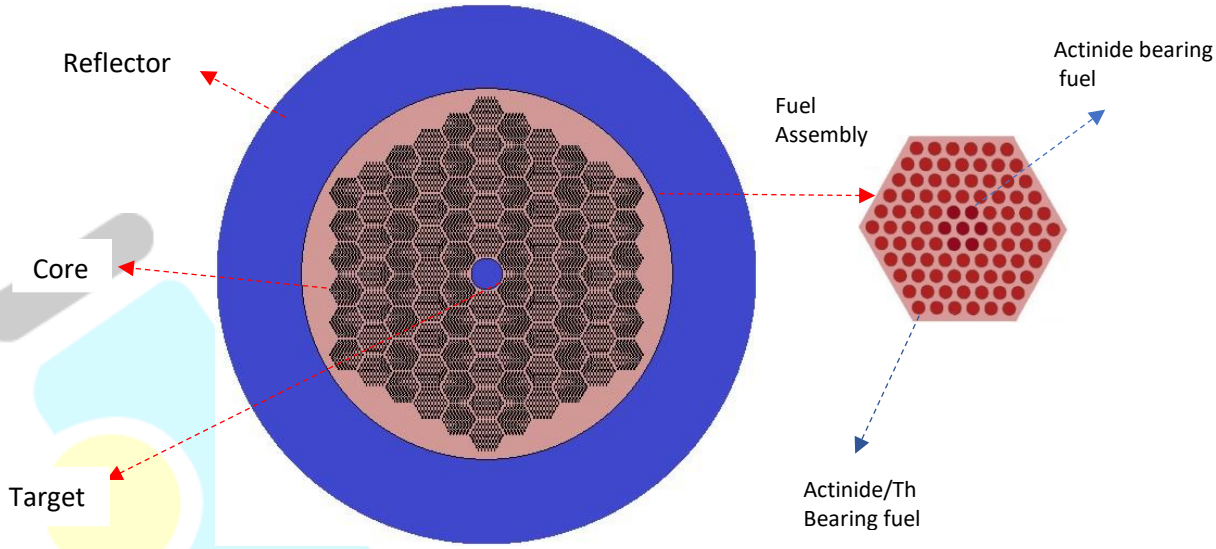



**Figure 2**. xy-plane view of the Serpent model of the accelerator-driven subcritical core

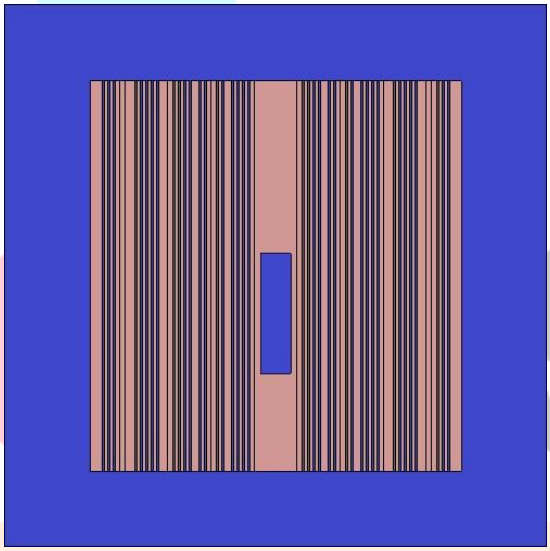


**Figure 3.** xz-plane view of the Serpent model of the accelerator-driven subcritical core

In the burnup calculations, the irradiation history of the system is defined by using the "dep" card in the Serpent code. The specific power density of the system is defined as 38,6E-03 MW/tHM and simulations are performed for a cycle length of 5-year (1825 Effective Full Power Days, EPFD). To observe the criticality of the system and burnup rates total simulation time was divided into 5 equal steps each 365 days long. In the calculations, the ENDF/B-VII data library is used and the system is simulated by tracking 30000 source neutrons. Temperature of fuel assemblies is set to 1700 K and of structural materials of the core as 900 K.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## Results

### Effective multiplication factor of the system

The effective multiplication factor of the subcritical system is found to be 0.985 at the beginning of the cycle (BOC). Figure 5 presents the change of $k_{eff}$ with time. As it is observed from Fig. 4, at the end of the cycle (EOC) $k_{eff}$ of the system is 0. 971. Since this value is more than 0.95, the average value for a subcritical system, the cycle length of the system can be extended. Therefore, for an extended cycle length of 3650 days, the simulations are repeated and the $k_{eff}$ of the system at the end of this extended cycle length is calculated as 0.948 which is slightly lower than the average value.

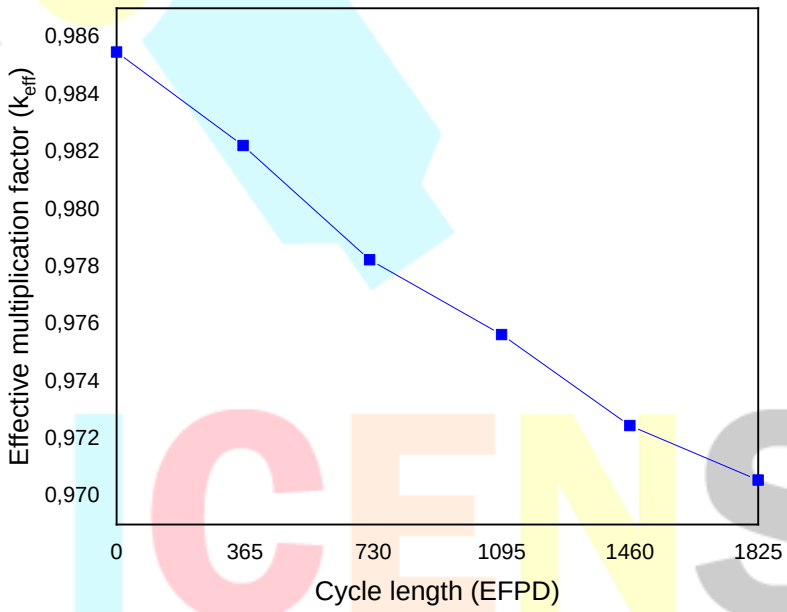



**Figure 4.** Evolution of $k_{eff}$ of the system with time

### Actinide transmutation performance of the system

To evaluate the actinide transmutation performance of the system the evolution of major and minor actinides in the core during the burnup of the fuel is obtained. Quantities of Th, Pu and U as major actinides and Am, Cm and Np as Minor Actinides at the BOC and EOC are compared.

### Major actinides

The initially loaded and discharged amounts of Th, U and Pu are compared in Fig. 5. During the irradiation period, neutrons generated by the target are captured by the Th-232 then two succeeding beta decay occurs and Th-232 decays to U-233 fissile isotope. Therefore, as is observed in Fig. 5, the amount of initially loaded Th-232 decreases in the core at the EOC. Because

ISBN: 978-605-71156-5-2

of the U-233 generation total amount of U in the core increases at the EOC. On the other hand, since the initially loaded Pu contains roughly 70 w/o fissile isotopes which undergo fission, the total amount of Pu in the core decreases at the EOC.

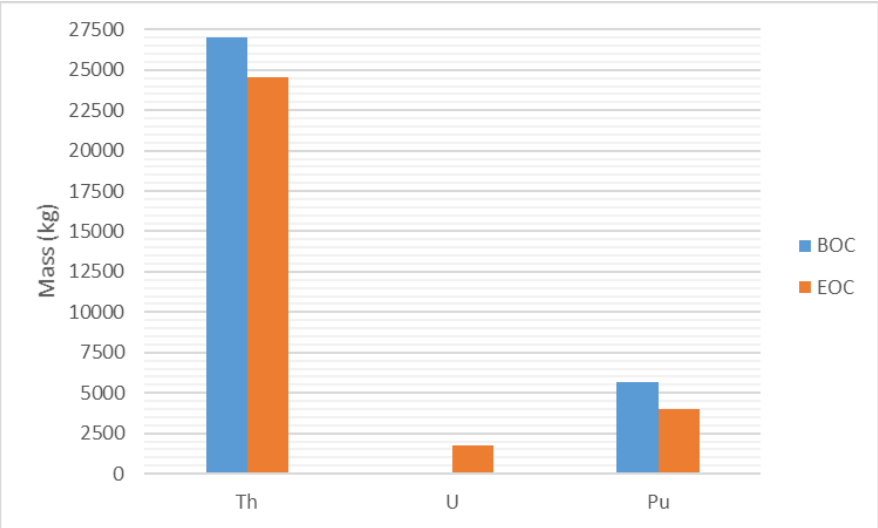



**Figure 5.** Variation in the amounts of Major Actinides

Fig. 6 and Fig. 7 present the variation of masses of U and Pu isotopes in the system core respectively. As seen in Fig. 6, fissile U-233 and U-235 amounts increase while the mass of U-238 decreases in the core. It can be observed from Fig. 7 that the fissile Pu-239 and Pu-241 isotopes are consumed while the Pu-240 and Pu-242 content of the Pu increases.

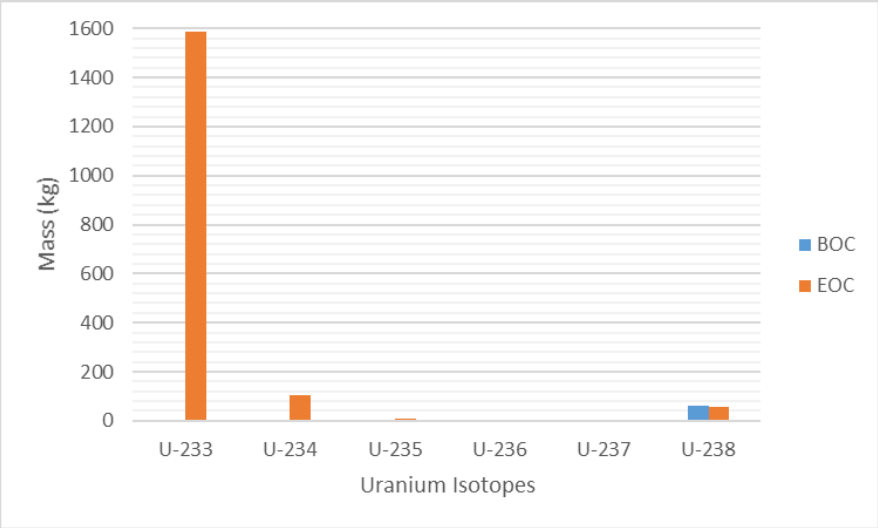



**Figure 6.** Variation in the amounts of U isotopes

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Fissile isotope evolution**

Accelerator-driven subcritical core initially contains Pu-239, Pu-241 and U-235 fissile isotopes. During the cycle, these fissile isotopes are consumed to produce energy. Additionally, Th-232 decays to the U-233 fissile isotope which contributes to power production. Fig. 8 presents the depletion rates of the fissile isotopes in the system.

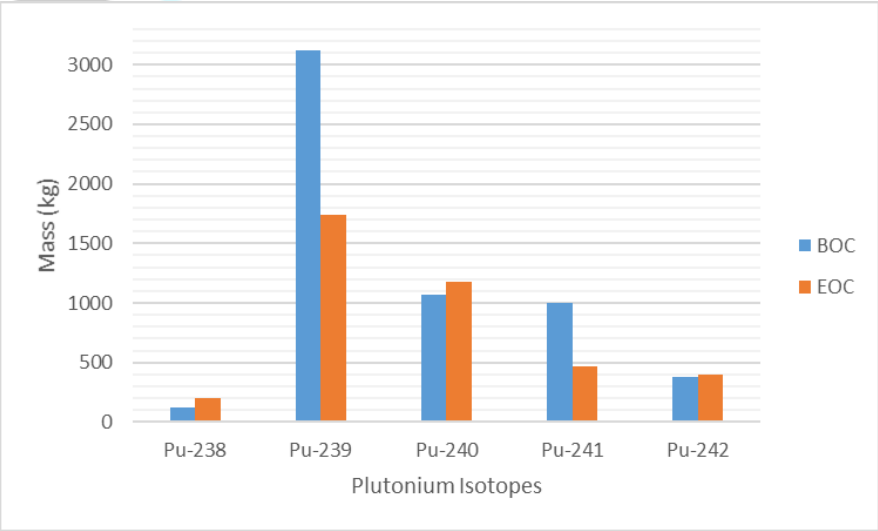



**Figure 7.** Variation in the amounts of Pu isotopes

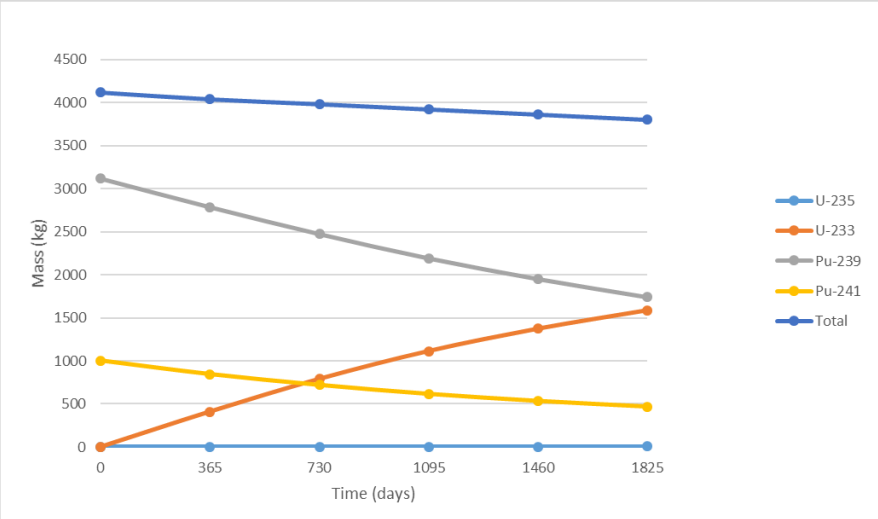



**Figure 8.** Depletion rates of fissile isotopes

As can be noticed from Fig. 8, most of the power production in the system will result from the fission of the Pu-239 isotope which has a high fraction in the initially loaded fuel. Since the U-235 isotope fraction in the initial composition of the fuel is low, the contribution of this isotope to power production is not high. Additionally, while the initially loaded U-235 isotopes are consumed, there will be new U-235 isotopes originating from the neutron capture of U-233

ISBN: 978-605-71156-5-2

isotopes that compensate for the depletion. So, as can be observed from Fig. 8, the net rate of depletion of the U-235 isotope is very low.

**Minor actinides**

The initially loaded and discharged amounts of MAs such as Am, Cm, and Np are compared in Fig. 9. As it can be observed from Fig. 9, at EOC mass of the Np decreases while the amount of other MAs increases.

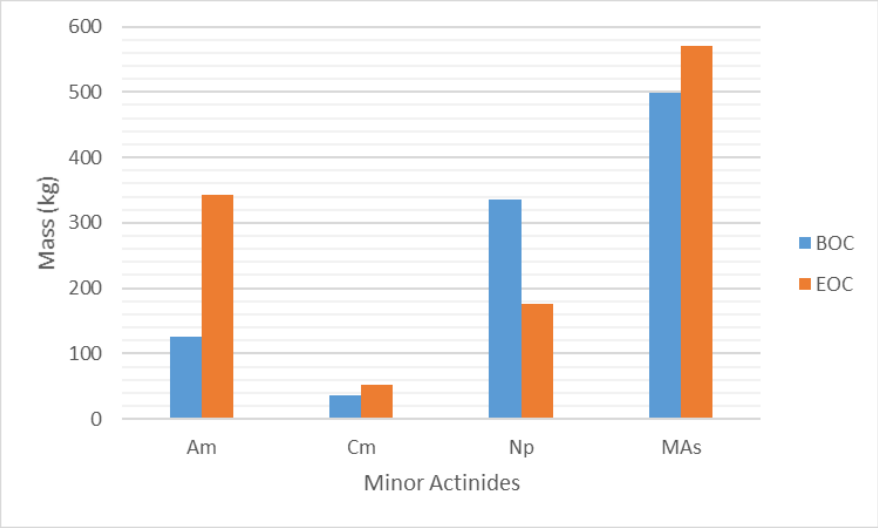



**Figure 9.** Variation in the amounts of MAs

Fig. 10 presents the mass variation of Am-241, Am-242 and Am-243 isotopes of the Am which originated from the nuclear reactions of Pu-241. As it can be seen from Fig. 10, at the EOC there is a net increase in all of the Am isotopes, notably in the Am-241 concentration.

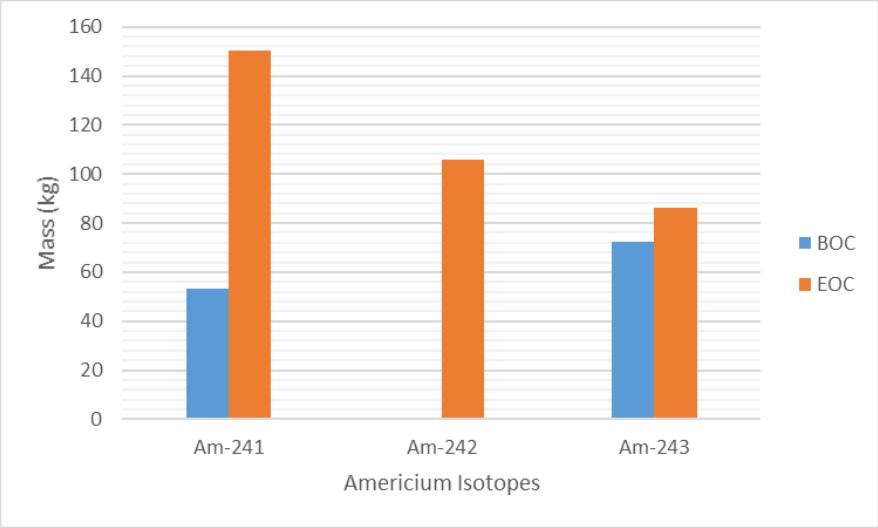



**Figure 10.** Variation in the amounts of Am isotopes

ISBN: 978-605-71156-5-2

The variation in the concentration of Cm-242, Cm-244 and Cm-245 isotopes of curium is shown in Fig. 11. Among the curium isotopes, Cm-242 has a net transmutation while the other two isotopes are increasing in amount at the EOC. This can be attributed to the short half-life of the Cm-242.

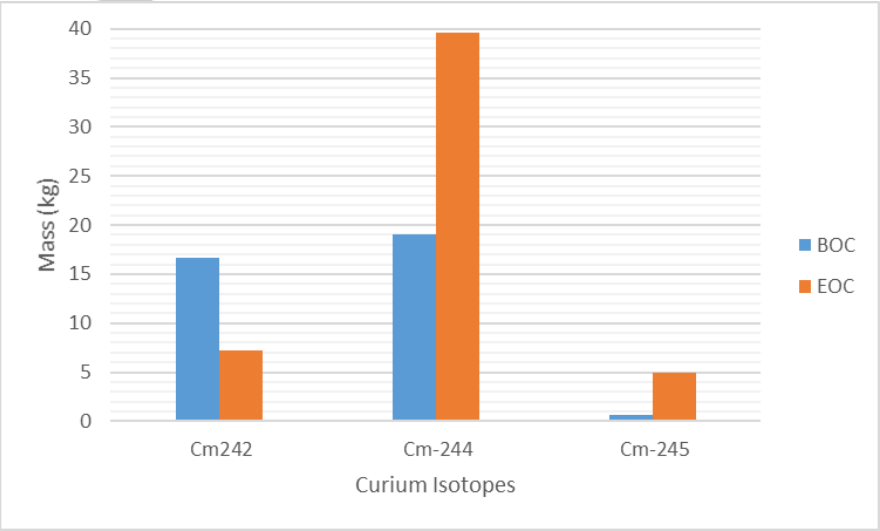



**Figure 11.** Variation in the amounts of Cm isotopes

Fig. 12 presents the mass variation of Np-237, Np-238 and Np-239 isotopes of the Np which originated from neutron capture of U-235 and U-238 and the decay of Am-241. As can be observed from Fig. 12, the amount of all of the Np isotopes decreases at the EOC. This is the result of the decrease in the amount of Np-237 due to neutron capture and Np-238 production. Since the half-life of Np-238 is very short, it decays rapidly.

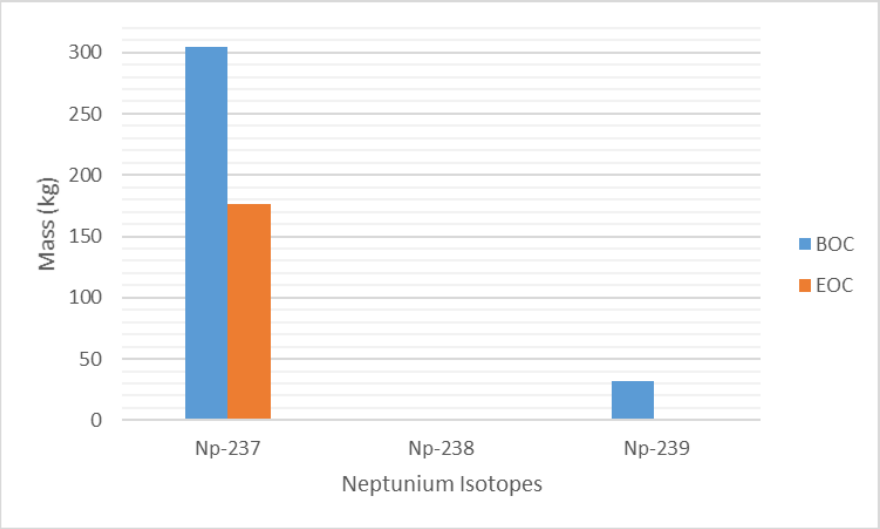



**Figure 12.** Variation in the amounts of Np isotopes

ISBN: 978-605-71156-5-2

## Conclusion

In the study, actinide transmutation performance evaluation of an accelerator-driven subcritical reactor with thorium-bearing fuel is performed. To evaluate the actinide transmutation performance of the system the evolution of major and minor actinides in the core during the burnup of the fuel is obtained. Quantities of Th, Pu and U as major actinides and Am, Cm and Np as Minor Actinides at the BOC and EOC are compared. The results show that utilization of thorium in an accelerator-driven subcritical system is feasible when Th and minor actinide bearing rods are heterogeneously loaded into fuel assemblies. In the study, an initial transmutation performance assessment based on a simplified model of accelerator-driven core loaded with Th bearing fuel is performed. Future work may involve transmutation performance assessment for a detailed model of the system with different heterogeneous assembly approaches and different coolants/moderators.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**References**

Ali, A. M. M., Abou-Gabal, H.H., Mohamed, N. M. A., Elshahat, A.E., 2021. Study of Different Seed Fuels with Thorium in Accelerator-Driven Subcritical System, Nuclear Science and Engineering, 195:2, 203-213, DOI: 10.1080/00295639.2020.1799604.

Barros, G., Pereira, C., Veloso, M., Costa, A., Reis, P., 2010. Neutron production evaluation from a ADS target utilizing the MCNPX 2.6.0 code. Braz. J. Phys. 40, 414–418.

Barros, G., Pereira, C., Veloso, M., Costa, A., Silva, C., 2011. Fuel regeneration analysis of an accelerator driven system using the MCNPX 2.6.0 code. In: Proceedings of ICAPP 2011.

Barros, G., Pereira, C., Veloso, M., Cunha, R., Costa, A., 2012. Fast accelerator driven subcritical system for energy production using burned fuel. Transact. Fusion Sci. Technol. 61, 256–261.

Barros, G. P., Pereira, C., Veloso, M. A. F., & Costa, A. L. (2015). Thorium and reprocessed fuel utilization in an accelerator-driven system. Annals of Nuclear Energy, 80, 14-20.

Bulut Acar, B., Zabunoglu, O., 2019. Impact assessment of alternative back-end fuel cycles on geological disposal of resultant spent fuels and high-level wastes. Annals of Nuclear Energy 130 (2019) 452–472.

David, S., Billebaud, A., Brandan, M.E., Brissot, R., Giorni, A., Heuer, D., Loiseaux, J.M., Meplan, O., Nifenecker, H., Viano, J.-B., Schapira, J.-P., 2000. Fast subcritical hybrid reactors for energy production: evolution of physical parameters and induced radiotoxicities. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 443, 510–530.

Korkmaz, M. E., Agar O., Yigit M., 2012. Burnup calculations for accelerator-driven thorium reactor using serpent monte carlo code. Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology Volume 28, Issue 4.

Leppänen, J., Pusa, M., Burnup calculation capability in the PSG2/Serpent Monte Carlo reactor physics code. American Nuclear Society-International Conference on Mathematics, Computational Methods and Reactor Physics, Saratoga Springs, New York, May 3-7, 2009.

Thalia Xenofontos. Development of a dynamic stochastic neutronic code for the analysis of conventional and hybrid nuclear reactors. Nuclear Experiment [nucl-ex]. Université Paris-Saclay, 2018.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Kahramanmaraş'ta Farklı Yaşlardaki Zeytin Bahçeleri Topraklarının Verimlilik Durumlarının Değerlendirilmesi

*Cafer Hakan YILMAZ*[1]

**Öz**

Bu araştırma, Kahramanmaraş ilindeki farklı yaşlardaki zeytin bahçelerinin topraklarının verimlilik durumlarını belirlemek için yapılmıştır. Farklı yörelerdeki çiftçilerin kendilerine ait farklı yaşlardaki 58 adet zeytin bahçesinden ve 0-30 cm derinlikten, kendilerine tarif edildiği şekilde alıp getirdikleri topraklar çalışma materyalini oluşturmuştur. Getirilen toprak örneklerinde bünye, pH, elektriksel iletkenlik (EC), kireç ($CaCO_3$), organik madde, bitkiye yarayışlı fosfor ve potasyum analizleri yapılmıştır. Toprak analizleri, Kahramanmaraş Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Toprak Bitki ve Su Analiz Laboratuvarında yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, araştırılan topraklarının % 60.34'ünün killi tın, % 25.86'sının kil ve % 13.79'unun tın bünyeye sahip olduğu, toprakların % 62.07'sinin hafif alkalin, % 36.21'inin nötr ve % 1.72'sinin hafif asit reaksiyonlu ve tamamının tuzsuz sınıfında yer aldığı bulunmuştur. Zeytin bahçeleri topraklarının genellikle kireçli ve % 67.24'ünün organik madde içeriklerinin % 2'nin altında olduğu belirlenmiştir. Toprakların % 87.94'ünün yarayışlı fosfor ($P_2O_5$) bakımından fakir, % 87.93'ünün de yarayışlı potasyumca ($K_2O$) yeterli olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen bulgular, Kahramanmaraş ilinde zeytin bahçelerinde beslenme sorunlarının olduğu, çiftçilerin bahçeleri için toprak ve bitki analizlerine dayalı bilinçli gübreleme programlarının olmadığını göstermiştir. Bu nedenle zeytinde gübreleme çalışmalarının artırılması ve verilecek gübre dozları ihtiyacının belirlenmesi yanı sıra, toprak ve yaprak analizlerine gerekli önemin verilebilmesi için üreticilerin bilimsel temellere dayalı olarak toprak verimliliği ve bitki beslenmesi konusunda bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kahramanmaraş, toprak analizleri, toprak verimliliği, yarayışlı fosfor, zeytin bahçesi.

[1] Dr., East Mediterranean Transitional Zone Agricultural Research of Institute, Department of Soil and Water Resources, Kahramanmaraş, Orcıd: 0000-0003-3680-453X

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

Zeytin, Prehistorik çağlardan beri bilinen bir meyve olup, *Oleaceae* (Zeytingiller) familyasındandır. Genellikle tropik ve subtropik iklim bölgelerinde yayılış göstermektedir. Zeytinin dünyada bilinen 27 türü ve 600 civarında da varyetesi bulunmaktadır (Efe vd., 2011: 37). Zeytinin anavatanı, Güney Ön Asya ve Güneydoğu Anadolu Bölgesini de içine alan Yukarı Mezopotamya'dır (Şeker vd., 2008). Zeytin ağacının yetiştirilmesi iklim faktörleri ile sınırlı olduğu için üretimi ekolojik olarak Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz havzası ülkelerinde yapılmaktadır. Türkiye zeytin üretim alanları 2020 yılına kadar artış eğilimindedir. Son yıllarda yeni zeytin bahçesi tesisi ve sertifikalı zeytin fidanı destekleriyle zeytin üretim alanları artmıştır. TÜİK Bitkisel Üretim İstatistiklerine göre 2021 yılında zeytin alanı ve üretimi, 889.167,70 ha ve 1.740.000 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2022). Kahramanmaraş'ta ise 2021 yılı için zeytin bahçesi alanı ve üretimi 11.870,50 ha ve 17.997 ton olmuştur (TÜİK, 2022). Kahramanmaraş büyük oranda zeytincilik potansiyeline sahip olmasına rağmen Akdeniz ikliminin geçit bölgesinde olması, zeytinciliğin yayılmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Buna rağmen zeytin çeşitliliği bakımından çok zengindir. Güney Doğu Anadolu Bölgesi çeşit belirleme için yapılan bir çalışmada ilimizde ve bölgede Kilis Yağlık, Nizip Yağlık, Halhalı (Derik), Eğriburun (Nizip) ve Kan Çelebi gibi çeşitler olup, ayrıca Belluti, Hursuki, İri Yuvarlak, Eğriburun (Tatayn), Halhalı Çelebi, Hamza Çelebi, Hırhalı Çelebi, Kalembezi, Mavi, Melkabazı, Tespih Çelebi, Yağlık Çelebi, Yağlık Sarı Zeytin, Yuvarlak Çelebi, Yuvarlak Halhalı, Yün Çelebi, Maraş No:7 ve Zoncuk gibi çeşitlerin varlığı belirlenmiştir (Altun, 2014: 22-23).

Zeytincilikte kaliteli ve ekonomik üretim yapabilmek için toprak ve diğer çevresel faktörleri de dikkate alarak, uygun bir gübreleme programı yapılması gerekir. Uygun bir gübreleme programı ile ağaçlara sürekli ve gerekli bitki besin maddelerinin sağlanması yetiştiricilik için önemlidir. Diğer taraftan sorun sadece bitki besin maddelerinin eksikliği değil, toprakta bazı bitki besin maddelerinin fazlalığı, yüksek ya da düşük pH, toprağın organik madde, kil, kireç ve nem içerikleri gibi birçok etken besin elementlerinin alımını zorlaştırabilir. Bu nedenle zeytinliklere uygulanacak gübre programının, toprak ve bitki analiz sonuçlarına göre belirlenmesi en uygun yoldur. Zeytin, pH: 6.5-7.8 arasında olan toprakları sever. Bu değerlerin dışındaki topraklarda element noksanlıkları, verimde azalma ve kalite düşüklükleri görülmektedir. Ülkemizde zeytin yetiştirilen toprakların pH değerleri genellikle 6.0-8.5 arasındadır. Toprak pH'sının zeytinin istediği sınırlar dışında olması, öncelikle bitkilerin besin elementlerini almasını ve gübrelemeden beklenilen etkinin istenilen düzeyde olmasını engellemektedir. pH' nın 6.5'in altında ve özellikle 6.0'ın altında olan topraklarda, toprak reaksiyon değerinin yükseltilmesi gerekmektedir. Bunun için kireçleme yapılmalıdır (Yılmaz ve Altun, 2014: 32). Ulaş (2014: 30)'a göre, zeytin ağacı her ne kadar "fakir toprakların zengin ağacı" ise de zeytin bahçesi kurulacak arazinin toprak yapısının tınlı, killi-tınlı tekstüre sahip, hafif kireçli ve çakıllı, organik madde ve besin elementleri bakımından zengin, tuzluluk sorunu olmayan, toprak derinliği en az 1,5-2 m, su tutma kapasitesi iyi, pH'sı 6-8 civarında olmalıdır. Zeytinliklerin iyi düzeyde mahsul vermesi için toprağın tınlı, killi-tınlı bünyeli, pH: 6-8, tuzluluk: 0-4 mmhos/cm, kireç: % 5-15, organik madde: % 2-3, fosfor (ppm): 7-20, potasyum (ppm): 200-320, kalsiyum (ppm): 1440-6120, magnezyum (ppm): 117-400 arasında olması gerektiği bildirilmiştir (Efe ve ark., 2013: 90).

Ülkemizin bu güzide meyvesinin sahip olduğu büyük potansiyeli kullanabilmek için yetiştiriciliği yapılan toprakların özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu yönde

ISBN: 978-605-71156-5-2

yapılan çalışmalar da büyük önem taşımaktadır. Nitekim yapılan bu araştırma ile de Kahramanmaraş ilinin farklı yörelerindeki kültürel işlemlerin düzenli olarak yapılmadığı farklı yaşlardaki zeytin bahçelerinin topraklarının verimlilik durumlarının belirlenmesi, bahçelerin gübreleme programlarının oluşturulmasına katkı sağlanması ve çiftçilerin bitki besleme ile ilgili olarak bilinçlendirilmeleri amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve METOT

Araştırma, 2018-2022 yılları arasında Kahramanmaraş'ta zeytinciliğin yoğun olarak yapıldığı, Onikişubat, Dulkadiroğlu, Pazarcık ve Türkoğlu ilçelerindeki çiftçilerin kendilerine ait farklı yaşlardaki 58 zeytin bahçesinden, kendilerine tarif edildiği şekilde alıp getirdikleri topraklarla yürütülmüştür (Çizelge 1). Her bahçeden fidan ya da ağaçların arasından zikzak şeklinde gezilerek 15 farklı noktadan ve 0-30 cm derinliğinden toplam 15 adet toprak örneği alınmıştır. Alınan örnekler temiz bir kova içerisinde iyice karıştırılarak, 5 kg'lık şeffaf poşetlerde 2 kg'lık tek bir örnek haline getirilmiştir. Arazi sahibinin adı soyadı ve arazi bilgilerinin yazılı olduğu bir etiket de poşetin içerisine konulmuştur. Toprakların getirildiği bu bahçeler, yaygın olarak yetiştirilen ve yetiştiriciliği her geçen gün daha da artan zeytin (*Olea europaea* L.) fidan ve ağaçlarının yetiştirildiği bahçelerden oluşmaktadır.

Kahramanmaraş Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nün Toprak, Bitki ve Su Analiz Laboratuvarına getirilen örnekler, toprak hazırlama odasında temiz polietilen küvetler içine serilerek, taş ve bitki parçacıkları ayıklanmış sonra kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan topraklar, tahta tokmaklarla dövülmüş ve 2 mm'lik çelik elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir. Analize hazır haldeki toprak örneklerinde; suyla doygunluk (saturasyon, %), Richards (1954), tarafından bildirildiği şekilde suyla doyuncaya kadar toprağa saf su ilave edilmek suretiyle belirlenmiştir. Toprak reaksiyonu (pH), Richards (1954)'ın bildirdiği sekilde suyla doygun hale getirilen toprakta (sature çamurda) cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür. Toprakların elektriksel iletkenlikleri (EC, dS $m^{-1}$), sature olmuş çamurda elektriksel kondüktivite cihazı ile ölçülmüştür (Richards, 1954). Kireç ($CaCO_3$, %), Scheibler kalsimetresinde volümetrik olarak tespit edilmiştir (Klute, 1986). Organik madde (%), Richards (1954) tarafından belirtilen modifiye edilmiş Walkley-Black yöntemiyle belirlenmiştir. Yarayışlı fosfor (kg $da^{-1}$) Olsen ve ark., (1954)'nın sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) yöntemine göre spektrofotometre cihazı ile belirlenmiştir. Alınabilir potasyum (kg $da^{-1}$) içerikleri, 1 N Amonyum asetat (pH=7.0) kullanılarak hazırlanmış ekstrakt eriyiğine geçebilen K miktarı Agilent 5100 marka ICP-OES ile ölçülerek tespit edilmiştir (Helmke ve Sparks, 1996: 551-574).

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Çizelge 1.** Toprak örneklerinin nereden, ne zaman, kaç yaşındaki bahçeden getirildiği ve bahçe sahibi çiftçinin adı soyadı bilgileri

| Örnek No | Adı Soyadı | Alındığı Yıl | Bitki | Sulu/ Kuru | Yaş | Alındığı Yer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Adem YORULMAZ | 2018 | Zeytin | Sulu | | Yenicekale/Onikişubat |
| 2 | Kazım Kamil GÜVEN | 2018 | Zeytin | Sulu | | Kale/Onikişubat |
| 3 | Osman ARIKMERT | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Yenicekale/Onikişubat |
| 4 | Hasan CEYLAN | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Yenicekale/Onikişubat |
| 5 | Hacı Mehmet KARADÖL | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Yenicekale/Onikişubat |
| 6 | Ahmet PALTA | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Fatih Sultan/Kürtül/Onikişubat |
| 7 | İsmail DEMİR | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Fatih Sultan/Kürtül/Onikişubat |
| 8 | Yusuf CEYHAN | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Yenicekale/Onikişubat |
| 9 | Mustafa OKUMUŞ | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Fatih Sultan/Kürtül/Onikişubat |
| 10 | İdris AKILLI | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Yenicekale/Onikişubat |
| 11 | Osman KIKGEÇİT | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Yenicekale/Onikişubat |
| 12 | Muhsin KONUŞ | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Yenicekale/Onikişubat |
| 13 | Mehmet KILÇIK | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Yeniyapan/Onikişubat |
| 14 | Ali KONUŞ | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Yeniyapan/Onikişubat |
| 15 | Ziya ÇETİNKAYA | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Yeniyapan/Onikişubat |
| 16 | Abdulkadir CİĞER | 2018 | Zeytin | Sulu | 15 | Kürtül/Onikişubat |
| 17 | Abdulkadir CİĞER | 2018 | Zeytin | Sulu | 6 | Yenicekale/Onikişubat |
| 18 | Kamil GÜNDEŞ | 2018 | Zeytin | Sulu | | Ilıca/Onikişubat |
| 19 | Muhammet AKILLI | 2018 | Zeytin | Sulu | 4 | Kavlaklı/Onikişubat |
| 20 | Ahmet YARDIMCI | 2018 | Zeytin | Sulu | 5 | Karadere/Onikişubat |
| 21 | İslam KARAGÖL | 2018 | Zeytin | Sulu | | Yedikuyular/Göllü/Dulkadiroğlu |
| 22 | Ahmet YARDIMCI | 2018 | Zeytin | Sulu | | Karadere/Onikişubat |
| 23 | Faruk ONUR | 2018 | Zeytin | Sulu | 5-15 | Dedeler/Türkoğlu |
| 24 | Mehmet ÖZ | 2018 | Zeytin | Sulu | 1-9 | Karataş/Döngele/Onikişubat |
| 25 | Mehmet ÖZ | 2018 | Zeytin | Sulu | 1-9 | Karataş/Döngele/Onikişubat |
| 26 | Mehmet ÖZ | 2018 | Zeytin | Sulu | 1-9 | Karataş/Döngele/Onikişubat |
| 27 | Mehmet ÖZ | 2018 | Zeytin | Sulu | 1-9 | Karataş/Döngele/Onikişubat |
| 28 | Necati KARİP | 2018 | Zeytin | Kuru | 14 | Avcılar/Onikişubat |
| 29 | Hilmi ÇİFTÇİ | 2019 | Zeytin | Sulu | | Avşar/Onikişubat |
| 30 | Hatice İŞBİLİR | 2019 | Zeytin | Sulu | 6 | |
| 31 | Erdoğan GÜLER | 2019 | Zeytin | Sulu | 10 | Kartal/Dulkadiroğlu |
| 32 | Mehmet Güçlü ÖZER | 2019 | Zeytin | Sulu | 5 | Pazarcık |
| 33 | Elkevser METAL | 2019 | Zeytin | Sulu | 7 | Dereköy/Dulkadiroğlu |
| 34 | Abdullah KIZOĞLU | 2019 | Zeytin | Sulu | 10 | Dereköy/Dulkadiroğlu |
| 35 | K. Mehmet DEMİRKOL | 2019 | Zeytin | Sulu | 22 | Ceceli/Türkoğlu |
| 36 | Cemal KARA | 2019 | Zeytin | Kuru | 20 | Çakır/Onikişubat |
| 37 | Cemal KARA | 2019 | Zeytin | Kuru | 1-20 | Çakır/Onikişubat |
| 38 | Gani GÜRDAL | 2020 | Zeytin | Kuru | 1 | Ilıca/Onikişubat |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 39 | Veli ÇİFTASLAN | 2020 | Zeytin | Sulu | | Güdeş Mevki/Ayakçıloluk/Dulkadiroğlu |
| 40 | Mustafa ÇEVİK | 2020 | Zeytin | Kuru | 1 | Narlı/Pazarcık |
| 41 | Bilal ELMAS | 2020 | Zeytin | Kuru | 5 | Yeniyapan/Onikişubat |
| 42 | Ali POYRAZ | 2020 | Zeytin | Kuru | 2 | Yenidemir/Onikişubat |
| 43 | Oruç AKKIZ | 2020 | Zeytin | Sulu | 30 | Söğütlü/Dulkadiroğlu |
| 44 | Oruç AKKIZ | 2020 | Zeytin | Sulu | 30 | Söğütlü/Dulkadiroğlu |
| 45 | Mihriban GÖÇKEN | 2020 | Zeytin | Kuru | | Alıç Sekisi |
| 46 | Hüseyin AKDERE | 2020 | Zeytin | Kuru | 10 | Kılavuzlu/Onikişubat |
| 47 | Hıdır Yürek GÖRMEZ | 2020 | Zeytin | Kuru | | Çamlıca/Pazarcık |
| 48 | Ali UZUN | 2020 | Zeytin | Sulu | 20 | Yenicekale/Onikişubat |
| 49 | Fatih BAYRAK | 2021 | Zeytin | Kuru | 8 | Yenidemir/Onikişubat |
| 50 | Eyüp AKGENÇ | 2021 | Zeytin | Kuru | 30 | Sarıkaya/Dulkadiroğlu |
| 51 | Mustafa AKPINAR | 2021 | Zeytin | Kuru | 8 | Beşenli/Onikişubat |
| 52 | Mustafa BORÇALAN | 2021 | Zeytin | Sulu | | Gafarlı/Dulkadiroğlu |
| 53 | Cuma SÜNBÜL | 2021 | Zeytin | Kuru | 10 | Yenicekale/Onikişubat |
| 54 | Osman ŞAFAK | 2022 | Zeytin | Kuru | 1 | Fatmalı/Onikişubat |
| 55 | Abdulkadir ŞANLI | 2022 | Zeytin | Sulu | 20 | Deveciler/Onikişubat |
| 56 | Ali ÇALIŞTIRIR | 2022 | Zeytin | Kuru | 50 | Balıca/Dulkadiroğlu |
| 57 | Murat Oğuz ALKIŞ | 2022 | Zeytin | Kuru | 1 | Kürtül/Onikişubat |
| 58 | Erkan KESGİN | 2022 | Zeytin | Kuru | 1 | Kürtül/Onikişubat |

## BULGULAR ve TARTIŞMA

Kahramanmaraş'ta yoğun zeytincilik yapılan Onikişubat, Dulkadiroğlu, Pazarcık ve Türkoğlu ilçelerindeki 58 adet zeytin bahçesinden alınan toprak örneklerinin verimlilik analiz sonuçlarına ilişkin en küçük, en büyük ve ortalama değerler Çizelge 1'de, bunların toprak sınır değerlerine göre oransal dağılımları Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Araştırılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Örnek No | Saturasyon (%) | Tekstür Sınıfı | pH | EC (dS $m^{-1}$) | Kireç (%) | Organik Madde (%) | $P_2O_5$ (kg $da^{-1}$) | $K_2O$ (kg $da^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 63 | CL | 7.89 | 0.57 | 20.23 | 1.23 | 1.31 | 76.07 |
| 2 | 64 | CL | 7.42 | 0.63 | 23.46 | 1.75 | 13.52 | 89.93 |
| 3 | 74 | C | 7.36 | 0.78 | 2.97 | 1.99 | 4.25 | 73.17 |
| 4 | 54 | CL | 7.38 | 1.42 | 13.14 | 1.47 | 27.62 | 65.29 |
| 5 | 65 | CL | 7.52 | 0.66 | 18.77 | 2.79 | 5.78 | 102.15 |
| 6 | 57 | CL | 7.61 | 0.55 | 15.01 | 1.80 | 2.69 | 44.73 |
| 7 | 64 | CL | 7.68 | 0.59 | 19.39 | 1.66 | 5.70 | 96.67 |
| 8 | 66 | CL | 7.64 | 0.45 | 19.24 | 1.89 | 4.39 | 64.61 |
| 9 | 47 | L | 7.57 | 0.48 | 5.00 | 2.41 | 3.09 | 52.78 |
| 10 | 54 | CL | 7.49 | 0.54 | 21.74 | 1.75 | 2.71 | 45.43 |
| 11 | 64 | CL | 7.59 | 0.68 | 18.77 | 2.65 | 2.20 | 107.40 |
| 12 | 65 | CL | 7.51 | 0.69 | 9.38 | 1.94 | 5.01 | 85.66 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 62 | CL | 7.60 | 0.61 | 12.51 | 2.18 | 2.41 | 85.21 |
| 14 | 67 | CL | 7.39 | 0.70 | 22.68 | 1.89 | 5.74 | 96.66 |
| 15 | 76 | CL | 7.62 | 0.78 | 22.52 | 2.41 | 3.89 | 114.70 |
| 16 | 57 | CL | 7.47 | 0.48 | 22.84 | 0.81 | 7.97 | 50.48 |
| 17 | 61 | CL | 7.54 | 0.65 | 25.81 | 0.93 | 6.25 | 93.24 |
| 18 | 71 | C | 7.54 | 0.73 | 8.20 | 0.85 | 2.55 | 61.35 |
| 19 | 63 | CL | 6.88 | 0.69 | 2.16 | 1.18 | 3.00 | 55.1 |
| 20 | 64 | CL | 7.38 | 0.57 | 4.56 | 3.77 | 2.66 | 34.00 |
| 21 | 56 | CL | 7.39 | 0.79 | 38.33 | 1.13 | 9.16 | 47.6 |
| 22 | 47 | CL | 6.68 | 1.80 | 2.28 | 1.63 | 9.38 | 87.3 |
| 23 | 63 | CL | 6.72 | 0.64 | 2.74 | 3.51 | 16.31 | 62.66 |
| 24 | 87 | C | 6.67 | 0.59 | 1.65 | 1.66 | 1.62 | 20.54 |
| 25 | 57 | CL | 6.37 | 0.31 | 1.80 | 1.92 | 3.65 | 24.96 |
| 26 | 74 | C | 7.60 | 0.29 | 0.86 | 2.24 | 3.89 | 55.07 |
| 27 | 67 | CL | 6.58 | 0.69 | 1.57 | 2.43 | 6.21 | 37.08 |
| 28 | 66 | CL | 7.55 | 1.48 | 44.25 | 1.55 | 9.64 | 104.24 |
| 29 | 81 | C | 7.26 | 0.60 | 11.64 | 1.43 | 2.35 | 58.86 |
| 30 | 54 | CL | 7.75 | 0.50 | 11.53 | 1.97 | 1.72 | 33.92 |
| 31 | 80 | C | 7.91 | 0.90 | 2.47 | 2.26 | 10.71 | 51.06 |
| 32 | 92 | C | 8.12 | 0.56 | 23.99 | 1.51 | 7.03 | 146.76 |
| 33 | 55 | CL | 7.98 | 0.52 | 22.95 | 0.48 | 0.66 | 42.52 |
| 34 | 49 | L | 7.17 | 0.47 | 2.21 | 2.91 | 3.56 | 45.22 |
| 35 | 48 | L | 6.85 | 0.71 | 2.20 | 0.80 | 3.63 | 24.34 |
| 36 | 72 | C | 7.52 | 0.56 | 3.38 | 1.11 | 1.09 | 41.82 |
| 37 | 66 | CL | 8.13 | 0.31 | 22.72 | 1.94 | 0.94 | 41.37 |
| 38 | 61 | CL | 7.80 | 0.39 | 7.78 | 1.10 | 1.24 | 63.15 |
| 39 | 69 | CL | 8.16 | 0.39 | 32.51 | 1.05 | 5.17 | 46.22 |
| 40 | 83 | C | 7.57 | 1.26 | 2.06 | 2.10 | 8.93 | 82.38 |
| 41 | 70 | C | 7.44 | 0.51 | 1.42 | 2.21 | 2.39 | 120.76 |
| 42 | 95 | C | 8.30 | 0.66 | 26.28 | 1.44 | 3.07 | 94.50 |
| 43 | 95 | C | 8.30 | 0.26 | 32.00 | 1.55 | 2.32 | 45.27 |
| 44 | 66 | CL | 7.90 | 0.57 | 17.16 | 2.56 | 3.89 | 77.51 |
| 45 | 77 | C | 7.68 | 0.38 | 5.55 | 1.43 | 5.04 | 81.15 |
| 46 | 63 | CL | 7.21 | 0.60 | 3.09 | 0.85 | 2.97 | 63.20 |
| 47 | 49 | L | 7.10 | 0.60 | 3.41 | 2.67 | 4.74 | 43.78 |
| 48 | 60 | CL | 7.59 | 0.62 | 8.12 | 1.20 | 3.55 | 56.09 |
| 49 | 67 | CL | 7.05 | 0.53 | 3.10 | 3.48 | 8.86 | 92.65 |
| 50 | 62 | CL | 7.85 | 0.63 | 5.80 | 1.32 | 6.35 | 95.57 |
| 51 | 57 | CL | 7.96 | 0.67 | 5.79 | 1.17 | 2.91 | 95.38 |
| 52 | 110 | C | 7.63 | 0.42 | 3.94 | 1.23 | 4.43 | 63.91 |
| 53 | 72 | C | 7.69 | 0.60 | 6.37 | 1.25 | 0.87 | 30.16 |
| 54 | 56 | CL | 7.12 | 0.88 | 2.49 | 0.43 | 4.13 | 23.83 |
| 55 | 45 | L | 7.80 | 0.89 | 14.92 | 0.48 | 1.84 | 72.48 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

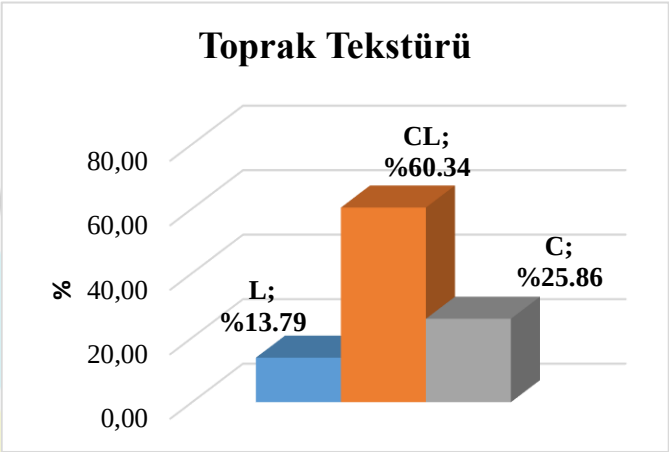
| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 56 | 57 | CL | 7.63 | 0.67 | 19.43 | 2.07 | 2.28 | 60.34 |
| | 57 | 40 | L | 7.55 | 0.68 | 25.38 | 2.22 | 0.91 | 19.59 |
| | 58 | 44 | L | 8.03 | 0.63 | 23.20 | 2.07 | 0.78 | 26.37 |
| **En Küçük** | | 40 | | 6.37 | 0.26 | 0.86 | 0.43 | 0.66 | 19.59 |
| **En Büyük** | | 110 | | 8.30 | 1.80 | 44.25 | 3.77 | 27.62 | 146.76 |
| **Ortalama** | | 65.33 | | 7.51 | 0.66 | 13.33 | 1.77 | 5.15 | 65.68 |

Çizelge 2 incelendiğinde, araştırmanın yapıldığı zeytin bahçeleri topraklarının suyla doygunluk oranları % 40 ile % 110 aralığında değişmiş ve ortalaması % 65.33 olarak bulunmuştur. Çalışma alanı topraklarının tekstür bünye sınıfları Ülgen ve Yurtsever (1995)'e göre, en küçük saturasyon değerinde (% 40) tın (L), en büyük değerinde (% 110) kil (C) ve ortalama değerinde (% 65.33) ise killi tın (CL) bünyeli olduğu tespit edilmiştir. Toprakların pH'ları, 6.37-8.30 arasında değişmiş ve ortalaması 7.51 olarak belirlenmiştir. Elektriksel iletkenlikleri, 0.26-1.80 dS $m^{-1}$ arasında değişmiş ve ortalaması 0.66 dS $m^{-1}$ olmuştur. Kireç ($CaCO_3$) miktarları, % 0.86 ile % 44.25 arsında değişirken ortalama kireç miktarı % 13.33 belirlenmiştir. Organik madde düzeylerinin % 0.43-3.77 arasında değiştiği ve ortalamasının % 1.77 olduğu görülmektedir. Olsen fosforu, dekarda 0.66 kg ile 27.62 kg arasında değişmiş ve fosforun dekarda ortalama 5.15 kg olduğu tespit edilmiştir. Alınabilir potasyumun ise araştırılan topraklarda 19.59-146.70 kg $da^{-1}$ arasında değiştiği ve ortalama 65.68 kg $da^{-1}$ olduğu belirlenmiştir.

***Toprak Tekstürü (Bünye)***

Araştırılan zeytin bahçeleri toprakları Ülgen ve Yurtsever (1995)'in belirlediği sınır değerlerine göre değerlendirildiğinde, % 13.79'u tın bünyeli, suyla doygunlukları % 31-50 arasında, % 60.34'ü killi tın bünyeli, suyla doygunlukları % 51-70 arasında ve % 25.86'sı kil bünyeli, suyla doygunlukları % 7-110 arasında bulunmuştur (Çizelge 3). Hazinedar (2006: 28), Kapıdağ Yarımadası zeytin alanlarında yapılan toprak analizleri ve gübre önerileri üzerinde bir araştırma isimli çalışmasında toprakların tekstürlerinin büyük çoğunluğunun tınlı ve killi tınlı olduğunu bildirmiştir. Efe vd. (2013: 90)'da zeytin bahçesi toprağı için ideal bünyenin tınlı ve killi tınlı olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca fazla killi, çok ağır bünyeli ve taban suyu yüksek olan topraklarda iyi gelişme gösteremediğini de bildirmişlerdir. Zeytinin kazık köklü bir bitkidir ve kazık kök derine gider. Ancak beslenmeyi sağlayan kılcal köklerdir ve yüzeyseldir. Bu kılcal kökler diğer ağaçlar gibi sadece ağacın taç izdüşümü ile sınırlı olmayıp, ağaç tacının dışına da yayılarak sıra aralarını da kaplarlar. Araştırma bulgularımız literatürlerle benzerlik göstermektedir. Bu bakımdan zeytin bahçesi topraklarının çoğunluğunun bünye yönünden bir problem oluşturmadığı söylenebilir. Ancak, incelenen zeytin bahçelerinin dörtte birinin (% 25.86) topraklarının kil bünyeli olması, kılcal kökler bakımından problem oluşturabilir. Şekil 1'de toprakların tekstürlerinin oransal dağılımları görülmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 1.** Toprak tekstürünün oransal dağılımı

### *Toprak Reaksiyonu (pH)*

Doğrudan ya da dolaylı olarak toprak içerisinde meydana gelen birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayı etkileyen toprak reaksiyonu (pH), ayrıca toprakta bulunan bitki besin maddelerinin bitkiler için alınabilirliğinde de önemli rol oynar. Yüksek pH düzeylerinde, demir, mangan, bakır ve çinko gibi mikro elementlerin alınımı engellenir.

**Çizelge 3.** Araştırılan toprak özelliklerinin sınır değerleri ve değerlendirilmesi

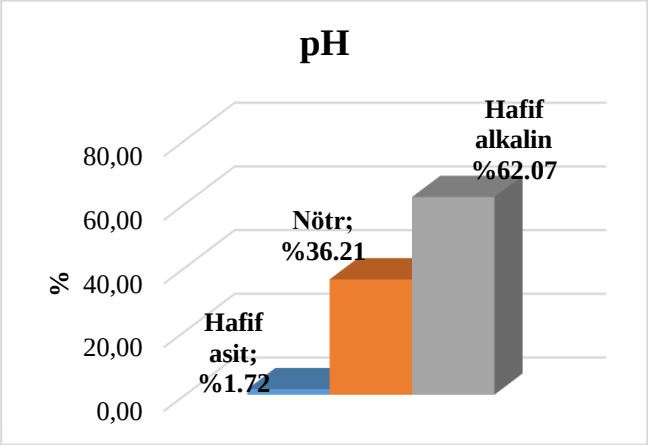
| Toprak Özelliği | En Küçük | En Büyük | Ortalama | Sınır Değeri | Değerlendirme | Örnek Sayısı (Adet) | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tekstür (%)** (Ülgen ve Yurtsever, 1995) | 40 | 110 | 65.33 | < 30 | Kumlu (S) | 0 | 0 |
| | | | | 31-50 | Tınlı (L) | 8 | 13.79 |
| | | | | 51-70 | Killi-Tınlı (CL) | 35 | 60.34 |
| | | | | 71-110 | Kil (C) | 15 | 25.86 |
| | | | | > 110 | Ağır Killi (HC) | 0 | 0 |
| **pH** (Ülgen ve Yurtsever, 1995) | 6.37 | 8.30 | 7.51 | < 4.5 | Kuvvetli Asit | 0 | 0 |
| | | | | 4.5-5.5 | Orta Asit | 0 | 0 |
| | | | | 5.5-6.5 | Hafif Asit | 1 | 1.72 |
| | | | | 6.5-7.5 | Nötr | 21 | 36.21 |
| | | | | 7.5-8.5 | Hafif Alkalin | 36 | 62.07 |
| | | | | > 8.5 | Kuvvetli Alkalin | 0 | 0 |
| **EC (dS m$^{-1}$)** (Richards, 1954) | 0.26 | 1.80 | 0.66 | < 4.0 | Tuzsuz | 100 | 100 |
| | | | | 4.0–8.0 | Hafif Tuzlu | 0 | 0 |
| | | | | 8.0–15.0 | Orta Derecede Tuzlu | 0 | 0 |
| | | | | > 15.0 | Çok Fazla Tuzlu | 0 | 0 |
| | | | | < 1 | Az Kireçli | 1 | 1.72 |
| | | | | 1.0-5.0 | Kireçli | 19 | 32.76 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kireç (%)** (Ülgen ve Yurtsever, 1995) | 0.86 | 44.25 | 13.33 | 5.0-15.0 | Orta Kireçli | 14 | 24.14 |
| | | | | 15-25 | Fazla Kireçli | 17 | 29.31 |
| | | | | > 25 | Çok Fazla Kireçli | 7 | 12.07 |
| **Organik Madde (%)** (Ülgen ve Yurtsever, 1995) | 0.43 | 3.77 | 1.77 | < 1.0 | Çok Az | 8 | 13.79 |
| | | | | 1.0-2.0 | Az | 31 | 53.45 |
| | | | | 2.0-3.0 | Orta | 16 | 27.59 |
| | | | | 3.0-4.0 | İyi | 3 | 5.17 |
| | | | | > 4.0 | Yüksek | 0 | 0 |
| **$P_2O_5$ (kg da$^{-1}$)** (Ülgen ve Yurtsever, 1995) | 0.66 | 27.62 | 5.15 | 0-3 | Çok az | 23 | 39.66 |
| | | | | 3.0-6.0 | Az | 21 | 36.21 |
| | | | | 6.0-9.0 | Orta | 7 | 12.07 |
| | | | | 9.0-12.0 | Yüksek | 4 | 6.90 |
| | | | | > 12 | Çok Yüksek | 3 | 5.17 |
| **$K_2O$ (kg da$^{-1}$)** (Ülgen ve Yurtsever, 1995) | 15.59 | 146.76 | 65.68 | < 20 | Çok az | 1 | 1.72 |
| | | | | 20-30 | Az | 5 | 8.62 |
| | | | | 30-40 | Yeterli | 4 | 6.90 |
| | | | | > 40 | Yüksek | 48 | 82.76 |

Meyve ağaçlarında besin elementlerinin en kolay alınabileceği toprak pH'sı 6.5-7.0 arasında yani nötr pH'dır. Bu çalışmada, analizleri yapılan zeytin bahçeleri topraklarının pH düzeylerinin 6.37 ile 8.30 arasında değişim gösterdiği ve Ülgen ve Yurtsever (1995)'in bildirdiği şekilde toprak reaksiyonu (pH) sınır değerlerine göre, % 1.72' sinin hafif asit, % 36.21'inin nötr ve % 62.07'sinin ise hafif alkalin sınıfına girdiği belirlenmiştir (Çizelge 3). Zeytin ağaçları geniş bir toprak reaksiyonunda yetişebilen bitkilerdir (Hartmann ve Lilleland, 1966; Llamas, 1984). Zeytin bitkisinin 6.5-7.8 pH arasındaki toprakları sevdiği (Yılmaz ve Özkan, 2014: 32), ancak toprak açısından çok seçici değil, toleranslı bir bitki olduğu, yani pH 6-8 arasındaki topraklarda iyi gelişme gösterdiği (Efe vd., 2013: 90) göz önüne alındığında incelemeye konu olan bahçelere ait toprakların pH bakımından % 10.34'ünün zeytin yetiştiriciliği için uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Toprak pH'sının zeytinin istediği sınırlar dışında olması, öncelikle bitkilerin besin elementlerini almasını ve gübrelemeden beklenilen etkinin istenilen düzeyde olmasını engellemektedir. Şekil 2'de toprak pH'larının oransal dağılımları görülmektedir.

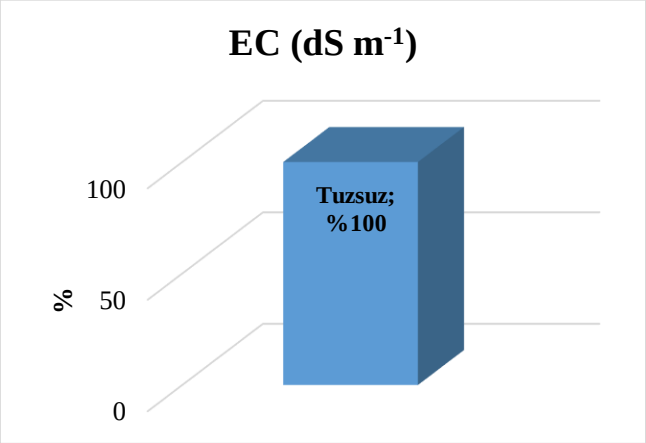
ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 2.** Toprak pH'sının oransal dağılımı

***Elektriksel İletkenlik (EC)***

İncelenen zeytin bahçelerinin topraklarının analizleri sonucunda elde edilen EC konsantrasyonları, Richards (1954)'ın sınır değerlerine göre değerlendirildiğinde, tüm bahçe topraklarının EC değerleri 0.26-1.80 dS $m^{-1}$ arasında yer almıştır. Zeytin bahçelerinin % 100'ünün tuzsuz sınıfına girdiği ve herhangi bir tuzluluk probleminin olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 3). Tuzluluk oranının bütün zeytin bahçelerin topraklarında istenilen miktarlarda olduğu görülmekte ve herhangi bir müdahalede bulunulmasına gerek olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan bir araştırmada, Kahramanmaraş tarım topraklarının % 38.76'sının tuzsuz, % 59.22'sinin çok hafif tuzlu ve % 2.02'sinin de hafif tuzlu sınıfına girdiği ve çalışma alanı topraklarının genellikle tuzsuz ve çok hafif tuzlu olduğu belirtilmiştir (Yılmaz, 2020). Eyüpoğlu (1999)'da, Türkiye topraklarının % 95.51'inin tuzsuz, % 3.69'unun hafif tuzlu, % 0.56'sının orta tuzlu ve % 0.24'ünün de çok tuzlu olduğunu rapor etmiştir. Kasırga (2009) yaptığı bir çalışmada, Gemlik çeşidi zeytin için Na kaynaklı tuzluluk zararının başladığı noktanın 4.0 - 8.0 dS $m^{-1}$ arasında bulunduğunu bildirmiştir. Şekil 3'de toprak EC'lerinin oransal dağılımları görülmektedir.

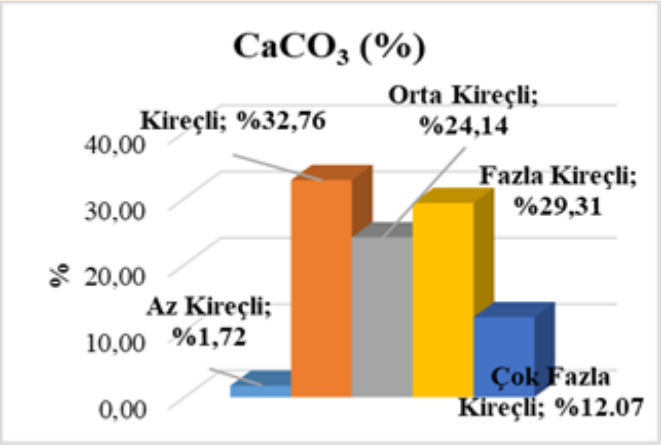



**Şekil 3.** Toprak EC'sinin oransal dağılımı

ISBN: 978-605-71156-5-2

***Kireç ($CaCO_3$)***

Örnek alınan bahçelere ait toprak analiz sonuçlarını Ülgen ve Yurtsever (1995)'e göre değerlendirdiğimizde Çizelge 3'den de görüldüğü gibi toprakların % 1.72'sinin az kireçli, % 32.76'sının az kireçli, % 24.14'ünün orta kireçli, % 29.31'inin fazla kireçli ve % 12.07'inin ise çok fazla kireçli olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar, çoğunlukla kireçli ana materyal üzerinde oluşmuş olan bu topraklar için normal gözükmektedir. Yılmaz (2020), Kahramanmaraş il genelinden aldığı 645 adet toprakla yaptığı bir çalışmada, toprakların % 2.64'ünün az kireçli, % 31.01'inin kireçli, % 21.09'unun orta kireçli, % 20.16'sının fazla kireçli ve % 25.12'sinin ise çok fazla kireçli toprak sınıfına girdiğini, Kahramanmaraş tarım topraklarının hemen hemen tamamının kireçliden çok fazla kireçliye doğru değiştiğini, bunun sebebinin sedimenter kökenli ana materyalin olduğu kadar, yetersiz yağış dolayısı ile kirecin yıkanmayıp toprak profilinin belirli katmanlarında biriktiği şeklinde açıklanabileceğini bildirmiştir. Zeytin diğer meyve türlerine göre, normalin üzerindeki kireç miktarına daha fazla toleranslıdır (Efe vd., 2013: 90). Zeytinin genellikle yoksul toprakların zengin bitkisi olarak bilindiği ve kireçli topraklarda çok iyi geliştiği rapor edilmiştir (Kacar ve Katkat, 1999). Kirecin etkisi doğrudan olmayıp dolaylı yöndedir. Toprakta fazla miktarda bulunabilecek kalsiyum iyonu toprağa ilave edilecek fosforlu gübrenin etkinliğini azaltabilmektedir. Kalsiyum ve fosfor birleşerek bitkiler tarafından alınamaz forma dönüşmektedir. Ayrıca demir ve çinko gibi mikroelementlerin alınımını da engellemektedir. Bunun yanında kirecin ayrışması sonucu toprakta oluşan bikarbonat ($HCO_3$) anyonu, bitki kökleri tarafından demirin alımını engelleyerek bitkilerde demir klorozunun ortaya çıkmasına sebep olur. Zeytin ağaçları fazla kirece tolerans gösterebilmelerine rağmen, kireç kapsamları % 9 ile % 19 (orta kireçli) olan topraklarda en iyi gelişimi gösterirler (Hartmann and Lilleland, 1966; Llamas, 1984; Mengel and Kirkby, 1987). Efe vd. (2013)'ne göre ise zeytin için ideal kireç miktarı % 5-15 arasındadır. Bu nedenle, bölgede kireci düşük alanlarda toprak özelliklerini belirlemek şartıyla, kireçleme materyalinin özelliklerini de dikkate alarak, uygun miktarda kireçleme yapılmasının ve kireci yüksek yerlerde ise kimyasal gübrelemede kireç oranı düşük gübrelerin kullanılması ve organik gübre uygulamalarına önem verilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Deliboran vd., 2020). Şekil 4'de toprak kirecinin oransal dağılımları görülmektedir.

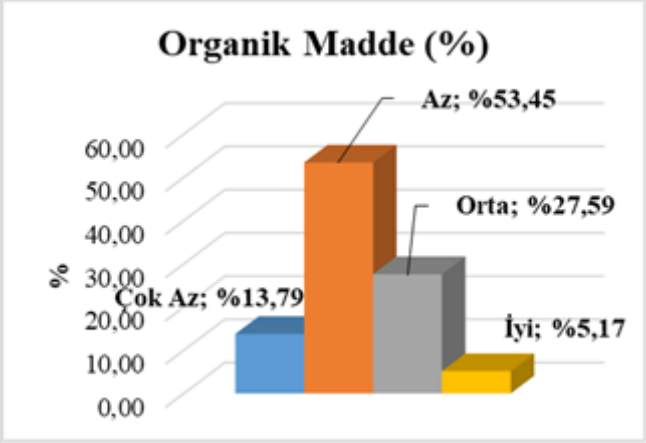



**Şekil 4.** Toprak kirecinin ($CaCO_3$) oransal dağılımı

ISBN: 978-605-71156-5-2

***Organik Madde***

Çizelge 3'de görüldüğü gibi, toprakların analiz sonuçlarından elde edilen organik madde miktarları, Ülgen ve Yurtsever (1995)'e göre değerlendirildiğinde, incelenen zeytin bahçelerinin % 13.79'unun çok az, % 53.45'inin az, % 27.59'unun orta ve % 5.17'sinin ise iyi sınıfta yer aldığı anlaşılmaktadır. Araştırmaya göre zeytinliklerin organik madde kapsamlarının düşük olduğu, oransal olarak da büyük çoğunluğunun çok az ve az (% 67.24) sınıfına girdiği görülmektedir. Zeytin topraklarının en ideal organik madde içeriklerinin % 2 ile % 3 (orta düzeyde) arasında olduğu bildirilmiştir (Efe vd., 2013). Ayrıca zeytinin, iyi havalanan ve yeterli miktarda nem bulunan toprakları sevdiği, toprakta bu ortamı oluşturan ve ticari gübrelerin etkinlik derecesini arttıran ahır gübrelerinin topraklara doğru zamanda, doğru bir şekilde ve yeterli miktarlarda uygulanmalarının, toprağa inorganik ve organik gübrelerin birlikte verilerek ideal bir yetişme ortamı oluşturulmasının yanında yine, topraktaki organik madde düzeyinin iyileştirilmesi için sürüm tekniklerine, yeşil gübrelemeye ve ahır gübresinin yaygın kullanımına daha fazla önem verilmesi gerektiği belirtilmiştir (Çavuşoğlu ve Çakır, 1988; Özbek, 1981). Şekil 5'de incelenen toprakların organik madde miktarlarının oransal dağılımları görülmektedir.



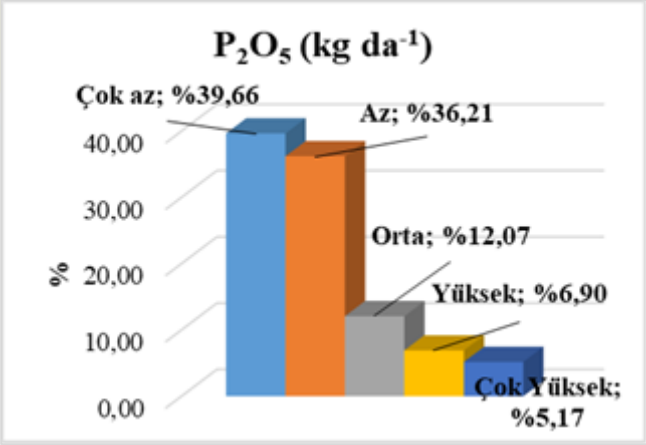

**Şekil 5.** Toprak organik maddesinin oransal dağılımı

***Yarayışlı Fosfor ($P_2O_5$)***

Araştırılan zeytin bahçesi topraklarının yarayışlı fosfor içerikleri, 0.66 kg $da^{-1}$ ile 27.62 kg $da^{-1}$ arasında değişmiştir. Ülgen ve Yurtsever (1995) tarafından belirlenen sınır değerlerine göre değerlendirildiğinde, % 39.66'sı çok az, % 36.21'i az, % 12.07'si orta, % 6.90'ı yüksek ve % 5.17'si ise çok yüksek sınıfında yer almıştır (Çizelge 3). Buna göre, incelenen zeytin bahçeleri topraklarının çoğunluğunun (% 75.87) bitkiler tarafından alınabilir fosfor bakımından çok az ve az sınıfında yer aldığı görülmektedir. Yani toprakların büyük çoğunluğunun yarayışlı fosfor bakımından fakir olduğu anlaşılmaktadır. Ülke genelinde yapılan bir çalışmada, Türkiye topraklarının yarayışlı fosfor kapsamları bakımından % 28.5'inin çok az, % 26.8'inin az, % 17.2'sinin orta, % 9.7'sinin yüksek ve % 17.8'inin çok yüksek olduğu değerlendirilmiştir (TAGEM, 2006). Zeytin, duruma bağlı olarak topraktan en fazla azot, fosfor ve potasyum kaldırır. Ancak fosfor miktarı, topraktan kaldırılan azot ve potasyuma göre daha azdır (Hazinedar, 2006: 45). Yalnız, bitkiler için azot ve potasyum ihtiyacı kadar fosfor ihtiyacı da çok önemlidir (Kacar ve Katkat, 1999). Çünkü Fosfor; çiçek ve meyve

ISBN: 978-605-71156-5-2

oluşumunun yanında, hücre bölünmesinde de görev alarak, bitkilerde olgunlaşmayı arttırır. Bitki köklerinin su alımını düzenler ve suyun etkili bir şekilde kullanılmasına yardımcı olur (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; Foth, 1984; McCauley vd., 2009; Plaster, 1992). Fosfor eksikliği, yapraklarda yaygın yeşilimsi mor bir renk ve yaprakların küçülmesi ile teşhis edilir. Fosfor eksikliğinin ileri derecede olması, N, Mg, Ca ya da B miktarında anormal düşüklüğe neden olabilir. Zeytin ağaçlarında fosforlu gübrelemenin verime etkisi çok ender gözlenmiştir. Zeytinin fosfor uygulamasına zayıf tepki göstermesinin sebebi, düşük miktarda fosfora ihtiyaç duyması ya da zeytin ağacının kök sisteminin mikorizal olması nedeniyle, ortalama fosfor ihtiyacını köklerdeki mikorizalar sayesinde ömrü boyunca topraktan alabilmesidir. Şekil 6'da incelenen toprakların bitkiler tarafından alınabilir fosfor miktarlarının oransal dağılımları görülmektedir.



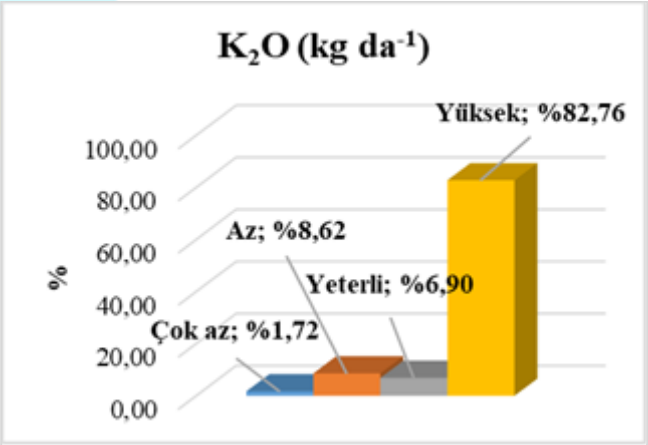

**Şekil 6.** Toprakta yarayışlı fosforun oransal dağılımı

***Yarayışlı Potasyum ($K_2O$)***

Araştırılan zeytin bahçeleri topraklarının yarayışlı potasyum sonuçları incelendiğinde, toprakların potasyum içerikleri 15.59-146.76 kg $da^{-1}$ arasında değişmiş ve ortalaması 65.68 kg $da^{-1}$ bulunmuştur (Çizelge 2-3). Elde edilen sonuçlar, Ülgen ve Yurtsever (1995)'in bildirdiği yarayışlı potasyum sınır değerlerine göre değerlendirildiğinde, toprakların % 1.72'sinin çok az, % 8.62'sinin az, % 6.90'ının yeterli ve % 82.76'sının ise yüksek sınıfta yer aldığı belirlenmiştir (Çizelge 3). Bu belirlemeye göre, incelenen zeytin bahçeleri topraklarının % 10.34'ünün yarayışlı potasyum bakımından fakir olduğu ve problem oluşturabileceği anlaşılmaktadır. Yılmaz (2020), Kahramanmaraş'ta tarım topraklarında yaptığı bir çalışmada, toprakların % 0.47'sinin çok düşük, % 1.39'unun düşük, % 4.50'sinin orta, % 7.60'ının yüksek ve % 86.36'sının ise çok yüksek toprak sınıfına girdiğini bildirmiştir. Potasyum bitkiler için çok önemli bir besin elementidir. Çok hareketli bir element olan potasyum, iyon şeklinde hücre boşluklarında bulunur. Azot bileşikleri ve karbonhidratların oluşumunda, fotosentez ve terleme olaylarında, aynı zamanda bitki içerisindeki suyun hareketinde gereklidir. Enzim ve koenzimlerin aktivasyonunda, protein ve nişasta oluşumlarında, şeker transferi olaylarında, hücre özsuyu ve dolayısıyla ile bitkinin su dengesini sağlaması, kuraklığa hastalıklara karşı dayanma gücünü artırma olaylarında etkilidir. Erken gelişmeyi geciktirir ve fosforun erken

ISBN: 978-605-71156-5-2

olgunlaştırma etkisiyle ortaya çıkan yetersiz tohum dolgunluğu zararını önler. Yeterli miktarda potasyum alan bitkilerde terleme ile su kaybı azalır (Boşgelmez vd., 2001; Brady, 1990; Foth, 1984; Kacar ve Katkat, 2010; Kantarcı, 2000; McCauley vd., 2009). Potasyum eksikliğinde, bitkilerde hemen görünen arazlar ortaya çıkmaz. Önce büyümede gerileme olur, daha sonra kloroz ve nekrozlar görülür. Önce yaprak kenarları sararır, daha sonra bu kısımlarda renk koyu kahverengine döner. Noksanlığın çok şiddetli olması halinde ise bu kısımlar siyaha döner. Potasyum noksanlığında bitkilerde turgor basıncı düşer ve bitkiler susuz kalınca gevrek dokulu bir hal alır (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001). Şekil 7'de araştırılan toprakların yarayışlı potasyum konsantrasyonlarının oransal dağılımları görülmektedir.




**Şekil 7.** Toprakta yarayışlı potasyumun oransal dağılımı

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Kahramanmaraş ilinde zeytin tarımı yapılan bahçelerin beslenme durumu incelenmiş, elde edilen sonuçların zeytin tarımına olan etkileri değerlendirilmeye çalışılmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre; inceleme alanı zeytin bahçeleri topraklarının büyük çoğunluğu killi-tın bünyeye sahiptir. Hafif alkalin ve nötr toprak reaksiyonuna sahiptir. Çok az miktarda da hafif asit topraklar mevcuttur. Zeytin ağacının geniş bir toprak reaksiyonunda yetişebildiği, hafif asidik ve hafif alkalin topraklarda iyi gelişim gösterdiği dikkate alındığında incelenen topraklarının bu açıdan zeytin tarımına uygun olduğu görülmektedir. Toprakların tamamı tuzsuz sınıfında yer almıştır. Tuzluluk problemleri yoktur. İncelenen zeytin bahçeleri topraklarının büyük çoğunluğu yüksek kireç içerdiğinden kimyasal gübrelemede özellikle asit karakterli ya da kireç oranı çok düşük gübrelerin kullanılması daha yararlı olacaktır. Bahçelerin çoğunluğunun organik madde içerikleri de düşüktür. Zeytin ağaçlarının, iyi havalanan ve yeterli miktarda nem bulunan toprakları sevdiği dikkate alınmalıdır. Bu nedenle uygulandığında toprakta böyle ortamları oluşturan ve ticari gübrelerinin etkinlik derecesini arttıran ahır gübrelerinin, topraklara doğru zamanda, yeterince ve doğru bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Ayrıca toprakta inorganik ve organik gübrelemenin birlikte yapılarak ideal bir yetişme ortamı oluşturulmalıdır. Toprakta organik madde seviyesinin yükseltilmesi için ahır gübresinin yaygın kullanımına, yeşil gübrelemeye ve sürüm tekniklerine, özel önem verilmelidir. Araştırma sonuçlarına göre, zeytin bahçeleri topraklarının % 75.87'sinde fosfor, % 10.34'ünde ise

ISBN: 978-605-71156-5-2

potasyum bakımından beslenme sorunları yaşandığı dikkati çekmektedir. Zeytinde fosfor gereksinimi potasyum kadar yüksek olmasa da bu ihtiyacın gübreleme ile karşılanması önemlidir.

Kahramanmaraş ilinde yapılan bu araştırmanın sonuçları dikkate alındığında, etkili bir gübreleme programı, yöntemi ve zamanının son derece önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bunun için de, bütün bitkilerde olduğu gibi zeytin tarımında da toprak ve yaprak analizlerine gereken önemin verilerek, bilimsel temellere dayalı bitki besleme programlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun yanında iklim olarak Akdeniz iklim özelliği gösteren Kahramanmaraş'ta zeytinciliğin daha yaygın olarak yapılması için gerekli çalışmaların da yapılması son derece önem arz etmektedir.

**Teşekkür:** Bu çalışmanın yazarı olarak, emektar tüm çiftçilerimize her zaman teşekkürü bir borç bilirim.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKLAR**

Aktaş, M. ve Ateş, A. (1998). *Bitkilerde beslenme bozuklukları nedenleri tanınmaları*. Ostim-Ankara: Nurol Matbaacılık A.Ş.

Altun, Ö. (2014). İlimizde zeytin fidanı dikimi ve çeşit önerileri. *Kahramanmaraş'ta Tarım ve Yaşam, 1:* 22-24.

Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ.İ., Savaşçı, S. ve Paslı, N. (2001). *Ekoloji – II (Toprak)*. Kızılay-Ankara: Başkent Klişe Matbaacılık.

Brady, N.C. (1990). *The nature and properties of soils (10th edition)*. New York, USA: Macmillan Publishing Company.

Çavuşoğlu, A. ve Çakır, M. (1988). *Modern zeytincilik*. Ankara: Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayın Dairesi, Mesleki Yayınlar.

Deliboran, A., Savran, M.K., Dursun, Ö., Eralp, Ö., Pekcan, T., Turan, H.S., Aydoğdu, E., Çılgın, İ., Ataol Ölmez, H., Savran, Ş., Öztürk Güngör, F., Yıldırım, A. ve Nacar, A.S. (2020). Muğla ilinde yetiştirilen zeytin (*Olea europaea* L.) ağaçlarının bor ve makro elementler yönünden beslenme durumunun belirlenmesi, toprak ve bitki ilişkileri. *Toprak Su Dergisi*, *10* (2): 88-101. doi: 10.21657/topraksu.690834

Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ. ve Sönmez, S. (2011). *Dünya'da Türkiye'de ve Edremit Körfezi' nde zeytin ve zeytinyağı*. İzmir: Meta Basım, ISBN: 978 - 605 - 62253 - 0 - 7.

Eyüpoğlu, F. (1999). *Türkiye topraklarının verimlilik durumu*. Ankara: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayını.

Foth, H.D. (1984). *Fundamentals of soil science (7th edition)*. New York: John Wiley and Sons.

Hazinedar, N. (2006). *Kapıdağ Yarımadası zeytin alanlarında yapılan toprak analizleri ve gübre önerileri üzerinde bir araştırma* (Yüksek Lisans Tezi). T.C. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Tekirdağ.

Helmke, P.A. ve Sparks, D.L. (1996). *Lithium, sodium, potassium, rubidium, and calcium*, in Sparks, D.L., (Ed). Methods of *soil analysis, part 3, chemical methods*. Madison, WI: SSSA Book Series Number 5, SSSA. P: 551-574.

Hartmann, H.T. ve Lilleland, O. (1966). *Olive Nutrition Temperateto Tropical Fruit Nutrition* (Ed: N.F. Childers). New Jersey: The State University of New Jersey Horticulture Publication Rutgers, Chapter X.

Kacar, B. ve Katkat, A.V. (1999). *Gübreler ve gübreleme tekniği*. Bursa: VİPAŞ Yayınları, No:20, 472-489s.

Kacar, B., Katkat, A.V. (2010). *Bitki besleme (6. Baskı)*. Ankara: Nobel Yayınları, No:1219, 659s.

Kantarcı, M.D. (2000). *Toprak ilmi*. İstanbul: İ.Ü. Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ.Ü. Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, 420 s.

Kasırga, E. (2009). *Tuzluluğun Gemlik Zeytin (Olea europaea L.) Çeşidine Etkilerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). T.C. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Aydın.

Klute, A. (1986). Methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods (2nd edition), (Ed: A. Klute). *American Society of Agronomy, Agronomy Monographs* 9(1), Madison, Wisconsin, 1188 pp.

Llamas, J.F. (1984). *Basis of fertilization in olive cultuvation and the olive trees vegetative cycle and nutritional needs*. International Course on Fertilization and Intensitication of Olive Cultivation. UNDP-FAO, Cordoba, Spain.

McCauley, A., Jones, C. ve Jacobsen, J. (2009). *Nutrient management*. Nutrient management module 9. Montana, USA: Montana State University Extension Service. Publication, 4449-9, p.1–16.

Mengel, K. ve Kirkby, E.A. (1987). *Principles of plant nutrition*. Worblaufen-Bern, Switzerland: International Potash Institute.

Olsen, S.R., Cole, V., Watanabe, F.S. ve Dean, L.A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. Washington, DC: US Department of Agriculture, Circular, No: 939, p.19.

Özbek, N. (1981). *Meyve ağaçlarının gübrelenmesi*. Ankara: Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayınları.

Plaster, E.J. (1992). *Soil science and management (2nd Edition)*. Albany, New York, USA: Delmar Publishers Inc.

Richards, L.A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. Salinity Laboratory. 60 p. USA.

Şeker, M., Gül, M.K., İpek, M., Kaleci, N., Yücel, Z., Yılmaz, E., Topal, U. (2008). *Zeytin (Olea europaea* L.*) çeşitlerinin AFLP ve SSR markörleri polimorfizminin yağ asitleri ve tokoferol düzeyleri ile ilişkilendirilmesi*. Proje No: TOVAG-3358, Çanakkale.

TAGEM, (2006). *Türkiye gübre ve gübreleme rehberi (5. baskı)*. Ankara: T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları.

TÜİK, (2022). Türkiye İstatistik Kurumu (Erişim Tarihi: 10.03.2022). https://biruni.tuik.gov. tr/medas/?kn=92&locale=tr.

Ulaş M. (2014). İlimizde zeytin fidanı dikimi ve çeşit önerileri. *Kahramanmaraş'ta Tarım ve Yaşam, 1:* 30.

Ülgen N. ve Yurtsever N. (1995). *Türkiye gübre ve gübreleme rehberi*. Ankara: Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66,.

Yılmaz, C.H. (2020). *Kahramanmaraş ili tarım alanlarında toprak verimlilik haritalarının oluşturulması ve yarayışlı besin elementlerinin ekstraksiyonunda geleneksel ve çoklu elementel analiz yöntemlerinin*

ISBN: 978-605-71156-5-2

*karşılaştırılması* (Doktora Tezi). T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.

Yılmaz, C.H. ve Altun, Ö. (2014). Zeytinde gübreleme. *Kahramanmaraş'ta Tarım ve Yaşam, 1:* 32.

.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Gurney Flap Yapısının Kanat Aerodinamik Karakteristiğine Etkisinin İncelenmesi

*Cumali KILIÇ*[1]
*Cuma KARAKUŞ*[2]
*Sevgi ASLAN*[3]

**Özet**

Bu çalışmada, Gurney flap yapısının NACA 0012 kanat profilinin aerodinamik karakteristiğine etkisi, iki boyutlu olarak bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kanat veter uzunluğuna göre Reynolds sayısı $1{,}0 \times 10^6$ değerinde, kanat hücum açısı α=0°-18° arası üçer derece artırılarak, Gurney flap açısının θ=90°ve θ=0°-60° arasında 15° artırılması ile altı farklı θ açısı kullanılmıştır. Aerodinamik analizlerde sıklıkla tercih edilen Spalart –Allmaras(S-A) türbülans modeli ve SST k-ω türbülans modeli kullanılarak analizler yapılmış, sonuçlar literatürdeki mevcut benzer çalışma ile kıyaslanmıştır. Deney verilerinin kaldırma katsayıları ($C_L$) ile türbülans modellerinden elde edilen sonuçlar arasındaki daha iyi anlamak için korelasyon katsayısı değerlerine bakılmıştır. Analiz sonuca göre SST k-ω model verileri ile deney verileri arasındaki korelasyon katsayısı 1 değerine oldukça yakın değerlerde elde edilmiş olup SST k-ω ve S-A türbülans modellerinin ortalama korelasyon katsayıları sırasıyla 0,975;0,961 olmuştur. SST k-ω türbülans modelinin kullanılması, S-A türbülans modelinin kullanılmasından daha iyi bir seçenektir. Referans kanat profilleri, Gurney flap yapılı kanat profillerinden daha az kaldırma katsayısına sahip olmuştur. Gurney flap yapısının kanat ucuna eklendiği açı (θ), çalışmada incelenen bir diğer parametredir. Elde edilen sonuca göre SST k-ω türbülans modelinde θ=30° ve θ=90° durumları için α=6°'de maksimum $C_L/C_D$ oranı 50 olarak bulunmuştur. $C_L$ katsayısı θ=90°durumunda daha fazla değere sahip olduğu için, en verimli θ açısının 90° olduğu çıkarımında bulunabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Gurney flap, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Türbülans Modeli, Kanat, Aerodinamik

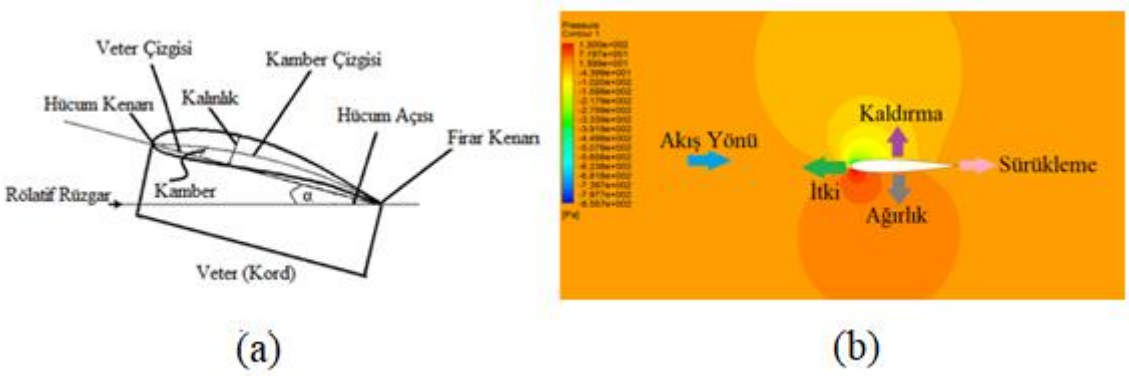
[1]Unvan, İskenderun Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Orcid:0000-0003-1018-0474
[2]Doç.Dr. İskenderun Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Orcid:0000-0002-3553-9335
[3] Öğr.Gör. İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun MYO, Orcid:0000-0002-6912-3098

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Giriş**

Kökenleri eski medeniyetlerin efsanelerine kadar uzanan havacılığın kayda değer ilerleme göstermesi sadece 100 yıl öncesine dayanmaktadır. Wright kardeşlerin toplam ağırlığı 335 kg olan bir uçak ile 12 saniye süren başarılı uçuş deneyimi ile başlayan ve İkinci Dünya Savaşı'yla hız kazanan havacılık sektörü günümüzde farklı boyutlara ulaşmıştır [1]. Özellikle son dönemlerde geliştirilen insansız hava araçları, hem dünya atmosferinde hem de farklı gezegenlerde gerçekleştirilen keşif uçuşlarında kullanılmaktadır [2]. İnsansız hava araçları kadar üzerinde çalışmaların yapıldığı bir diğer konu ise hem sivil havacılık hem de askeri havacılıkta sıklıkla yolcu taşımacılığında kullanılan hava araçlarıdır. Hava araçlarının en önemli parçalarından biri olan kanat yapısı, uçuş esnasında en verimli aerodinamik kuvvetlerin elde edilmesi için yerleştirilmiş gövdenin kesiti şeklinde tanımlanmaktadır [3]. Kanat profilli yapılar pervaneler, rüzgar türbinleri, jet motorları ve hidrofillerdeki kompresör ile türbinler, denizaltı kanatları ve uçak dikey stabilizatörü gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4].

Bir kanadın geometrik yapısı ve üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 1'de gösterilmektedir. Kanat geometrisi incelendiğinde, kanat kalınlığı, veter (kord) uzunluğu, kamber (bombe, kamburluk) ve hücum açısı gibi özelliklere sahip olduğu Şekil 1a'da görülmektedir. Kanat yapısının hücum kenarı olarak adlandırılan ön kenarı ile firar kenarı olarak adlandırılan arka kenarı arasında çizilen düz çizgi veter çizgisi olarak adlandırılmaktadır. Veter çizisi üzerinden hücum kenarı ile firar kenarı arasındaki mesafe ölçüsü veter olarak ifade edilmektedir. Veter çizgisine dik bir şekilde kanat üst kısmı ile alt kısmı arasında mesafe kanat kalınlığı olarak bilinir ve veter çizgisi boyunca değişik değerlere sahiptir. Kamber çizgisi, kanat üst yüzeyi ile alt yüzeyinin tam ortasında bulunmaktadır. Kamber, kamber çizgisi ile veter çizgisi arasındaki maksimum mesafe olarak ifade edilmektedir. Hücum açısı (α)ise kanat veter çizgisi ile serbest akım çizgisi arasında kalan açı olarak ifade edilmektedir.




Şekil 1.Bir kanadın geometrik yapısı ve üzerine etkiyen kuvvetler

Kanat üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 1b'de görülmektedir. Kaldırma kuvveti, kanada göre dik konumda olan aerodinamik bileşendir. Kanat üzerinde kaldırma bileşenin oluşması, Bernoulli prensibine göre yüksek hız alanları düşük basınç sistemleri oluştururken, göreceli düşük hız alanları ise yüksek basınç alanlarının oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle kanat üst yüzeyinde yüksek

ISBN: 978-605-71156-5-2

hız ve düşük basınç varken, kanat alt yüzeyinde ise düşük hız ve yüksek basınç mevcuttur. Yüksek basınçlı hava, alçak basınçlı hava tarafına ilerler ve profil altındaki yüksek basınçlı hava kanadı yukarı yönde iter ve kanat üzerinde oluşan bu kuvvet kaldırma kuvveti olarak adlandırılır. Dönen akış teorisine göre kanat profili, kanat üst yüzeyi boyunca üzerinden geçmekte olan havayı büker ve firar kenarından geçen kanada dik bir hız yaratmaktadır. Havanın kanat profili tarafından bükülmesi, akışın viskozite özelliğinden ve Coanda etkisinin sonucudur. Coanda etkisinin en temel tanımı, yüksek hızlı hava akışının izleyeceği düz bir çizgide hareket etmek yerine kıvrımlı bir yüzey üzerinde hareket etmesidir. Coanda etkisiyle kaldırma kuvvetinin oluşumu, hava akışının yönünün değişimi ile veya kanat profili üzerinde alçak basınç bölgesi yaratan havanın sürüklenmesiyle elde edilebilir. Hava akışına paralel ve kaldırma kuvvetine dik olan aerodinamik bileşen ise sürükleme kuvvetidir. Sürükleme kuvveti hava akışına ters yönde gerçekleşen göreceli hareket sonucu oluşmaktadır. Sürükleme kuvveti kanat şekline bağlı olup, kanat üzerindeki basınç dağılımını ilişkilidir [5].

NACA 0012 kanat profilinin üzerindeki basınç dağılımı Şekil 1b'de kontur çizgileri ile gösterilmektedir. Şekilde gösterilen kanadın hücum açısı α□ 12° olup hücum kenarına çarpmakta olan akışkan, kanada çarptığı bölgede maksimum basınç oluşturmaktadır. Coanda etkisiyle kanat hücum kenarındaki kavisli bölgede hızlanan hava, kanat üst yüzeyinden kanat alt yüzeyine kıyasla daha hızlı hareket etmektedir. Bu nedenle kanat üst kısmında, kanat alt kısmına göre negatif basınç bölgesi oluşumu gözlemlenmektedir. Negatif basınç bölgesi kontur çizgileri ile sarı renkle başlayıp laciverte kadar basınç alanın büyüklüğüne göre renklendirilmiştir Kanat üst yüzeyinde, hücum kenarından firar kenarına doğru gidildikçe basınç artışı oluşmaktadır. Yüksek hücum açılarında kanat üzerinde meydana gelen akış ayrılmalarında oluşan girdap yapıları kanat üzerine ekstra basınç yaratmakta olup aerodinamik verim açısından olumsuz etki yaratmaktadır. Kanat üzerindeki aerodinamik etkileri daha kolay ifade edebilmek adına genellikle kaldırma ve sürükleme kuvvetleri yerine boyutsuz katsayılar kullanılmaktadır [6].

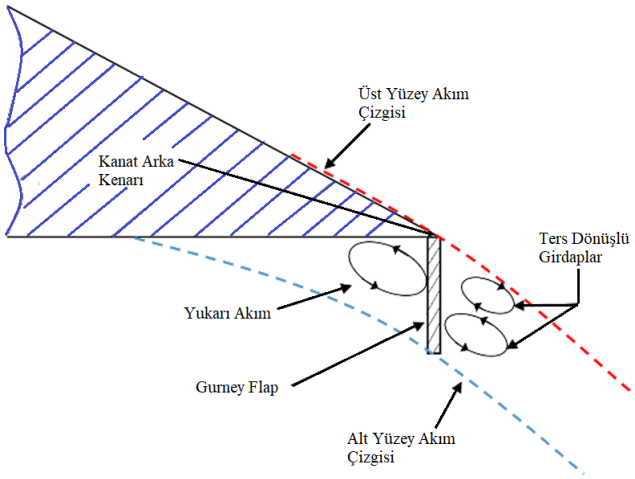
**Çizelge 1.** Aerodinamik özelliklere ait formüller

| | | |
|---|---|---|
| Kaldırma Katsayısı | $C_L = \dfrac{F_L}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A}$ | (1) |
| Sürükleme Katsayısı: | $C_D = \dfrac{F_D}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A}$ | (2) |
| Kanat Aerodinamik Verim | $\dfrac{C_L}{C_D}$ | (3) |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Aerodinamik özelliklere ait formüller Çizelge 1'de verilmektedir. Çizelgede aerodinamik özelliklere ait formüllerde $C_L$ kaldırma katsayısını, $F_L$ kaldırma kuvvetini, $C_D$ sürüklenme katsayısını, $F_D$ ise sürükleme kuvvetini göstermektedir.

Kanat üzerinde kaldırma kuvvetinin artırılması, sürükleme kuvvetinin azaltılması, gürültünün minimize edilmesi, sınır tabaka ayrılması gibi kanat aerodinamik özelliklerinin iyileştirilmesinde aktif ve pasif metot olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Aktif metotlarda kanat akış bölgesinde dışarıdan bir gücün kullanılması söz konusu iken pasif metotlar da ise harici gücün yerine yüzey veya geometride değişiklik yapılması ile uygulanmaktadır [7]. Kanat aerodinamik yapısı üzerinde kaldırma kuvvetinde iyileştirme metotları içerisinde pasif metotlardan birisi de Gurney flap yapısıdır. Kolay imalatı, maliyetinin ucuz olması ve basit yapısı sebebiyle sabit kanat yüzeyine ya da döner kanatlı uçak üzerinde araştırma yapılması için ilgi çekici bir konu olan Gurney flap yapısı, ilk defa Dan Gurney tarafından yarış arabasının arkasında kullanılmıştır [8]. Bu flap yapısı günümüzde helikopterlerden, süper kritik ve ses üstü kanatlara, yüksek kaldırma tertibatından delta kanat yapılarına ve endüstriyel fan kanatlarına kadar geniş bir kullanım alanı vardır [8]. Kanat firar kenarına eklenen bir Gurney flap yapısının akış üzerindeki fiziksel etkisi Şekil 2'de gösterilmektedir. Klasik Gurney flap, firar kenarına eklenen küçük, düz bir plaka olup veter çizgisine dik bir şeklide yerleştirilmektedir. Gurney flap yapısı kanada etkiyen kaldırma kuvvetini, sürekli hal şartlarında bulunan akışkanlar dinamiği ve özellikle aerodinamik akış şartlarında, keskin bir arka kenara sahip cismin ilerlemesi ile keskin kenardaki durma noktasında tutunacak kadar devir dayanımı elde etmesini ifade eden Kutta koşulunun değişmesi ile kolaylıkla artırmaktadır.

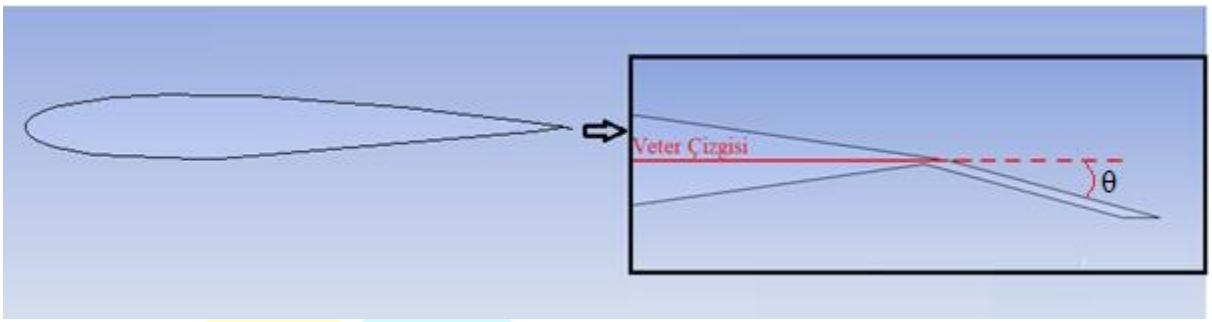



**Şekil 2**. Kanat firar kenarına yerleştirilen Gurney flap yapısının fiziksel etkisinin şematik gösterimi

Gurney flap çalışmaları genellikle, flap yapısının boyu, kalınlığı ve kanat üzerine yerleştiği konum gibi değişken parametreler hakkında olmuştur. Önceki çalışmalar incelendiğinde, Gurney flap yapısının kanat üzerine yerleştiği konumun firar kenarı olması gerektiği sonucu çıkarılmış ve çalışmada uygulanmıştır [9]. Gurney flap yapısının uzunluk parametresi için %1,5 kanat veter uzunluğu kabulü yapılmıştır [10].

ISBN: 978-605-71156-5-2

NACA 0012 kanat profili firar kenarında Gurney flap açısı (θ) Şekil 3'te gösterilmiştir. Çoğu klasik Gurney flap uygulamalarında θ=90°olarak kabul edilmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde θ ve α açılarının değişmesiyle kanat üzerindeki aerodinamik etkilerinin HAD ile sayısal incelemesinin çok fazla olmadığı görülmektedir.




**Şekil 3**.NACA0012 kanat profili firar kenarında Gurney flap açısının (θ) gösterimi

Gurney flap yapısı, araba yarışçısı olan Dan Gurney tarafından ilk defa 1971 yılında yarış arabasında kullanılmış ve neticesinde kaldırma kuvvetinin tersi yönünde bastırma kuvvetini artırmış, bu sayede arabanın hızlanma, fren ve viraj alma sırasında yol tutuşu artmıştır. Liebeck, 1989 yılında Gurney flap yapısını deneysel olarak ilk defa Newman kanat profilinde kanat veter uzunluğunun %1,25'i kadar uzunlukta kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda flapli kanat modelinin, flapsiz kanat modeline göre daha büyük $C_L$ katsayısı ürettiği ve $C_D$ katsayısını azalttığı gözlemlemiştir [11].

Greenblatt (2011), fan kanadı veter uzunluğunun (c), %10c, %20c, %30ckadar uzunluktaki Gurney flap yapısının düşük Reynolds sayısı değerleri için deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucuna göre düşük Reynolds sayılarında yüksek flap uzunluklarının, aerodinamik verim olarak adlandırılan $C_L/C_D$ oranını, yüksek Reynolds sayılarında kullanılan düşük flap uzunlukları kadar etkilediği ortaya çıkmıştır. Aynı flap uzunluklarının hem kalın hem de ince yapılarının incelenmesi sonucunda hacimsel debinin belirli aralıkta beklenmedik azalma gösterdiği, fakat artan debi ile birlikte azalışın daha yavaş gerçekleştiğini ifade etmiştir [12].

Mohammadi ve ark. (2012), farklı şekillere sahip Gurney flap yapısının rüzgar türbin kanadı üzerindeki etkilerinin farklı hücum açılarında incelenmesini veter uzunluğuna bağlı $Re = 2{,}0 \times 10^6$ değerinde HAD ile gerçekleştirmiştir. Çalışmada klasik Gurney flap modeli ile firar kenarı kavisli kanat modeli ve firar kenarı kama şekilli kanat modellerinin karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Artan hücum açısıyla birlikte $C_L$ katsayısındaartış gözlemlenmekle beraber $C_L$katsayısının maksimum olduğu durum Gurney flap uzunluğunun %2c değerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. $C_L/C_D$ oranının hücum açısıyla değişimi incelendiğinde maksimum $C_L/C_D$ oranı flapsiz kanat profilinde gözlemlenmiştir [13].

Patel (2015),Gurney flap uzunluğunun ve hücum açısının değiştirilmesi ile NACA0012 kanat profilindeki basınç değişimini, sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Tam gelişmiş türbülans akışı ile $Re = 9{,}7 \times 10^4$ ve $Re = 1{,}9 \times 10^5$ değerlerinde gerçekleştirilen çalışmada Spalart-Allmaras, Realizable k-ε, Standart k-ω ve SST k-ω türbülans modelleri kullanılmıştır. Deneysel çalışma ile

ISBN: 978-605-71156-5-2

sayısal analizde farklı türbülans modelinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, kanadın üst yüzeyinde meydana gelen ve "Stall" olarak adlandırılan akış ayrılmasını en iyi yakalayan türbülans modeli Spalart-Allmaras olduğunu tespit etmiştir. Çalışmanın sonunda orta derecedeki Reynolds sayılarında ve yüksek hücum açılarında en iyi sonuç veren türbülans modeli Spalart-Allmaras olmasına rağmen kanat analizi için SST k-ω modelinin daha en uygun olduğu bulunmuştur [14].

Traub ve ark. (2016), ok açılı kanat profilinde Gurney flap yapısının performansını deneysel olarak$Re = 1{,}0 \times 10^5$ ve $Re = 1{,}5 \times 10^5$ için $\alpha$ = -7,5°ve $\alpha$=30° arasındaki açılar 2,5° artırılarak, kanat veter uzunluğunun %1 ve %3'u kadar Gurney flap yapılarında,$\theta$=0°,$\theta$= 45° ve $\theta$=60°'de gerçekleştirmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde her iki Reynolds sayısı için en fazla kaldırma katsayısı $\theta$=45°'de elde edilmiştir. Gurney flap yapısının uzunluğunun %3 veter uzunluğuna eşit olduğu durum için $C_L/C_D$ oranı en düşük olduğu değer $\theta$=45°'de, aynı zamanda yine $\theta$=45° koşulu için maksimum $C_D$ değeri elde edilmiştir. Gurney flap yapısına verilen $\theta$ açısının kosinüs değeri ile kaldırma katsayısının ilişkili olduğu belirtilmiştir [15].

Patil ve ark. (2017), Gurney flapli NACA0012 kanat profilinin aerodinamik etkilerini HAD ile sayısal olarak incelemişlerdir. Kanat profiline verilen farklı uzunluklardaki Gurney flap uzunluklarının aerodinamik karakteristiklerine etkisini Spalart-Allmaras modeli kullanarak analiz etmişlerdir. Farklı flap uzunluklarının yanı sıra kanada verilen faklı hücum açılarının da etkisi irdelenmiştir. Çalışma sonunda artan Gurney flap uzunluğu ile kaldırma katsayısında artış gözlemlenmiştir. Ayrıca Gurney flap uzunluğunun artmasının kanat firar kenarındaki flap çevresindeki akış hareketinin yönünü değiştirmesiyle girdap yapısının gücünü artırdığı ve bu sayede kanat aşağı akım performansını artırdığı belirtilmiştir [16].

Chen ve ark. (2018),eksenel fan üzerindeki Gurney flap yapısının performansını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Fan kanatlarının uç kısmına yerleştirilen Gurney flap yapılarının uzunluğunun değişimi, flapsiz kanat modeli ile karşılaştırılmıştır. Sayısal analizde SST k-ω türbülans modeli kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre Gurney flap yapısının eklenmesiyle basıncın yükseldiği ve flap yapısının uzunluğunun artmasıyla basınç miktarının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada sayısal analizi gerçekleştirilen orijinal fan modeli ve Gurney flap yapısının %1,25 veter uzunluğuna sahip olan fan modeli karşılaştırılmış, elde edilen sonuçlar deneysel veriler ile makul ölçüde uyum göstermiştir. Nümerik araştırma ile firar kenarına yerleştirilen Gurney flap yapısının, emme bölgesi olarak adlandırılan kanat üst yüzeyinde akışı hızlandırdığı ve ters basınç gradyenini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır [17].

Sieradzki (2018), hava taşıtlarının kontrol yüzeylerine uygulanan Gurney flap ve t çubuk şeklinde olan çift Gurney flap yapılarının alternatifleri üzerine HAD programı aracılığı ile çalışmıştır.$Re = 2{,}3 \times 10^6$ kabul edilmiş olup kanadın yönlendirici parçası için -15°,-10°,0°,10° ve 15° açıları ele almıştır. Kanada $\alpha$= -10°'den $\alpha$= 10°'ye kadar 2° artırılarak farklı hücum açıları uygulamıştır. Türbülans modeli olarak SST k-ω modeli kullanılmıştır. Klasik Gurney flap ve t şekilli çift Gurney flap alternatifleri olarak çalışmada arka uç flap yapısı gösterilmiştir. Arka uç flap yapısına verilen farklı açılardaki aerodinamik karakterler araştırmıştır. Yapılan sayısal çözümlemenin ardından t şekilli flap yapısının açı verilmemiş arka uç flap yapısıyla

ISBN: 978-605-71156-5-2

karşılaştırılmasıyla, benzer kaldırma katsayısı karakteristiği yakalamıştır. Arka uç flap yapısının α=-4° olduğu koşul için kaldırma katsayısı karakteristiği karşılaştırılan durum için sağlanmış olsa da menteşe momenti değeri kanat yönlendiricisi parçasının eğimli olduğu duruma göre oldukça yüksek çıktığı gözlemlemiştir. En yüksek sürükleme azalışı kanat yönlendiricisinin pozitif eğimli olduğu açıda olduğu gözlemlemiştir [18].

Ganesan ve ark. (2019), ters çevrilmiş NACA 23012 kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının akış yapısına etkisini HAD programı kullanılarak sayısal analizini gerçekleştirmişlerdir. Türbülans modeli olarak standart k-ε kullanılmış olup iki boyutta oluşturulan modele akışkan olarak seçilen havanın giriş hızı 0,1 Mach (33m/s) ve ters çevrilmiş NACA 23012 kanat profili α=0°,α=-2°,α=-4°,α=-6° hücum açılarında incelenmiştir. HAD programında yapılan sayısal analiz sonucunda, iki boyutlu modelin zaman çizgisinin görselleştirilmesinde girdapların kanadın firar kenarında Karman-vorteks yapısıyla uyumlu bir şekilde form aldığı ve bu olayın Gurney flap yakınlarında yüksek basınç oluşturduğu, bunun sonucunda ise akışın yüzeye yapışıp akış ayrılması olayının geciktirdiği gözlemlemişlerdir. Gerçekleştirilen analiz sonucunda optimum değerlerin Gurney flap uzunluğu için %1 veter uzunluğu olduğu ve α=-6° olduğu sonucunu elde etmişlerdir [19].

Yan ve ark. (2019)Gurney flap yapısına sahip dikey eksenli NACA 0018 kanat yapısına sahip rüzgâr türbinin performansını HAD analizi, iki boyutta düzensiz akış yapısı ile SST k-ω türbülans modelinde gerçekleştirmişlerdir. Kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının etkisini karşılaştırmak için, flapsiz kanat profilinin aerodinamik analizleri gerçekleştirilmiş olup, çalışmada farklı Gurney flap uzunlukları ve farklı θ açı değerlerinin etkileri araştırılmıştır. Analiz sonucunda $C_L$'nin α açısının artmasıyla birlikte arttığı fakat Gurney flap yapısına sahip olan kanat profillerinin akış ayrılmasının, Gurney flap yapısına sahip olmayan kanat profiline göre daha düşük α açılarında oluştuğunu belirlemişlerdir. Artan α açısıyla birlikte $C_D$ 'de artmakta olup, Gurney flap uzunluğu artıkça $C_D$'de artmıştır [20].

Mashari ve ark. (2020), farklı θ açılı kanat profilinin dinamik stall olayının incelenmesini NACA 0012 kanat profili üzerinde süreksiz hal şartında sayısal analizini gerçekleştirmişlerdir. Analizde SST k-ω türbülans model kullanılmıştır. Çalışma içerisinde, Gurney flap uzunluğu, θ açısı, salınım genliği gibi parametreleri incelemişlerdir. Sonuçlar Gurney flapsiz kanat modeli ile karşılaştırılmıştır. Gurney flap uzunluğu için yapılan çalışmada %1 ile %3,2 arasındaki veter uzunluğuna sahip beş farklı Gurney flap yapısı kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda %1 veter uzunluğundaki Gurney flap yapısının maksimum $C_L$ değeri diğer Gurney flap uzunluklarından daha az olmasına rağmen, stall açısının yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda, θ=90° kanat profilinin en iyi aerodinamik performansa sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır [21].

Suresh ve ark. (2022), bir santrifüj fan üzerindeki Gurney flap yapısının uzunluğunun ve konumlandırılmasının fan performansına etkisini Re $=0{,}59\times10^6$- Re$=1{,}57\times10^6$aralığındadeneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada elde edilen veriler ışığında, flap yapısına sahip kanat profillerinde Reynolds sayısının artmasının fan verimine etkisinin ihmal edilebilir boyutta olduğu, maksimum fan ve tasarım verim değerlerinin flap yapısına sahip olmayan kanat

profillerinde Reynolds sayısının artırılmasıyla elde edildiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Gurney flap yapısının konumlandırılmasının fan performansına etkisi incelendiğinde, flap yapısının kanat ucunda konumlandırıldığı koşul maksimum yük katsayısına ve akış katsayısına sahip olduğu gözlemlemişlerdir. Reynolds sayısının maksimum değerde olduğu koşulda Gurney flap yapısının performansındaki artış düşük olmuştur. Flap yüksekliğinin artmasıyla fan yük katsayının artışı düşük bir oranda olduğu sonucuna ulaşmışlardır [22].

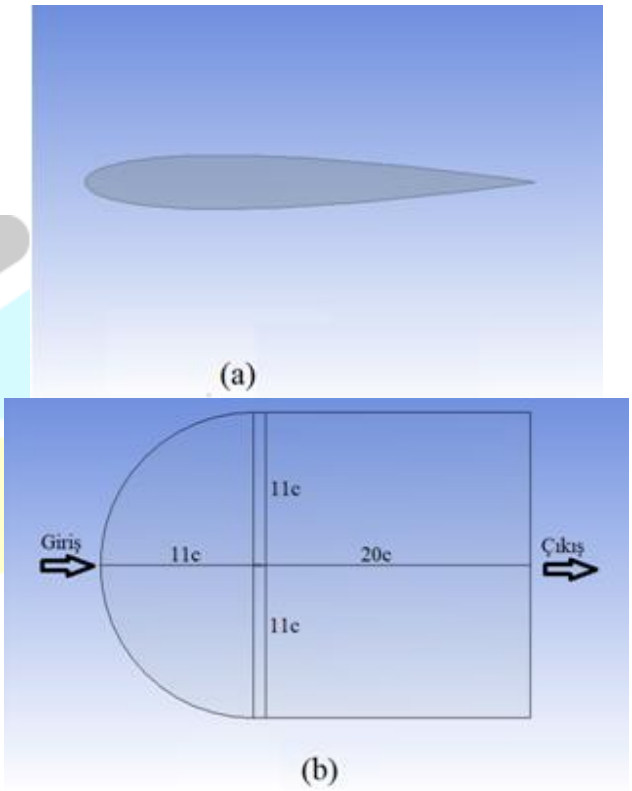
Literatür incelendiğinde, çalışmalarda kanat profillerine ait α açısının ve Reynolds sayısı parametrelerinin değişken parametre olarak kabul edildiği buna karşın yapılan θ açısının sabit bir parametre kabul edildiği gözlemlenmiştir. Önceki çalışmalarda Reynolds sayının sabit bir parametre kabul edildiği ve ikiden fazla parametrenin (α açısı, θ açısı ve türbülans modeli) değişken olarak kabul edildiği bir çalışma konusun üzerinde çok durulmamıştır. Bu nedenle çalışmada Cessna uçakları, B-17 savaş uçağı, S-61 Sikorsky ve Sea King helikopterlerinde kullanılan NACA 0012 kanat profili referans alınmıştır. NACA 0012 kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının, kanat aerodinamik karakteristiğine etkisi incelenmiştir. Toplamda üç değişken parametre ve bir sabit parametre incelenmiştir. Farklı α açılarında ve θ açılarında Gurney flap yapısının etkileri sabit veter uzunluğuna göre belirlenen Reynolds sayısında iki türbülans modeli kullanılarak incelenmiş ve elde edilen veriler, literatürde bulunan deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

## Yöntem

### Sayısal Modelleme

Bu çalışmada dört haneli kanat profil grubunda yer alan ve kalınlığın veter uzunluğuna oranı %12 olan NACA 0012 kanat profili için iki boyutlu analiz gerçekleştirilmiştir. Kanat profil geometrisinin oluşturulması HAD programının çizim kısmında kanat kodları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen NACA 0012 kanat profili ve oluşturulan hesaplama alanı Şekil 4'de gösterilmektedir. NACA 0012 kanat profilinin veter uzunluğu c=1 metre olup Şekil 4a'da gösterilmiştir. Kanat analizinin gerçekleştirilmesi için C tipi hesaplama alanı kullanılmıştır [23]. Hesaplama alanına akışkan girdiği kesitler giriş (inlet) çıktığı kesit ise çıkış (outlet) olarak adlandırılmaktadır. Kanat profili akışın hesaplama alanına giriş kesitinden 11c uzağa, çıkış kesitinden ise 20c uzağa yerleştirilmiştir. Akış alanının yüksekliği 22c uzunluğundadır ve kanat profili akış alanı yüksekliğinin orta noktasına yerleştirilmiş olup Şekil 4b'de gösterilmektedir. Gurney flap yapısının uzunluğu, önceki çalışmalarda optimum uzunluk olarak belirlenen kanat veter uzunluğunun % 1,5'i kadar alınmıştır [10]. Akışkan olarak kullanılan havanın hesaplama alanına giriş hızı 14,6$m/s$ olarak alınmıştır. Kanat profilinde kaymama koşulu (no slip wall condition) kabul edilmiştir. Hücum açıları için ise hava giriş hızının x ve y bileşenleri kullanılmıştır. Bu noktada hızın x bileşeni $U_x = U\cos\alpha$ ile y bileşeni ise $U_y = U\sin\alpha$formüllerinin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Sayısal analizin yapıldığı HAD programı, giriş sınır koşulu için %1 ile %5 arasında türbülans yoğunluğu önermektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda giriş sınır şartı olarak %1 ve %1'den daha az türbülans yoğunluğu kullanılmıştır. Bu nedenle bu çalışmada giriş sınır şartında türbülans yoğunluğu %1 olarak alınmış, çıkış sınır şartında ise %5 türbülans yoğunluğu kabulü yapılmıştır [24].

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 4.** İncelenen NACA 0012 kanat profili ve oluşturulan hesaplama alanı

**Ağdan Bağımsızlık**

Ağ yapısından bağımsızlık özellikle HAD uygulamalarının sayısal analizlerinde oldukça önemli bir parametredir. Analizdeki hücre sayısı veya düğüm sayısı adı verilen ağ yapısı parametreleri çözümdeki doğruluğu büyük ölçüde etkilemektedir. Kullanılan daha fazla düğüm noktası veya hücre sayısı sonuçların doğruluk oranının fazla çıkmasına sebep olurken, analizin yapıldığı bilgisayarda daha fazla hafıza ve hesaplama suresi gerektirmektedir. Bu sebeplerden çalışmalarda, ağ yapısından bağımsızlık çalışması yapılmalıdır[23]. Literatürde HAD sayısal analiz çalışmalarının çoğunda yer alan analizin ağdan bağımsızlığı çalışılması incelenmiştir. Mevcut hesaplama alanı için oluşturulan ağ yapısı "fine mesh" olarak bilinen ince ağ yapısıdır. Ağ sayının kaldırma kuvvetine etkisinin incelenmesine ait veriler Çizelge 2'de yer almaktadır. Ağdan bağımsızlık çalışmasından sonra, 103 000 hücre sayısı ile analizin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

**Çizelge 2.** Ağ sayısının kaldırma katsayısına etkisi

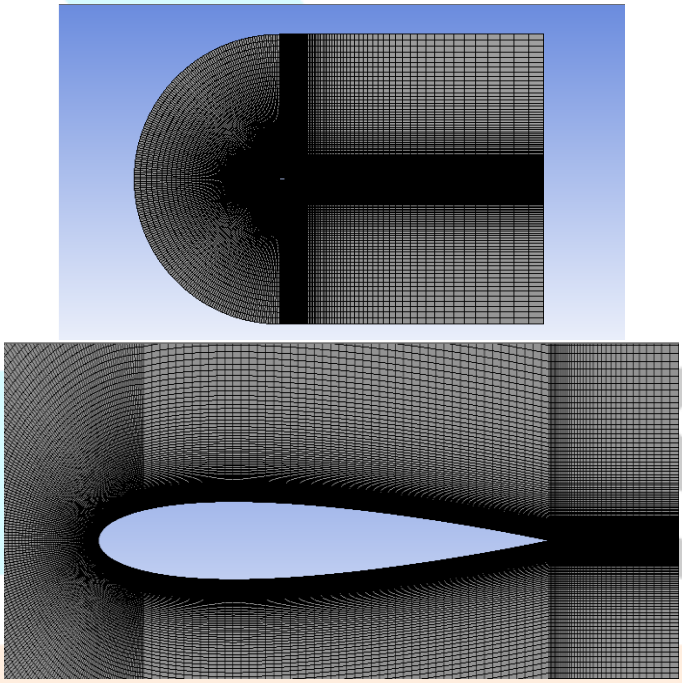
| Element Sayısı | 50 000 | 60 000 | 70 000 | 80 000 | 90 000 | 100 000 | 110 000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kaldırma Katsayısı | 1,098 | 1,180 | 1,212 | 1,230 | 1,242 | 1,250 | 1,257 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Yapılan ağ yapısı bağımsızlık çalışmasından elde edilen $C_L$katsayıları ile ağ sayısı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla iki veri dizileri arasındaki korelasyon katsayısına bakılmıştır. Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve derecesini belirlemeye yarayan boyutsuz bir sayısıdır. Korelasyon katsayısının değeri "1" değerine yakın ise diziler arasında ilişki iyi, "0" değerine yakın ise diziler arasındaki ilişki kötüdür. Oluşturulan kaldırma katsayısı ve ağ sayısı veri dizileri korelasyon katsayısı 0,89 çıkmıştır.

**Ağ Yapısının Oluşturulması**

Hesaplama alanındaki ve kanat profili ağ yapısı Şekil 5'de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde hesaplama alanında oluşturulan ağ yapısında kanat profiline yakın bölgelerde daha sık ağ yapısı oluşturulurken, kanat profilinden uzakta olan bölgelerde daha seyrek ağ yapısı oluşturulmuştur. Böyle bir ağ yapısının uygulanma sebebi, analiz maliyetlerinde azalama sağlamaktır.



**Şekil 5**.Hesaplama alanındaki ve kanat profili ağ yapısı

**Sınır Şartları**

Çalışmada, veter uzunluğuna göre Reynolds sayısının değeri, $\mathrm{Re} = 1{,}0 \times 10^6$ olarak alınmıştır. Bu Reynolds sayısı, yolcu taşımacılığında kullanılan ultra hafif hava araçlarında, insan gücüyle çalışan hava araçlarında kullanılmakta olup havacılık alanın dışında rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadır. Reynolds sayısının $5{,}0 \times 10^6$değeri ise geniş hava araçlarının çalışma aralığının başladığı değerdir [25]. Zamandan bağımsız olarak gerçekleştirilen analizde sıkıştırılamaz akışlarda daha fazla doğruluk yakalayan basınca bağlı çözüm yöntemi kullanılmıştır. Akışkan olarak seçilen havanın sıcaklığı 300K (27 °C) olup bu sıcaklıktaki havanın yoğunluğu $\rho = 1{,}225\ \mathrm{kg/m^3}$, dinamik viskozitesi $\mu = 1{,}7894 \times 10^{-5}\ \mathrm{kg/ms}$ olarak alınmıştır. Çözüm algoritması olarak "Coupled"

ISBN: 978-605-71156-5-2

kullanılmış olup, uzaysal ayrıklaştırma (discretization) basınç için ikinci dereceden, momentum, türbülans kinetik enerjisi, türbülans dağılım oranı ise ikinci dereceden upwind şemasıyla yapılmıştır. Analizlerin hepsinde $C_L$, $C_D$ katsayıları ve süreklilik parametreleri için yakınsama işleminin sorunsuz gerçekleşmesi için yakınsama kriteri $1{,}0 \times 10^{-7}$ olarak seçilmiştir.

**Türbülans Modeli**

Kanat profilleri üzerinde yapılan nümerik analizlerde sıklıkla kullanılan türbülans modelleri Spalart-Allmaras ve SST k-ω modelleridir [14]. Bu çalışmada, türbülanslı akışların aerodinamik çözümlemelerinde sıklıkla kullanılan Spalart-Allmaras türbülans modeli ve SST k-ω modeli karşılaştırılmıştır.

Spalart-Allmaras türbülans modeli, kanat, uçak gövdesi, roket, gemi gövdesi gibi yapıların içerisinde bulunduğu akışın analizinde daha az zaman, az işlem basamağı ve daha az maliyetle birlikte daha fazla doğru sonuç elde etmesiyle verimli ve etkili bir yol olarak görülmektedir. Spalart-Allmaras türbülans modeli tek denklemli bir modeldir [26].

$$\underbrace{\frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial t} + \nabla\,(U\tilde{\nu})}_{1} = \underbrace{c_{b1} S\tilde{\nu}}_{2} + \underbrace{\frac{1}{\sigma}\left[\nabla\,(\nu + \tilde{\nu})\nabla\tilde{\nu}\right] + \underbrace{\frac{c_{b2}}{\sigma}(\nabla\tilde{\nu})^2}_{(3a)}}_{3} \underbrace{-c_{w1} f_w \left(\frac{\tilde{\nu}}{d}\right)^2}_{4} \quad (4)$$

Denklemin solunda yer alan ve "1" ile belirtilen kısım zamana bağlı türevin ve konveksiyonel terimin yer aldığı kısımdır. Denklemin bu kısmı bütün transport denklemlerinde görülmektedir. Denklemde "2" ile belirtilen kısım türbülans oluşumunun olduğu kısımdır. Türbülans üretimi, ortalama hız profilinde kaymadan (hız gradyeni) meydana gelmektedir. Denklemde yer alan "S" terimi kayma oranı tensörüdür. Türbülans difüzyonu ise denklemde "3" numara ile belirtilmiştir. Difüzyon terimi, türbülansın yüksek yoğunlukta olduğu bölgeden düşük yoğunlukta olduğu bölgeye yayılmasını sağlamaktadır. Difüzyon teriminin içerisinde yer alan ve denklemde "3a" ifadesiyle belirtilen kısım lineer olmayan terimdir. Lineer olmayan terim difüzyonun baskın olduğu, türbülans bölgelerinin kenarında oldukça önemlidir. Lineer olmayan terimin eklenmesinin nedeni türbülans bölgesinin kenarında girdap dağılımının kontrol edilmesidir.

Dış akış aerodinamik uygulamalarında veya akış ayrılmalarının önemli olduğu simülasyonlarda en iyi sonuç veren türbülans modeli olarak kabul edilen SST k-ω türbülans modeli, k-ω ve k-ε modellerinin birlikte kullanıldığı bir türbülans modelidir. Bu modellerden k-ω modeli duvara yakın bölgelerde daha iyi sonuç vermekte fakat duvara uzak bölgelerdeki serbest akış bölgelerde yetersiz kalmaktadır. Buna karşın k-ε türbülans modeli serbest akış bölgelerinde oldukça iyi sonuç vermektedir. SST k-ω türbülans modelinde karıştırma fonksiyonun $(F_1)$ kullanılmasıyla duvara yakın bölgelerde k- ω türbülans modeli kullanılırken, serbest akış bölgelerinde k-ε modeli kullanılmaktadır [27].

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \nabla(\rho U\omega) = \nabla\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega}\right)\nabla_\omega\right) + \frac{\gamma}{\nu_t}P_k - \beta\rho\omega^2 + \underbrace{2(1 - F_1)\frac{\rho\sigma\omega_2}{\omega}\nabla_k : \nabla_\omega}_{5} \quad (5)$$

ISBN: 978-605-71156-5-2

Denklemde yer alan"5" ile gösterilen kısım, ilave terimdir. İlave terimin sonunda yer alan ifade iç çarpım tensörüdür ve aşağıda belirtildiği gibidir.

$$\nabla_k : \nabla_\omega = \frac{\partial_k}{\partial_{xj}}\frac{\partial_\omega}{\partial_{xj}} = \frac{\partial_k}{\partial_x}\frac{\partial_\omega}{\partial_x} + \frac{\partial_k}{\partial_y}\frac{\partial_\omega}{\partial_y} + \frac{\partial_k}{\partial_z}\frac{\partial_\omega}{\partial_z} \quad (6)$$

SST k-ω türbülans modelinde türbülans modelleri arasındaki geçişi $F_1$ fonksiyonu sağlamaktadır. Türbülans denkleminde yer alan $F_1$ fonksiyonu duvara yakın bölgelerde "1" değerini alır ve model k-ω türbülans modeli haline gelir. Serbest akış bölgelerinde ise $F_1$ "0" değerini almakta ve model k-ε türbülans modeline dönüşmektedir. $F_1$ fonksiyonu hiperbolik bir fonksiyondur. Burada hiperbolik tanjant fonksiyonu sayesinde modeller arasındaki geçiş daha kolay sağlanmaktadır.

$$F_1 = \tanh({arg_1}^4) \quad (7)$$

Karıştırma fonksiyonunda yer alan "arg" terimi duvara olan en yakın mesafeye bağlıdır. Bu sayede duvara olan uzaklığa bağlı olarak türbülans modeli kullanılabilir.

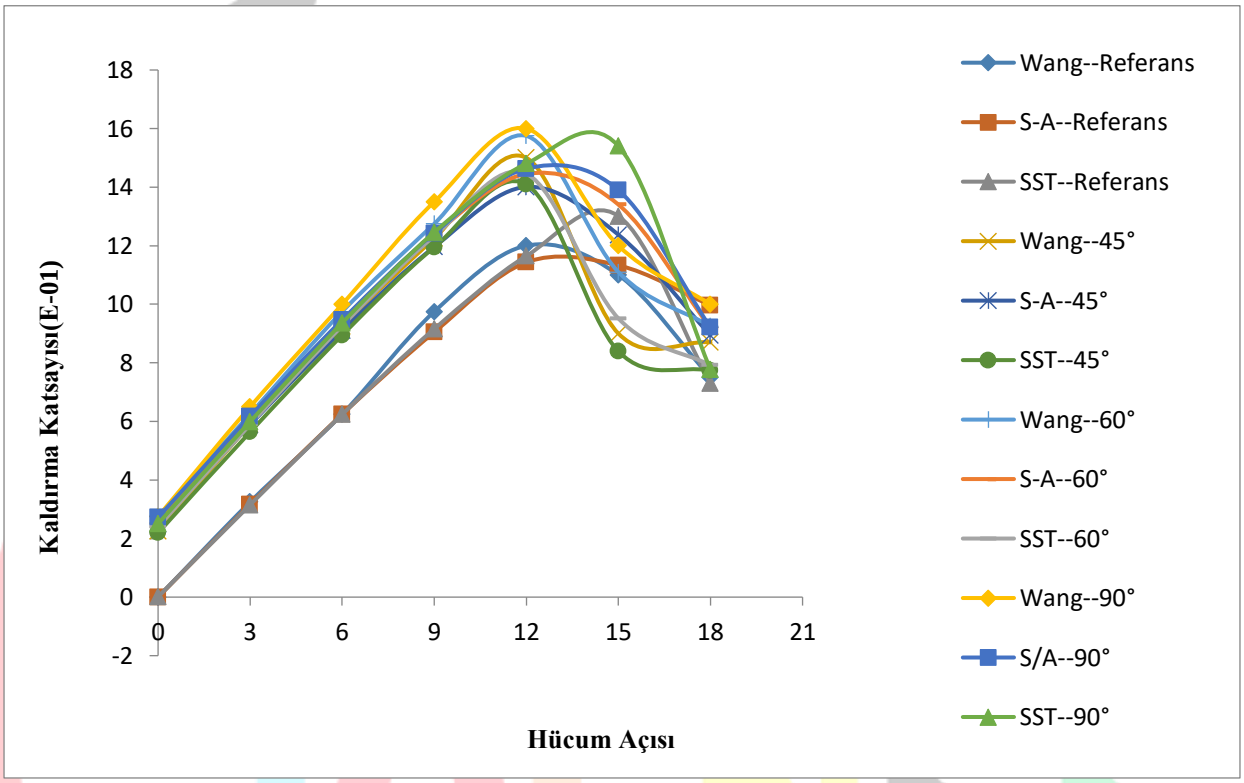
$$arg_1 = min\left[\max\left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^*}, \frac{500\nu}{d^2\omega}\right), \frac{4\rho\sigma_{\omega 2}k}{CD_{kw}d^2}\right] \quad (8)$$

**Analiz Sonuçları ve Değerlendirme**

Bir kanat etrafındaki akış çoğunlukla α açısı ile Reynolds sayısına bağlıdır. Bu iki değişken parametre ile kanat etrafındaki birleşme, ayrılma ve geçiş mekanizmaları gibi kanadın girdap karakteristikleri belirlenmektedir. Bu çalışmada sabit tutulan Reynolds sayısı ile değişen α ve θ açılarının kanat aerodinamik karakteristiğine etkisi araştırılmıştır. Gurney flap yapısına sahip olmayan kanat modeli için "referans" ifadesi kullanılmıştır. Sonuçlar literatürde bulanan çalışmalarla kıyaslanmıştır [8].

Kaldırma katsayısının farklı Gurney flap açıları ve hücum açılarındaki değişimi Şekil6'da verilmektedir. Şekil incelendiğinde literatürde bulunan deneysel çalışma ile iki türbülans modelinden elde edilen $C_L$katsayısı verileri karşılaştırılmıştır. Literatürde referans kanat modeli, θ=45°, θ=60° ve θ=90° açılarının verileri olduğundan Şekil 6'da da aynı veriler kullanılmıştır. Referans kanat modeli verileri incelendiğinde düşük α açılarında literatür verisi ile mevut çalışmanın iyi derecede örtüşmüştür. α=9°'ye eşit olduğu değerde $C_L$ katsayısı değerlerinde farklılaşma başlamıştır. Sayısal analiz ile elde edilen veriler α=12°'ye kadar birbirleriyle uyumlu oldukları, α=15°'de ise aralarındaki farkın arttığı gözlemlenmiştir. Kanat üzerindeki akış yapısının, farklı türbülans modelleri tarafından farklı şekilde çözümlenmesi bu farklılıklara neden olabilir. Bu hücum açısından sonraki α=18°'de ise literatürde bulunan deneysel veri ile SST k-ω türbülans modeli yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Gurney flap yapısının kanat profili eklenmesiyle birlikte kaldırma katsayısındaki artış net olarak şekilde görülmektedir. α=0°'ye eşit olduğu durumda Gurney flap yapısının eklenmesiyle birlikte $C_L$ katsayısında ciddi artış yaşanmıştır. Bunun sebebi Gurney flap yapısının kanat profilininkamberliğini artırmasıdır. Kanat profilinin kamberlik özelliği

ile ilgi önceki çalışmalar incelendiğinde, düşük ve yüksek Reynolds sayılarının $C_L/C_D$ oranında benzer eğrilere sahip olduğu, NACA 0012 gibi simetrik kanat profillerinin, düz plakalara benzer olarak artan Reynolds sayıları ile performanslarında düşük değişiklere sahip oldukları sonuçları mevcuttur. Aynı zamanda Reynolds sayısı gibi kanat profilinin kamberliği $C_L/C_D$ oranında oldukça etkilidir [28].

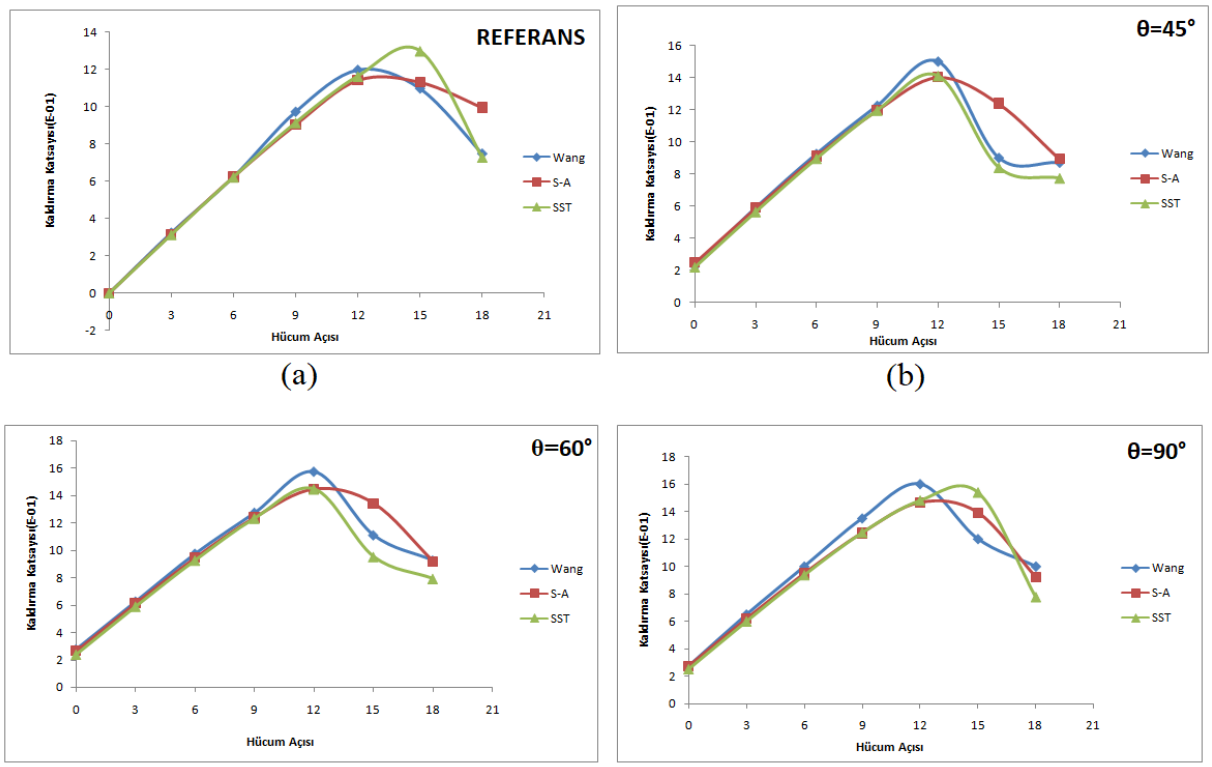



**Şekil 6**. Kaldırma katsayısının farklı Gurney flap açıları ve hücum açılarında değişimi

Farklı flap açılarında $C_L$katsayısının hücum açısıyla değişimi Şekil 7'de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde Gurney flap yapılı ve yapısız kanat model verilerinin literatür verileri ile karşılaştırılması her Gurney flap açısı için gösterimi verilmektedir. Şekil 7a 'da Gurney flap yapısız kanat profillerine ait kaldırma katsayının deneysel ve türbülans modelleri ile karşılaştırılması gösterilmektir. Şekil incelendiğinde özellikle düşük α açılarında her üç verinin de uyumlu olduğu fakat artan α açısıyla birlikte bir takım farklılaşmanın başladığı görülmektedir. θ=45° ve θ= 60° kanat modellerinin $C_L$katsayının farklı α açılarıyla değişimi Şekil 7b ve 7c'de incelendiğinde düşük α açılarında, kullanılan türbülans modelleri ile deneysel verilerin uyumlu olduğu görülmektedir. Veriler arasındaki farklılık α=12°'de başlamaktadır. Bu α açısında türbülans modellerinin verileri birbirine yakın olmasına rağmen deneysel veriden düşük olmuştur. θ=90°olduğu durum olan Şekil 7d ise türbülans modellerinin α=12°'ye kadar yakın sonuçlar verdiği, deney sonucunun türbülans modellerinin sonucundan daha fazla çıktığı fakat α=15°'de en düşük $C_L$ katsayısı değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. SST k-ω modelinin bu açıda maksimum $C_L$ katsayısı değerine sahip olduğu, α=18°'de ise S-A türbülans modelinin deney verisine daha yakın sonuç verdiği görülmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Deneysel veri ile iki türbülans modeli arasındaki ilişkinin belirlenmesi için, veriler arasındaki korelasyon katsayısına bakılmıştır.




(a) (b) (c) (d)

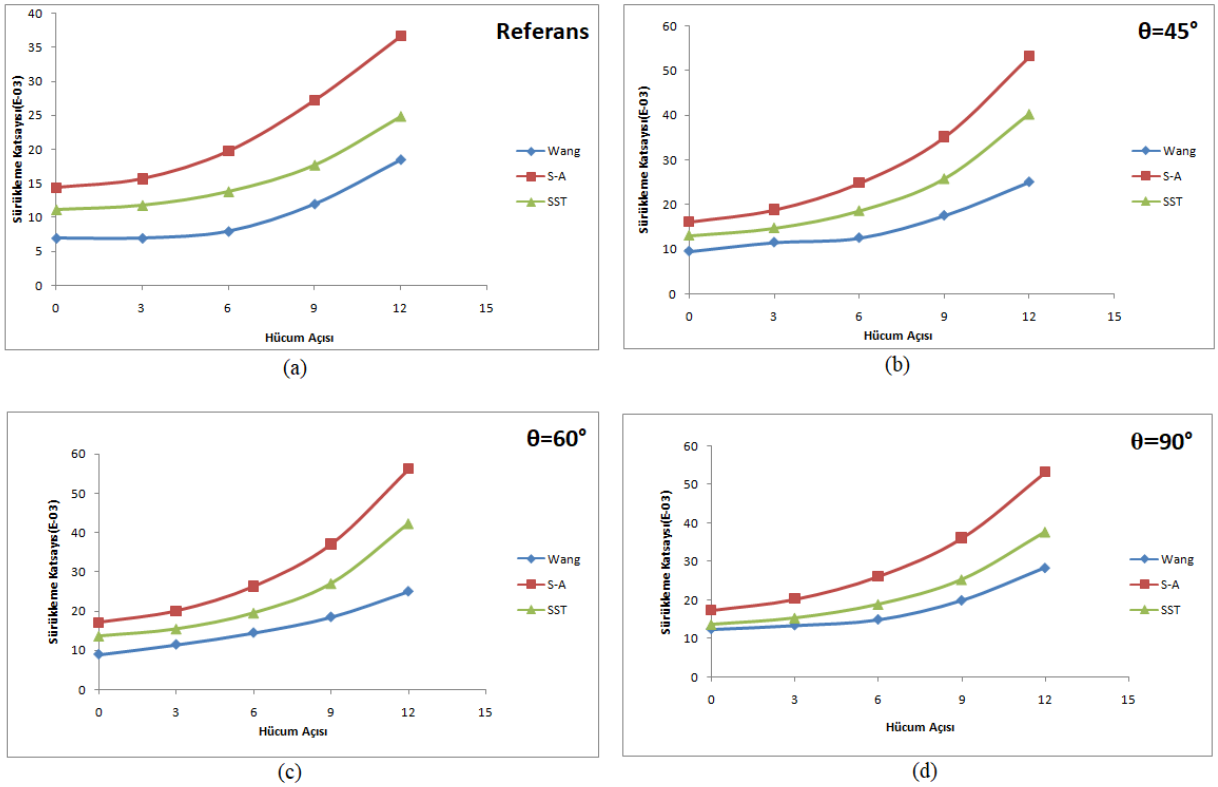
**Şekil 7.** Farklı flap açılarında kaldırma katsayısının hücum açısıyla değişimi

Kaldırma katsayısı deney verileri ile türbülans model verilerinin arasındaki korelasyon katsayıları Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde her iki türbülans modeli ile deney verileri arasındaki korelasyon katsayısının 1 değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. SST modelinin korelasyon katsayısı referans kanat modelinde, θ=45° ve θ=60° durumlarına sahip kanat profillerinde 1 değerine S-A modeli katsayılarına kıyasla daha yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle, SST modeli bu kanat profilinde deney verileri ile daha iyi örtüşmüş olduğu sonucu çıkarılabilir. θ=90° olması durumunda ise S-A modelin korelasyon katsayının SST modelin korelasyon katsayısına göre 1 değerine daha yakın olması nedeniyle bu flap açısında S-A modeli deney verileri ile daha iyi örtüşmüştür. Genelleme yapılacak olursa $C_L$ katsayısı deney verileri ile SST modeli, S-A modeline göre daha yakın sonuç vermiş olduğu sonucuna varılabilir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Çizelge 3.** $C_L$ katsayısı deney verileri ile türbülans model verileri arasındaki korelasyon katsayıları

| Kanat Profili | S-A | SST |
|---|---|---|
| Referans | 0,970488 | 0,982917 |
| 45° | 0,941036 | 0,997565 |
| 60° | 0,966234 | 0,993298 |
| 90° | 0,969892 | 0,927523 |

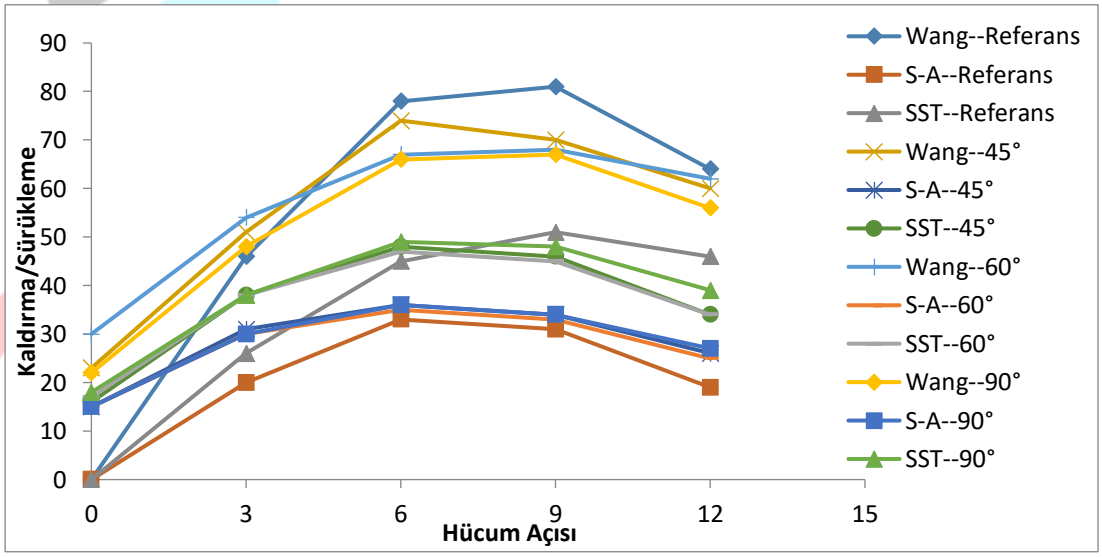



**Şekil 8.** Farklı flap açılarında sürükleme katsayısının hücum açısıyla değişimi

Gurney flap yapılı ve yapısız kanat model verilerinin literatür verileri ile karşılaştırılması her Gurney flap açısı için gösterimi Şekil 8'de gösterilmiştir. Gurney flap yapısız kanat profillerinin sürükleme katsayılarının kıyaslandığı Şekil 8a'ya göre deneysel yol ile elde edilen sürükleme katsayısına yakın sonuç veren türbülans modeli SST olmuştur. θ=45°ve θ= 60°kanat modellerinin $C_L$ katsayının farklı α açılarıyla değişimi Şekil 8b ve 8c'de incelendiğinde düşük α açılarında, kullanılan türbülans modelleri ile deneysel verilerin uyumlu olduğu görülmektedir. Veriler arasındaki farklılık α=12°'de başlamaktadır. Bu α açısında türbülans modellerinin verileri birbirine yakın olmasına rağmen deneysel veriden düşük az olmuştur. θ=90° olduğu durum olan Şekil 8d ise türbülans modellerinin α=12°'ye kadar yakın sonuçlar verdiği, deney sonucunun türbülans modellerinin sonucundan daha fazla çıktığı fakat α=15°'de en düşük $C_L$ katsayısı değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. SST k-ω modelinin bu açıda maksimum $C_L$ katsayısı değerine sahip olduğu, α=18°'de ise S-A türbülans modelinin deney verisine daha yakın sonuç verdiği görülmektedir. Deneysel veri ile iki türbülans modeli arasındaki ilişkinin belirlenmesi için, veriler arasındaki korelasyon katsayısına bakılmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

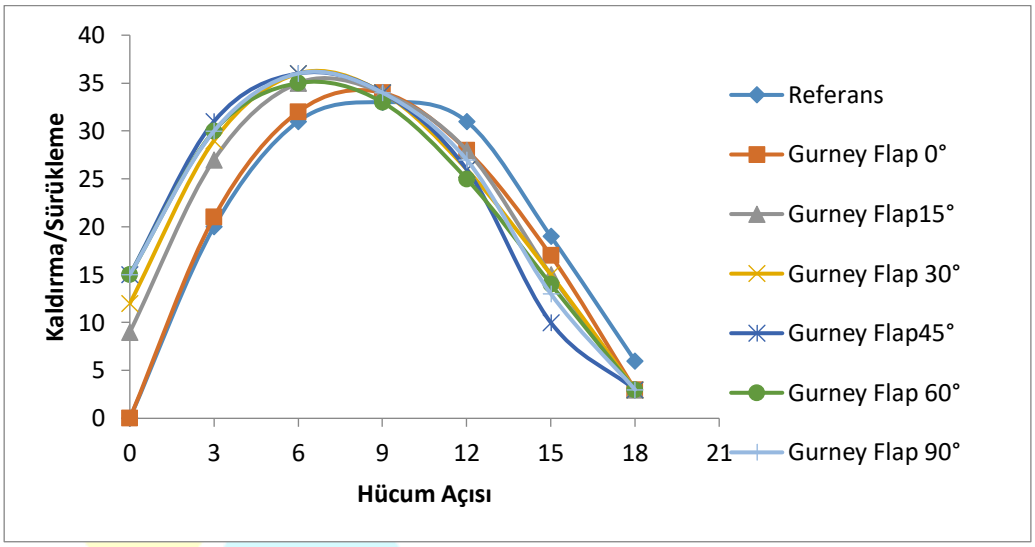
Farklı flap açılarında $C_L/C_D$ oranın α açısı ile değişiminin farklı türbülans model verileri ile deney verilerinin karşılaştırılması Şekil 9'da verilmiştir. $C_L/C_D$ oranın farklı θ açılarındaki değerinin α açısıyla değişiminin, maksimum $C_L/C_D$ oranının referans kanat profili için deney verisinde gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Kanat profili verisinin maksimum olduğu referans kanat profilinden sonra, en yüksek $C_L/C_D$ oranı, sırasıyla deney verilerine ait θ=45°,θ=60° ve θ=90° kanat profillerine ait olduğu görülmektedir. SST k-ω türbülans modelinin, S-A türbülans verilerine kıyasla deney verilerine daha yakın sonuçlar verdiği şekilde görülmektedir.




**Şekil 9.** Farklı flap açılarında $C_L/C_D$ oranın hücum açısıile değişiminin farklı türbülans model verileri ile deney verilerinin karşılaştırılması

Farklı flap açılarında S-A türbülans modelinin kaldırma/sürükleme oranın hücum açısıile değişimiŞekil 10'da gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, $C_L/C_D$ oranın S-A türbülans modelinin α açısıyla değişimi referans kanat modeli ile θ=0°olduğu değerler α=6°'ye kadar benzer sonuçlar vermiştir. Bu değerden sonra α=9°'de her iki kanat modeli maksimum $C_L/C_D$ oranına sahip olmuş, bu değerden sonra düşüş gözlemlenmiştir. θ açısının artmasıyla birlikte maksimum $C_L/C_D$ oranı α=9°'den α=6°'ye düşmüştür. θ açısının artmasıyla birlikte $C_L/C_D$ oranı da artış göstermiş ve maksimum θ=90°açısına sahip kanat modelinde elde edilmiştir. S-A türbülans modelinde referans kanat profilinde α=18°'de maksimum $C_L/C_D$ oranına sahip olmuştur.

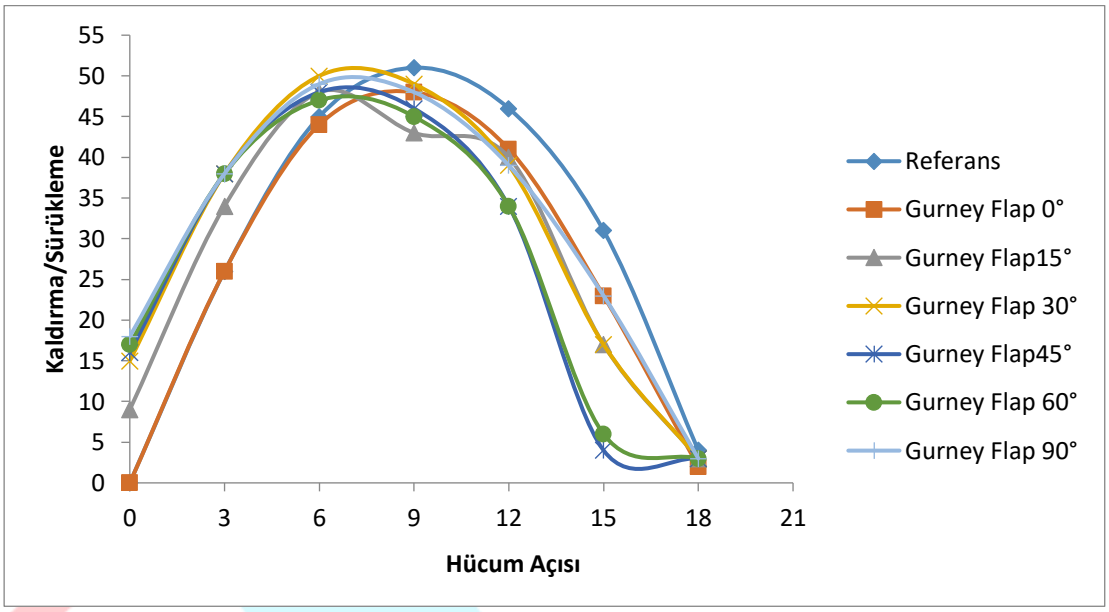
ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 10.** Farklı flap açılarında S-A türbülans modelinin $C_L/C_D$ oranın hücum açısıile değişimi

Bir diğer türbülans modeli olan SST k-ω modelinin $C_L/C_D$ oranı Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde S-A türbülans modelinde olduğu gibi bu modelde de referans kanat modeline eklenen θ=0°flap yapısı $C_L/C_D$oranında artışa sebep olmuştur. Referans ve θ=0° kanat profili için maksimum $C_L/C_D$oranı α=9° olmuş, daha sonra ise θ açısının artmasıyla birlikte maksimum $C_D$ katsayısı değeri α=6°'ye düşmüştür. Şekil incelendiğinde artan θ açısı ile birlikte $C_L/C_D$ oranında tüm hücum açılarında artış gözlemlenmiştir. θ=45° ve θ=60° değerlerinde $C_L/C_D$ oranında α=12°'den sonra hızlı bir düşüş yaşanmıştır. Bunun nedeni bu açılarda, $C_L$ katsayısında düşüş yaşanırken, $C_D$katsayısında hızlı artışların yaşanmasıdır. Genel olarak α=9°'den sonra θ açısında meydana gelen artışa birlikte $C_L/C_D$ oranında azalış meydana gelmiştir. SST k- ω türbülans modelinde, θ=45° ve θ=60°açıları için α=15° olması durumunda $C_L/C_D$ oranında ciddi bir düşüş meydana gelmiştir. Bu şartlardaki akış yapısı incelendiğinde kanat üzerindeki ayrılan akış yapısında iki adet girdap yapısı olduğu görülmektedir. Meydana gelen girdap yapıları kanat aerodinamik karakteristiğini büyük ölçüde değiştirmektedir. Şekil hakkında, θ=15° ve θ=60° arasında artan α ve θ açılarıyla birlikte α=6°'ye kadar $C_L/C_D$ oranında artış yaşanmış ve bu açıdan sonra ise artan α ve θ açılarıyla $C_L/C_D$ oranında azalış yaşandığı söylenebilir. Tüm kanat profilleri için özellikle α=12°'den sonra kanatta akış ayrılması yaşanması nedeniyle ciddi düşüşler yaşanmıştır. Referans kanat modeli α=18°'de en yüksek $C_L/C_D$ oranına sahip olmuştur.

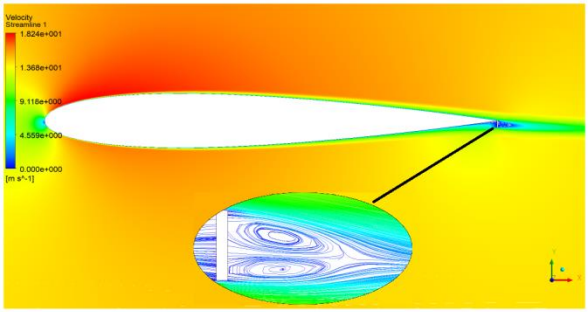
ISBN: 978-605-71156-5-2



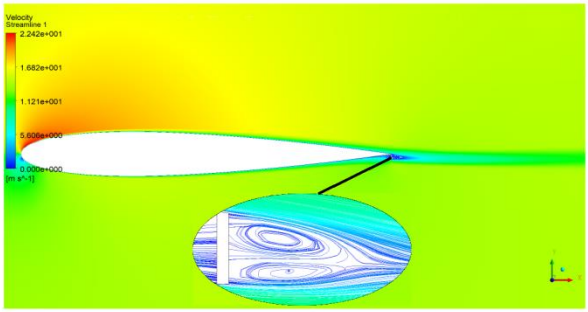

**Şekil 11.** Farklı flap açılarında SST k-ω türbülans modelinin $C_L/C_D$ oranın hücum açısı ile değişimi

Yapılan sayısal çözümlemelerden sonra SST k-ω türbülans modeli için θ =90° değerindeki kanat yapısı üzerinde oluşan akış yapısının α açısıyla değişimi Şekil 12'de gösterilmiştir. Akış yapısı incelendiğinde tüm α açılarında hücum kenarında akışın kanada çarptığı bölge düşük hız değerinde ve yüksek basınç değerinde olmaktadır. Daha öncede bahsedilen Coanda etkisi sebebiyle akış, kıvrımlı yüzde ilerlemekte ve akış hızında artış görülmektedir. Kanat alt yüzeyinde ise görece daha düşük hız ve yüksek basınç oluşmaktadır. Şekil 12a'da gösterilen α=0°durumu için, Gurney flap yapısı arkasında iki adet girdap yapısını görülmektedir. Bu girdaplar literatürde birbirleriyle ters dönme hareketi yapan girdap çifti olarak geçmektedir [29].Gurney flap yapısının üst kısmında bulunan girdabın genişliği 0,025m olarak, alt kısımda bulunan girdabın genişliği ise 0,02m olarak ölçülmüştür. Gurney flap yapısının 0,03m uzağında durma noktası görülmüştür. Şekil 12b'de ise α=3°'deki akış yapısı gösterilmektedir. Gurney flap arkasında yer alan girdap çiftinin her ikisinin de girdap genişliği 0,025m olarak ölçülmüştür. Bu açıda Gurney flap yapısının aşağı akımında oluşan durma noktasının Gurney flap yapısına uzaklığı 0,025m olarak ölçülmüştür. α=6°olduğu durum Şekil 12c'de gösterilmiştir. Bu akış yapısı incelendiğinde, girdap çiftinin olmadığını, alt girdap yapısının bozulmaya başladığı görülmüştür. Üst girdap yapısının genişliğinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Şekil 12d'de yer alan α=9°'ye ait akış yapısı için girdap yapısının uzunluğunun α=6°'deki girdap yapısınınkine göre daha uzun olduğu fakat genişliğinde bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

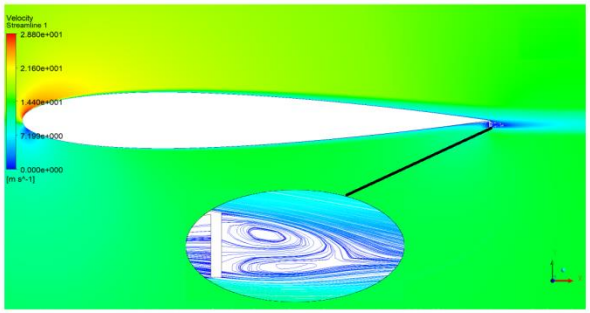
ISBN: 978-605-71156-5-2



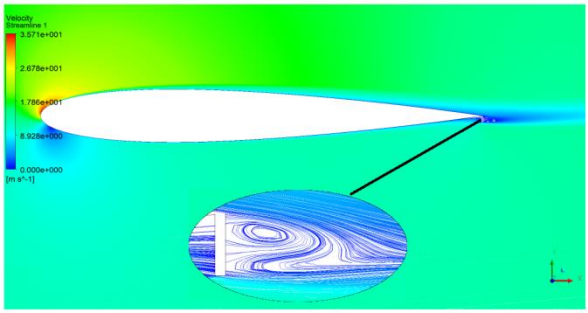

(a)



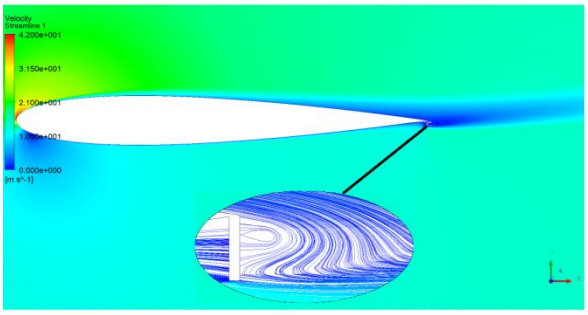

(b)



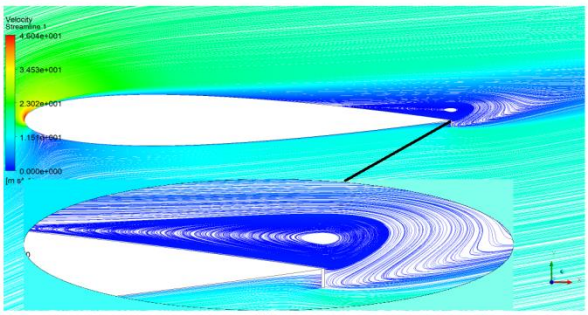

(c)



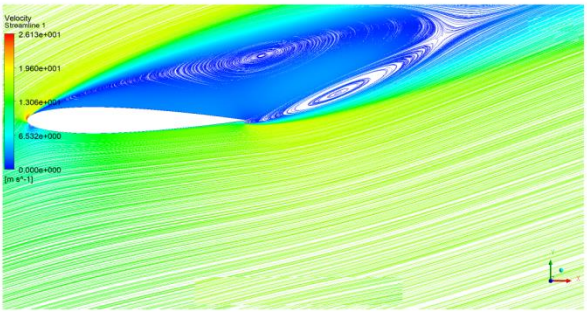

(d)




(e)




(f)




(g)

**Şekil 12**. θ=90°Gurney flap yapısına ait akış yapısının hücum açısıyla değişimi

Kanat profilinin α=12°'deki sahip olduğu akış yapısı Şekil 12e'de gösterilmektedir. Bu akış yapısında bir önceki hücum yapısındaki girdap yapısının genişliğine kıyasla daha küçük genişlikte fakat daha uzun bir girdap yapısı mevcut olduğu görülmektedir. Şekil 12f'deki kanat profilinin α=15° akış yapısı incelendiğinde Gurney flap yapısının arkasında bir girdap yapısının bulunmadığı görülmektedir. Aynı zamanda α<15°durumlarda gözlemlenmeyen kanat üst yüzeyindeki akış

ISBN: 978-605-71156-5-2

yapısının ayrılma durumu α=15°'de görülmüştür. Görülmekte olan akış yapısı, SST k-ω modelindeki α=15°'de oluşan $C_L$ katsayısının S-A türbülans modelinden ve deneysel veriden fazla oluşunu açıklamaktadır. S-A türbülans modelinde aynı α açısı değerinde kanat üst bölgesinde biri hücum kenarına yakın diğeri ise firar kenarına yakın iki adet girdap yapısı mevcuttur. Kanat üzerinden ayrılan akışta meydana gelen girdap yapıları kanat üzerinde ekstra bir basınç uygulamakta ve kaldırma kuvveti dolayısıyla kaldırma katsayısında azalmaya neden olmaktadır. Şekil 12g'de α=18°'nin akış yapısı görülmektedir. S-A türbülans modelinde α=15°'deki akış yapısı SST k-ω modelinde α=18°'de görülmektedir. Kanat üst bölgesinde görülen iki girdap yapısının görece büyük olanı kanat hücum kenarından, küçük olanı ise Gurney flap yapısından başlamaktadır. Kanat üzeri akış ayrılması olarak adlandırılan "Stall" fenomeninde meydana gelen girdap yapıları aerodinamik uygulamalarda istenmeyen bir durumdur.

## SONUÇ

Bu çalışma ile Reynolds sayısının sabit bir parametre olarak Re= $1{,}0 \times 10^6$ belirlenmesi, Gurney flap ve hücum açılarının değişimi ile NACA 0012 kanat profili üzerindeki aerodinamik karakteristiklerin incelenmesi iki boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Gurney flap geometrisi olarak önceki çalışmalarda yer alan optimum tasarım parametreleri göz önüne alınmıştır. Aerodinamik analizlerde en çok tercih edilen iki türbülans modelinin kullanılmasıyla elde edilen veriler literatürdeki deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sayısal analiz verilerine göre maksimum $C_L$ kuvveti her iki türbülans modelinde de θ=90° yapısında gerçekleşmiştir.α=12°'den sonraki değerlerinde her iki türbülans modelinde de $C_D$ katsayısında ciddi oranda artış gözlemlenmiştir. $C_L/C_D$ katsayına oranın maksimum değeri α=6°'de gerçekleşmiştir. $C_D$ katsayısı deney sonuçlarına SST k-ω türbülans modeli, S-A türbülans modeline kıyasla daha yakın sonuçlar vermiştir. Genel anlamda SST k-ω türbülans modeli, S-A türbülans modeline göre deney verileri ile daha uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gurney flap yapısının eklendiği kanat profilinde $C_L$ katsayısını ve $C_D$ katsayında artışa sebep olduğu görülmektedir. Aerodinamik uygulamalarda istenmeyen yüksek $C_D$ katsayısı nedeniyle kanadın kullanılacağı durum için elde edilen veriler ışığında Gurney flap yapısında değişiklikler yapılabilir.

**KAYNAKÇA**

[1] Yalçın O. (2016). Havacılık, hava gücünün doğuşu ve Birinci Dünya Savaşına etkisi. *Ankara Üniversitesi Türk İnkılap Tarihi Enstitüsü Atatürk Yolu Dergisi*, *59*, 181-236.doi: 10.1501/Tite_0000000455

[2] Özkan G. M. (2020). Experimental investigation of the flow characteristics around a NACA0012 airfoil subjected to stall and post-stall conditions. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, *35 (2),* 369-378. http://dx.doi.org/10.21605/cukurovaummfd.792424

[3] Rubel RI. Uddin K. Islam Z. Rokunuzzaman M. D. (2016). Numerical and experimental investigation of aerodynamics characteristics of NACA 0015 aerofoil. *International Journal of Engineering Technologies, 2 (4).http://dx.doi.org/10.19072/ijet.280499*

[4] Kandwal S. Singh SD. (2012). Computational fluid dynamics study of fluid flow and aerodynamic forces on an airfoil. *International Journal of Engineering and Technology 1 (7),*1-8. p.ID: IJERTV1IS7043

[5] Sullivan A. (2010). Aerodynamic forces acting on an airfoil. *Physics Department, The College of Wooster, Ohio, USA*

[6] Çengel Y. Cimbala JM. (2020). *Akışkanlar mekaniği* (s.612).KozaMatbaacılık: Palme Yayınevi.

[7]Ahmed T. AminMdT. Islam SMR. Ahmed S. (2013). Comuputational study of flow around a NACA 0012 wing flapped at different flap angles with varying Mach numbers. *Global Journal of Researches in Engineering, 8 (4).*ISSN: 2249-4596

[8] Wang JJ. Li YC. Choi KS. (2008). Gurney flap-lift enchancement. *Mechanisims and Application Progress in Aerospace Sciences,44 (1),*22-47.doi:10.1016/j.paerosci.2007.10.001

[9]NaderiA.Beiki A. Tarvirdizadeh B. (2018). Numerical investigation of Gurney flap influences on aerodynamic performance of pitching airfoil in low Reynolds number flow. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G:Journal of Aerospace Engineering,233 (10).*doi:10.1177/0954410018808708

[10] Jain S. Sitaram N. Krishnaswamy S. (2014). Computational investigations on the effects of Gurney flap on airfoil aerodynamics. *Hindawi Publishing Corporation International Scholarly Research Notices,2015.* https://doi.org/10.1155/2015/402358

[11] Liebeck RH.(1989).Subsonic airfoil design. Douglas Aircraft Company, McDonnel Douglas Corporation, Long Beach, California. doi: 10.2514/4.865985

[12] Greenbalt D.(2011).Application of large Gurney flaps on low Reynolds number fan blades. *Journal of Fluid Engineering*, *133*. doi:10.1115/1.4003301

[13] Mohammedi M. Doosttlab A. Doosttlab M. (2012). The effect of various Gurney flap shapes on the performance of wind turbine airfoils. *ASME Early Career Technical Conference,11.*doi:10.13140/RG.2.1.3460.6800

[14] Patel HS. (2015). A study on a CFD analysis of pressure difference on NACA 0012 airfoil by changing Gurney flap height and angle of attack. *Indian Journal of Applied Research,5 (4).* doi:10.36106/IJAR

[15] Traub LW. Chandrashekar S. M. (2016). Experimental study on the effects of wing sweep on Gurney flap performance. *Aerospace Science and Technology,*55,57-63. http:/dx.doi.org/10.1016/j.ast.2016.05.015

[16] Patil M. Jatadhara Mr. Ramesh V. (2017). Gurney flap studies on lift and drag of an aerofoil NACA0012. *International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering (IJERMCE),2 (5).*ISSN 2456-1290

[17] Chen L. Xie H. Xu J. Dai R. Chen J. (2018). Experimental and numnerical study on the performance of an axial fan with a Gurney flap. *Advances in Mechanical Engineering,*10 *(10),*1-17.doi:10.1177/1687814018803804

[18] Sieradzki A. (2018). Gurney flap and t-strip alternatives in application to typical aircraft steer surface. *Journal of KONES Powertrain and Transport,25 (1).*doi:10.5604/01.3001.0012.2491

[19] Ganesan K. Gowtham S. (2019). Study of effect of Gurney flap on inverted NACA 23012 rear wing. *International Journal of Engineering Research &Technology,8 (5).***ID:**IJERTV8IS050195

[20] Yan Y. Avital E. Williams J. Korakianitis T. (2019). CFD analysis for the performance of Gurney flap on aerofoil and vertical axis turbine. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research,8 (3).*doi:10.18178/ijmerr.8.3.385-392

[21] Mashari M. Mousavi M. Mojtaba T. (2020). Dynamic stall of an airfoil with different mounting angle of Gurney flap. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology.* doi:10.1108/AET-03-2019-0042

[22] Suresh M. Sitaram N. (2022). Effect of Gurney flap height and mounting position on the performance of a centrifugal fan. *Journal of Applied Fluid Mechanics,15 (1),*225-269. https://doi.org/10.47176/jafm.15.01.32788

[23] Eleni DC. Athanasios TI. Dionissios MP. (2012). Evaluation of turbulence models for simulation of the flow over a National Advisory Committee for Aeronaustics (NACA) airfoil. *Journal of Mechanical Engineering Research,*4 (3), 100-111.doi:10.5897/JMER11.074

[24] Shahariar GMH. Hasan MR. Mashud M. (2014). Numerical analysis and comparison on aerodynamics characteristics of NACA 0012 & NACA 4412. *International Conference on Mechanical. Industrial and Energy Engineering.*

[25] Lissaman PBS. (1983). Low Reynolds number airfoils. *Annu. Rev. Fluid Mech.* doi: 10.1146/annurev.fl.15.010183.001255

[26] Splarat P. Allmaras S. (1994). A one equation turbulence model for aerodynamic flows. *La Recherche Aerospatiale,1,* 5-21.doi:10.2514/6.1992-439

[27] Rumsey C. (2021). The Menter Shear Stress Transport Turbulence Model. Turbulence Modeling Resource. NASA Langley Research Center

[28] Winslow J.Otsuka H. Govindarajan B. Chopra I. (2018). Basic understanding of airfoil characteristics at low Reynolds Number.*Journal of Aircraft*, 55 (3). doi:10.2514/1.C034415

ISBN: 978-605-71156-5-2

[29] Jang CS. Ross JC. Cummings RM. (1998). Numerical investigation of an airfoil with a Gurney flap. *Aircraft Design Journal*,1 (2),75-88.http://dx.doi.org/10.1016/S1369-8869 (98)00010-X

## SEMBOLLER

| | |
|---|---|
| c | Veter Uzunluğu (Chord) |
| α | Hücum Açısı |
| θ | Flap Açısı |
| S-A | Spalart-Allmaras |
| HAD | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği |
| SST | Kayma Gerilmesi Transport (Shear Stress Transport) |
| K | Türbülans Kinetik Enerjisi |
| Ω | Türbülans Genişlik Skalası |
| E | Türbülans Dağılım Oranı |
| μ | Dinamik Viskozite |
| $\mu_t$ | Türbülans Viskozitesi |
| NACA | National Advisory Committee for Aeronaustics |
| $F_D$ | Sürüklenme Kuvveti |
| $F_L$ | Kaldırma Kuvveti |
| $C_D$ | Sürüklenme Katsayısı |
| $C_L$ | Kaldırma Katsayısı |
| ρ | Yoğunluk |
| A | Kesit Alanı |
| U | Serbest Akım Hızı |
| ∇ | Del Operatörü |

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Gıda Analizlerinde Akıllı Telefon ile Renk Ölçümü: Spektrofotometrik Ölçüme Kolay ve Düşük-Maliyetli Bir Alternatif

*Deniz BAŞ*[1]
*Seda ÖZGEN*[2]

**Özet**

Gıda analizleri, gıda kalitesinin ve gıda güvenliğinin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Gıda analizleri kapsamında kullanılan cihazlar içerisinde spektrofotometreler önemli bir yer tutmaktadır. Bu cihazlar, yüksek yatırım maliyeti, bakım ve uzmanlık gerektirdiği için erişilebilir olmaktan uzaktır. Ayrıca, taşınabilir olmamaları nedeniyle de yerinde analize olanak tanımamaktadır. Bunlara ek olarak, piyasanın büyümesi gereken analiz sayısının da artmasına neden olmakta ve günümüz koşullarında analiz maliyetinin düşürülmesi önemli bir parametre olmaktadır. Tüm bu nedenler, gıda analizlerinin yerinde, hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli yapılmasına olanak tanıyan yenilikçi yöntemleri zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, günümüz koşullarında istisnasız herkes tarafından kullanılan akıllı cep telefonlarının gıda analizlerinde kullanılma potansiyelinin incelenmesi hedeflenmektedir. Akıllı cep telefonları, sahip oldukları kamera ile kaliteli görüntü yakalanması, bu görüntünün incelenmesi/işlenmesi ve işlenen görüntünün değerlendirilmesine olanak tanıması ile gelecek vaat eden bir platformdur. Akıllı cep telefonları ile yakalanan görüntüden renk ölçümü yapılması ve uluslararası standartlara uygun olan L*a*b renk uzayı değerlerinin telefon ile belirlenmesi mümkündür. Bu çalışma kapsamında, kolorimetrik gıda analizlerine ait görüntüler akıllı telefon ile elde edilmiş, renk ölçümü yapılmış ve sonrasında spektrofotometre ile gerçekleştirilen absorbans ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak akıllı telefon ile yapılan renk ölçümü ile kantitatif analizin mümkün olduğu gözlemlenmiş ve akıllı telefon kullanımı herhangi bir yatırıma ihtiyaç duyulmadan kolorimetrik gıda analizlerinin düşük maliyetle ve kolaylıkla yapılabileceği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** renk ölçümü, akıllı telefon, L*a*b* renk, gıda analizi

[1] Dr. Öğretim Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0003-1494-681X
[2] Dr. Öğretim Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-9952-5015

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Giriş**

Akıllı telefonlar sahip oldukları dokunmatik ekran, çoklu çekirdeğe sahip işlemciler ve dijital kamera gibi gelişmiş tümleşik ekipmanlar sayesinde oldukça yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. 2018 yılı itibari ile dünya nüfusu 7.6 milyara ulaşmış olup, bunun içerisinde 2.5 milyar insanın akıllı telefon sahibi olduğu belirtilmektedir (Anonim, 2018). Diğer bir deyişle dünya) nüfusunun % 33'ü akıllı telefon kullanmaktadır. Akıllı telefonların böylesine yaygın hale gelmesi ve sahip oldukları üstün hesaplama yeteneği, yüksek görüntü çözünürlüğü ve açık kaynak kodlu işletim sistemleri gibi önemli özellikler nedeniyle, biyoanaliz amacıyla kullanımı popülerlik kazanmıştır. Resim işleme, metin düzenleme, internet erişimi, yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve istekler doğrultusunda düzenlenebilen yazılımları ile akıllı telefonlar biyoanaliz ve biyosensör pazarının önemli bir oyuncusu olma yolunda ilerlemektedirler (Zhang ve Liu, 2016).

Akıllı telefonlar kontrol ünitesi, analizör veya sadece ekran olarak kullanılabilmekte, böylece hızlı ve eş-zamanlı bakım noktası (point-of-care) analizlerinin vazgeçilmez bir parçası olma potansiyeli taşımaktadırlar (Zhang ve Liu, 2016). Cep telefonunun sadece görüntü almak amacıyla kullanıldığı (Martinez ve ark., 2008) ilk biyoanaliz çalışmasından bugüne kadar geçen süre içerisinde cep telefonları yerini akıllı telefonlara bırakmış ve optik ve elektrokimyasal pek çok analitik uygulamada kullanılmışlardır (Zhang ve Liu, 2016). Optik sistemler incelenecek olursa, yüzey plazmon rezonans (Preechaburana ve ark., 2012), plazmonik nanosensörler (Fu ve ark., 2016), fresnel spektrometresi (Zhang ve ark., 2016) ve görünür bölge spektrometre (Franco ve ark., 2016; Grasse ve ark., 2016; Wang ve ark., 2016) çalışmaları ile karşılaşılmaktadır. Bu çalışmaların tamamı akıllı telefonların görüntüleme ünitesi olarak kullanıldığı ancak grating, LED şeritler ve aynalar gibi optik ekipmanlarla bir arada kullanılmışlardır. Bunlara ek olarak, özel yazılımlar tasarlanarak uygulamaya özel hale getirilmişlerdir. Diğer taraftan, bu çalışmanın konusuna benzer şekilde tek bir çalışma ile karşılaşılmıştır (Kehoe ve Penn, 2013). 2013 yılında rapor edilen bu çalışmada akıllı telefon ile görüntüleme yapılarak kolorimetrik ölçüm gerçekleştirilmiş ve yöntemin eğitim amaçlı kullanılabileceği üzerinde durulmuştur. Çalışma kapsamında mavi gıda boyası ve turuncu renkli sporcu içeceği kullanılmış ve bunların farklı derişimlerdeki çözeltileri hazırlanarak Beer-Lambert yasasına uygun sonuç alınıp alınamayacağı incelenmiştir. Ölçüm küvetleri iyi bir şekilde aydınlatılarak görüntüleme yapılmış ve RGB renk uzayı verileri ile spektrometre ile ölçülen absorbans değerleri karşılaştırılmıştır. Görüntüleme sırasında bir ışık kaynağının kullanılmasının başarılı sonuç alınmasının bir şartı olduğu belirtilmiştir. Bunun nedeni, RGB renk uzayında ışık miktarının her üç kanalda da ifade edilmesidir. L*a*b* renk uzayında ise RGB'den farklı olarak ışık miktarı sadece tek bir kanalda ifade edilmekte, böylece L*a*b* ortamdan bağımsız sonuçlar üretilmesine olanak tanımaktadır. 2017 yılında tamamlanan ve akıllı telefon ile kağıt tabanlı platformlarda kolorimetrik analiz yapılan çalışmamızda da bahsedildiği gibi RGB renk uzayında ortam aydınlatmasından kaynaklanan sapmalar, analiz performansını olumsuz etkilemektedir (Baş, 2017).

Bu çalışma kapsamında L*a*b* renk uzayı kullanılarak, yaygın olarak kullanılan bazı gıda analiz yöntemlerinin akıllı telefon ile gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda; toplam lipid, nitrosomyoglobin, hidroksiprolin, myoglobin ve tiyobarbütirik asit (TBA) analizleri

gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda spektrofotometre ile absorbans değerleri ölçülerek kalibrasyon grafikleri elde edilmiştir. Bunlara ek olarak, absorbans ölçümü yapılan küvetler herhangi bir düzenek, aydınlatma sistemi vb. olmadan akıllı telefon ile görüntülenmiş ve renk ölçümü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, akıllı telefonla renk ölçümünün spektrofotometrik ölçümlere düşük maliyetli ve kolay bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

**Yöntem**

**Kimyasal Maddeler:** Potasyum siyanid, potasyum ferrisiyanid, 2-tiyobarbütirik asit, sülfanilamid, hidroksiprolin, kloramin-T, 4-dimetilamino benzaldehit, perklorik asit, sitrik asit, sodyum asetat, sodyum hidroksit, barbütirik asit, , vanilin, sülfirik asit ve aseton Sigma-Aldrich (Almanya)'dan temin edilmiştir. Tüm çözeltiler, MilliQ kalite deiyonize su kullanılarak hazırlanmıştır.

**Kullanılan Cihazlar:** Absorbans ölçümleri Agilent Cary 60 Spektrofotometre, görüntüleme ve renk ölçümleri Samsung J5 cep telefonu ile gerçekleştirilmiştir.

**Analiz Yöntemleri:** Çalışma kapsamında, toplam lipid, nitrosomyoglobin, hidroksiprolin, myoglobin ve TBA testleri gerçekleştirilmiş, örnekler hem spektrofotometre ile ölçülmüş hem de cep telefonu ile görüntülenerek renk ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Toplam lipid tayini: Toplam lipid tayini amacıyla kolorimetrik "sülfo-fosfo-vanilin" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, lipidlerin sülfürik asit ile reaksiyona girmesi sonucunda karbonyum iyionlarının oluşması ve oluşan bu iyonların vanillin fosfat esterleri ile reaksiyona girerek renkli kompleksler meydana getirmesi esasına dayanmaktadır. Oluşan renkli komplekslerin absorbansının 530 nm'de spektrofotometrik olarak ölçülmesi ile analiz gerçekleştirilmektedir (Knight ve Rawle, 1972).

Nitrosomyglobin tayini: Yöntem kürlenmiş et ürünlerinden aseton-saf su çözeltisi ile nitroso pigmentlerinin ekstraksiyonunu hedeflemektedir. Yöntem kapsamında, köre karşı okuma yapılır ve ppm cinsinden nitrosomyoglobin bileşenlerinin miktarı 290 ile çarpılarak bulunur (Vural ve Öztan, 1996).

Hidroksiprolin tayini: Örnekte bulunan L-hidroksiprolin, kloramin T ile yükseltgenerek, p-dimetilaminobenzaldiehit varlığında kırmızı renkli bir çözelti oluşturur. Bu çözeltinin 558 nm' deki absorbansının ölçülmesi ile miktar tayini yapılır (Vural ve Öztan, 1996).

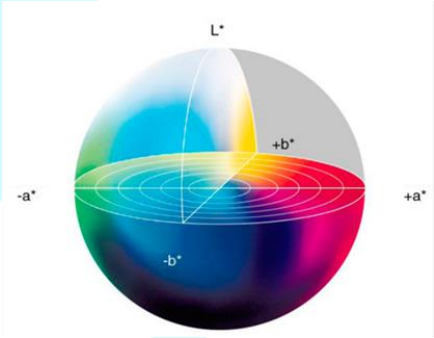
Myoglobin tayini: Myoglobin ve hemoglobin ette benzer reaksiyonlar geçiren protein kompleksleridir. Hemoglobin kanda kırmızı renk pigmenti olarak bulunur ve dokulara oksijen taşıyıcı olarak iş görür. Kasta en fazla bulunan myoglobin ise hücresel düzeyde oksijen mekanizmasında görevlidir. Myoglobin miktarının belirlenmesindeki prensip, ette bulunan protein karakterindeki renk bileşenlerinin suya geçirilmesi, kurşun asetat ile myoglobin dışındaki diğer bileşenlerinin ayrılması, tampon çözelti içinde renk stabilitesini sağlayan (potasyum siyanit ve potasyum ferrisiyanid) kimyasal ilavesiyle 540 nm'de spektrofotometrik ölçüme dayanmaktadır (Vural ve Öztan, 1996).

Tiyobarbütirik Asit (TBA) Testi: yapılan çalışmalar, etin oksidayon ürünlerinin TBA ile renk reaksiyonu verdiğini göstermiştir. Çoklu doymamış yağ asitlerinin otooksidayonu süresince

ISBN: 978-605-71156-5-2

molonaldehit oluşur (Vural ve Öztan, 1996). Oluşan molonaldehit, p-metilaminobenzaldehit ve kloramin T ile reaksiyona girdiğinde 558 nm'de maksimum absorbans yapan bir kompleks oluşmaktadır.

Nicel Veri Analizi: Spektrofotometrik olarak absorbans ölçümlerinin yapılmasının hemen ardından örnekler Samsung J5 akıllı telefon ile görüntülenmiştir. Alınan görüntülerde Colorgrab uygulaması kullanılarak renk ölçümü yapılmıştır. Renk ölçümü standart olarak kabul gören L*a*b* renk uzayı kullanılarak yapılmıştır. L*a*b* renk uzayında L* parlaklık/ışık değerlerini ifade etmektedir (Şekil 1). Siyah renk L*=0, beyaz ise L*=100 değerleri ile tanımlanmaktadır. Yeşil/kırmızı renk bileşenleri a* ekseni boyunca tanımlanmakta, negatif a* değerleri yeşil rengi, pozitif a* değerleri ise kırmızı rengi ifade etmektedir. Benzer şekilde sarı/mavi renk bileşenleri b* ekseni boyunca tanımlanmıştır. Mavi renk negatif b*, sarı renk ise pozitif b* değerleri ile ifade edilmektedir.




**Şekil 1. L*a*b* renk uzayı ve bileşenleri**

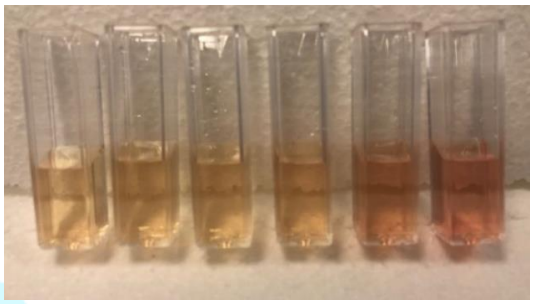
## Bulgular

Çalışma kapsamında, toplam lipid, nitrosomyoglobin, hidroksiprolin, myoglobin ve TBA testleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda paylaşılmıştır.

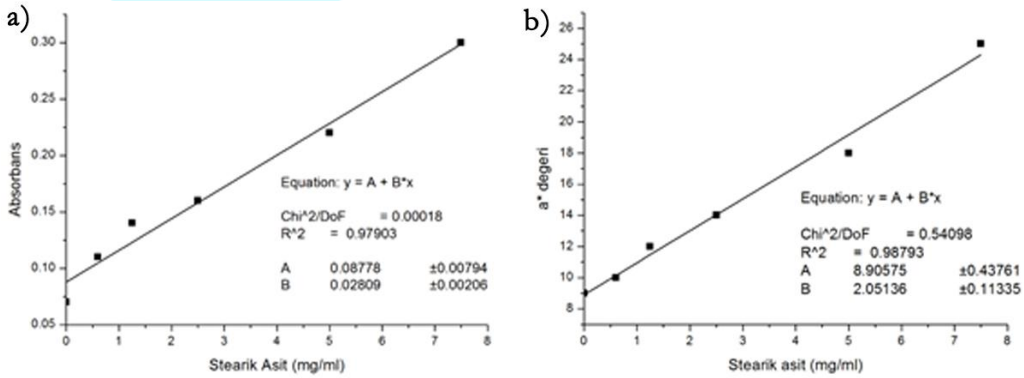
## Toplam lipid

Sulfo-fosfo-vanillin yönteminde lipid sülfürik asit ile reaksiyona girmekte ve karbonyum iyonları oluşturmaktadır. Oluşan bu iyonlar, vanillin fosfat esterleri ile reaksiyona girerek renkli kompleksler meydana getirmektedir. Ortamdaki toplam lipid miktarı ile oluşan rengin yoğunluğu orantıldır. Bu amaçla, 0.6 – 7.5 mg/ml derişim aralığında stearik asit standart olarak kullanılmış ve 20 µl standart örnek çözeltisine 2 ml derişik sülfürik asit eklenerek 90°C'de 10 dakika inkübe edilmiştir. Süre sonunda, 6 mg/ml vanilin çözeltisinden 4 ml alınıp üzerine 12 ml derişik fosforik asit eklenmesi ile hazırlanan renk reaktif çözeltisinden eklenmiş ve 10 dakika sonra absorbans değerleri 530 nm'de ölçülmüştür. Toplam lipid tayin yöntemi için alınan görüntü Şekil 2'de, ölçülen absorbans değerleri Şekil 3a ve renk ölçümü sonuçları (a* değeri) Şekil 3b'de verilmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde absorbans ve renk ölçümü ile elde edilen her iki kalibrasyon denkleminin doğrusal olduğu ve renk ölçüm sonuçlarının daha yüksek bir $R^2$ değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2



**Şekil 2. Toplam lipid analiz yöntemine ait görüntü**

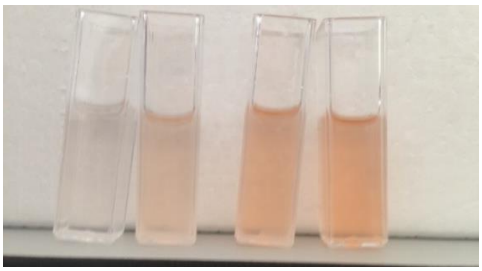



**Şekil 3. Toplam lipid yöntemi a) absorbans değerleri, b) renk ölçümü a* değerleri**

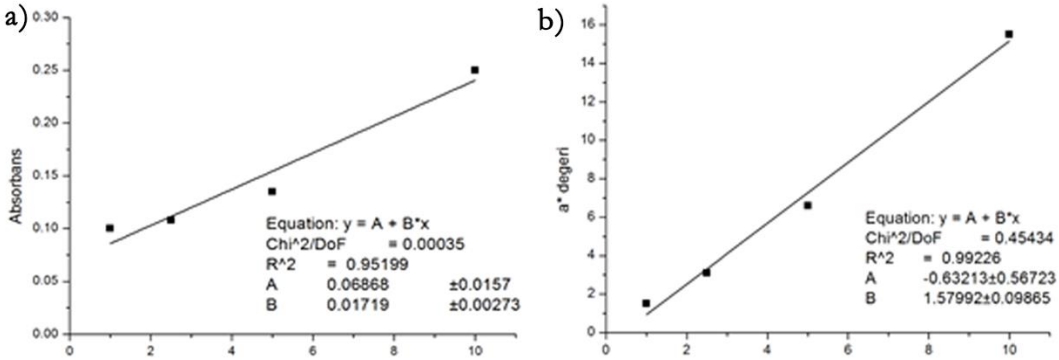
**Nitrosomyoglobin**

Nitrosomyoglobin analizi 10 g örnek kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Örnek üzerine 40 ml aseton+ 3 ml saf su içeren karışım eklenmiş, 5 dk hızlıca çalkalanıp süzülmüş ve santrifüj edilmiştir. 540 nm'de 40 ml aseton+ 3 ml saf su içeren köre karşı okuma yapılmıştır. Yöntemin etkinliğini daha iyi gösterebilmek amacıyla, 1, 2.5, 5 ve 10 g örnek (sosis örneği) kullanılmıştır. Farklı miktarda örnek kullanılması sonucunda süzüntüye geçen nitrosomyoglobin miktarlarının farklı olması sağlanmıştır. Nitrosomyoglabin analizi amacıyla elde edilen süzüntülere ait görüntü Şekil 4' de verilmektedir. Absorbans ölçüm sonuçları Şekil 5a' da, renk ölçüm (a* değerleri) sonuçları ise Şekil 5b' de verilmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde akıllı telefon ile yapılan renk ölçümü ile daha yüksek performans elde edilmiştir. Sonuçların doğrusallığı daha yüksek olup, $R^2$ 0.99226 değeri ile absorbans sonuçlarından ($R^2$=0.95199) daha iyi analitik performans göstermiştir. Bu durum, süzüntünün berrak olmaması nedeni ile absorbans ölçümlerinde sapmalar gözlemlenmesi ile açıklanabilmektedir. Diğer taraftan, renk ölçüm işleminin süzüntünün fiziksel yapısından etkilenmediği bu nedenle de daha yüksek bir analitik performans elde edildiği düşünülmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2



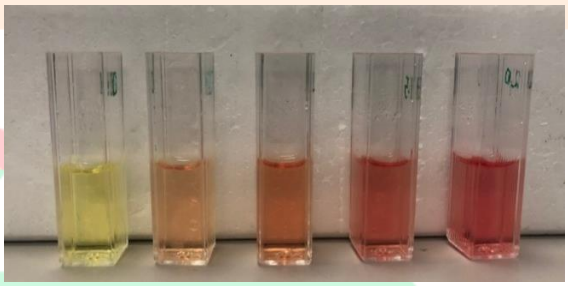
**Şekil 4. Nitrosomyoglobin analizine ait görüntü**




**Şekil 5. Nitrosomyoglobin yöntemi a) absorbans sonuçları, b) renk ölçümü**

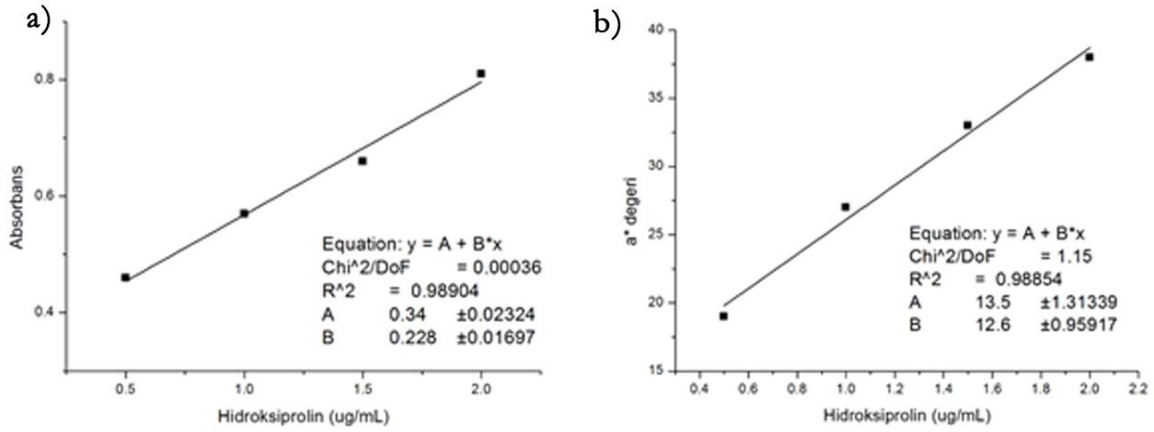
**Hidroksiprolin**

Bu analiz kapsamında, 0.5, 1, 1.5 ve 2 µg/ml derişimde hazırlanan standart hidroksiprolin çözeltilerinden 2 ml alınmış, üzerine 1 ml kloramin-T çözeltisi eklenmiş ve 20 dakika oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. Süre sonunda 1 ml p-dimetilamino benzaldehit içeren renk reaktifi eklenerek 60ºC'de 20 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyon işleminin ardından soğutularak 588 nm'de absorbans ölçümü yapılmıştır. Hidroksiprolin tayini sonucunda elde edilen görüntü Şekil 6' da, absorbans değerleri Şekil 7a ve renk ölçüm (a* değeri) sonuçları ise Şekil 7b'de verilmektedir. Analiz kapsamında, absorbans ve renk ölçümü grafiklerinin her ikisi de doğrusal olarak elde edilmiştir.



**Şekil 6. Hidroksiprolin tayini için elde edilen görüntü**

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 7. Hidroksiprolin tayini a) absorbans ölçüm sonuçları, b) renk ölçümü sonuçları**

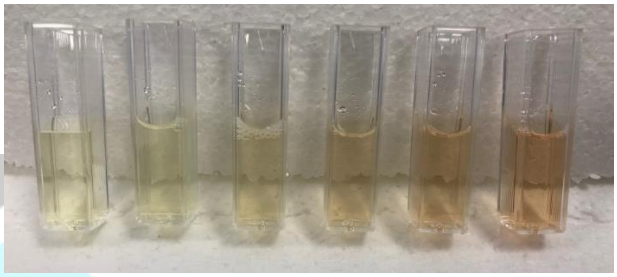
## Myoglobin

Myoglobin miktarının belirlenmesindeki prensip, ette bulunan protein karakterindeki renk bileşenlerinin suya geçirilmesi, kurşun asetat ile myoglobin dışındaki diğer bileşenlerinin ayrılması, tampon çözelti içinde renk stabilitesini sağlayan (potasyum siyanit ve potasyum ferrisiyanid) kimyasal ilavesiyle 540nm'de spektrofotometrik ölçüme dayanmaktadır. Yöntemin incelenmesi amacıyla standart olarak kullanılabilecek ve saf olarak temin edilebilecek myoglobin temin edilmesi zordur. Bu noktada, kırmızı ve beyaz etlerin myoglobin içeriklerinin farklı olmasından hareketle, kırmızı ve beyaz etlerden oluşan çeşitli karışımların hazırlanması uygun görünmüştür. Hazırlanan örneklerdeki kırmızı ve beyaz et miktarları ve bu örneklerin adlandırılması Çizelge 1'de verilmektedir. Myoglobin tayin yönteminin uygulanması sonrasında elde edilen örnek çözeltilerine ait görüntü Şekil 8'de verilmektedir. Elde edilen spektrofotometrik sonuçlar Şekil 9a' da ve renk ölçümü sonuçları ise Şekil 9b' de verilmektedir.

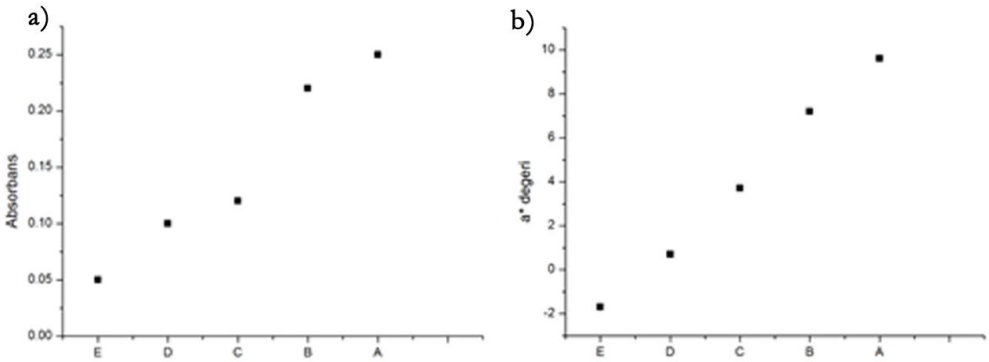
**Çizelge 1. Myoglobin analizinde kullanılan kırmızı ve beyaz et miktarları**

| Örnek | Kırmızı et (g) | Beyaz et (g) |
|---|---|---|
| A | 10 | 0 |
| B | 8 | 2 |
| C | 6 | 4 |
| D | 2 | 8 |
| E | 0 | 10 |

ISBN: 978-605-71156-5-2



**Şekil 8. Myoglobin tayini için elde edilen görüntü (soldan sağa: kontrol ve numuneler (E, D, C, B ve A))**




**Şekil 9. Myoglobin analizi a) absorbans değerleri, b) renk ölçüm sonuçları**

**TBA testi**

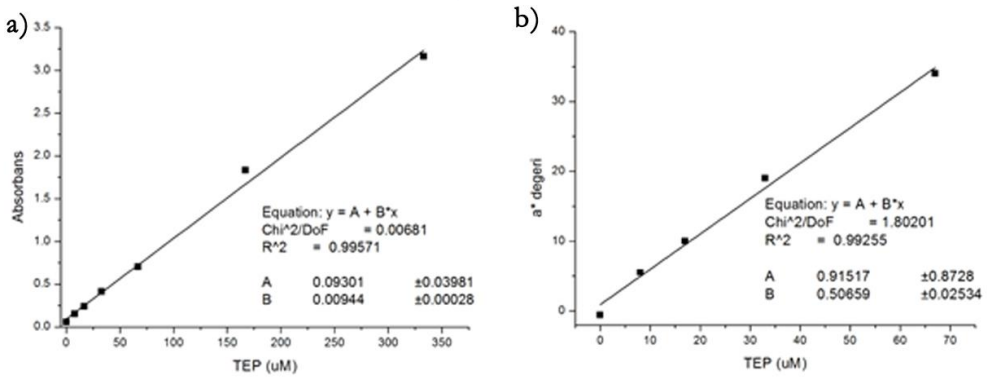
Çoklu doymamış yağ asitlerinin otooksidayonu süresince molonaldehit oluşur ve oluşan molonaldehit, p-metilaminobenzaldehit ve kloramin T ile reaksiyona girdiğinde 558 nm'de maksimum absorbans yapan bir kompleks meydana gelmektedir. TBA testi için 0.28 g TBA ve %90'lık glacial asetik asit kullanılarak 100 ml analiz çözeltisi hazırlanmıştır. Test kapsamında standart olarak farklı derişimlerde TEP çözeltileri kullanılmıştır. 4 M'lık TEP çözeltisinden 25 ul alınarak suyla 100 ml'ye tamamlanmış ve 1 mM'lık çalışma çözeltisi hazırlanmıştır. TBA testi deney planı Çizelge 2'de verildiği şekilde planlanmış ve analiz karışımların 30 dakika kaynar su banyosunda bekletilmesi ile gerçekleştirilmiştir. TBA testi sonucunda elde edilen görüntü Şekil 10'da verilmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Çizelge 2. TBA testi deney planı**

| TEP (mL) | TBA (mL) | Su (mL) |
|---|---|---|
| 1 | 0.5 | 1.5 |
| 0.5 | 0.5 | 2 |
| 0.2 | 0.5 | 2.3 |
| 0.1 | 0.5 | 2.4 |
| 0.05 | 0.5 | 2.45 |
| 0.025 | 0.5 | 2.475 |
| 0 | 0.5 | 2.5 |

**Şekil 10. TBA testi sonuçlarına ait görüntü**




**Şekil 11. TBA testi a) absorbans ölçüm sonuçları, b) renk sonuçları kalibrasyon grafiği**

TBA testi absorbans sonuçları Şekil 11a' da verilmekte olup, 333 µM TEP derişimine kadar doğrusal bir davranış gözlemlenmektedir. Ancak, bu durum Beer-Lambert yasası göz önünde alındığında çok sık karşılaşılan bir durum değildir. Absorbans değerlerinin 1 ve üzeri olduğu durumlarda sapma olması çok karşılaşılan bir durumdur. Bu noktada, absorbans değerlerinin 0-1 aralığında olduğu ve 67 µM TEP derişimine kadar doğrusal olan bölgenin kullanılması daha doğru olacaktır. Diğer taraftan, renk ölçümü sonuçları 67 µM TEP derişimine kadar doğrusal davranış göstermektedir (Şekil 11b).

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Sonuçlar ve Tartışma**

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen, toplam lipid, nitrosomyoglobin, hidroksiprolin, myoglobin ve TBA analizleri sonucunda renk ölçümü ile elde edilen kalibrasyon grafiklerinin doğrusal olduğu, elde edilen $R^2$ değerlerinin 0,98'in üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu da renk ölçümü ile kantitatif analiz gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak, akıllı telefon ile görüntüleme yapılarak spektrofotometre gibi yüksek maliyetli bir cihaza ihtiyaç duyulmaksızın analiz yapılabileceği ortaya konulmuştur.

**Teşekkür**

Yazarlar, "Gıda Analizlerinde Akıllı Telefon ile Görüntüleme ve Renk Ölçümü" başlıklı **MF200217B07** numaralı projeye mali desteğinden ve ilgisinden dolayı **Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü**' ne teşekkür etmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynaklar**

Anonim. (2018). "Number of smartphone users worldwide from 2014 to 2020 (in billions)." Retrieved 09.06.2018, 2018, from www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/.

Baş, D. (2017). "Sensitive and reliable paper-based glucose sensing mechanisms with smartphone readout using the L*a*b* color space." Analytical Methods **9**(47): 6698-6704.

Franco, M. d. O. K., W. T. Suarez ve V. B. d. Santos (2016). "Digital Image Method Smartphone-Based for Furfural Determination in Sugarcane Spirits." Food Anal. Methods.

Fu, Q., Z. Wu, F. Xu, X. Li, C. Yao, M. Xu, L. Sheng, S. Yu ve Y. Tang (2016). "A portable smart phone-based plasmonic nanosensor readout platform thatmeasures transmitted light intensities of nanosubstrates using an ambient light sensor." Lab Chip **16**: 1927-1933.

Grasse, E. K., M. H. Torcasio ve A. W. Smith (2016). "Teaching UV−Vis Spectroscopy with a 3D-Printable Smartphone Spectrophotometer." Journal of Chemical Education **93**: 146-151.

Kehoe, E. ve R. L. Penn (2013). "Introducing Colorimetric Analysis with Camera Phones and Digital Cameras: An Activity for High School or General Chemistry." Journal of Chemical Education **90**(9): 1191-1195.

Knight, J. Anderson, S. Rawle, Jm. 1972. "Chemical Basis of The Sulfo-Phospho-Vanillin Reaction For Estimating Total Serum Lipids", Clinical Chemistry. Mar;18(3):199-202.

Martinez, A. W., S. T. Phillips, E. Carrilho, S. W. Thomas, 3rd, H. Sindi ve G. M. Whitesides (2008). "Simple telemedicine for developing regions: camera phones and paper-based microfluidic devices for real-time, off-site diagnosis." Anal Chem **80**(10): 3699-3707.

Preechaburana, P., M. C. Gonzalez, A. Suska ve D. Filippini (2012). "Surface plasmon resonance chemical sensing on cell phones." Angew Chem Int Ed Engl **51**(46): 11585-11588.

Wang, Y., X. Liu, P. Chen, N. T. Tran, J. Zhang, W. S. Chia, S. Boujday ve B. Liedberg (2016). "Smartphone spectrometer for colorimetric biosensing." **141**: 3233-3238.

Zhang, C., G. Cheng, P. Edwards, M.-D. Zhou, S. Zheng ve Z. Liu (2016). "G-Fresnel smartphone spectrometer." Lab Chip **16**: 246-250.

Zhang, D. ve Q. Liu (2016). "Biosensors and bioelectronics on smartphone for portable biochemical detection." Biosens Bioelectron **75**: 273-284.

Vural H. ve Öztan A. (1996). "Et Ve Ürünleri Kalite Kontrol Laboratuvarı Uygulama Kılavuzu", Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları (36).

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Elektrikli Araçların Batarya Kutularında Tasarımın Yapıştırma Uygulamasına Etkisi

*Dilek ŞENGÜL NİŞANCI*[1]
*Enes KURTULUŞ*[2]

**Özet**

2020 yılında Dünya Elektrikli Araç pazarında 2,5-3 milyona yakın elektrikli araç satışı yapılmıştır. 2021 yılında ise bu değerin 6,6 milyona ulaştığı bilinmektedir. Bu da yaklaşık %100'lük bir artış ile yükselişin arttığını göstermektedir. Popüleritesinin ve satışlarının artmasıyla tüm firmalarda elektrikli araçlar özelinde geliştirme çalışmaları devam etmektedir.
Global olarak tüm dünyanın yönelimini kazanan elektrikli araçlarda, bu araçların en kritik parçası olan batarya kutusu özelinde çalışmaların yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Bu geliştirme çalışmaları; batarya taşıyıcı sistemin konstrüksiyonu ve araç mimarisinden pil teknolojisinin geliştirilmesine kadar pek çok farklı detayı kapsamaktadır. Batarya kutularında bir çok alt parça ve sistem bulunmaktadır. Batarya kutusunun alt sistemlerinin bir araya getirilmesi ve validasyon testleri ile müşteri istek ve beklentilerinin karşılanması hedeflenmektedir.
En genel anlamda batarya paketi; batarya kutusunun karkası, batarya yönetim sistemlerinin yer aldığı elektronik sistem ve batarya pilleri olacak şekilde üç ana sisteme ayrılabilir. Batarya karkasını/konstrüksiyonunu ise kendi içinde ana taşıyıcı/çerçeve, zemin, kapak olarak alt yapı olacak şekilde sınıflandırılır. Konstrüksiyonun her bir yapısı için farklı malzemelerden ilgili üretim metodolojilerinden parça üretimi yapılmaktadır. Bunun yanı sıra yapı ve alt sistemlerin montajlanması da tüm dünyanın çalışma konularından biridir. Birleştirme yönteminde geleneksel kaynak yöntemlerinin kullanımın yanı sıra, yenilikçi birleştirme yöntemleri de (sürtünme karıştırma kaynağı, yapısal yapıştırıcılar, kendinden kenetlemeli perçinler vs.) aktif olarak kullanılmaktadır. Bu farklılık sürecinde ise müşteri ve regülasyon beklentileri, maliyet, teknoloji seviyesinin yeterliliği gibi farklı parametreler büyük önem arz etmektedir. Tüm bu teknolojilerin birbirine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.
Çalışmada; söz konusu batarya karkasının alt bileşeninde yapısal yapıştırıcı çözümü kullanılmaya çalışılmış, yapıştırıcı çözümünün tasarım parametresine bağlı olarak mekanik çekme testlerine olan etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak; ekstrüzyon profil tasarımında gerçekleştirilen revizyon sayesinde mukavemetin iki katına çıkarılması sağlanmıştır.
**Anahtar Kelimeler:** Batarya Kutusu, Yapıştırıcı Çözümleri, Alüminyum Ekstrüzyon, Tasarım

[1] Mechanical Engineer MSc, Coşkunöz Metal Form, R&D Department, 0000-0002-6698-057X
[2] Mechanical Engineer MSc, Coşkunöz Metal Form, R&D Department, 0000-0003-4271-8566

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

Otomotiv sektöründe çalışmaları orijinal ürün üreticiler (OEM) tarafından uzun yıllar önce başlatılan elektrikli araçların; özellikle 2010'lu yılların ikinci yarısında Tesla firmasıyla hızlıca sektöre girmesiyle, otomotiv dünyasında elektrikli araçlara olan ilgi ve paralelinde bu alandaki çalışmalar artmıştır. Otomotiv sektörünün ileri gelen firmalarının kamuoyuna açıkladığı stratejiler de bu süreci destekler niteliktedir. Öyle ki; Jaguar firması 2025 yılına kadar tüm araçlarını elektrikli olarak geliştireceğini, Land Rover 2024 yılında elektrikli versiyonlarına start vereceğini, (retrieved from: https://www.forbes.com/sites/michaeltaylor/2021/02/15/jaguar-to-turn-all-electric-by-2025-land-rover-evs-start-in-2024/?sh=3a27a6c87174 on Feb 15, 2021) , Audi firması benzinli ve dizel araçlarının üretimini 2026 yılında sona erdireceğini, (retrieved from: https://www.autoexpress.co.uk/audi/355336/audi-will-launch-final-petrol-and-diesel-cars-2026 on Jun 23,2021) Opel firması 2028 yılında Avrupa'da sadece elektrikli araç satışına odaklanacağını, (retrieved from: https://www.autoweek.com/news/green-cars/a36980087/opel-vauxhall-ev-europe-2028/ on Jul 9,2021) Mercedes- Benz firması 2030 yılına kadar tüm araçlarını yine elektrikli olacak şekilde üreteceğini, (retrieved from: https://www.edie.net/mercedes-benz-to-go-all-electric-for-vehicles-by-2030/ on Jul 26,2021) Alfa Romeo benzer şekilde 2027 yılına kadar tüm modellerini elektrifikasyona dönüştüreceğini (retrieved from: https://performancedrive.com.au/alfa-romeo-to-go-full-electric-beyond-2027-1023/ on Aug 10,2021) açıklamıştır. Bunun yanı sıra yine BMW, Volkswagen, Honda gibi büyük otomotiv üreticilerinin de benzer doğrultuda açıklamaları bulunmaktadır.

Elektrikli araçların en kritik parçaları ise batarya sistemleridir. Terminoloji olarak batarya kutusu; hem taşıyıcı yapının karkası, hem de içinde barındırdığı piller dahil elektronik sistemle birlikte montajlanmış ürünü de temsil etmektedir. Batarya kutusunun karkası ana taşıyıcı/çerceve, zemin, kapak olarak 3 alt parçada ele alınabilir. Mevcut kıyaslama raporları incelendiğinde tamamı çelik sactan batarya kutusu olduğu gibi, tamamı alüminyum olan çözümler de bulunmaktadır. Bunun yanı sıra en çok rastlanan çözümler ise hibrit batarya kutularıdır. Kapak kısmı çelik ve alüminyum sac olabileceği gibi kompozit yapıların da yer aldığı gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra ana taşıyıcı yapıda da alüminyum döküm, alüminyum ekstrüzyon ve gibi çelik roll-form gibi farklı üretim prosesleri ile geliştirilen çözümler mevcuttur. Zemin kesitlerinde ise; yine kapakta olduğu gibi sac ve ekstrüzyon kesitlerine rastlanmaktadır. Batarya kutusunun üretim yöntemleri ve malzeme seçimi, aracın segmentine, tasarım hacmine, müşterinin teknik ve mali anlamda isteklerine/beklentilerine göre değişkenlik göstermektedir. Çeşitli üretim metodolojilerinden imal edilmiş çelik, alüminyum, kompozit malzemelerin alt parçaların birleştirilmesi de yine kritik konular arasında yer almaktadır.

Batarya kutularında kapak kısmında sızdırmazlık beklentisi nedeniyle ana çerçeve ve kapak arasında sızdırmazlık elemanlarının fazlaca kullanıldığı bilinmektedir. Birleştirme teknolojilerinin en fazla kullanıldığı ana taşıyıcıda ise geleneksel ark kaynağı gibi yöntemlerin yanı sıra, ürün geliştirme sürecine bağlı olarak lazer ve sürtünme karıştırma kaynağı, self-riveting gibi yenilikçi birleştirme yöntemleri aktif olarak kullanılmaktadır. Zemin kesitlerde; sac harici birden fazla parçanın birleştirilmesi durumunda ise sızdırmazlık beklentisini karşılaması nedeniyle daha çok

ISBN: 978-605-71156-5-2

sürtünme karıştırma kaynağının kullanıldığı görülmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağının avantajlarının fazlaca kullanabilir olduğu zemin kesitler bu prosesin popülerleşmesine neden olmuştur.

Yapıştırma yöntemleri, pillerin hücrelendiği kutuların içinde aktif olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra farklı yapıştırma ve sızdırmazlık ürünleri batarya kutusu ürünlerinde kullanılmaktadır. Bu farklı sızdırmazlık ve yapıştırma çözümleri batarya kutularındaki işlevi ve ihtiyacı doğrultusunda yer almaktadır. Bu ihtiyaçlar; sızdırmazlık, mukavemet beklentisi, iletkenlik veya yalıtım performansları olabilir.

Batarya kutularında yenilikçi, efektif çözümler ve hafifletme (optimizasyon) çalışmaları başta pil yapıları olmak üzere (lityum-iyon piller yerine tungsten veya katı pillerin geliştirilmesi vb.) konstrüksiyonun alt sistemlerinde de devam etmekte, ortaya çıkan çalışmalar sonucunda elde edilen kazanımlar literatüre eklenmektedir. Öyle ki:

2016 yılındaki çalışmada birden çok kriter fonksiyonunu aynı anda en iyilemeye dayanan yöntem olan 'Multi-objective' optimizasyonu yaklaşımıyla batarya kutusu geliştirilmiştir. Çalışmada yine sonlu eleman yazılımları ve yaklaşımları kullanılarak x ekseni ve y ekseni geçici ivme şok durumu altındaki maksimum gerilmeler odağında çalışmalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda optimum çözümlerin alternatif iyileştirme çalışmaları şemaları çıkarılmıştır. (Lin et al. 2016: (18) 2343-2358).

2019 yılında ise verimlilik odağında batarya kutularında kullanımı bulunan sürtünme karıştırma kaynağına yönelik kaynak deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada batarya kutusunun zemin kesitinde 2,5 mm'lik alüminyum levhaları FSW yöntemiyle kaynaklanmıştır. Proses sırasında çekme mukavemetini düşürmeden verimliliğini arttırmaya yönelik iterasyonlar gerçekleştirilmiştir. Otomatik kaynak uygulamak için kaynağın her adımının deformasyonu hesaplanmış, termal elasto-plastik analiz yöntemine kıyasla analiz süresi 1/30'a düşürülmüştür. Çalışmalar sonucunda deneysel verilerle analiz çalışmaları arasında korelasyon sağlanmıştır (Kang et al. 2019: *9*(18)).

2020 yılında yayınlanan katmanlı üretim ile akıllı tasarım yaklaşımıyla optimizasyon ile batarya kutusu ele alınmıştır. Çalışmada ANSYS mühendislik yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılarak çalışma sonunda yapının maksimum deformasyonu %59,49 oranında azaltılmıştır (Pal et al. 2020: *2*(3)).

2021 yılında gelişmiş yüksek dayanımlı çelikler(AHSS) kullanılarak geliştirilen batarya kutusu, batarya kutusundan beklenen araç güvenliğini değerlendirmek amacıyla mekanik şok ve yorulma ömrünü içeren analiz tipleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda %10,41'lik ağırlık avantajı sağlayan gelişmiş dinamik performansa sahip batarya kutusu elde edilmiştir. (Pan et al. 2021).

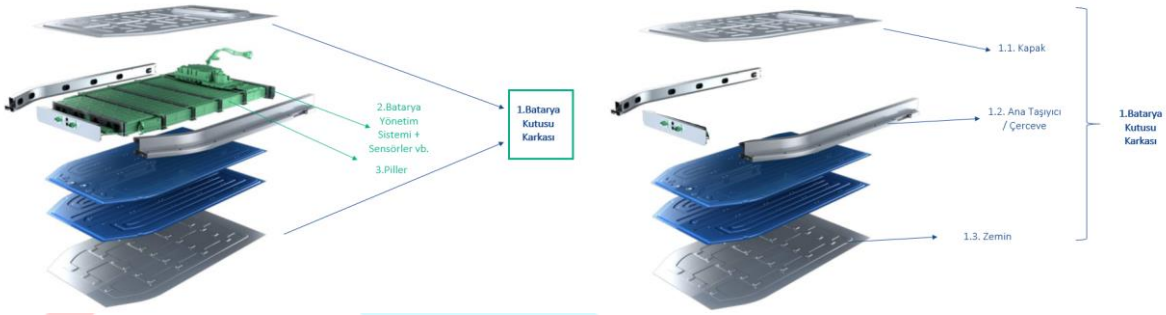
2022 yılında elektrikli araçların batarya kutularında sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) uygulaması odaklı çalışmada U şeklindeki 6063-T6 alüminyum kesitine parametre çalışması yapılmıştır. FSW uygulaması sırasında kaynaktan etkilenen bölgenin de göz önüne bulundurulduğu çalışma sonucunda 3 mm kalınlığındaki profilde 4.0 m/dak hıza ulaşılmıştır. Kaynak yüzeylerinin

ISBN: 978-605-71156-5-2

iyileştirilerek kaynak hızında daha da artış sağlanabileceğine vurgu yapılmıştır (Patel et al. 2022*: 27* (4): 250-255).

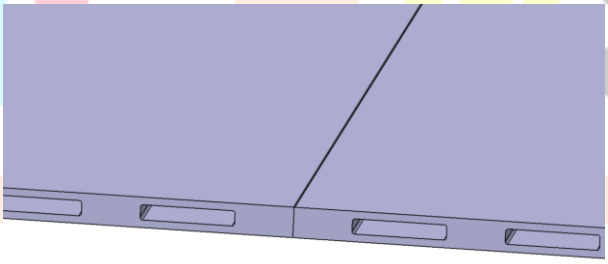
Aktarılan tüm bu literatür paylaşımlarının bir kısmı batarya kutuları, elektrikli araçlar özelinde son dönemde çalışmaların yoğunlaştığını ve daha da yoğunlaşacağını göstermektedir.

## YÖNTEM




**Şekil 1.** Çalışmaya konu olan batarya kutusu ürünü (Ürünün görseli temsili olup, gizlilik nedeniyle orijinali paylaşılamamaktadır.) (Retrieved from https://www.novelis.com/automotive/gen2battery-enclosure-solution/ on 04.05.2022)

Çalışmada elektrikli araçların temel parçası olan batarya kutularının konstrüksiyonunda (Şekil 1) yapıştırıcı uygulamasına yönelik alternatif tasarımlar ele alınmıştır. Batarya kutusu ve yapıştırıcı çözümünün uygulandığı alternatif tasarımlar CATIA V5 R30 mühendislik yazılımı ile geliştirilmiştir.

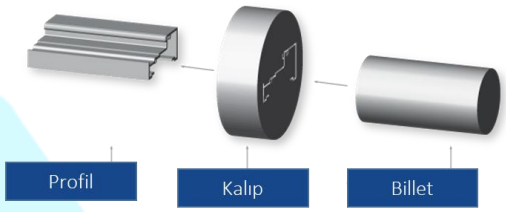


**Şekil 2.** Mevcut tasarımın temsili görseli (Ürünün görseli temsili olup, gizlilik nedeniyle orijinali paylaşılamamaktadır.)

Şekil 2'de mevcut tasarımdaki ekstrüze edilmiş batarya kutusu alt parçası bulunmaktadır. Batarya kutusu alt parçasının alüminyum ekstrüzyon teknolojiyle üretimi yapılmıştır. Ekstrüzyon yöntemi yarı eriyik hammaddenin arkadan kuvvet uygulayan pres eşliğinde istenen kesitteki kalıp içerisinden geçirilmesi ile elde edilmektedir (Şekil 3). 1xxx serisinden 9xxx serisine kadar aktif olarak kullanılan alüminyum serilerinin birbirlerine göre daha fazla kullanıldığı sektörler

ISBN: 978-605-71156-5-2

bulunmaktadır. Otomotiv sektöründe daha çok 6xxx ve 7xxx serisi kullanıldığı bilinmektedir. Çalışmada yine 6xxx serisine ait profiller kullanılmıştır. Alın alına kaynaklanan kesitlerin temas yüzey alanı 130 $cm^2$'dir.

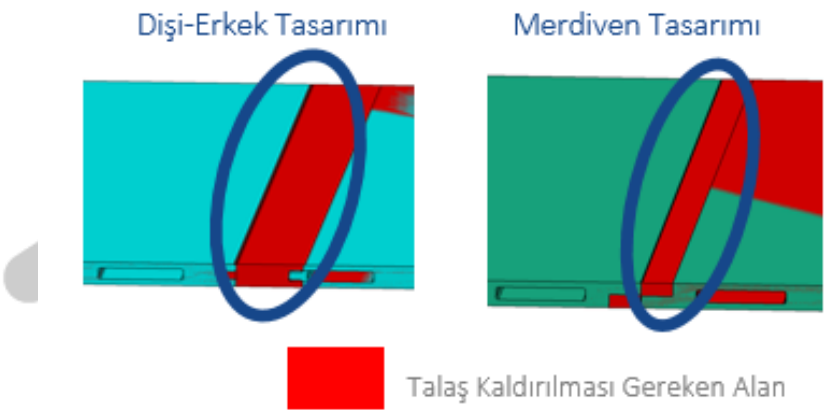



**Şekil 3.** Ekstrüzyon prosesi görseli (Retrieved from https://www.nice-rapidtooling.com/aluminum-extrusion-a-448.html on 04.05.2022)

**Şekil 4.** Çalışmada geliştirilen alternatif tasarımların görselleri ve bilgiler

Geliştirilen tasarımlar göz önüne alındığında kıyaslama çalışmalarından ve ekstrüzyon üretim yönteminin avantajlarından olabildiğince yararlanılmaya çalışılmıştır. Öyle ki: 2 farklı ekstrüzyon kesitinin erkek ve dişi , anahtar-kilit (merdiven) uyumluluğu çatısı altında 2 adet alternatif tasarım geliştirilmiştir. Tasarımlarda yapıştırıcı çözümün geniş bir alana uygulanması amacıyla yüzey alanı olabildiğince arttırılmaya çalışılmıştır. Geliştirme aşamasında üretilebilirlik göz önüne alınmıştır (Şekil 4).

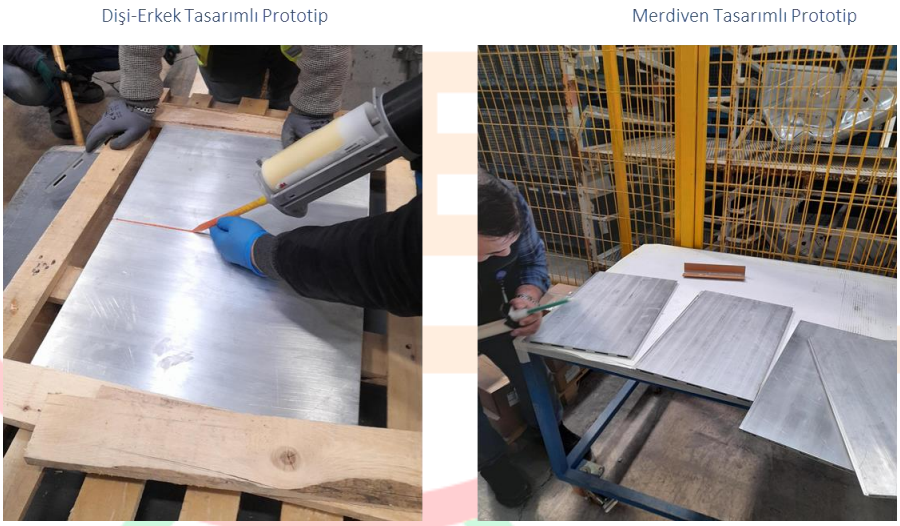
ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 5.** Alternatif prototip elde edilmesi

Geliştirilen alternatif tasarımların prototip çalışmalarında, hızlı şekilde ilerletilmesi amacıyla, ekstrüzyon kalıbının ve kalıptan ekstrüze edilecek kesiti beklememek adına, mevcut ekstrüzyon kesitinden talaş kaldırılması tercih edilmiştir. Talaş kaldırma sırasında 5 eksenli CNC kullanılmıştır (Şekil 5).

Talaş kaldırmak adına 5 eksenli CNC'nin yanı sıra lazer kesim, su jeti gibi yüksek hassasiyeti olan ve düşük toleranslarda çalışabilen prosesler de kullanılabilir.




**Şekil 6.** Yapıştırıcı çözümün uygulanması

Profillerden talaş kaldırıldıktan sonra yapıştırıcı çözümlerin uygulanması adına yüzey temizliği yapılmıştır. Yüzey temizliğinden sonra epoksi bazlı aynı yapıştırıcı çözümü, yaklaşık 1 m uzunluğundaki profillerin her ikisine de manuel olarak uygulanmıştır (Şekil 6). İlgili çözüm oda sıcaklığında 6 saat 180 °C'de 1-2 saat arasında kürlenme süresine sahiptir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Yapıştırıcı uygulanan prototipler en az 1 gün kürlenmeye bırakılmıştır. Ardından en az 3 'er çekme numunesi çıkarılması amacıyla 327 mm uzunluğunda 25 mm genişliğinde ve 5-12 mm kalınlığında numunelere dilimlenmiştir (Şekil 7). Dilimlenme süresince su jeti teknolojisinden yararlanmıştır. Prosesin seçilme nedeni hızlı ve yüksek hassasiyet gerektirmemesi ve alüminyum gibi yüksek iletkenliği olan malzemenin etkileşiminin minimuma indirilmeye çalışılarak optimum numunenin eldesinin sağlanmasıdır.

**Şekil 7.** Alternatif tasarımların prototiplendikten sonra çekme numunelerinin çıkarılması

**Şekil 8.** Numunelerin mekanik testlerinin gerçekleştirilmesi

Dişi ve merdiven tasarım alternatiflerinden elde edilen 3'er çekme çubuğunun, Zwick Roell Marka Çekme Cihazında 1,3 mm/ dak hızda olacak şekilde mekanik testi numuneler kopana kadar devam etmiştir. Testin değerlendirilmesinde DIN EN 10002 (Metalik malzemeler - Çekme deneyi - bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu) standardı göz önüne alınmıştır (Şekil 8).

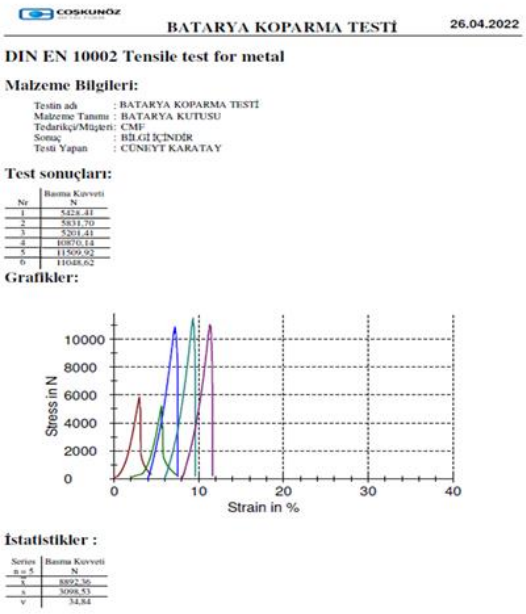
ISBN: 978-605-71156-5-2

## BULGULAR

Dişi-Erkek Tasarımı Merdiven Tasarımı

**Şekil 9.** Numunelerin mekanik test sonrası görselleri

Şekil 7'deki numunelerin Şekil 8'deki çekme cihazında testlerinin yapılması gerçekleştirilmiştir (Şekil 9)



COŞKUNÖZ

BATARYA KOPARMA TESTİ 26.04.2022

**DIN EN 10002 Tensile test for metal**

**Malzeme Bilgileri:**

Testin adı : BATARYA KOPARMA TESTİ
Malzeme Tanımı : BATARYA KUTUSU
Tedarikçi/Müşteri: CMF
Sonuç : BİLGİ İÇİNDİR
Testi Yapan : CÜNEYT KARATAY

**Test sonuçları:**

| Nr | Basma Kuvveti N |
|---|---|
| 1 | 5428,41 |
| 2 | 5831,70 |
| 3 | 5201,41 |
| 4 | 10870,14 |
| 5 | 11509,92 |
| 6 | 11048,62 |

**Grafikler:**



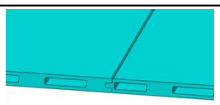
**İstatistikler :**

| Series n = 5 | Basma Kuvveti N |
|---|---|
| x̄ | 8892,36 |
| s | 3098,53 |
| v | 34,84 |

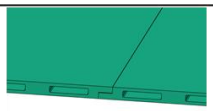
**Şekil 10.** Numunelerin mekanik test sonuçları

**Tablo 1-** Dişi-erkek tasarımının sonuçları

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | |
|---|---|
| Numune Görseli |  |
| Yüzey Alanı | 210 cm2 |
| Numune No | Basma Kuvveti (kN) |
| 1 | 5,428 |
| 2 | 5,831 |
| 3 | 5,020 |
| *Ortalama* | *5,426* |

**Tablo 2-** Merdiven tasarımının sonuçları

| | |
|---|---|
| Numune Görseli |  |
| Yüzey Alanı | 250 cm2 |
| Numune No | Basma Kuvveti (kN) |
| 4 | 10,870 |
| 5 | 11,509 |
| 6 | 11,048 |
| Ortalama | 11,142 |

**Şekil 10**'daki sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2 halinde verilmiştir.

## SONUÇ

Dişi-erkek tasarımından merdiven tasarıma geçildiğinde yüzey alanı 210 $cm^2$'den 250 $cm^2$'ye artarken (% 19,047 artış) mukavemet (basma kuvveti) açısından değerlendirildiğinde 3'er numune üzerinden alınan ortalama sonucunda dişi-erkek tasarımının 5,426 kN, merdiven tasarımının ise 11,142 kN olduğu görülmüştür. Kısacası mukavemet olarak % 105,344 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuca göre; batarya taşıyıcı yapılarda regülasyon ve müşteri isterlerine uygun ürün geliştirme aşamasında yapıştırma prosesine uygun tasarımın öneminin yüksek olduğu ortaya konmuştur.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Erişim tarihi: 04.05.2022, https://www.nice-rapidtooling.com/aluminum-extrusion-a-448.html

Erişim tarihi: 04.05.2022, https://www.novelis.com/automotive/gen2battery-enclosure-solution/

Falson, A. (10 Ağustos 2021). *Alfa Romeo to Offer Only Fully Electric Vehicles from 2027*. Erişim tarihi: 04.05.2022, https://performancedrive.com.au/alfa-romeo-to-go-full-electric-beyond-2027-1023/

Kang, S. Kim, J. Jang, Y. And Lee, K. (2019, Şubat). Welding deformation analysis, using an ınherent strain method for friction stir welded electric vehicle aluminum battery housing, considering productivity, *Applied Sciences. 9* (18): 3848. doi: 10.3390/app9183848.

Lin, C. Gao, F. Wang, W. Chen, X. (2016, Haziran). Multi-objective optimization design for a battery pack of electric vehicle with surrogate models, *Journal of Vibroengineering,* (18): 2343-2358. doi: 10.21595/JVE.2016.16837.

Newsroom, E. (26 Haziran 2021). *Mercedes-Benz to Go All-Electric for Vehicles by 2030*. Erişim tarihi: 28.04.2022, https://www.edie.net/mercedes-benz-to-go-all-electric-for-vehicles-by-2030/

Pal, S.K. Singh, S. Singh, H. Phung, M.L.L. Yooyen, S. Sleesongsom, S. (2020, Mart). Intelligent design optimization of battery pack enclosure for electric vehicle by considering cold-spraying as an additive manufacturing technology, *Special Issue: Renewable Energy and Energy Storage Systems, 2*(3).

Pan, Y. Xiong, Y. Wu, L. Diao, K. Guo, W. (2021, Eylül). Lightweight design of an automotive battery-pack enclosure via advanced high-strength steels and size optimization, *International Journal of Automotive Technology*. doi: 10.1007/s12239-021-0112-5.

Patel, V. Backer, J.D. Hindsefelt, H. Igestrand, M. Azimi, S. Andersson, J. Sall, J. (2022, Şubat). High-speed friction stir welding in light weight battery trays for the EV industry, *Science and Technology of Welding and Joining. 27*(4): 250-255. doi: 10.1080/13621718.2022.2045121.

Ramey, J. (9 Haziran 2021). *Opel and Vauxhall to Go EV-Only in Europe in 2028*. Erişim tarihi: 01.05.2022, https://www.autoweek.com/news/green-cars/a36980087/opel-vauxhall-ev-europe-2028/

Taylor, M. (15 Şubat 2021). *Long Experienced in Auto Journalism, Taylor is based in Italy*. Erişim tarihi: 04.05.2022, https://www.forbes.com/sites/michaeltaylor/2021/02/15/jaguar-to-turn-all-electric-by-2025-land-rover-evs-start-in-2024/?sh=3a27a6c87174

Winkinson, L. (23 Haziran 2021). *Audi Will Launch Final Petrol and Diesel Cars in 2026*. Erişim tarihi: 03.05.2022, https://www.autoexpress.co.uk/audi/355336/audi-will-launch-final-petrol-and-diesel-cars-2026

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Investigating the Effect of Colloidal Foulants on SDI and MFI Tests

*Doruk Güneş GÖSTERİŞLİOĞLU*[1]
*Oruç Kaan TÜRK*[2]
*Mehmet ÇAKMAKCI*[3]

**Abstract**

Silt density index (SDI) and Modified fouling index (MFI) are tests to measure and assess the fouling potential of pressure driven membranes such as reverse osmosis (RO) and nanofiltration (NF), which are widely used in water treatment applications. The process efficiency and the useful membrane life of such systems are mainly affected by the fouling phenomenon. Membrane fouling happens by the deposition of solid matters present in the feed water onto the membrane surface. Foulants such as particulate and colloidal matters cause plugging of the membrane and adversely impact the process productivity and operating costs. A comprehensive understanding to the fouling potential of the feed water and the reliability of the fouling index is crucially important in the design and operation phases of such systems. In this study, SDI and MFI experiments were carried out with synthetic feed water solutions containing different combinations of particle and colloidal foulant concentrations. The filtration performance data were presented systematically, and the reliability and sensitivity of both indices were compared. MFI values were sensitive to both particle and colloidal foulants and exhibited good consistency with increasing foulant concentration. Plant operators and academicians are encouraged to utilize the MFI test as a fouling prediction tool.

**Keywords** SDI, MFI, Fouling Index, RO, and NF membranes

1 Doruk Güneş GÖSTERİŞLİOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-2353-2806,
2 Oruç Kaan TÜRK, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-6473-2150,
3 Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0003-4784-6006

ISBN: 978-605-71156-5-2

## Introduction

Membranes are frequently used in water treatment systems. Fouling is the most important factor affecting the membrane performance. Fouling occurs as a result of the build-up of particles and colloids existing in the raw feed water on the membrane surface, and it has a negative influence on process productivity and operating costs(Alhadidi et al., 2013; Voutchkov, 2017). Organic matters, particles and colloids are responsible for a major part of fouling problems in membrane systems (Yiantsios & Karabelas, 2003).

A better understanding of the fouling risk of raw water allows improved treatment system design and simplicity of operation. As a result, determining the fouling potential of the water is critical to the efficiency and reliability of the system. SDI and MFI are the most popular fouling indexes to predict and evaluate the fouling potential of a given water sample. Both are based on the measurement of the flux decline rate of a microfiltration membrane by particle foulants under standardized testing conditions. SDI is an easy and practical testing method used in academia and industry for over decades. Membrane manufacturers recommend that the SDI value of the feed water be less than 3 for trouble-free operation. However, this fouling index is an empirical method based on the observed flux decline during the test filtration and lacks a theoretical background. It has been reported that this index is not always correlated with the real fouling behavior of the water (Salinas Rodriguez, 2011).

Schippers and Verdouw introduced the MFI as an enhanced version of SDI to address and overcome the drawbacks of this fouling index (Schippers & Verdouw, 1980). The MFI test utilizes the same materials and filtration system as the SDI, but it considers the cake filtering mechanism as the primary cause of flux drop and allows for temperature, membrane size, and applied pressure correction. MFI is calculated as the minimum slope of the linear portion of the inverse flow graph. This line in the graph corresponds to the cake filtration mechanism.

The resistance of the cake layer increases proportionally as its thickness increases. In this phase, the membrane's water flow decreases linearly. The cake compression process is shown by the final section of the curve with a rapid rise.

MFI is gaining popularity in recent years and comparable results were reported (Salinas et al., 2019). This study aims to conduct both fouling index tests simultaneously to the same feed water and compare the results and the performance of the indexes in terms of consistency, sensitivity, and reliability.

## Material and Method

To simulate the natural waters with fouling potential for membrane applications, synthetic feed water samples containing a combination of colloidal and particle foulants were prepared. Aluminum oxide ($Al_2O_3$) was used as particle foulants. Particle size was 1-2 µm for aluminum oxide. Particles were procured from Nanografi in powder form, reagent grade. Alumina nanoparticles were used as colloidal foulants in 50 nm nominal particle size (Sigma Aldrich). Stock

ISBN: 978-605-71156-5-2

solutions were prepared at 2 g/L concentration with deionized water for each foulant and then diluted with tap water to the required concentrations.

The test setup for the SDI and MFI experiments is shown in Figure 1. A dead-end filtration cell and pressured air system were devised to conduct the experiments. A sample feed tank with a capacity of 5 liters was made of PE and sealed to maintain pressure. The prepared solution is fed to the filtration cell from the sample feed tank with the constantly applied pressure of 30 psi with the nitrogen gas. The feed gas pressure is controlled by a pressure regulation valve.

Membrane filters with a mean diameter of 0.45 µm and an external diameter of 47 mm made of hydrophilic cellulose acetate material was used for both SDI and MFI measurements. For each experimental run, a new piece of membrane was used. The membrane filter was carefully taken from the package with a pair of tweezers to avoid impairing the surface structure of the filter. The filters are placed on the porous membrane support plate. An O-ring is laid on the membrane and the cell is tightly closed with mechanical couplings after the membrane filter is rinsing with pure water to prevent air pockets.

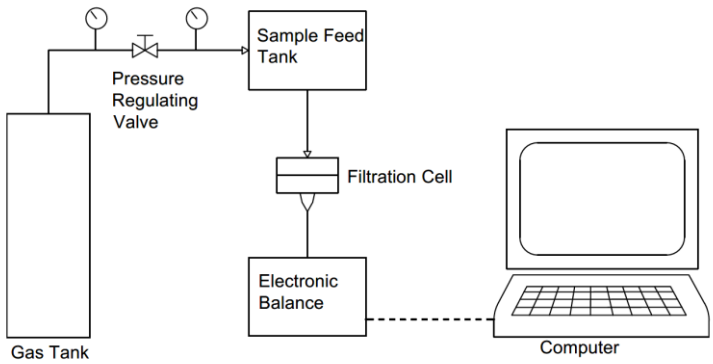



**Figure 1** Flow scheme of the experimental setup

**Silt Density Index (SDI)**

ASTM Standard D4189 "Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of Water" describes the methodology for the SDI test as a measurement of the difference in the filtration time to collect a 500 mL filtrate through a microfiltration membrane with a 0.45 µm pore size and 47 mm diameter under constant pressure of 207 ± 7 kPa (30 ± 1 psi) constant pressure both at the beginning and at the end of the test after a total of 15 minutes test run time. The SDI is calculated with the formula in Eq. 1. The plugging rate is calculated as time difference and expressed as percentile flux decline per minute (%P). For a meaningful result, SDI should not exceed 75%, If it exceeds this value, the test should be conducted for a shorter filtration time e.g., 10 or 5 minutes.

$$SDI = \frac{1-\frac{t_1}{t_2}}{t_f} x100 = \frac{\%P}{t_f} \quad (1)$$

where $t_1$ is the time to collect the initial 500 mL sample filtrate (seconds), $t_2$ is the time to collect the final 500 mL sample filtrate (seconds) and $t_f$ is the total filtration time (minutes).

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Modified Fouling Index (MFI)**

The MFI experiments were implemented in accordance with ASTM D8002-15 "Standard Test Method for Modified Fouling Index (MFI) of Water". The tests were carried out with the same constant pressure (30 psi) and the same membrane material as the SDI tests. The weight of the filtrate is constantly measured with electric balance and the volume of the filtrate was calculated. Measurements were recorded throughout the experiment and exported to the computer via a data logger software. The filtration performance is plotted into the graph as an inverse flow rate against the accumulated volume for each experimental run. The graphs are analyzed with data analyzer software, and the slope of the linear portion of the filtration curve is embedded into each graph. The theory behind the MFI measurement is explained by the following formula (Eq. 2):

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \,.\, R_M}{\Delta P \,.\, A_M} + \frac{\mu \,.\, I}{2 \,.\, \Delta P \,.\, A_M^2} \,.\, V \qquad (2)$$

where V is the accumulated filtrate volume (L), t is time (seconds), AM is membrane area ($m^2$), ΔP applied pressure (Pa) ($N/m^2$), μ water viscosity ($N \cdot s/m^2$), RM clean membrane resistance ($m^{-1}$) and I is the fouling potential index ($m^{-2}$).

Derived from equation 2, the MFI value is calculated with the formula in Eq. 3 as the slope of the linear portion of the t/V versus V plot of the filtration experiment at constant pressure.

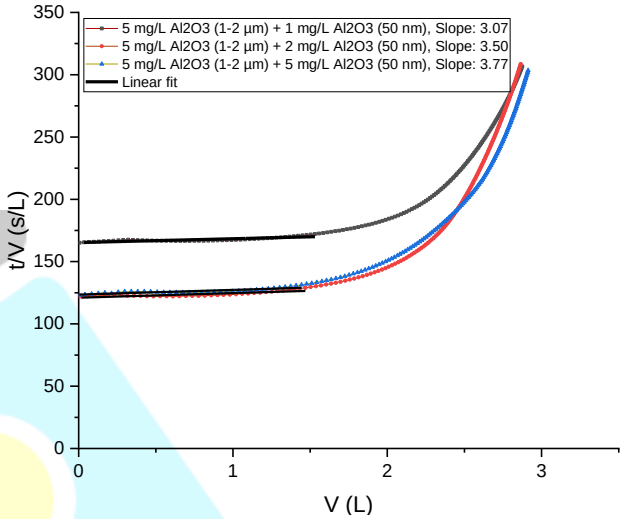
$$MFI = \frac{\mu \,.\, I}{2 \,.\, \Delta P \,.\, A_M^2} \qquad (2)$$

**Result and Discussion**

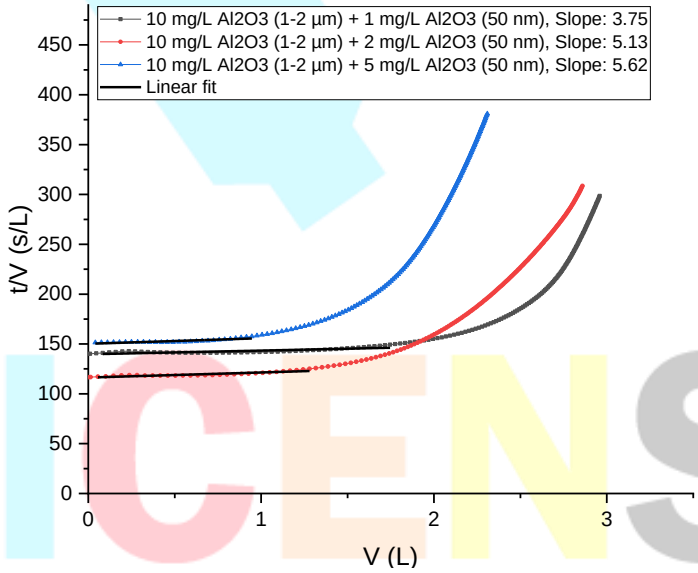
SDI and MFI tests were carried out to study the influence of colloidal foulants in the feed water solutions. Test solutions were prepared by adding incremental amounts of alumina colloids to the fixed particle concentrations of $Al_2O_3$. Alumina colloids were added to the separate solutions with 5 mg/L and 10mg/L of $Al_2O_3$ particles, so that the mixtures contained 1, 2, and 5 mg/L of colloidal foulant per each experimental repetition. The effect of increasing colloidal presence in the solution on the SDI and MFI fouling indexes was examined. The inverse flow performance of filtration tests containing alumina colloids and $Al_2O_3$ particles with 5 and 10 mg/L are set out in Figure 2 a. and b., respectively.

The MFI values of the tested foulant mixtures were determined by the slope of the specific filtration curve of the experiments. The MFI values of added 1, 2, and 5 mg/L alumina resulted in 3.07, 3.50, and 3.77 $s/L^2$ at 5 mg/L particle presence and 3.75, 5.13, and 5.62 $s/L^2$ at 10 mg/L particle presence, respectively. The addition of colloids to the particle solution increased the fouling indices of the samples. Each incremental increase in colloidal concentration resulted in higher fouling indication.

ISBN: 978-605-71156-5-2




**a.**



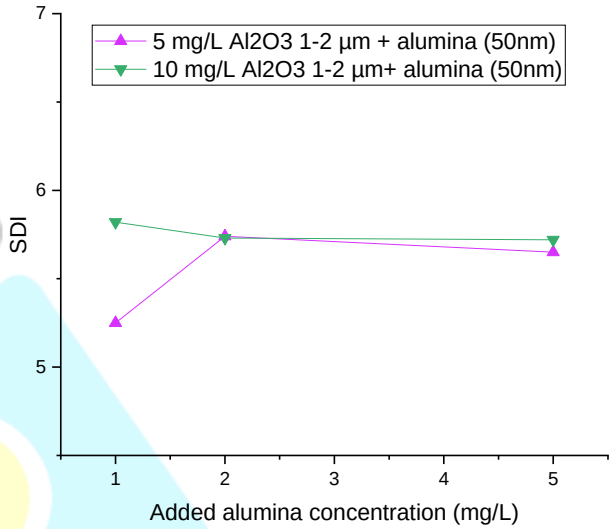

**b.**

**Figure 2** Inverse flow against the volume of the collected sample for $Al_2O_3$ particles in the presence of alumina colloids **a.** 5 mg/L $Al_2O_3$ and alumina colloids, **b.** 10 mg/L $Al_2O_3$ and alumina colloids

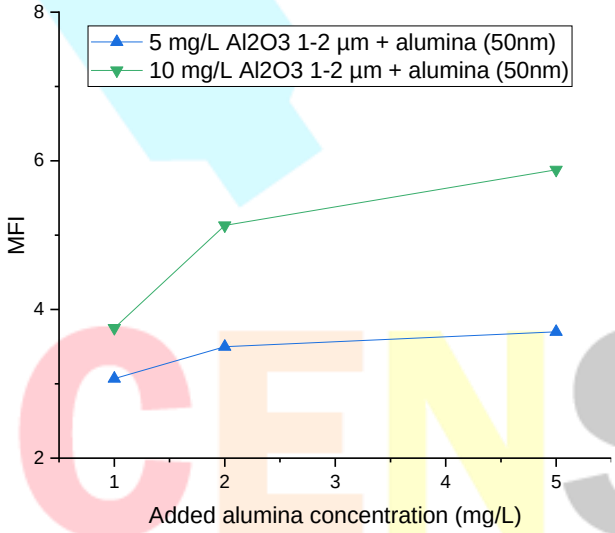
## Comparison of SDI and MFI Results

In addition to the MFI test, the SDI fouling indices of the foulant samples given for each experimental run were measured simultaneously. A comparison was made between the two fouling indexes concerning sensitivity to the tested foulant concentrations. The collective SDI and MFI values of the tests are given in Figure 3 a. and b., respectively.

ISBN: 978-605-71156-5-2




**a.**




**b.**

**Figure 3 a.** SDI values, **b.** MFI values of the tested samples

In SDI test results, increased fouling indication was observed only when the colloid amount in the mixtures was increased from 1 to 2 mg/L in the samples containing 5 mg/L of particle foulant. The SDI value increased from 5,25 to 5,74 when the colloids in the mixture was increased from 1 to 2 mg/L. Contrarily, SDI value decreased to 5,65 when the colloid concentration increased to 5 mg/L, in contrast to the expected increase. Similarly, for the filtered sets containing 10 mg/L of particles, the SDI values showed a continuous decrease. The SDI value was 5,82 at 1 mg/L colloid concentration, then dropped to 5,73 and 5,72 with addition of 2 and 5 mg/L colloids.

Theoretically, an ideal fouling index should be giving increasing results in agreement with the increasing foulant concentrations. Similar findings have been reported in the literature, where

ISBN: 978-605-71156-5-2

SDI was not correlated with foulant concentration and filtration performance (Choi et al., 2009; Yu et al., 2010).

MFI test results displayed an increase along with the increasing colloidal foulant presence in the samples for all the combinations. For both sets of mixtures, the MFI values made a bigger leap as the concentration of alumina colloids were increased from 1 to 2 mg/L. The increase was rather moderate when the colloids further added to the mixture until the 5 mg/L concentration.

Interestingly, MFI was sensitive not only to the concentrations of colloids but also to the concentrations of the particles in the mixture. When 10 mg/L $Al_2O_3$ was present in the mixture the MFI values were higher than their 5 mg/L counterparts.

**Conclusion**

A laboratory-scale filtration setup was built to measure the SDI and MFI fouling index values of synthetic feed water containing particle and colloidal foulants. The effect of colloidal foulants incrementally added to the different particle solutions of fixed-concentrations on SDI and MFI readings was analyzed. The results of both indexes were compared in terms of reliability, and sensitivity to foulant concentration. The MFI was fully sensitive to the increasing presence of foulant in the feed water. An increase was observed in the MFI values of all the tested samples. SDI, on the other hand, was not responsive to the increasing concentration of the foulants.

According to our findings, MFI exhibited good performance in fouling prediction for RO and NF treatment systems. In this regard, MFI stands out as a promising tool for utilization in design and performance assessment steps in RO and NF water treatment plants. Further investigations should be conducted focusing on comparing the fouling predictions with the real performance of such treatment plants.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**References**

Alhadidi, A., Blankert, B., Kemperman, A. J. B., Schurer, R., Schippers, J. C., Wessling, M., & van der Meer, W. G. J. (2013). Limitations, improvements and alternatives of the silt density index. *Desalination and Water Treatment*, *51*(4–6), 1104–1113. https://doi.org/10.1080/19443994.2012.705049

Choi, J. S., Hwang, T. M., Lee, S., & Hong, S. (2009). A systematic approach to determine the fouling index for a RO/NF membrane process. *Desalination*, *238*(1–3), 117–127. https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.01.042

Salinas Rodriguez, S. G. (2011). *Particulate and Organic Matter Fouling of Seawater Reverse Osmosis Systems*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/b11609

Salinas, S. G., Sithole, N., Dhakal, N., Olive, M., Schippers, J. C., & Kennedy, M. D. (2019). Monitoring particulate fouling of North Sea water with SDI and new ASTM. *Desalination*, *454*(December 2018), 10–19. https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.12.006

Voutchkov, N. (2017). Diagnostics of Membrane Fouling and Scaling. In *Pretreatment for Reverse Osmosis Desalination* (pp. 43–64). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809953-7.00003-6

Yiantsios, S. G., & Karabelas, A. J. (2003). An assessment of the Silt Density Index based on RO membrane colloidal fouling experiments with iron oxide particles. *Desalination*, *151*(3), 229–238. https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)01015-9

Yu, Y., Lee, S., Hong, K., & Hong, S. (2010). Evaluation of membrane fouling potential by multiple membrane array system (MMAS): Measurements and applications. *Journal of Membrane Science*, *362*(1–2), 279–288. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.06.038

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# $MnO_2$ Katkılı Poli(*N*-vinil karbazol) Filmlerinin Çelik Üzerinde Elektrokimyasal Sentezi, Karakterizasyonu ve Antikorozif Özellikleri

*Eda ŞİMŞEK*[1]
*Berrin DURAN*[2]

**Özet**

$MnO_2$ katkılı poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz-$MnO_2$) kaplamalar dönüşümlü voltametri ile 304 paslanmaz çelik (304-PÇ) üzerinde elektrokimyasal olarak sentezlenmiştir. Sentez için *N*-vinil karbazol, tetrabütil amonyum perklorat ve $MnO_2$ içeren susuz asetonitril çözeltisi kullanılmıştır. En iyi koruyan kaplamanın sentez koşullarını belirlemek üzere dönüşümlü voltametrik elektropolimerizasyon parametrelerinin her biri (potansiyel aralığı, tarama hızı, döngü sayısı) diğerleri sabit tutularak değiştirilmiş; böylece PNVnKz filmleri farklı koşullar altında çelik yüzeyinde sentezlenmiştir. Daha sonra PNVnKz kaplı paslanmaz çelik elektrotların (SS/PNVnKz) potansiyodinamik polarizasyon eğrileri 1 M $H_2SO_4$ korozif test çözeltisinde kaydedilerek karşılaştırılmıştır. 0,3 V ile 1,5 V potansiyel aralığında, 50 $mVs^{-1}$ tarama hızında ve 10 döngü sayısında sentezlenen PNVnKz filminin en iyi korozyon performansına sahip olduğu bulunmuştur. Belirlenen bu sentez parametreleri $MnO_2$ katkılı PNVnKz sentezi için kullanılmış ve PNVnKz filmleri üç farklı miktarda (%0,05, %0,10, %0,15) $MnO_2$ ile katkılanmıştır. Optimum $MnO_2$ miktarını belirlemek amacıyla SS/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların potansiyodinamik polarizasyon eğrileri karşılaştırılmış ve %0,10 $MnO_2$ katkılı PNVnKz filmlerinin daha iyi koruma sağladığı tespit edilmiştir. Sentezlenen PNVnKz-$MnO_2$ kaplamalar, ATR-FTIR ve SEM ile karakterize edilmiştir. PNVnKz-$MnO_2$ kaplamalarının korozyon performansları, 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde $E_{ocp}$-zaman eğrileri, potansiyodinamik polarizasyon (PP) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) teknikleri ile araştırılmış ve katkısız PNVnKz'nin verileriyle karşılaştırılmıştır. PNVnKz-$MnO_2$ kaplamanın, katkısız PNVnKz kaplamadan daha iyi ve daha uzun süreli koruma performansı sergilediği bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Poli(*N*-vinil karbazol), elektropolimerizasyon, $MnO_2$, paslanmaz çelik, korozyon.

[1]Eskişehir Osmangazi University, Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Chemistry, Eskişehir, Turkey. ORCID: 0000-0002-5706-1301.
[2]Assoc. Professor, Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science and Letters, Department of Chemistry, Eskişehir, Turkey. ORCID: 0000-0002-3892-5012.

**Giriş**

Metallerin bulunduğu ortam ile tersinmez yükseltgenme reaksiyonu olarak tanımlanan korozyon olayı, metalin ve özelliklerinin bozulması ile sonuçlanır. Metalürjik olarak saflaştırılarak kullanılan metal ve alaşımlar, korozyon süreci ile tekrar doğadaki oksit formlarına istemli olarak dönüşme eğilimindedirler. Bu durum, metal ve alaşımların yapısal olarak bozulmalarının yanı sıra ekonomik kayıplara ve doğadaki metal rezervlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için pek çok araştırmacı korozyonun önlenmesi ve kontrolü alanında yeni stratejilerin geliştirilebilmesi için çalışmaktadır (Frau, vd. 2010).

Polipirol, polianilin, politiyofen gibi iletken polimerlerin sentezi, karakterizasyonu ve uygulamalarının geniş ölçüde çalışıldıkları bilinmektedir. Bu polimerler arasında polikarbazol türevleri, iyi elektriksel iletkenlikleri, elektroaktif kararlılıkları ve elektrokromik özellikleri nedeniyle ışık saçan diyotlar, sensörler ve şarj edilebilir piller gibi çok sayıda uygulama alanı bulmaları nedeniyle dikkat çekmektedirler (Gupta, vd. 2010). İletken polimerler metallerin korozyon hızının azaltılmasında korozyondan koruyucu kaplamalar olarak da uygulama alanına sahiptirler. Özellikle son yıllarda iletken polimer kaplamaların çevresel kararlıkları, metal yüzeyinde kimyasal açıdan dirençli olmaları gibi özellikleri nedeniyle alüminyum, demir, çelik gibi aktif metaller üzerinde sentezlenmeleri ile korozyonun önlenmesi yoğun olarak çalışılan konulardan biridir (Duran, vd. 2017).

İletken polimerler kimyasal ya da elektrokimyasal olarak sentezlenebilmektedirler. Kimyasal olarak sentezlenen iletken polimerler daha sonra dispersiyon, döndürerek kaplama veya elektrostatik sprey gibi teknikler kullanılarak metal yüzeyine kaplanabilmektedir. Elektrokimyasal yöntemde ise bu polimerler metal yüzeyinde kontrollü bir biçimde ve doğrudan sentezlenebilmekte, dolayısıyla daha pratik bir yöntem olarak tercih edilmektedir (Ateş, 2010).

İletken polimer kaplamaların metalleri korozyondan korumaları iki farklı mekanizma üzerinden gerçekleşebilmektedir. Bu polimerler, kaplandıkları metalin yüzeyinde korozif türlerin geçişine karşı fiziksel bir bariyer olarak davranabilirler veya elektroaktif özelliklerinden dolayı metal yüzeyinde tersinir biçimde indirgenip yükseltgenerek metalin korozyon potansiyelini pasiflik bölgesine kaydırmak suretiyle anodik koruma sağlayabilirler (Aravindan ve Sangaranarayanan, 2016).

Elektrokimyasal yöntemle metal yüzeyinde direkt olarak sentezlenen iletken polimer kaplamaların korozyon performanslarını arttırmak amacıyla farklı metal oksitler ile sentez sırasında katkılanmaları ile hazırlanan nanokompozitlerinin daha iyi koruma etkisi gösterdikleri literatürde rapor edilmiştir (Elangovan, vd. 2018)

Bu çalışmanın amacı $MnO_2$ katkılı poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz) kaplamaların 304 paslanmaz çeliğin 1 M $H_2SO_4$ ortamındaki korozyonunun önlenmesinde katkısız poli(*N*-vinil karbazol) kaplamalara alternatif olabilirliğinin araştırılmasıdır. Katkılanacak $MnO_2$ miktarını belirlemek amacıyla *N*-vinil karbazol monomerin 304-paslanmaz çelik yüzeyinde dönüşümlü voltametri yöntemiyle elektropolimerizasyonu sırasında üç farklı miktarda $MnO_2$ eklenerek $MnO_2$ katkılı PNVnKz filmleri (PNVnKz-$MnO_2$) sentezlenmiş ve PNVnKz-$MnO_2$ filmleri ile kaplı çelik

ISBN: 978-605-71156-5-2

elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrileri kaydedilerek korozyon hızları karşılaştırılmış ve optimum $MnO_2$ katkılama miktarı belirlenmiştir. Optimun miktarda katkılanan PNVnKz-$MnO_2$ filmleri ATR-FTIR ve SEM aracılığı ile karakterize edilmiştir. Bu filmler ile kaplı paslanmaz çelik elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisindeki korozyon performansları, açık devre potansiyelinin zamanla değişiminin izlenmesi ($E_{ocp}$-t) eğrileri, potansiyodinamik polarizasyon (PP) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemleri ile incelenmiş ve elde edilen veriler katkısız poli(*N*-vinil karbazol) kaplamanın korozyon test sonuçları ile karşılaştırılarak sunulmuştur.

**Yöntem**

*N*-vinil karbazol (NVnKz) monomer, tetrabütil amonyum perklorat (TBAP) destek elektrolit, $MnO_2$, asetonitril ve sülfürik asit ($H_2SO_4$) ve sentez sırasında kullanılan Ag tel ile Pt levha elektrot malzemeleri Sigma-Aldrich'den temin edilmiştir. Elektrokimyasal sentez ve korozyon testleri, sırasıyla 10 mL ve 100 mL hacimli beş boyunlu cam hücrelerde gerçekleştirilmiştir. Silindir şekilde 6 mm çapında 304 paslanmaz çelik (PÇ) çalışma elektrotu, elektrokimyasal sentez öncesinde taşlama-parlatma cihazında 1200 silikon karbür (SiC) kağıt zımpara kullanılarak zımparalandıktan sonra, ultrasonik banyoda önce etanol-aseton karışımı, sonra asetonitril ile yıkanıp, kurutulmuştur. Elektrokimyasal sentez sırasında 1 mm kalınlığında ve 5 cm uzunluğunda Ag tel referans elektrot olarak, 0,5 mm kalınlıkta 2 $cm^2$ yüzey alanında Pt levha karşıt elektrot olarak kullanılmıştır. Korozyon testlerinde Ag/AgCl elektrot (3 M KCl, Gamry) referans elektrot olarak, platin tel (CHI115) ise karşıt elektrot olarak kullanılmıştır. Pt levha ve Ag tel elektrokimyasal sentez öncesinde ultrasonik banyoda, önce alkol-aseton karışımı, sonra asetonitril ile temizlendikten sonra hücreye yerleştirilmiştir. Elektrokimyasal sentez ve korozyon testleri Gamry Reference 600™ potansiyostat /galvanostat/ZRA sisteminde yapılmıştır. Polimer ile paslanmaz çelik kaplı çelik levhaların FTIR spektrumları Perkin Elmer/Spectrum 100 ATR-FTIR spektrometrede 4000-650 $cm^{-1}$ aralığında kaydedilmiş olup, yüzey analizlerinde polimerle kaplı ITO malzemeler Hitachi Regulus 8230 model FE-SEM cihazında incelenmiştir.

304 PÇ elektrot yüzeyinde $MnO_2$ katkılı poli(*N*-vinil karbazol) filmlerinin sentezi 0,02 M *N*-vinil karbazol, 0,1 M TBAP, ve %0,10 $MnO_2$ içeren asetonitril çözeltisinde dönüşümlü voltametri yöntemiyle +0,3 ile +1,5 V potansiyel aralığında 50 mV/s tarama hızında 10 döngü alınarak gerçekleştirilmiştir. Poli(*N*-vinil karbazol)-$MnO_2$ filmlerinin çelik yüzeyinde elektrokimyasal sentezinin tamamlanmasının ardından, polimer ile kaplanan PÇ elektrotlar (PÇ/PNVnKz-$MnO_2$) polimerizasyon çözeltisinden uzaklaştırılarak asetonitril ile yıkanmış ve korozyon testleri öncesinde havada kurutulmuştur.

Polimer ile kaplanmış ve kaplanmamış 304 PÇ elektrotların korozyon testleri, oksijenden arındırılmamış 1 M $H_2SO_4$ ortamında açık devre potansiyelinin zamanla değişiminin izlenmesi, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve potansiyodinamik polarizasyon (PP) yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. EIS ve PP deneyleri öncesinde, çalışma elektrotunun açık devre potansiyelinin kararlı hale ulaşabilmesi için 30 dakika korozif ortamda bekletilmesinden sonra ölçümler başlatılmıştır. Elektrokimyasal empedans ölçümleri için açık devre potansiyelinde 100 kHz ile 1 mHz frekans aralığında 10 mV genlikte alternatif akım uygulanırken, potansiyodinamik

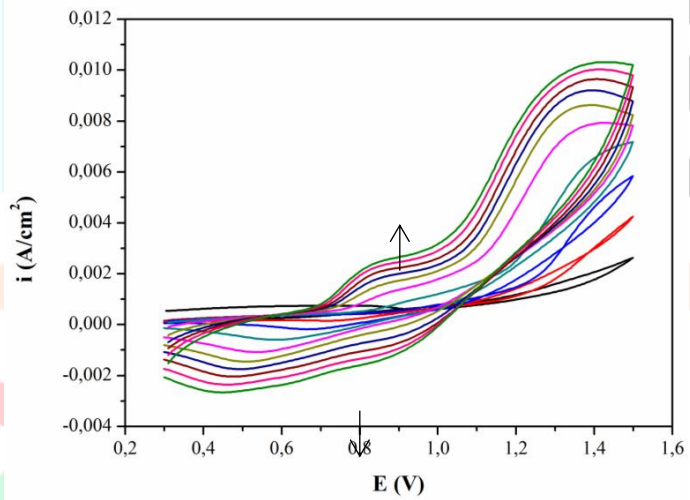
ISBN: 978-605-71156-5-2

polarizasyon eğrileri açık devre potansiyeline göre -0,4 V ile +0,4 V potansiyel aralığında 1 mV/s tarama hızında kaydedilmiştir.

## Sonuçlar ve Bulgular

### $MnO_2$ Katkılı Poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz-$MnO_2$) Kaplamaların Sentezi

$MnO_2$ katkılı poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz-$MnO_2$) kaplamaların paslanmaz çelik üzerindeki sentezi, ilk potansiyel, son potansiyel, tarama hızı, döngü sayısı gibi dönüşümlü voltametrik sentez parametrelerinin poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz) sentezi için optimize edilmesinden sonra gerçekleştirilmiştir. 0,02 M *N*-vinil karbazol ve 0,1 M TBAP içeren asetonitril çözeltisi için bu parametreler: ilk potansiyel +0,3 V, son potansiyel +1,5 V, tarama hızı 50 mV/s ve döngü sayısı 10 olarak belirlenmiştir. PNVnKz sentezi için belirlenen bu koşullarda sırasıyla %0,05, %0,10, %0,15 $MnO_2$ içeren sentez ortamlarında PNVnKz-$MnO_2$ filmleri sentezlenmiştir. Şekil 1'de, 0,1 M TBAP, 0,02 M *N*-VnKz ve %0,10 $MnO_2$ içeren asetonitril çözeltisi içerisinde PNVnKz-$MnO_2$ kaplamanın sentezine ait dönüşümlü voltamogramlar verilmiştir. Bu voltamogramlarda, ilk döngüde +1,1 V civarında başlayan akım artışı monomerin yükseltgenmesine aittir. Bu sırada oluşan PNVnKz polimerin indirgenmesi yine ilk döngüde katodik tarama sırasında +0,7 V civarında izlenmektedir. İkinci döngüden itibaren +1,0 V potansiyel civarında PNVnKz polimerin yükseltgenmesine ait akım artışları görülmektedir. Sonraki döngülerde monomerin yükseltgenmesine ve polimerin yükseltgenme-indirgenmesine ait pik akımlarının giderek artması çelik yüzeyinde iletken bir kaplamanın oluştuğunu göstermektedir (Tüken, vd. 2006). 10 döngünün sonunda çelik yüzeyinin homojen ve koyu yeşil renkli PNVnKz-$MnO_2$ filmi ile tamamen kaplandığı gözlenmiştir.



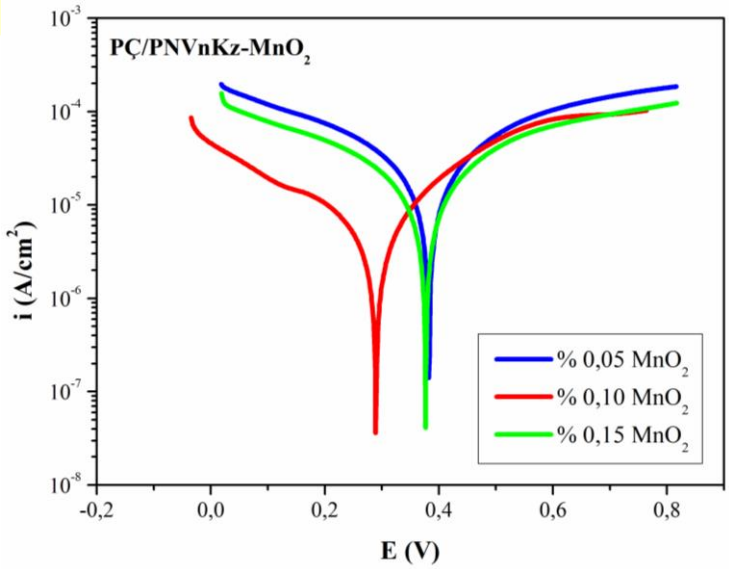

**Şekil 1.** 304 PÇ elektrot yüzeyinde 0,1 M TBAP, 0,02 M NVnKz ve %0,10 $MnO_2$ içeren asetonitril ortamında 50 mV/s tarama hızında 10 döngüde PNVnKz-$MnO_2$ sentezi

### Optimum $MnO_2$ Katkılama Miktarının Belirlenmesi

Poli(*N*-vinil karbazol) kaplamaların korozyon dayanımını arttırmak üzere kullanılan $MnO_2$'nin optimum miktarını belirlemek üzere, farklı yüzdelerde (%0,05, %0,10, %0,15) $MnO_2$ sentez ortamına eklenerek farklı oranlarda katkılanmış PNVnKz-$MnO_2$ kaplamalar dönüşümlü

ISBN: 978-605-71156-5-2

voltametri yöntemiyle çelik üzerinde sentezlenmiştir. Kaplanmış çelik elektrotların (PÇ/PNVnKz-$MnO_2$) 1 M $H_2SO_4$ çözeltisindeki korozyon performansları potansiyodinamik polarizasyon yöntemi ile test edilmiş ve elde edilen eğriler Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de görülen potansiyodinamik polarizasyon eğrilerine Tafel ekstrapolasyonu uygulanarak elde edilen korozyon potansiyeli ($E_{kor}$), korozyon akımı ($i_{kor}$), anodik ve katodik Tafel sabitleri ($\beta_a$ ve $\beta_c$) ile mpy (yılda mm) cinsinden korozyon hızı (KH) gibi korozyon parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'de verilen korozyon akımları ($i_{kor}$) incelendiğinde en düşük korozyon akımına sahip kaplamanın %0,10 $MnO_2$ varlığında elde edilmiş olduğu, bu miktarın üzerinde ve altında $MnO_2$ ile katkılama yapıldığında daha büyük korozyon akımı gözlenmesi nedeniyle en iyi koruyan PNVnKz kaplamanın %0,10 $MnO_2$ derişimi kullanılarak elde edildiği açıkça görülebilmektedir; dolayısıyla optimum $MnO_2$ miktarı %0,10 olarak belirlenmiş olup, karakterizasyonu ve korozyon testleri yapılan $MnO_2$ katkılanmış PNVnKz kaplamalar %0,10 $MnO_2$ varlığında sentezlenmiştir.




**Şekil 2.** %0,05, %0,10, %0,15 derişimlerde $MnO_2$ varlığında PNVnKz ile kaplı PÇ elektrotların (PÇ/PNVnKz-$MnO_2$) 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

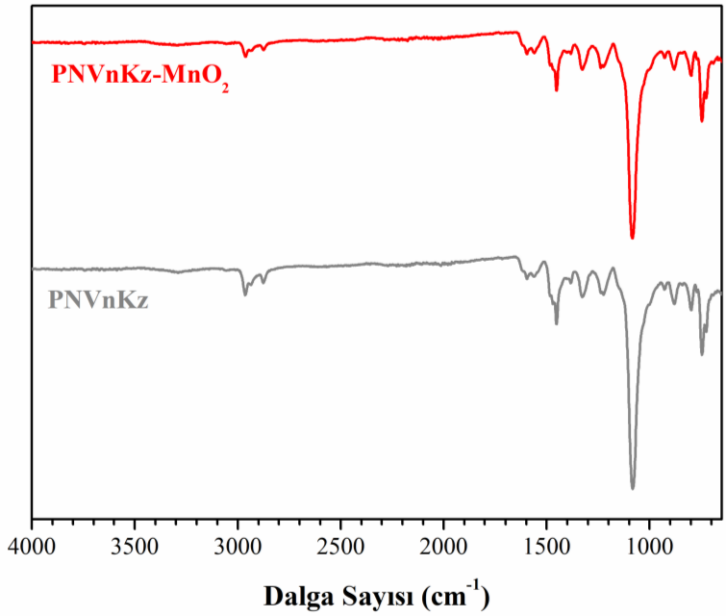
**Tablo 1.** %0,05, %0,10, %0,15 derişimlerde $MnO_2$ varlığında PNVnKz ile kaplı PÇ elektrotların (PÇ/PNVnKz-$MnO_2$) 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri

| Elektrot | $E_{kor}$ (mV) | $i_{kor}$ (A/cm²) | $\beta_a$ (V) | $\beta_c$ (V) | KH (mpy) |
|---|---|---|---|---|---|
| PÇ/PNVnKz-$MnO_2$(%0,05) | 382,0 | $55,70\times10^{-6}$ | $520,5\times10^{-3}$ | $699,6\times10^{-3}$ | 25,48 |
| PÇ/PNVnKz-$MnO_2$(%0,10) | 289,0 | $8,630\times10^{-6}$ | $255,4\times10^{-3}$ | $372,5\times10^{-3}$ | 3,945 |
| PÇ/PNVnKz-$MnO_2$(%0,15) | 376,7 | $48,20\times10^{-6}$ | $613,9\times10^{-3}$ | $929,2\times10^{-3}$ | 22,03 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

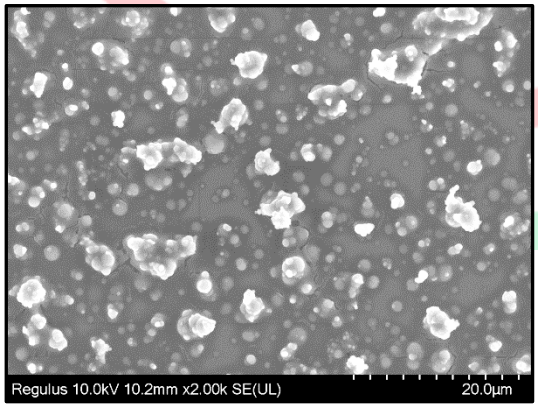
**$MnO_2$ Katkılı Poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz-$MnO_2$) Kaplamaların Karakterizasyonu**

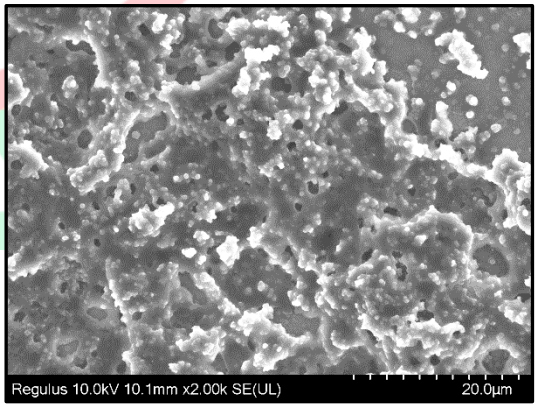
Şekil 3'de paslanmaz çelik üzerinde sentezlenen PNVnKz ve PNVnKz-$MnO_2$ kaplamaların ATR-FTIR spektrumları verilmiştir. Her iki kaplamanın spektrumlarının aynı olması, katkılanma durumunda da polimerin kimyasal yapısının değişmediğini göstermektedir. 3000 $cm^{-1}$ ve 2800-2900 $cm^{-1}$'de görülen zayıf pikler sırasıyla aromatik ve alifatik C-H gerilmelerine aittir. 1400-1600 $cm^{-1}$'de gözlenen karakteristik üç bant, benzen halkalarının aromatik C=C gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. 1250 ve 1350 $cm^{-1}$'deki orta şiddetli iki pik *N*-vinil pirol birimlerinin C-N gerilme titreşimlerinden ileri gelmektedir. 1100 $cm^{-1}$'deki şiddetli pik polimer yapısına katılan perklorat iyonlarının Cl-O gerilmelerini göstermektedir. 700-750 $cm^{-1}$ aralığındaki orta şiddetli sinyal ise benzen halkalarının 1,2-disübstitüsyonunu belirtmektedir. Bu pikler, poli(*N*-vinil) karbazol için karakteristik olup, çelik üzerinde $MnO_2$ varlığında *N*-vinil karbazolün polimerleşmesinin kanıtıdır.




**Şekil 3.** Çelik yüzeyinde sentezlenen PNVnKz ve PNVnKz-$MnO_2$(%0,10) kaplamaların ATR-FTIR spektrumları

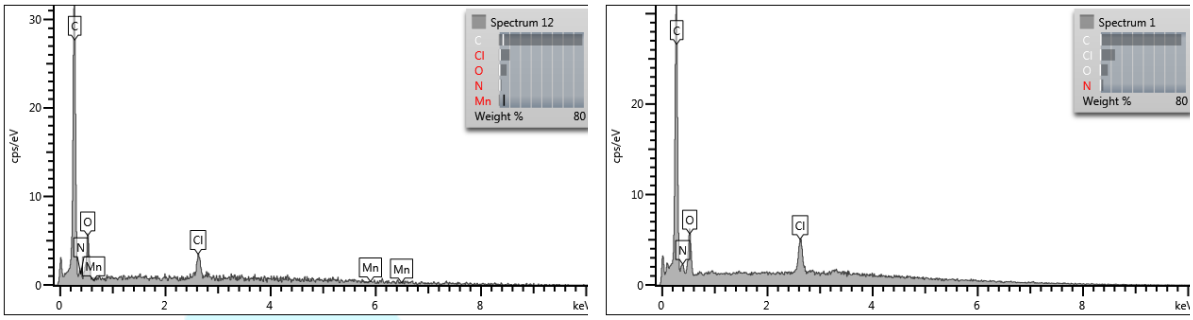
**PNVnKz-$MnO_2$** **PNVnKz**



ISBN: 978-605-71156-5-2

**PNVnKz-MnO$_2$** **PNVnKz**



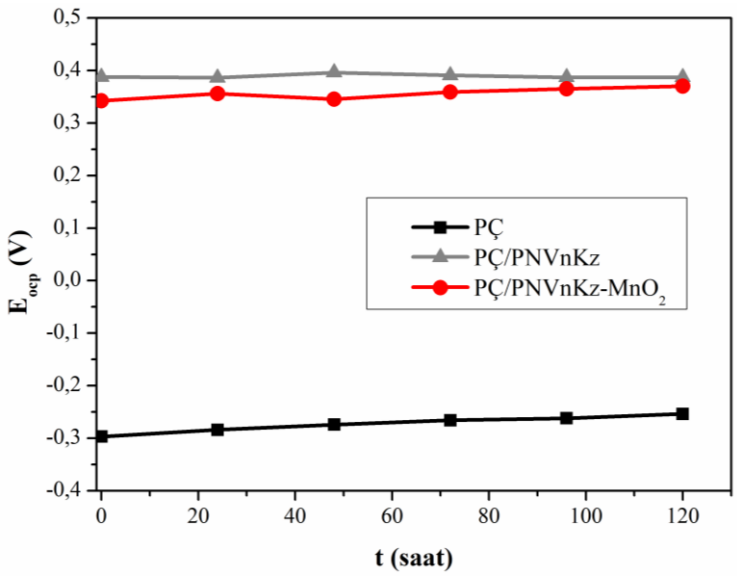

**Şekil 4.** PNVnKz-MnO$_2$(%0,10) ve PNVnKz kaplamaların SEM mikrofotoğrafları ile EDS spektrumları

Şekil 4'de PNVnKz ve PNVnKz-MnO$_2$ kaplamaların SEM görüntüleri ile EDS spektrumları görülmektedir. Bu kaplamaların SEM mikrofotoğraflarının karşılaştırılmasından MnO$_2$ katkılı PNVnCz kaplamanın yüzeyde daha homojen bir dağılım gösterdiği; EDS spektrumlarının karşılaştırılmasından da katkılanmış polimerin yapısına Mn metalinin katıldığı anlaşılmaktadır.

**MnO$_2$ Katkılı Poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz-MnO$_2$) Kaplamaların Antikorozif Özellikleri**

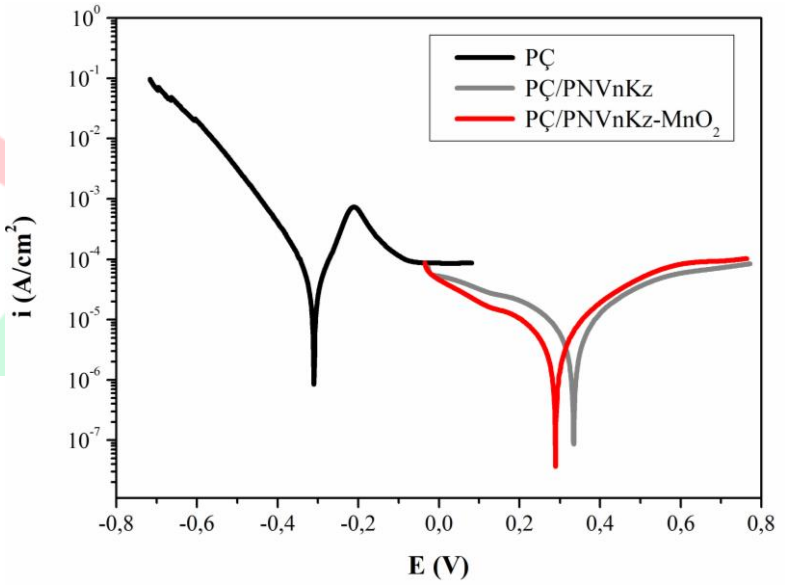
Paslanmaz çelik yüzeyinde PNVnKz ve PNVnKz-MnO$_2$ kaplamaların korozyon performansları, 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde açık devre potansiyelinin zamanla değişimi ($E_{ocp}$-t) eğrileri, potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemleriyle incelenmiş ve kaplanmamış çeliğin sonuçları ile karşılaştırılarak verilmiştir. PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-MnO$_2$ elektrotların 120 saat için ölçülen açık devre potansiyelleri zamana karşı grafiğe geçirilerek Şekil 5'de verilmiştir. PNVnKz ve PNVnKz-MnO$_2$ kaplı çelik elektrotların $E_{ocp}$ değerlerinin kaplanmamış PÇ elektrota göre daha pozitif olduğu görülmektedir. Bu durum, yükseltgenmiş formdaki iletken polimerlerin anodik koruma etkisi ile ilişkilendirilebilmektedir (Duran, vd. 2017).

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 5.** PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen $E_{ocp}$-zaman grafikleri

PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 6'da; bu eğrilere Tafel ekstrapolasyonu uygulanarak elde edilen korozyon parametreleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, PNVnKz ve PNVnKz-$MnO_2$ kaplı çelik elektrotların korozyon akım yoğunluğu ($i_{kor}$) ve korozyon hızı (KH) değerlerinin, kaplanmamış paslanmaz çelik elektrota göre daha düşük olması nedeniyle, paslanmaz çeliği korozyona karşı korudukları; koruma performansları karşılaştırıldığında ise PNVnKz-$MnO_2$ kaplamanın daha iyi koruma sağladığı görülmektedir. Polimer kaplı elektrotların korozyon potansiyellerinin ($E_{kor}$), kaplanmamış paslanmaz çeliğe göre daha pozitif olması bu kaplamaların anodik koruma gösterdiğini ortaya koymaktadır.



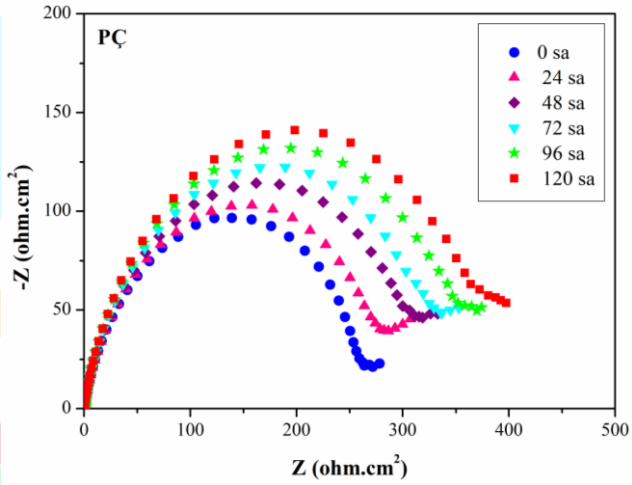
ISBN: 978-605-71156-5-2

**Şekil 6.** PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

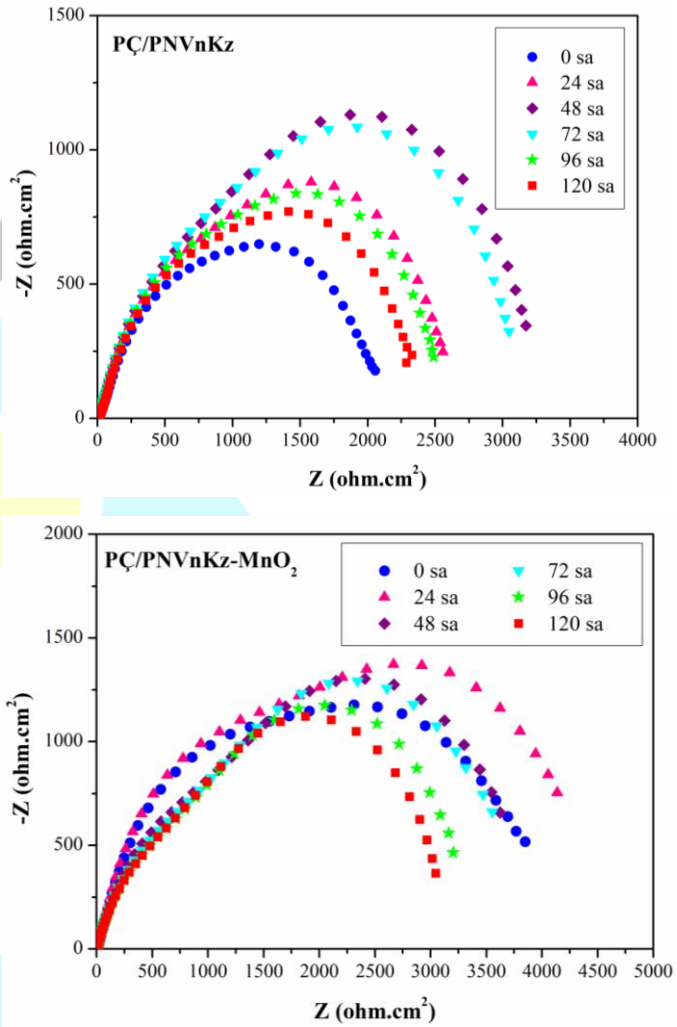
**Tablo 2.** PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri

| Elektrot | $E_{kor}$ (mV) | $i_{kor}$ (A/cm²) | $\beta_a$ (V) | $\beta_c$ (V) | KH (mpy) |
|---|---|---|---|---|---|
| PÇ | -310,0 | $66{,}00\times10^{-6}$ | $134{,}4\times10^{-3}$ | $112{,}8\times10^{-3}$ | 30,17 |
| PÇ/PNVnKz | 334,0 | $38{,}60\times10^{-6}$ | $760{,}4\times10^{-3}$ | 1,459 | 17,63 |
| PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ | 289,0 | $8{,}630\times10^{-6}$ | $255{,}4\times10^{-3}$ | $372{,}5\times10^{-3}$ | 3,945 |

Şekil 7'de PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde farklı daldırma sürelerinde kaydedilen Nyquist empedans spektrumları verilmektedir. Empedans spektrumlarının basık yarım daire şeklinde kapasitif luptan oluşması elektron transfer kontrollü korozyon süreci ile ilişkili olup yük transfer dirençleri yarım dairelerin çaplarından hesaplanabilmektedir (Bazzaoui, vd. 2014). Hesaplanan yük transfer dirençleri ($R_{ct}$) Tablo 3'de görülmektedir. Tablo 3'e göre polimerle kaplı paslanmaz çelik elektrotların yük transfer dirençleri, aynı daldırma süresi için kaplanmamış paslanmaz çeliğin yük transfer direncinden çok daha yüksektir; bu durum kaplamaların çeliğin korozyon direncini arttırmasıyla ilişkilidir. PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotun $R_{ct}$ değerlerinin de PÇ/PNVnKz elektrotunkinden daha büyük olması ise $MnO_2$ katkılanmış poli(*N*-vinil karbazol) kaplamanın daha iyi koruma sağladığını belirtmektedir.



ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 7.** PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde farklı daldırma sürelerinde kaydedilen Nyquist empedans spektrumları

Kaplanmamış PÇ elektrotun yük transfer direncinin 120 saat boyunca giderek artması, $H_2SO_4$ ortamında çeliğin pasifleşmesinden kaynaklanmaktadır. Anacak pasifleşmeden kaynaklanan bu artışın değeri polimer ile kaplı çelik elektrotlarda (PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$) gözlenen kadar fazla değildir.

PÇ/PNVnKz elektrotun yük transfer direncinin 48 saat içerisinde artarak daha sonra azaldığı, PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotun yük transfer direncinin ise 24 saat içerisinde artarak daha sonra azaldığı Şekil 7 ve Tablo 3'den görülmektedir. Anodik koruma ve bariyer etkileri ile koruma sağlayan iletken polimerlerin, elektroaktif ömrünü tamamladıklarında iletkenliklerinin azalması nedeniyle metali pasifleştirerek anodik koruma etkisi yerine bariyer etkisi ile koruma sağladıkları bilinmektedir (Ren ve Zen, 2008). Buna göre, yarım dairelerin çaplarındaki azalma polimerin elektroaktif ömrünün (metal yüzeyinde indirgenme-yükseltgenme özelliğinin) tamamlanması ve korozif türlerin metal yüzeyine geçişini engelleyen bir bariyer olarak davranmasıyla ilişkilendirilebilir. Yine de PNVnKz-$MnO_2$ kaplamanın her durumda katkısız PNVnKz kaplamaya göre daha iyi ve daha uzun süre koruma sağlayacağı anlaşılabilmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Tablo 3.** PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların Nyquist empedans spektrumlarından belirlenen yük transfer dirençleri ($R_{ct}$)

| t (sa) | $R_{ct}$ (ohm.cm$^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | **PÇ** | **PÇ/PNVnKz** | **PÇ/PNVnKz-$MnO_2$** |
| 0 | 279 | 2077 | 3848 |
| 24 | 310 | 2582 | 4212 |
| 48 | 339 | 3209 | 3678 |
| 72 | 358 | 3067 | 3596 |
| 96 | 378 | 2490 | 3209 |
| 120 | 406 | 2358 | 3067 |

PNVnKz-$MnO_2$ kaplamanın, katkılanmamış PNVnKz kaplamadan daha iyi korozyon performansı sergilemesi, polimer yapısına katılan Mn metali etkisiyle iletkenliğin artmasına, buna bağlı olarak da polimerin elektroaktif ömrünü arttırarak aktif koruma süresinin uzamasıyla ilişkilendirilebilmektedir.

**Kaynakça**

Aravindan, N. Sangaranarayanan, M. V. (2016). Influence of solvent composition on the anti-corrosion performance of copper-polypyrrole (Cu-PPy) coated 304 stainless steel. *Prog. Org. Coat.*, *95*, 38-45. doi: 10.1016/j.porgcoat.2016.02.008.

Ates, M. (2010). A comparative study of redox parameters and electrochemical impedance spectroscopy of polycarbazole derivatives on carbon fiber microelectrode. *Fiber. Polym.*, *11*, 1094-1100. doi: 10.1007/s12221-010-1094-5.

Bazzaoui, M., Martins, J. I., Bazzaoui, E. A., Albourine, A., Martins, L. (2014). Corrosion protection of stainless steel plates in fuel cells environment by conducting polymers. *Mater. Corros. - Werkst. Korros.*, *65*, 67-75. doi: 10.1002/maco.201206502.

Duran, B., Unver, I. C., Bereket, G. (2017). Inhibition of steel corrosion by potentiodynamic deposition of poly(N-methyl carbazole). *J. Adhes. Sci. Technol. 31*, 1467-1479. doi: 10.1080/01694243.2016.1263054.

Elangovan, N., Pugalmani, S., Srinivasan, A., Rajendiran, N., Rajendran, N. (2018). Synthesis and anticorrosive properties of novel PVK-$ZrO_2$ nano composite coatings on steel-substrate. *E-J. Surf. Sci. Nanotec. 16*, 5-13. doi: 10.1380/ejssnt.2018.5.

Frau, A. F., Pernites, R. B., Advincula, R. C. (2010). A conjugated polymer network approach to anticorrosion coatings: Poly(vinylcarbazole) electrodeposition. *Ind. Eng. Chem. Res. 49*, 9789-9797. doi: 10.1021/ie100813t.

Gupta, B., Singh, A. K., Prakash, R. (2010). Electrolyte effects on various properties of polycarbazole. *Thin Solid Films*, *519*, 1016-1019. doi: 10.1016/j.tsf.2010.08.034.

Ren Y.J., Zen C.L. (2008). Effect of conducting composite polypyrrole/polyaniline coatings on the corrosion resistance of type 304 stainless steel for bipolar plates of proton-exchange membrane fuel cells. Journal of Power Sources, *182(2),* 524-530. doi: 10.1016/j.jpowsour. 2008.04.056.

Tuken, T., Yazici, B., Erbil, M. (2006). The use of polyindole for prevention of copper corrosion. *Surf. Coat. Technol. 200*, 4802-4809. doi: 10.1016/j.surfcoat.2005.04.023.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Blueberry' Nin Yapısal Özellikleri ve Alternatif Kullanım Alanı Olarak Sağlık

*Emre AYDEMİR*[1]
*Murat ALTAN*[2]
*Aslı Bilge TEKŞAM*[3]

**Özet**

Blueberry ülkemizde bilinen adı ile maviyemiş ılıman iklim koşullarında yetişilebilen, çalı formunda çok yıllık olup kışları yaprak döken bir bitkinin üzümsü meyvesidir. Dünya genelinde ilk olarak 1906 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde gündeme gelmiştir ve çeşitli ıslah ve seleksiyon çalışmaları yapılmıştır. Ülkemizde ise ilk olarak 2000'li yıllarda Rize ilinde yetiştirilmeye başlamıştır. Yıllar içerisinde üretim ve tüketim miktarı incelendiğinde hem dünyada hem de; Türkiye' de yetiştiriciliği giderek artmıştır. Blueberry; taze meyve olarak, meyve suyu sanayisinde, süt ve süt ürünleri teknolojisinde, meyveli ekmek, çörek, kek, puding ve pastalarda, baharat sanayisinde, meyve salatalarında, reçel, marmelat ve konserve sanayisinde, çay, diyet menülerinde, şarap ve çeşitli alkollü içecek yapımında, bitkisi kulp yapımında, süs bitkisi gibi olarak bir çok sektörde kullanılmaktadır. Zengin madde içeriğinin yanında antienflamatuar, antimikrobial, antibakteriyel, hipoglisemik, antifungal, antimutajenik, antikanser, antimutajenik, nörodejeneratif ve antioksidan içeriğinden dolayı ilaç ve kozmetik sanayisinde kullanımı ile de son yıllarda dikkat çekmektedir. Yapılan çalışmalarda, kansere karşı, tümör inhibisyonda, endotel doku fonksiyonun ve beyin gelişimi, üremi sistemi üzerine etkileri, bağırsak, karaciğer, kalp damar, şeker, tansiyon, diyabet, kronik ve göz hastalıkları tedavilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, nöral dokuların korunmasında, reseptörlerdeki ışığa duyarlılığında, romatizmal hastalıklar, hidroksilasyon ve glikozilasyon, serum antioksidan kapasitesinin artırılmasında, nöronal ve davranışsal fonksiyonlarda, sperm motilite, vitalite ve morfolojisinde, mide ve bağırsaklarla ilgili rahatsızlıklarında, özellikle aktif bağışıklık sağlama, ağız içi yaralarını iyileştirmesinde etkin görev aldığı belirtilmektedir. Yapılan bu çalışmada Blueberry' nin yıllar içerisinde artan üretimi, besin madde içeriği, aktif rol aldığı hastalıklar ve tedaviler hakkında bilgilere değinilmiştir.

**Anahtar Kelimeler**: Besin madde içeriği, Blueberry, hastalık ve tedavi, üretim

[1] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Öğrenci, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, ORCID NO: 0000-0002-2451-8248
[2] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Öğrenci, Akdeniz Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Rekreasyon Bölüm
[3] Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcıd: Öğrenci, Arel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Psikoloji Bölümü

## 1.Giriş

Blueberry ülkemizde tanınan adıyla maviyemiş (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Toro), ılıman iklim koşullarında yetişilebilen, çalı formunda çok yıllık olup kışları yaprak döken bir bitkinin üzümsü meyvesidir. Üzümsü meyveler içinde üremi en fazla yapılan meyvedir. Amerika ve Kanada'da başlatılan 1906 yılında çeşitli ıslah ve seleksiyon çalışmaları yapılmıştır. Özgün olarak Kuzey Amerika'ya ait bir bitki olmasına karşın; Kanada, Avustralya, Yeni Zelanda, Kuzey Avrupa, Çin ve son yıllarda Türkiye'de de yetiştirilmektedir. Türkiye' de ise 2000'li yıllarda yetiştirilmeye başlanmıştır. Türkiye' de Karadeniz Bölgesi başta olmak üzere (Artvin, Rize, Trabzon, Ordu, Giresun, Gümüşhane, Samsun, Sinop, Kastamonu, Zonguldak, Bolu, Bartın ve Düzce), Marmara Bölgesi (Kocaeli, Sakarya, İstanbul, Kırklareli, Bursa ve Balıkesir) ve Doğu Anadolu (Erzurum-Şenkaya ve Ardahan) florasında yabani formları (V. vitis- idea, V. myrtillus, V. uliginosum ve V. arctostaphyllos) kendiliğinden yetişmektedir. Yüzyılın meyvesi olarak bahsedilen maviyemiş Türkiye' de ise *Vaccinium* türleri Tıbbi bitki olarak üretilmektedir. Ticari önemi ele alındığında dünyada yüksek boylu maviyemiş (*Vaccinium corymbosum*), alçak boylu maviyemiş (*Vaccinium angustifolium*) ve tavşan gözü (*Vaccinium ashei*) türleri kullanılmaktadır. Ancak en yaygın olan çeşitler yüksek boylu maviyemiş türü içinde yer almaktadır. *Vaccinium* türleri genellikle meyve verimimin yüksek olduğu bilinen bir gerçektir (Ranwala ve Naylor, 2004). Maviyemiş de açan çiçeklerin yaklaşık %80'i meyveye dönüşmektedir. Buda, birim alandan yüksek gelir getirdiğinini bir göstergesidir. Genel olarak altıncı yılda optimum verime ulaşan, 30-40 yıl ekonomik ömrü olan bir bitki olarak bilinmektedir. Ortalama olarak, Bitki başına verimliliği 4-10 kg olup, dekara ise 1.5-3 ton meyve elde edilmektedir (Himelrick, 2002). Maviyemişin kullanım alanları incelendiğinde; taze meyve olarak, meyve suyu sanayisinde, ilaç sanayisinde (kuru meyvesi, çiçekleri, kökleri ve yaprakları), süt ve süt ürünleri teknolojisinde (mavi yemişli dondurma, mavi yemişli süt), meyveli ekmek, çörek, kek, puding ve pastalarda, baharat sanayisinde, meyve salatalarında, reçel, marmelat ve konserve sanayisinde, çay (kuru yaprağı ve kuru meyvesi), diyet menülerinde, şarap ve çeşitli alkollü içecek yapımında, bitkisi kulp (sap) yapımında, süs bitkisi olarak kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda kökleri, çiçek ve meyveleri ilaç ve kozmetik sanayisinde kullanılmaktadır (Gough 1994).

## 2.Yetişmesi İçin Gerekli Koşullar

Maviyemiş tarımı için en uygun alanlar, tam güneş alan veya biraz gölge olan, güneye bakan ve hafif meyilli alanlardır. Bu alanlarda drenaj ile hava akımının nispeten iyi olması gerekir. Kuzey-batıya bakan alanlar da maviyemiş yetiştiriciliği için uygundur. Maviyemiş, iyi drenaja sahip, organik madde miktarı % 3'ün üzerinde olan kumlu-tınlı ve asit karakterli topraklarda çok iyi yetişmektedir. Endomikorizal funguslar ile ortak yaşar ve topraktaki fosfor ile potasyumu kolayca alabilirler. Böylece fakir topraklarda da yetişebilmektedirler. Türkiye'de 40-42° Kuzey enlemleri arasında kalan ve büyük kısmını Karadeniz Bölgesi'nin kapladığı alanlardaki nispeten yüksek rakımlı, asitli ve organik maddece zengin topraklarda kolayca yetişebilmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

### 2.1.Blueberry (Vaccinum Angustifolium) Sistematiği Ve Türleri

Maviyemiş, bitkiler aleminin, Iki çenekli sınıfının, Ericales takımına ait Fundagiller (Ericaceae) ailesinin, Yaban mersini cinsi (Vaccinium L.) içerisinde yer almakta- dır. Günümüzde, yüksek boylu maviyemişler (Vaccinium corymbosum L.), tavşangözü maviyemişler (Vaccinium ashei Reade) ve alçak boylu maviyemişler (Vaccinium an- gustifolium Ait.) ticari olarak yetiştirilmektedir. Kültüre alınmamış türleri (Vaccinium myrtillus L., Vaccinium arc- tostaphylos L., Vaccinium uliginosum L., Vaccinium vitis– idea L.), Doğu Karadeniz ve özellikle Trabzon ve Rize illerin- de Likaba olarak adlandırılır. Ayrıca, aynı bitkiler; halkımız tarafından Trabzon'da Ligarba, Lifos, Lifor veya Trabzon Üzümü, Rize Pazar ilçesinde Kaskanaka, Rize Ardeşen İlçesinde Çera (Çela), Artvin'de Morsivit veya Mahabak, Giresun'da Çalı Çiçeği, diğer bölgelerde ise Ayı Üzümü, Çay Üzümü veya Çoban Üzümü olarak bilinmektedir (Ağaoğlu ve Gerçekçioğlu, 2013).

**Blueberry Sistematiği**

| | |
|---|---|
| **Takım:** Ericales | çalı formundaki yaban mersini (Vaccinium corymbosum), |
| **Familya:** Ericaceae | alçak boylu çalı formundaki yaban mersini (Vaccinium angustifolium) |
| **Alt Familya:** Vacciniaceae | alçak çatılı yaban mersini (Vaccinium myrtilloides) |
| **Cins:** Vaccinium | Tavşan gözü (Vaccinium ashei) |
| **Alt Cins:** Euvaccinium | |

**Kürtülü Yapılan Egzotik Dört Maviyemiş**

| | **Bilinen isimler** |
|---|---|
| Bilberry (**Vaccinium myrtillus**) - Ayı üzümü, Likapa | Ayı üzümü, Likapa, Blueberry, Whortleberry, Huckleberry, Hurtleberry |
| Blueberry (**Vaccinium corymbosum**)- Yüksek Çalı Formlu Yaban Mersini | Blue huckleberry, tallhuckleberry, swamphuckleberry, highblueberry, and swampblueberry. |
| Bog Bilberry (**Vaccinium uliginosum**)- Bataklık Yaban Mersini | Bataklık Yaban Mersini, Bog Whortleberry, Bog Blueberry |
| Small Cranberry (**Vaccinium microcarpum**) | |
| Cowberry (**Vaccinium vitis-idaea**) | RedWhortleberry, Lingonberry, Mountain-cranberry |
| Crowberry (**Empetrumnigrum**) | Black Crowberry, Mossberry |

ISBN: 978-605-71156-5-2

### 2.2.Blueberry Üretimi ve Ekonomisi

Dünya genelinde ekonomik değere sahip olan maviyemiş türleri her geçen yıl üreti miktarı artmaktadır. Dünya geleninde maviyemişin üretim payı incelendiğinde %37'si A.B.D., %24'ü Kanada, %14'ü Peru, %6'sı İspanya tarafından sağlarken; geriye kalan %19' luk kısım diğer ülkelerden sağlanmaktadır.

**Dünya genelinde 2013-2018 yıllara arasında üretim miktarı (Ton)**

(FAO 2018)

Dünya 2008 yılında maviyemiş üretimine bakıldığında 312 bin ton civarında olup bu üretimde 188,150 ton ile ABD ilk sırada yer almıştır(FAO 2018). Yıllar içerisinde tüm dünya genelinde üretim miktarı hızlı şekilde artış göstermiştir. Son yıllara bakıldığında özellikle 2016-2018 yılları arasında 600.000 tonun üzerinde üretim yapıldığı; ve değerinin her geçen gün artığının bir göstergesidir.

### 3.Blueberry Kimyasal Yapısı ve Özellikleri

Blueberry (vaccinum angustifolium), dünya üzerindeki birçok bölgede yabani olarak yetişmekte olan, vücutta biyoaktif olarak kullanılan flavonoidlerden antosiyaninler, flavanoller ve fenolik asitler açısından zengin, yüksek antioksidan kapasiteye sahip son yılların en çok araştırma yapıldığı meyve türüdür. Blueberry'nin insan sağlığı ve beslenmesi üzerine yararları ile ilgili yapılan araştırmalarda 100 gr maviyemişin % 83 su, % 1 protein, % 0.5 yağ, % 15 karbonhidrat, %1.5 lif, kalsiyum, demir ve C vitamini bulunduğu saptanmıştır (Lu ve ark. 2012). Yapısındaki sekerin bileşiminin %3 sakkaroz, %48 glukoz ve %49 fruktozdan oluşmaktadır. Ayrıca, antienflamatuar, antimikrobial, antibakteriyel, hipoglisemik, antifungal, antimutajenik, antikanser, antimutajenik, nörodejeneratif ve antioksidan bakımından oldukça da zengin bir içeriği sahiptir (Aleksic ve Knezevic 2014; . Gardeli ve ark. 2008; Nassar ve ark. 2010; Rossi ve ark. 2009; Montor ve ark. 2006; ).

ISBN: 978-605-71156-5-2

- Fosfor içeriği son derece yüksek,
- kalori ve sodyum içeriği düşük,
- yüksek antioksidan kapasitesi
- yüksek polifenol düzeyi,
- yüksek antioksidan kapasitesi,
- ksidatif stres üzerinde yararlı 20 farklı antosiyanin içermesi,
- elajik asit, gallik asit, kuersetin, mirisetin, pterostilben, klorogenik asit, flavonoller, flavonlar, flavanonlar, flavanoller, antosiyanidinler, kondanse tanenler ve isoflavonlar gibi önemli fenolik bileşenler,
- delfinidin 3- galaktozid, delfinidin-3-glukozid, siyanidin-3-galaktozid, siyanidin-3-glukozid, petunidin-3- galaktozid, petunidin-3-arabinozid, malvidin-3- galaktozid, malvidin-3-glukozid ve malvidin-3-arabinozid gibi yapısında bulunan en bilindik antosiyaninlerce zengin olduğu ve bilinen özelliklerindendir (Srivastava ve ark. 2007; Reen ve ark. 2006; Sweeney ve ark. 2002; Dembinska-Kiec 2008; Youdim ve ark. 2000,2002; Wang ve ark. 2005; Schmidt ve ark. 2006; Peng ve ark. 2012; Umesalma ve ark. 2011).

### 3.1.Aktif Rol Aldığı Hastalıklar ve Tedaviler

- Hidroksilasyon ve glikozilasyon işlemlerinde görev alma,
- elajik asit, kansere karşı etkin özellik gösteren olan fitokimyasal içermesi,
- tümör inhibisyonda etkin olan flavonoller, antosiyaninler ve elajik asitin içermesi,
- serbest radikal düzeylerinde bir azalma sağlayarak ve plazma antioksidan kapasitesini artırarak lenfositlerdeki DNA hasarlanmasını azalmasını sağlama,
- gözde bulunan reseptörlerdeki ışığa duyarlılığı artırmak, gözün değişen ışık kaynaklarına adaptasyonunu sağlama,
- gözdeki damar ve kapilerler beslenme ve güçlenmesini sağlama
- endotel doku fonksiyonun gelişimi,
- serum antioksidan kapasitesinin artırılması,
- LDL'nin oksidasyona karşı korunması,
- plazmaya özgü protein oksidasyonunun ve damarlarda plak oluşumunun azalmasında,
- kronik hastalık risklerinin azaldığı,
- nöronal ve davranışsal fonksiyonlardaki bozuklukları azaltma özelliği,
- beyin hasarı üzerinde pozitif etkileri olduğu,
- nöral dokunun korunmasının antioksidan ve antiinflamatuar mekanizmalarla sahip olması,
- diyabetik tedavisinde kullanılması,
- şeker ve tansiyon tedavisinde aktif görev alması,
- idrar yolu enfeksiyonlarinda antibiyotik görevinde bulunma,
- sperm motilite, vitalite ve morfolojisinin anlamlı olarak arttığı,
- mide ve bağırsaklarla ilgili rahatsızlıkları giderilmesinde,

ISBN: 978-605-71156-5-2

- Immunglobülin G (IgG) üzerine etki ederek aktif bağışıklık sağlama,
- romatizmal hastalıklar ile ağız içi yaralarını iyileştirmesi,
- öğrenme ve hatırlama kabiliyetlerinin artmasını sağlama,
- yaşlılıktaki hafıza kayıplarını engellediği,
- karaciğer patolojilerinde hücresel hasarın indüklenmesiyle oluşan doku inflamasyonu kritik rol alması,
- ornitin dekarboksilazı üzerinde inhibisyon etkisi olan kinon redüktazı indükleyerek çeşitli kanser türlerine karşı antiproliferatif etki göstermesi bilindik etki mekanizmaları arasında yer almaktadır (Srivastava ve ark. 2007; Reen ve ark. 2006; Sweeney ve ark. 2002; Dembinska-Kiec 2008; Youdim ve ark. 2000,2002; Wang ve ark. 2005; Schmidt ve ark. 2006; Peng ve ark. 2012; Umesalma ve ark. 2011; Kalt ve ark.2007; Nakaishi 2000; Muth ve ark. 2000; Morazzoni ve ark. 1996; Beecher 1999).

**4.Yapılan Çalışmalar**

Güner (2010) tarafından yapılan bir çalışmada akut karaciğer toksisitesinde yabanmersininin koruyucu etkileri incelemiştir. Çalışmada yabanmersini çayının içerdiği fenoller, antosiyanidinler ve flavonoidler nedeniyle steatozis, balonlaşma dejenerasyonu, lobüler nekro-inflamasyon skorlarında azalma, mitoz skorunda artma ile hem histopatolojik, hem de doku CAT, doku SOD aktivitesinde artma, doku TBARS düzeyleri ve serum oksidasyonunda düşme gibi biyokimyasal parametrelerle CCl4'ün karaciğerde oluşturduğu toksik etkileri azalttığını saptamışdır. Ayrıca, karaciğere koruyucu etkisini ve karaciğer rejenerasyon kapasitesini arttırdığı belirtilmiştir. Eda (2012) tarafından yapılan çalışmada ise, ağrı kesici ve ateş düşürücü olarak kullanılan Asetaminofen' nin (Karaciğer hasarı, yetmezlikleri ve ölümle sonuçlarının olduğu bilinmektedir.) indüklenen hepatotoksisite de, yabanmersininin antioksidan özelliklerinin etkilerini incelemiştir. Çalışmada intraselüler antioksidan kapasiteyi arttırdığı, karaciğer hasarının azalttığı, Asetaminofen hepatotoksisitesine karşı büyük oranda koruyucu etkisi olduğu bildirmiştir. Yapılan bir başka çalışmada Yang ve ark. (2003) karbon tetraklorür (CCl4) tarafından hasar görmüş deney hayvanlarının karaciğer tedavisinde yabanmersininin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmadan elde etikleri bulgularda yabanmersini ile beslenen hayvanlarının AST ve ALT enzim aktivitelerinin düşürdüğünü, karaciğer hasarı üzerine olumlu iyileştirici etki yaptığı bildirmişlerdir. Bir başka benzer çalışma yapan Jeon ve ark. (2003) CCl4 ile oluşturulan karaciğer hasarının iyileşmesi ve koruyu etki yapması için yabanmersinin etkilerini incelmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular incelendiğinde yabanmersinin AST ve ALT enzim aktivitelerini düşürdüğü, karaciğer hasarı üzerindeki koruyucu etkisinin antioksidan aktivitesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Nilgün (2017) tarafından yapılan çalışmada yaban mersini meyvesinin, tıbbi beslenme tedavisiyle fazla kilolu ve obez bireylerde kilo yönetimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada 48 yetişkinde (müdahale n: 23, kontrol n: 25) yürütülmüş ve vücut ağırlığı, yağ, sıvı, kas oranları ve biyokimyasal parametreler (Glikoz, HbA1C, TSH, Total kolesterol, LDL kolesterol, HDL kolesterol, Trigliserid, ALT, AST, Ürik Asit, İnsülin, İnsülin direnci, Hemoglobin)12 hafta boyunca takip etmiştir. Çalışma

ISBN: 978-605-71156-5-2

sonuçları incelendiğinde ise yaban mersini meyvesinin bazı biyokimyasal özelliklerinin LDL, total kolesterol ve ürik asit değerlerinde müdahale grubunda meydana gelen azalmalar istatistiksel olarak önemli anlamlı bulduğunu bildirmiştir.

**5.Sonuç**

Blueberry' nin yıllar içerisinde dünyada ve Türkiye'de üretim ve tüketiminin hızla arttığı gözlemlememiştir. Bunun nedenleri arasında sahip olduğu zengin protein, yağ, karbonhidrat, vitamin ve mineral kaylarından dolağı kullanım alanı giderek artmıştır. Blueberry sadece taze meyve olarak, meyve suyu sanayisinde, süt ve süt ürünleri teknolojisinde, meyveli ekmek, çörek, kek, puding ve pastalarda, baharat sanayisinde, meyve salatalarında, reçel, marmelat ve konserve sanayisinde, çay, diyet menülerinde, şarap ve çeşitli alkollü içecek yapımında, bitkisi kulp yapımında, süs bitkisi gibi olarak bir çok alanda kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda ilaç ve kozmetik sanayisinde kullanımı dikkat çeken özellikelrinden birisidir. Bunun nedenlerinin basında zengin madde içeriğinin, antienflamatuar, antimikrobial, antibakteriyel, hipoglisemik, antifungal, antimutajenik, antikanser, antimutajenik, nörodejeneratif ve antioksidan özellikleri gelmektedir. Yapılan bir çok çalışmada sahip olmuş olduğu bu özellikler, kansere karşı, tümör inhibisyonda, endotel doku fonksiyonun ve beyin gelişimi, üremi sistemi üzerine etkileri, bağırsak, karaciğer, kalp damar, şeker, tansiyon, diyabet, kronik ve göz hastalıkları tedavilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, nöral dokuların korunmasında, reseptörlerdeki ışığa duyarlılığında, romatizmal hastalıklar, hidroksilasyon ve glikozilasyon, serum antioksidan kapasitesinin artırılmasında, nöronal ve davranışsal fonksiyonlarda, sperm motilite, vitalite ve morfolojisinde, mide ve bağırsaklarla ilgili rahatsızlıklarında, özellikle aktif bağışıklık sağlama, ağız içi yaralarını iyileştirmesinde etkin görev aldığına dair bilgiler yer almaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda Blueberry' nin sadece bir besin maddesi yada gıda olarak değil aynı zamanda; sağlık alanda kullanılan aktif tedaviler için tamamlayıcı bir ilaç hammaddesi haline gelmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynaklar**

Gülin Güner 2010 Ccl4 ILe Sıçanlarda OluşTurulmuş Akut Karaciğerr ToksiSiTesiNde YabanmersiNiNiN Koruyucu EtkiLeri T.C. Ege ÜniVersiTesi Tıp Fakültesi Temel Tıp BiLiMleri Bölümü Tıbbi BiYokiMya AnabiLiM Dalı Tıpta Uzmanlık Tezi

Eda ÖzçeliK 2012, KiTosan Ve Blueberry'niN AsetamiNofen Aracılı KaraciĞEr ToksiSiTesi ÜzeriNe EtkiLeri, T.C. EskiŞEhiR Osmangazi ÜniVersiTesi SağLık BiLiMleri EnstiTüsü Tıbbi BiYokiMya AnabiLiM Dalı, Doktora Tezi

Umesalma, S., Sudhandiran, G., 2011, Ellagic acid prevents rat colon carcinogenesis induced by 1, 2 dimethyl hydrazine through inhibition of AKT-phosphoinositide-3 kinase pathway, Eur J Pharmacol, 660 (2-3), 249-58 p.

Peng, C., Zuo, Y., Kwan, K.M., Liang, Y., Ma, K.Y., Chan, H.Y., Huang, Y., Yu, H., Chen, Z.Y., 2012, Blueberry extract prolongs lifespan of Drosophila melanogaster, Exp Gerontol, 47 (2), 170-8 p.

Schmidt, B.M., Erdman, J.W.Jr., Lila, M.A., 2006, Differential effects of blueberry proanthocyanidins on androgen sensitive and insensitive human prostate cancer cell lines, Cancer Lett, 231 (2), 240-6 p.

Youdim, K.A., McDonald, J., Kalt, W., Joseph, J.A., 2002, Potential role of dietary flavonoids in reducing microvascular endothelium vulnerability to oxidative and inflammatory insults ( small star, filled), J Nutr Biochem, 13 (5), 282-288 p.

Youdim, K.A., Shukitt-Hale, B., MacKinnon. S., Kalt, W., Joseph, J.A., 2000, Polyphenolics enhance red blood cell resistance to oxidative stress: in vitro and in vivo, Biochim Biophys Acta, 1523 (1), 117-22 p.

Wang, Y., Chang, C.F., Chou, J., Chen, H.L., Deng, X., Harvey, B.K., Cadet, J.L., Bickford, P.C., 2005, Dietary supplementation with blueberries, spinach, or spirulina reduces ischemic brain damage, Exp Neurol, 193 (1):75-84 p.

Sweeney, M.I., Kalt, W., MacKinnon, S.L., Ashby, J., Gottschall-Pass, K.T., 2002, Feeding rats diets enriched in lowbush blueberries for six weeks decreases ischemia-induced brain damage, Nutr Neurosci, 5 (6), 427-31 p.

Dembinska-Kiec, A., Mykkänen, O., Kiec-Wilk, B., Mykkänen, H., 2008, Antioxidant phytochemicals against type 2 diabetes, Br J Nutr, 99 (1), 109-17 p.

Reen, R.K., Nines, R., Stoner, G.D., 2006, Modulation of N-nitrosomethylbenzylamine metabolism by black raspberries in the esophagus and liver of Fischer 344 rats, Nutr Cancer,

ISBN: 978-605-71156-5-2

54 (1), 47-57 p.

Srivastava, A., Akoh, C.C., Fischer, J., Krewer, G., 2007, Effect of anthocyanin fractions from selected cultivars of Georgia-grown blueberries on apoptosis and phase II enzymes, J Agric Food Chem, 55 (8), 3180-5 p.

Lu, S., Cheng, M.L., Li, H., Wu, J., Wang, Y.P., 2012, Effects of blueberry on hepatic fibrosis and ultrastructural of hepatocytes in rats, Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 92 (13), 927-31 p.

Jeon, T.I., Hwang, S.G., Park, N.G., Jung, Y.R., Shin, S.I., Choi, S.D., Park, D.K., 2003, Antioxidative effect of chitosan on chronic carbon tetrachloride induced hepatic injury in rats, Toxicology, 187 (1), 67-73 p.

Yang, Y., Harvey, S.A., Gandhi, C.R., 2003, Kupffer cells are a major source of increased platelet activating factor in the CCl4-induced cirrhotic rat liver, J Hepatol, 39 (2), 200-7 p.

Kalt W, McDonald J, Ricker R & Lu X (1999). Anthocyanin content and pro le within and among blueberry species. *Canadian Journal of Plant Sciences* 79: 617-623.

Kalt W, Joseph J A, & Shukitt-Hale B (2007). Blueberries and human health: A review of current research. *Journal of American Pomological Society* 61: 151-160.

Gough R E (1994). The Highbush Blueberry and Its Management. Food Products Pres. An Imprint of The Haworth Pres Inc., New York-London-Norwood (Australia)

Fediuk, K., Hidiroglou, N., Madere, R., Kuhnlein, H.V. Vitamin C in Inuit Traditional Food and Women's Diets, Journal of Food Composition and Analysis, 2002; 15: 221-235.

Lau, F. Attenuation of iNOS and COX2 by blueberry polyphenols is mediated through the suppression of NF-κB activation, Journal of Functional Foods, 2009; 1 (3): 274-283.

Beecher, G. (1999). Flavonoids in Foods, Antioxidant Food Supplements in Human Health, New York: Academic Press; pp: 269-281.

Youdim, K. Potential role of dietary flavonoids in reducing microvascular endothelium vulnerability to oxidative and inflammatory insults, The Journal of Nutritional Biochemistry, 2002; 13 (5): 282-288.

Nakaishi, H., Matsumoto, H., Tominaga, S., Hirayama, M. Effects of black currant anthocyanoside intake on dark adaptation and VDT work-induced transient refractive alteration in healthy humans, Altern Med Rev, 2000; 5: 553–62.

Muth, E., Laurent, J., Jasper, P. The effect of bilberry nutritional supplementation on night visual acuity and contrast sensitivity, Altern Med Rev, 2000; 5: 164-73.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Morazzoni, P., Bombvardelli, E. Vaccinium myrtillus, L. Fitoterapia, 1996; 67 (1): 3-29.

Atalay, M., Gordillo, G., Roy, S., Rovin, B., Bagchi, D., Bagchi, M., Sen, C.K. Anti-angiogenic property of edible berry in a model of hemangioma, FEBS Letters, 2003; 544: 252-257.

Sullivan, D. Blueberries and Broccoli for Your Health, ProQuest Agricultural Journals, 2002; 49 (2): 12.

Nilgün İstek, 2017, Yaban MersiNi MeyvesiNiN Tıbbi Beslenme TedaviSi Uygulanan Fazla KiLolu BiReylerde KiLo YönetiMi ÜzeriNdeki EtkiLeriNiN AraŞTırılması, T.C. Uludağ ÜniVersiTesi Fen BiLiMleri EnstiTüsü, Doktora Tezi Gıda MühendiSliĞİ Anabilim Dalı.

Nassar MI, Aboutabl el SA, Ahmed RF, El-Khrisy ED, Ibrahim KM, et al. Secondary metabolites and bioactivities of Myrtus communis. Pharmacognosy Res 2010; 2:325-9.

Rossi A, Di Paola R, Mazzon E, Genovese T, Caminiti R, et al. Myrtucommulone from Myrtus communis exhibits potent anti-inflammatory effectiveness in vivo. J Pharmacol Exp Ther 2009; 329:76-86.

Gardeli C, Vassiliki P, Athanasios M, Kibouris T, Komaitis M. Essential oil composition of Pistacia lentiscus L. and Myrtus communis L.: Evaluation of antioxidant capacity of methanolic extracts. Food Chemistry 2008; 107:1120- 30.

Aleksic V, Knezevic P. Antimicrobial and antioxidative activity of extracts and essential oils of Myrtus communis L.Microbiological Research 2014; 169:240-54.

Montoro P, Tuberoso C, Piacente S, Perrone A, De Feo V, et al. Stability and antioxidant activity of polyphenols in extracts of Myrtus communis L. berries used for the preparation of myrtle liqueur. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 2006; 41:1614-9.

Gardeli C, Vassiliki P, Athanasios M, Kibouris T, Komaitis M. Essential oil composition of Pistacia lentiscus L. and Myrtus communis L.: Evaluation of antioxidant capacity of methanolic extracts. Food Chemistry 2008; 107:1120- 30.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Eksenel Bir Gaz Türbini Kademesinin Tasarımı ve Optimizasyonu

*Emre YILDIRIM*[1]
*Onur ÖZDEMİR*[2]
*Halit KARABULUT*[3]

**Özet**

Gaz türbinleri havacılıkta ve diğer endüstriyel alanlarda kullanılan, kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren ve tekdüze güç sağlayan güç makineleridir. Gaz türbinleri kullanıldıkları alana göre itki veya şaft gücü üretmektedir. Yüksek kapasiteli güç üretimi nedeniyle bu makinelerin termal verimini iyileştirmek büyük miktarda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Türbin kanatçıklarının aerodinamik tasarımı, gaz türbini verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Gaz türbinlerindeki kanatçıklar yanma odasından gelen akışkanın enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesini sağlamaktadır. Türbin kanatçıkları, akış yönüne göre radyal ve eksenel olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada, eksenel bir gaz türbini kademesinin aerodinamik tasarımı yapılmıştır. Başlangıçta, bir boyutlu orta akış çizgisi yöntemi ile türbin kanatçıklarının ve türbin kademesinin genel ölçüleri belirlenmiştir. Daha sonra, kanatçık orta yüksekliğinde meydana gelen akışın türbin kademesi boyunca tekdüze olduğu kabul edilmiş ve türbin kademesinde oluşacak kayıplar Soderberg korelasyonu kullanılarak belirlenmiştir. Ön tasarımdan sonra akışın radyal yöndeki değişimleri sabit reaksiyon derecesi yöntemi ile hesaplanmıştır. Böylece, türbin kademesinin tasarımında üç boyutlu etkiler dikkate alınmıştır. Rotor kanatçıkları için farklı kanatçık profilleri tasarlanmış, bu profillere bağlı olarak akış katsayısının ve yükleme katsayısının değişimi hesaplanmış ve bunların türbin performansına etkileri incelenmiştir. Ayrıca, rotor giriş açısı, eksenel kord uzunluğu ve adım aralığı değiştirilerek türbin kademesinden elde edilen güç, tork ve verimdeki değişimler araştırılmıştır. Türbin gücü, radyal akış etkileri göz önünde bulundurularak yapılan kademe tasarımında, radyal akış etkilerinin göz ardı edildiği duruma göre %6.68 daha yüksek olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gaz türbini performansı; Kanatçık optimizasyonu; Kanatçık profili tasarımı; Orta çizgi akışı tasarımı; Turbo makina.

[1] Arş. Gör., Gazi Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, Orcıd: 0000-0002-2528-2740
[2] Arş. Gör. Dr., Gazi Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, Orcıd: 0000-0002-6475-1976
[3] Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, Orcıd: 0000-0001-6211-5258

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

Gaz türbinleri uçaklarda, gemilerde, enerji santrallerinde, rüzgar tünellerinde vb. birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır (Giampaolo, 2014) Güç üretimi kapasiteleri oldukça yüksek olan gaz türbinlerinin gerek emisyonlar gerekse ekonomik sebeplerden dolayı türbin verimlerinin de yüksek olması istenmektedir. Türbin kademelerinin tasarımı, gaz türbininin verimini ve performansını belirleyen unsurlardan birisidir. Türbin kademelerinde meydana gelen basınç kayıplarını azaltarak türbin verimini arttırmak mümkün olmaktadır. Bu nedenle, kayıpların en az olduğu kademe tasarımlarının elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Literatürde, gaz türbini kademesinin tasarımına ve türbin kademelerindeki kayıpları belirlemeye yönelik farklı çalışmalar mevcuttur. Murthy ve Kumar yaptıkları çalışmada, bir türbin kademesinin orta çizgi akışının ve türbin kanatçıklarının tasarımı üzerine parametrik bir tasarım süreci ortaya koymuşlardır. Aerodinamik, yapısal ve termal kısıtlamalar tasarımın sınırlarını belirlemiştir (Murthy ve Kumar, 2012). Juangphanich vd. yaptıkları çalışmada, türbin kademesindeki basınç kayıplarını, bir diğer ifade ile entropi artışını azaltmaya yönelik tasarımlar geliştirmişlerdir. Aerodinamik performansı iyileştirmek için kademe yükleme değerini optimize etmişlerdir (Juangphanich, 2019). Elqussas vd. yaptıkları çalışmada, küçük boyutlu gaz türbinlerinde eksenel türbin kademelerinin tasarımı için analitik yaklaşımlarla aero-termodinamik analizler yapmışlardır. Endüstride kullanılan bir gaz türbininin katalog değerleri referans alınarak yapılan analizlerde gerçeğe yakın sonuçlar elde edildiği raporlanmıştır (Elqussas, 2017). Jouybari vd. yaptıkları çalışmada, iki kademeli eksenel bir gaz türbininin performansını belirlemek amacıyla farklı basınç kaybı modelleri kullanmış ve bu modellerden elde edilen performans verileri ile deneysel verileri karşılaştırarak, türbinde meydana gelen basınç kaybını en doğru şekilde tahmin eden kayıp modelini belirlenmiştir (Jouybari vd., 2013). Cho vd. türbin kademelerindeki kayıp türlerinden birisi olan profil kayıplarını azaltmaya yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kanatçık profilinin elde edilmesinde 13 parametre kullanılmış ve farklı kanat profilleri tasarlanarak yapılan tasarımlar arasında profil kaybının en az olduğu kanat profili belirlenmiştir. Rotor kanatçığında meydana gelen toplam basınç düşmesinin %10.8 azaltıldığı açıklanmıştır (Cho vd., 2002). Ainley ve Mathieson tarafından eksenel akışlı gaz türbinlerinin performansının belirlenmesine yönelik analitik bir model geliştirilmiştir. Bu model türbin tasarımlarında sıklıkla kullanılmakta olup, literatürde Ainley&Mathieson kayıp modeli olarak ifade edilmektedir. Bu modelde, çok sayıda deneysel veri bir araya getirilerek türbin kayıpları sınıflandırılmış ve her bir kayıp türünün sayısal değerini belirlemek için matematiksel modeller oluşturulmuştur. Geliştirilen kayıp modelinin en fazla %3 sapma ile deneysel sonuçlar ile örtüştüğü açıklanmıştır (Ainley ve Mathieson, 1957).

Bu çalışmada, orta çizgi akış modeli kullanılarak, eksenel bir gaz türbini kademesinin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırılabilir akış denklemleri, Soderberg kayıp korelasyonu ve Pritchard 11 parametre yöntemi yardımıyla stator ve rotor kanatçık profilleri elde edilmiştir. Rotor kanatçığına ait; giriş açısı, eksenel kord uzunluğu, kanatçıklar arası adım mesafesi parametreleri değiştirilerek, Reynolds sayısı, akış katsayısı, kademe yükleme katsayısı, güç, tork ve verim değerlerine etkileri iki boyutlu ve üç boyutlu kanatçık geometrilerine göre incelenmiştir.

### Semboller

ISBN: 978-605-71156-5-2

| Sembol | Açıklama |
|---|---|
| $\dot{m}$ | Kütlesel debi |
| $M$ | Mach sayısı |
| $N$ | Türbin dönüş hızı |
| $P$ | Statik basınç |
| $P_0$ | Toplam basınç |
| $r_m$ | Kanatçık ortası dönüş yarıçapı |
| $T_0$ | Toplam sıcaklık |
| $U$ | Kanatçık çizgisel hızı |
| $\alpha$ | Mutlak hız açısı |
| $\beta$ | Relatif hız açısı |
| $\Lambda$ | Reaksiyon derecesi |
| $\eta$ | İzentropik verim |

## YÖNTEM

Eksenel gaz türbini kademelerinin tasarımı yapılırken, orta çizgi akışı tasarımı ön tasarım aşamasında kullanılmaktadır. Bu tasarım yaklaşımında kanatçık orta yüksekliğinde bir boyutlu olarak gerçekleştiği kabul edilen akışın türbin kademesinin tamamında gerçekleşen akışı temsil ettiği kabul edilmektedir. Bu durum kanat dibi yarıçapının kanat uç yarıçapına oranının 0.9 ve üzerindeki değerlere sahip olduğu durumlar için doğruluğunu korumaktadır. Diğer durumlarda ise, türbin kademesindeki akışın radyal yöndeki farklılıkların etkisi fazla olacağından türbin kademesi tasarlanırken radyal yöndeki değişimlerin matematiksel olarak modellenmesi gerekmektedir.

Orta çizgi akışı tasarımı yapılırken ilk aşamada, türbin kademesinin giriş parametrelerinin türbin kademesinden beklenen değerler doğrultusunda belirlenmesi gerekmektedir. Giriş parametreleri, tasarımda yapılacak kabullere ve oluşturulacak hesaplama algoritmasına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışmada, türbin kademesi çıkışındaki statik sıcaklık, türbin kademesi girişindeki toplam basınç ve sıcaklık türbin kademesine ait giriş parametreleri olarak seçilmiştir. Giriş parametrelerine ait sayısal değerler Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1 – Türbin kademesi giriş parametreleri

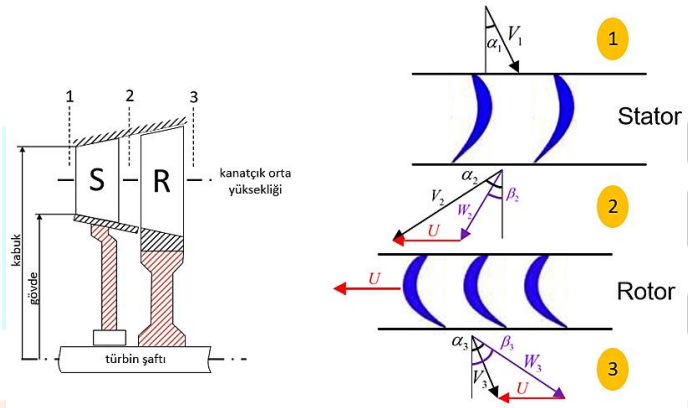
| | |
|---|---|
| $P_{01}$ | 15 bar |
| $P_3$ | 11,5 bar |
| $T_{01}$ | 1500 Kelvin |
| $\alpha_1$ | 0° |
| $\alpha_2$ | 74° |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | |
|---|---|
| $\dot{m}$ | 26.3 kg/s |
| $U$ | 472.5 m/s |
| $r_m$ | 0.3086 m |
| $N$ | 14600 dev/dak |

Eksenel gaz türbini kademelerindeki akışta Mach sayısı 0.8 değerinin üzerine çıkabildiği için orta çizgi akışı tasarımı yapılırken sıkıştırılabilir akış teorisi kullanılmaktadır. Mach sayısı, mutlak hızın ses hızına oranı olarak tanımlanır. Sıkıştırılabilir akış teorisine ait eşitlikler; kütlenin korunumu, enerjinin korunumu, momentumun korunumu denklemleri ve izentropik hal denklemleridir. Türbin kademesinin tamamında kütle debisinin korunduğu, kademede herhangi bir kaçak olmadığı kabul edilmektedir. Sabit kanatçıklarda toplam enerji sabit kalırken, hareketli kanatçıklarda toplam enerjinin bir kısmı şaft işi olarak kullanılmaktadır. Orta çizgi akışı tasarımında sabit kanatçığın giriş ve çıkışında mutlak koordinat sistemine göre, hareketli kanatçıkların giriş ve çıkışında ise relatif koordinat sistemine göre hesaplamalar yapılmaktadır.

Orta akış çizgisi tasarımı yapılırken türbin kademesindeki hızların bileşenlerinin, doğrultularının ve büyüklüklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Farklı istasyonlardaki hızların vektörel olarak gösteriminde hız üçgenleri kullanılmaktadır. Şekil 1'de eksenel bir türbin kademesine ait hız üçgenleri verilmiştir.




Şekil 7. Eksenel gaz türbini kademesi hız üçgenleri

Şekil 1'de görüldüğü üzere mutlak hızlar V ve relatif hızlar ise W ile gösterilmiştir. Türbin dönüş ekseni doğrultusundaki hız bileşenleri eksenel hız, dönüş yönüne teğet yöndeki hız bileşenleri ise teğetsel hız olarak adlandırılmaktadır. Mutlak hız ile akış ekseni arasındaki açı α ile gösterilmekte iken, relatif hız ile akış ekseni arasındaki açı β ile gösterilmektedir.

Bu çalışmada, türbin kademesine giren ve çıkan akışkanın mutlak hız doğrultusunun türbin dönüş eksenine paralel olduğu durum için tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu durumda $\alpha_1$ ve $\alpha_3$ açısı 0° olmaktadır. Bu yaklaşımda, birden çok kademeli eksenel türbin kademesinin tasarlanması durumunda aynı stator ve rotor kanatçığı profillerinin bütün kademelerde kullanılabilmesi mümkündür [8]. Kanatçıklar arasında basınç kayıpları meydana gelmekte ve akışkan türbin kademesinde ilerlerken akışkanın sahip olduğu entropi artmaktadır. Bu çalışmada, Soderberg kayıp modeli kullanılarak türbin kademesindeki izentropik verim matematiksel olarak tahmin edilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Soderberg modelinde türbin kayıpları; akışın toplam dönüş açısının, kanatçık eksenel kord uzunluğunun, Reynold sayısının ve kanatçıklar arasındaki adım mesafesinin bir fonksiyonudur.

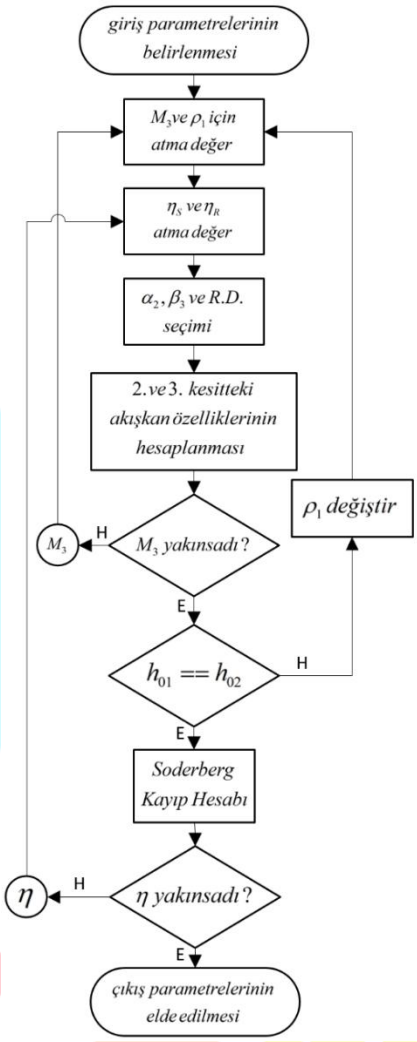
Orta çizgi akışı tasarımına ait hesaplamalar yapılmadan önce bazı değerlerin tasarımcı tarafından atma değer atanarak belirlenmesi, yazılan MATLAB kodunun içerdiği hesaplamalar için gereklidir. Bu çalışmada atma değer ile başlanılan parametreler ve daha sonra bu çalışmada geliştirilen MATLAB programı yardımıyla iteratif olarak belirlenen değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 – Tasarımda iteratif olarak belirlenen parametreler

| | |
|---|---|
| $\Lambda$ | 0.33 |
| $\eta_{stator}$ | 0.9 |
| $\eta_{rotor}$ | 0.9 |
| $M_3$ | 0.4 |

Bu çalışmada, orta çizgi akışı tasarımına yönelik geliştirilen MATLAB programlama kodu ile akışkanın her bir bölgedeki termodinamik özellikleri, hız bileşenleri ve kademenin geometrisi belirlenmiştir. Ayrıca, hesaplamalar sonunda belirlenen türbin kademesi özelliklerine göre stator ve rotor kanatçığının izentropik verim değerleri iteratif olarak yakınsatılmıştır. Yakınsama sağlandıktan sonra türbin kademesinin her bir istasyonundaki akışkana ait özellikler gerçek şartlara daha yakın olarak belirlenmiştir. MATLAB hesaplamalarına ait akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 2. MATLAB programlama akış şeması

Türbinde rotor kanatçıklarının dönmesi sebebiyle akışa santrifüj kuvvetler etki etmektedir. Santrifüj kuvvetlerinin etkisi ile radyal yönde akışkanın termodinamik özellikleri ve hız doğrultuları arasında farklılıklar meydana gelmektedir. Radyal yöndeki farklılıkların modellenmesi amacıyla radyal denge teorisi kullanılmaktadır. Radyal denge teorisinde, bir kontrol hacmindeki akışkanın momentum dengesi kurulmaktadır. Radyal değişime bağlı olarak akışkanın sahip olduğu enerji ve entropi değişimi matematiksel olarak Eşitlik (1)'de ifade edilmiştir.

$$-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial r} = V_x \frac{\partial V_r}{\partial x} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_\theta^{\,2}}{r}$$

Eş(1)

Buradaki basınç ve hız bileşenlerinin radyal yöndeki değişimleri hesaplanırken izentropik sabit reaksiyon derecesi tasarımı kullanılmıştır. Sabit reaksiyon derecesi tasarımına göre teğetsel hız yarıçapın bir fonksiyonu olarak Eşitlik (2)'de ki gibi hesaplanmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

$$V_\theta = C_1 r \pm \frac{C_2}{r}$$

Eş(2)

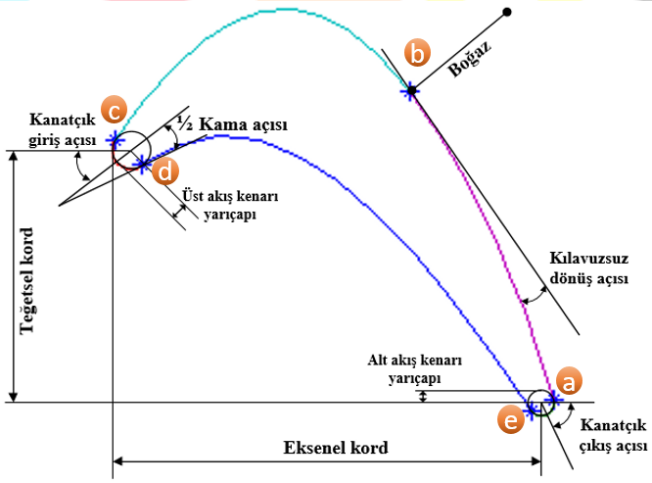
Eş. (2)'de yer alan $C_1$ ve $C_2$ katsayıları, kanat orta yüksekliğindeki yarıçap değeri $r_m$ ve teğetsel hız değeri $V_\theta$ yerine yazılarak hesaplanmıştır. Eşitlikte teğetsel hız yerine yazılıp integrali alındığında rotor kanatçığının girişindeki ve çıkışındaki eksenel hızların radyal yöndeki değişimleri belirlenmiştir. Bu hız bileşenleri kullanılarak radyal yöndeki sıcaklık, basınç, yoğunluk ve açı değişimleri hesaplanmıştır.

Sabit reaksiyon derecesi tasarımı yapılırken orta çizgi akışı tasarımında belirlenen kütle debisi ile hesaplanan kütlesel debinin eşitlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle rotor kanatçığının orta yüksekliğinde eksenel akış hızı iteratif olarak belirlenmiştir. Kütlesel debiler eşitlendikten sonra rotor kanatçıklarında elde edilen güç, kanat yüksekliği boyunca her bir dönüş yarıçapında elde edilen gücün integrali alınarak hesaplanmıştır. Çözülen sayısal integral Eşitlik (3)'te verilmiştir.

$$P = \int_{r_h}^{r_t} U(r)\left[V_{2\theta}(r) + V_{3\theta}(r)\right]\rho(r)V_x(r)\,2\pi r\,dr$$

Eş. (3)

Radyal denge denklemleri ve sabit reaksiyon derecesi yaklaşımı kullanılarak rotor kanatçığının giriş ve çıkış açıları her bir kanat yüksekliği için hesaplanmıştır. Orta çizgi akışı tasarım yöntemi, iteratif olarak belirlenen seçili değerler ve radyal denge denklemlerinden elde edilen geometrik parametreler kullanılarak, stator ve rotor kanatçıkları için iki boyutlu ve üç boyutlu profiller elde edilmiştir. İki boyutlu kanatçık profili Pritchard'ın ortaya koyduğu (Pritchard, 1985) on bir parametre yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. Bu yöntemde, on bir adet giriş parametresi yardımıyla kanatçık profilini oluşturacak beş adet noktanın koordinatları kolaylıkla belirlenebilmiş ve bu noktalar eğriler ve yaylar ile birleştirilmiştir. Bu sayede, tasarım esnekliği kazanılmış ve tasarım parametrik olarak revize edilebilmiştir. Şekil 3'te bir türbin kanatçık profili görülmekte ve kanatçık profilini belirleyen tasarım parametreleri tarif edilmektedir.




Şekil 3. Eksenel türbin kanatçığının iki boyutlu profili

Tablo 3'te kanatçık profilini belirlemek amacıyla ihtiyaç duyulan on bir tasarım parametresi listelenmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 3 – Eksenel gaz türbini kanatçığı tasarım parametreleri

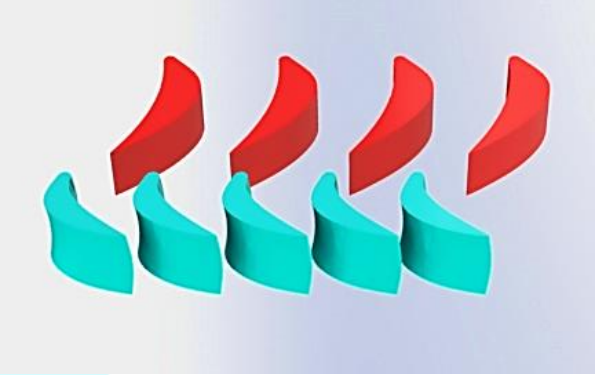
| |
|---|
| Kanatçık dönüş yarıçapı |
| Eksenel kord |
| Teğetsel kord |
| Boğaz açıklığı |
| Kanatçık giriş açısı |
| Kanatçık çıkış açısı |
| Kanatçık sayısı |
| Kılavuzsuz dönüş açısı |
| Üst akış kenar dairesi yarıçapı |
| Alt akış kenar dairesi yarıçapı |
| Giriş kama açısı |

Eksenel türbin kanatçıkları akış esnasında çeşitli yüklere ve sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu nedenle kanatçıkların belirli bir kalınlıkta yapılması gerekmektedir. Kanatçıktaki akış sapmalarını en aza indirmek amacıyla, kanatçığın üst akış ve alt akış kenarlarında dairesel veya eliptik bir profil oluşturmak gerekmektedir. Bu çalışmada a-e ve c-d noktalarını birleştirmek üzere dairesel kenar profili tercih edilmiştir. Türbin kademesi stator ve rotor kanatçık sütunlarından oluşmakta ve bu sütunlarda yer alan kanatçıklar eşit aralıklarla yerleştirilmektedir. İki kanatçık arasındaki aralık boğaz mesafesi, iki kanatçığın arasında meydana gelen minimum akış kesiti ise boğaz kesiti olarak isimlendirilmektedir.

Noktalar arasındaki profiller eğrilerden ve yaylardan meydana gelmektedir. Basınç yüzeyini oluşturan eğri ön akış kenar profilinin teğet noktasından başlayan ve arka akış kenarı profili teğet noktasına birleşen üçüncü dereceden bir polinomdur. Ön ve arka akış kenar profilleri teğet noktaları birleştiren bir yaydır. Emme yüzeyi ise iki parçalı olup ön akış kenarı ile boğaz noktası üçüncü dereceden bir polinom eğrisi ile, boğaz noktası ise arka akış kenarı bir yay ile birleştirilmektedir.

Geliştirilen MATLAB analiz modeli yardımıyla stator ve rotor kanatçığının iki boyutlu profili elde edilmiştir. Kanatçık boğaz noktasındaki eğrilerin birleşimi, b noktasının tayin edilmesiyle mümkün olmaktadır. Bu amaçla kılavuzsuz dönüş açısı iteratif olarak değiştirilerek eğriler b noktasında birleştirilmiştir. Rotor kanatçığının farklı yüksekliklerdeki kanat açıları radyal denge teorisinden belirlenirken, stator kanatçığı yüksekliği boyunca aynı kanat açıları seçilmiştir. Bu nedenle stator kanatçığı tek düze bir yapıdadır. Rotor kanatçığı oluşturulurken öncelikle, kanat dibi, kanat ortası ve kanat ucu olmak üzere üç farklı yükseklikte iki boyutlu kanatçık profilleri elde edilmiştir. Daha sonra bu profiller bilgisayar destekli tasarım ortamına aktarılarak süpürme yöntemi ile birleştirilmiştir. Oluşturulan üç boyutlu kanatçık geometrileri Şekil 4'te gösterilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2



Şekil 4. Tasarlanan stator kanatçığı (üst) ve rotor kanatçığı (alt)

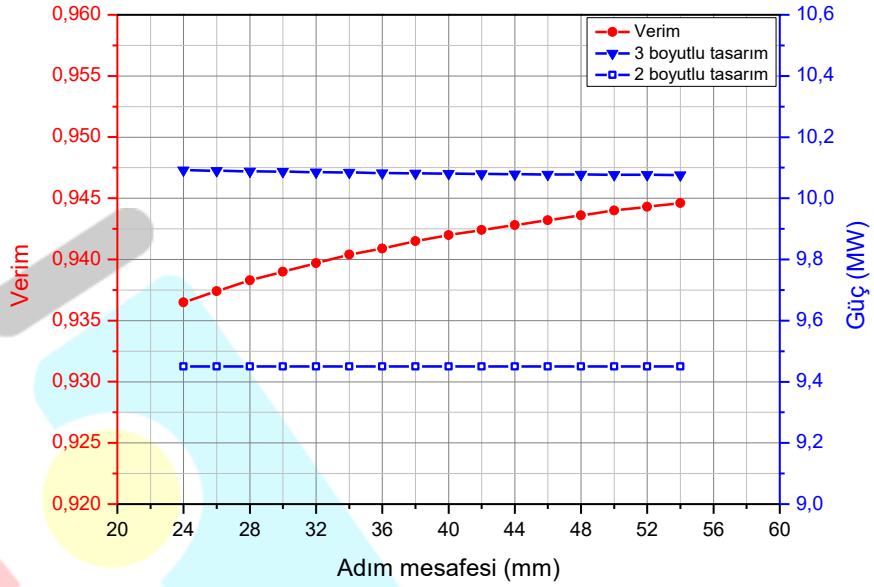
Kanatçık sayısının belirlenmesinde, sistematik deneyler neticesinde oluşturulmuş grafiklerden yararlanılmıştır (Dejc ve Trojanovskij, 1973). Kanatçık arka akış kenarının kalınlığının belirlenmesinde ise kanatçığa etkiyen en yüksek sıcaklık dikkate alınmıştır (Figueiredo, 2014).

Nihayetinde, kanatçıkların dönüş yarıçapları ve kanatçıklar arası mesafeler eşit alınarak kanatçık sayısı Hesaplanan değer ondalıklı bir sayı olduğunda en yakın bir tam sayıya yuvarlanarak kanatçık sayısı belirlenmiştir. Kanatçık profilleri, kanatçık sayısı, dönüş yarıçapı ve kanatçık yükseklikleri kullanılarak eksenel türbin kademesinin üç boyutlu modeli bir bilgisayar destekli çizim programıyla oluşturulmuştur.

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

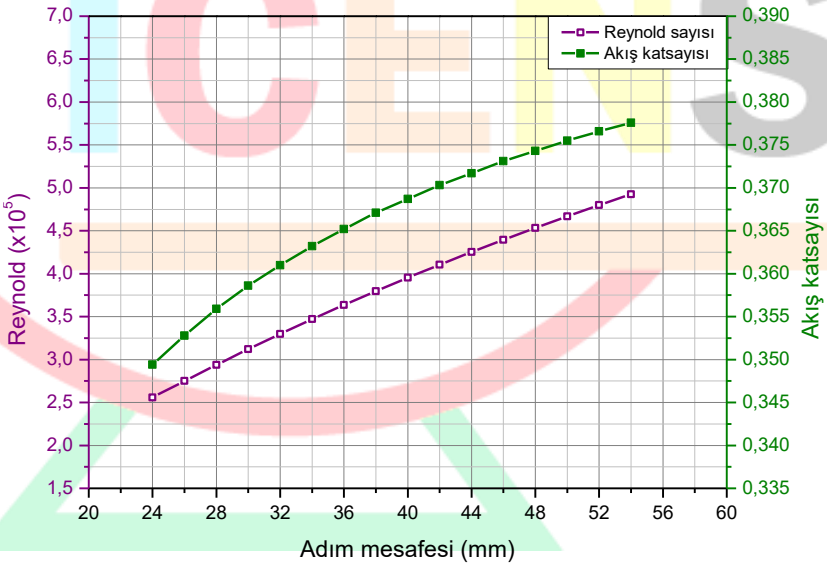
Şekil 5'te adım mesafesine karşılık toplamdan toplama verimdeki değişim ve türbin gücündeki değişim iki ve üç boyutlu kanatçık geometrilerine göre karşılaştırılmıştır. Adım mesafesi arttıkça, türbin kademesi veriminin arttığı görülmektedir. Bu artış değeri, adım mesafesinin 24 mm'den 54 mm'ye çıkmasıyla %0.86 kadar gerçekleşmiştir. Kademe verimindeki değişim akış kayıpları ile ilişkilidir. Rotor kanatçıkları arasındaki adım mesafesinin artması ile kanatçıklar arasında oluşan akış kesitinin hidrolik yarıçapı artmaktadır. Hidrolik yarıçapın yükselmesi Reynold sayısının yükselmesini sağlamaktadır. Böylece, Soderberg kayıp modeline göre akış kayıpları azalmakta ve verim iyileşmektedir. Orta çizgi akışı yöntemine göre tasarım yapıldığı için hem iki boyutlu hem de üç boyutlu geometriye ait kademe verimindeki değişim aynı hesaplanmıştır. İki boyutlu kanatçığın kullanıldığı türbinin gücü, kademedeki toplam entalpi değişiminin sabit kalması nedeniyle tekdüze değerde 9450 kW olarak kalmıştır. Radyal etkilerin dikkate alındığı üç boyutlu kanatçık tasarımı için hesaplanan kademe gücünün adım mesafesinin artışıyla düştüğü görülmüştür. Kademe gücündeki bu düşüş, rotorun giriş ve çıkışındaki mutlak hızların teğetsel bileşenleri arasındaki fark azaldığından dolayı meydana gelmiştir. Bununla birlikte, güçteki düşme eğiliminin oldukça az olduğu tespit edilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 5. Adım mesafesine göre verim ve güçteki değişim

Şekil 6'da adım mesafesine karşılık Reynold sayısı ve akış katsayısının değişimi verilmiştir. Adım mesafesi 24mm'den 54 mm'ye arttırılırken Reynold sayısında %92,7'lik bir artış görülmüştür. Adım mesafesinin artması ile kanatçıklar arasında oluşan hidrolik yarıçapın artması sonucu Reynold sayısında artış meydana gelmiştir. Adım mesafesi 54 mm değerine yaklaştıkça Reynold sayısındaki artışın eğimi azalmıştır. Adım mesafesinin artması ile akış katsayısında doğrusal bir artış gözlemlenmiştir. Aynı adım mesafesi aralığı için akış katsayısında görülen artış %8,1 olarak belirlenmiştir. Adım mesafesinin artması ile viskoz sürtünme oranı azalmakta ve akışın eksenel yöndeki bileşeni artmakta ve dolayısıyla akış katsayısında artma olmaktadır.

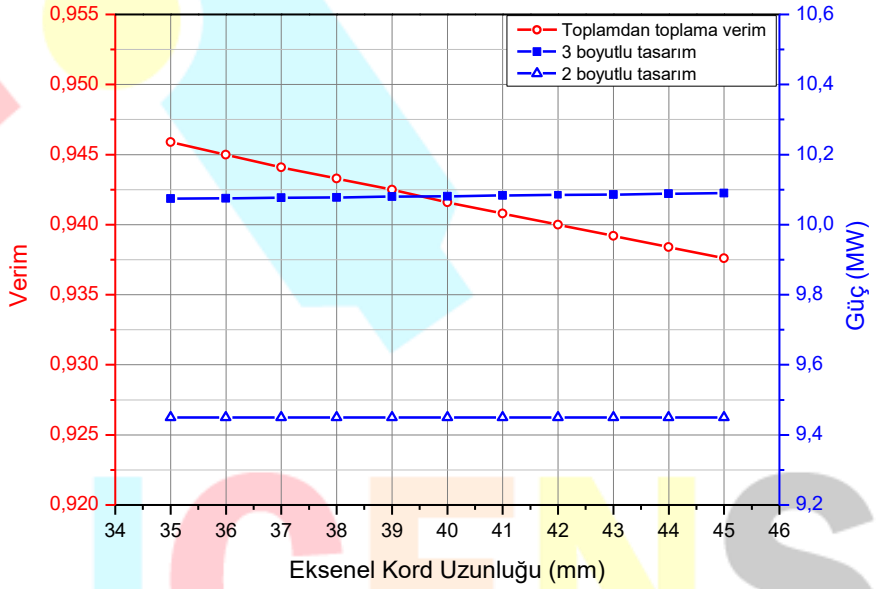



Şekil 6. Adım mesafesine göre Reynold sayısı ve akış katsayısındaki değişim

Şekil 7'de rotor kanatçıklarının eksenel kord uzunluğu değişimine bağlı olarak toplamdan toplama verimin değişimi, iki boyutlu ve üç boyutlu tasarımdaki kademe gücünün değişimi gösterilmiştir. Eksenel kord uzunluğu 35 mm değerinden 45 mm değerine çıkarıldığında verimde

ISBN: 978-605-71156-5-2

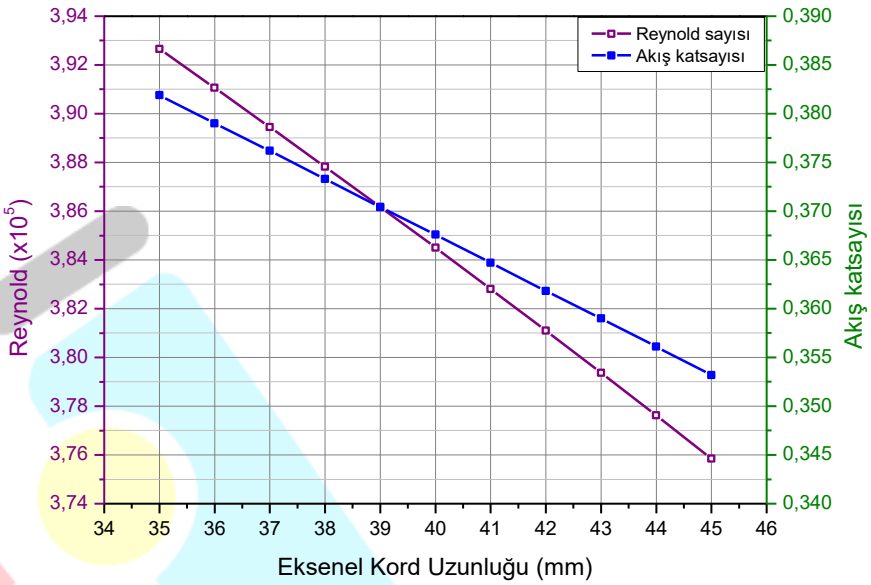
%0,88 seviyesinde bir azalışın olduğu tespit edilmiştir. Verimdeki negatif yöndeki değişime profil kayıpları neden olmuştur. Eksenel kord uzunluğu artarken akış ile kanatçığın temas ettiği yüzey alanının artması, viskoz kayıpların daha etkili olmasına ve dolayısıyla profil kayıplarının yükselmesine neden olmaktadır. Orta çizgi akışı tasarımında belirlenen verim doğrultusunda üç boyutlu tasarım yapılmış, bu nedenle iki boyutlu ve üç boyutlu tasarım için verim değerleri aynı olmuştur. İki boyutlu tasarımda eksenel kord uzunluğu değişimi gerçekleştiğinde kademede meydana gelen entalpi düşüşü sabit kalmış, bu sebeple kademe gücü tek bir değerde seyretmiştir. Üç boyutlu tasarımda ise eksenel kord uzunluğu artarken kademe gücünde %0,16 seviyesinde oldukça küçük bir artış meydana gelmiştir. Bu küçük miktardaki artışın sebebi, farklı kanatçık yüksekliklerinde rotor giriş ve çıkışındaki mutlak hızların teğetsel bileşenlerinin farkının bir miktar artmasıdır.




Şekil 7. Eksenel kord uzunluğuna göre verim ve güçteki değişim

Şekil 8'de eksenel kord uzunluğu ile Reynold sayısı ve akış katsayısı arasındaki ilişki verilmiştir. Eksenel kord uzunluğu 35 mm'den 45 mm'ye doğru arttırılırken Reynold sayısında %4,3 düzeyinde düşüş olduğu hesaplanmıştır. Bu düşüş doğrudan profil kayıpları ile ilişkilidir. Eksenel kord uzunluğu artarken viskoz sürtünmelerden kaynaklanan kayıplarda yükselme olmakta ve kanatçık arasından geçen akışkanın hızı daha düşük değerlere sahip olmaktadır. Akışkan hızının azalması, Reynold sayısındaki düşüşe neden olmuştur. Eksenel kord uzunluğunun aynı aralığı için akış katsayısında %4,3'lük düşüş meydana gelmiş ve bu düşüş hem eksenel hem de teğetsel yöndeki akışkan hızının azalmasından kaynaklanmıştır. Sonuç olarak, Reynold sayısındaki ve akış katsayısındaki düşüşün eksenel kord uzunluğu ile doğru orantılı olduğu belirlenmiştir.

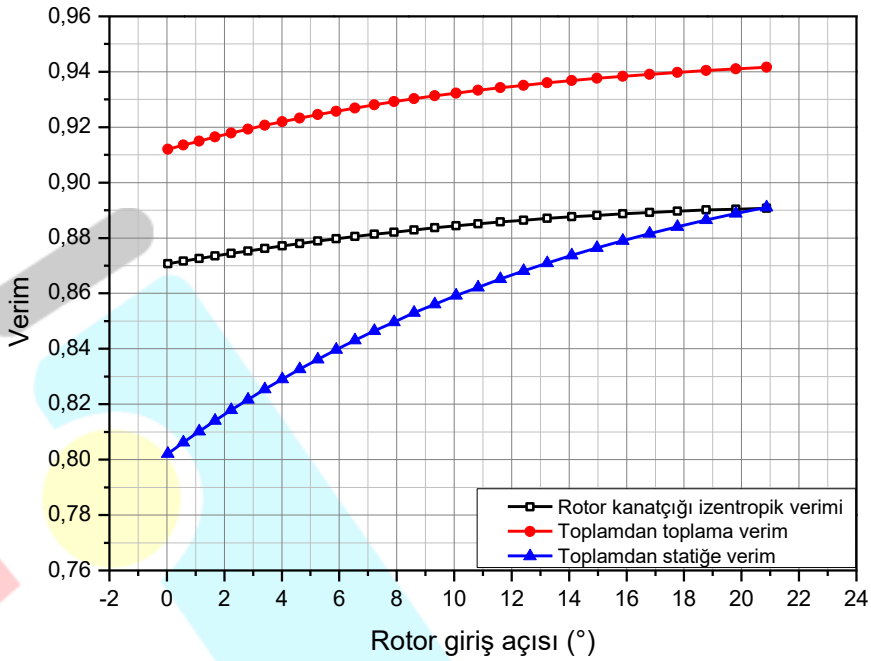
ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 8. Eksenel kord uzunluğuna göre Reynold sayısı ve akış katsayısındaki değişim

Şekil 9'da rotor giriş açısının değişiminde bağlı olarak toplamdan toplama verimin değişimi, toplamdan statiğe verimin değişimi ve rotor kanatçığı izentropik veriminin değişimi görülmektedir. Kademe giriş ve çıkışında mutlak hızın eksenel yönde olması kabulü gerekçesi ile rotor giriş açısı 0-21° arasında sınırlandırılmıştır. Rotor giriş açısı 0°'den 21°'ye çıkarıldığında toplamdan toplama verimde %2,9, toplamdan statiğe verimde %10 ve rotor izentropik veriminde %2,1 seviyesinde artış olduğu belirlenmiştir. Rotor kanatçığı izentropik verimindeki artışı sağlayan esas faktör, rotor giriş açısının artması ile türbin çıkış parametrelerini sağlatabilmek amacıyla akış kesit alanlarının daraltılmasıdır. Akış kesit alanının daraltılması ile kanatçık yüksekliği azalmakta ve akış kaybı azalmaktadır. Toplamdan toplama ve toplamda statiğe verimlerdeki artışın nedeni, rotor kanatçığı izentropik verimindeki artıştır. Toplamdan toplama verim tasarlanan kademe sonrasında bir kademe veya bir nozul ile faydalı iş üretilen durumlarda, toplamdan statiğe verim ise kademeden sonra faydalı iş elde edilmediği durumlarda kullanılan performans parametreleridir.

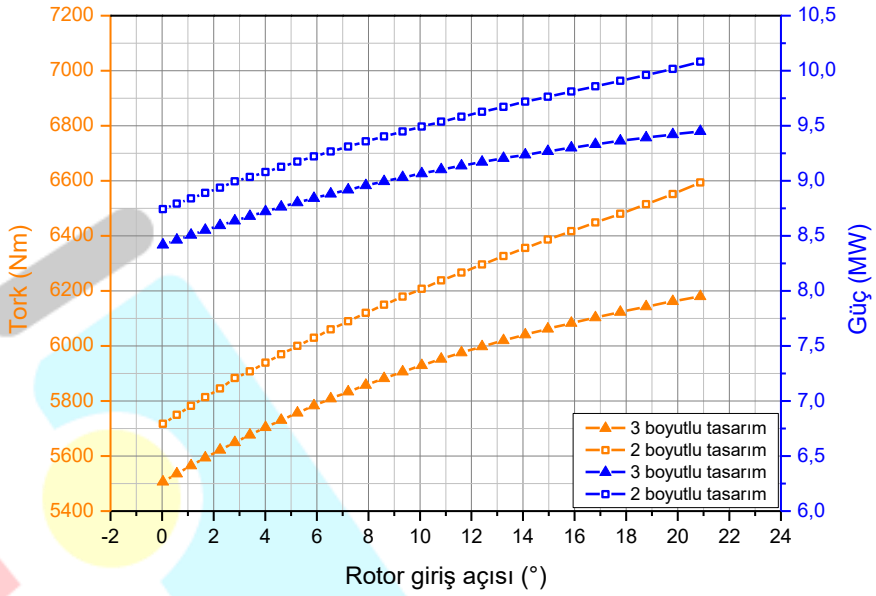
ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 9. Rotor giriş açısına göre verimlerdeki değişim

Şekil 10'da rotor giriş açısına karşılık iki ve üç boyutlu tasarımlarda hesaplanan güç ve tork eğrileri verilmiştir. Tork ile güç değerleri arasındaki doğrusal ilişki nedeniyle aynı eğilimde artmış veya azalmıştır. Rotor giriş açısı arttıkça hem iki boyutlu hem de üç boyutlu tasarım için güç ve tork değerlerinde artış görülmüştür. Euler güç ve tork eşitliklerinde kademe gücü ve torku, kütlesel debi, kanatçık çizgisel hızı ve rotordaki teğetsel hız farkı ile ilişkilidir. Yapılan tasarımlarda türbinin çizgisel hızı ve kütlesel debi sabittir. Rotor giriş açısının değişimi teğetsel hız farkının değişmesine neden olmuş ve türbin kademesi performansını etkilemiştir. İki boyutlu tasarımda rotor giriş açısının 0°'den 21°'ye yükselmesiyle güç ve tork değerlerinde %11'lik artış meydana gelmiştir. Aynı aralık için üç boyutlu tasarımda güç ve torktaki değişim %14'e kadar yükselmiştir. Düşük açılarda üç boyutlu tasarımın sonuçları iki boyutlu tasarımın sonuçlarına daha yakınken, açı arttıkça üç boyutlu tasarımda akışkanın entalpisi daha hızlı düşmüş ve iki tasarım arasındaki fark yükselmiştir. Akışkanın rotor girişindeki entalpisi, rotorun çıkışında ne kadar çok düşerse, rotordan alınan güç o kadar artmaktadır. Rotor giriş açısının 21° olması durumunda kademe gücü ve torku en yüksek değerine ulaşmıştır. 21°'de elde edilen tork ve güç değerleri sırasıyla iki boyutlu tasarımda 5564 Nm ve 8509 kW, üç boyutlu tasarımda 5781 Nm ve 8840 kW olarak belirlenmiştir.

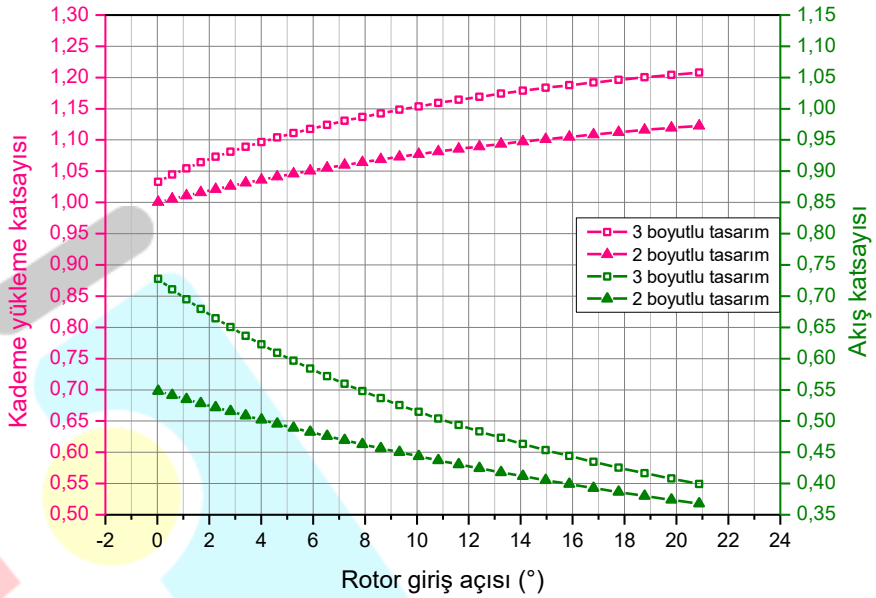
ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 10. Rotor giriş açısına göre güç ve torktaki değişim

Şekil 11'de rotor giriş açısına bağlı olarak kademe yükleme katsayısı ve akış katsayısına ait eğriler verilmiştir. Rotor giriş açısının artması ile hem iki boyutlu hem de üç boyutlu tasarım için kademe yükleme katsayısında artış gözlenmiştir. Yükleme katsayısındaki artış rotor kanatçıkları arasında meydana gelen toplam entalpi değişimiyle doğru orantılı olarak değişmiştir. Rotor giriş açısının artışı ile entalpinin azalmasına bağlı olarak teğetsel hız bileşeninin büyüklüğü artmış ve bu nedenle yükleme katsayısında artış meydana gelmiştir. Bu çalışmada tasarlanan gaz türbin kademesinin mutlak çıkış hızının eksenel yönde kalabilmesi için rotor giriş açısı 21 derece ile sınırlandırılmıştır. 21 derecelik rotor giriş açısına göre iki ve üç boyutlu kanatçıklar için yükleme katsayısı sırasıyla 1,123 ve 1,208 olarak belirlenmiş ve akış katsayısı ise 0,368 ve 0,399 olarak belirlenmiştir. Eksenel hız bileşeni büyüklüğündeki azalma ise akış katsayısında düşüşe neden olmuştur. Üç boyutlu kanatçık tasarımında radyal etkilerin dikkate alınabilmesi için kanatçık yüksekliği boyunca 20 farklı kesitten değerler alınmıştır. Kanatçık dönüş yarıçapı kanatçık yüksekliğince değişmekte ve dolayısıyla kanatçık çizgisel hızı kanatçık yüzeyi boyunca farklılık göstermektedir. Kanatçığı temsilen bir değerin elde edilmesi için yükleme ve akış katsayılarının kütlesel ortalamaları hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak, iki boyutlu tasarıma ait katsayı eğrileri üç boyutlu tasarım ile benzer eğilime sahip olarak değişmiştir. Bununla birlikte, üç boyutlu tasarımda kanatçığın her seviyesinde basınç dağılımı ve santrifüj etkileri değiştiğinden dolayı katsayılar daha yüksek çıkmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 11. Rotor giriş açısına göre kademe yükleme katsayısı ve akış katsayısındaki değişim

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, eksenel bir gaz türbini kademesinin iki boyutlu ve üç boyutlu kanatçık geometrilerine göre tasarımı ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Rotor kanatçığı tasarım parametrelerinin türbin kademesinin performansına etkileri araştırılmıştır. MATLAB programı kullanılarak analitik bir model geliştirilmiştir. Seçilen tasarım parametrelerine göre rotor giriş açısının bir maksimum değerinin olduğu görülmüştür. Rotor giriş açısının artması ile kademe verimi ve rotor kanatçığı veriminin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, rotor giriş açısı arttıkça kesit akış kesit alanının daralmasına bağlı olarak Reynold sayısının azaldığı görülmüştür. Kanatçıklar arasındaki adım mesafesi arttıkça üç boyutlu kanatçık tasarımı için türbin gücünün küçük seviyelerde azaldığı belirlenmiş ve her iki tür kanatçık tasarımı için profil kayıplarının düştüğü görülmüştür. Rotor kanatçıkları eksenel kord uzunluğundaki artışın kademe verimini azalttığı tespit edilmiştir. Maksimum verimin %94 olduğu belirlenmiştir ve bu durumda, kademe yükleme katsayısı ve akış katsayısı sırasıyla 1.123 ve 0.368 olarak hesaplanmıştır. En verimli türbin kademesi tasarımının rotor giriş açısının (21°) ve kanatçıklar arasındaki adım aralığının (54 mm) maksimum olduğu, eksenel kord uzunluğunun (35 mm) minimum olduğu şartlarda elde edildiği sonucuna varılmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Ainley, D. G., & Mathieson, G. C. R. (1951). A method of performance estimation for axial-flow turbines. London: H.M.S.O, 1-27.

Cho, SY & Yoon, ES & Choi, BS. (2002). A study on an axial-type 2-D turbine blade shape for reducing the blade profile loss. *KSME International Journal*. 16. 1154-1164.

Dejc, M. E., & Trojanovskij, B. M. (1973). Untersuchung und Berechnung axialer Turbinenstufen.

Elqussas, Nader & Elzahaby, Aly & Khalil, Mohamed & Elshabka, A.. (2017). Automation of Design Tool for an Axial Flow Gas Turbine Stage Used in Small Gas Turbine Engine. *Journal of Engineering Science and Military Technologies*. 17. 1-14. 10.21608/ejmtc.2017.21727.

Figueiredo, A.J. (2014). Fast aerodynamic design of a one-stage axial gas turbine in order to produce a 3D geometry ready for optimization. 28-30.

Giampaolo, T. (2014). Gas Turbine Handbook: Principles and Practice: Principles and Practice, Fifth Edition (5th ed.). River Publishers. https://doi.org/10.1201/9781003151821

Jouybari, J., Eftari, M., Ghadak, F., Rad, M., & Branch, Q. (2013). Analytical Modeling of Performance Characteristics of Axial Flow Two-Stage Turbine Engine Using Pressure Losses Models and Comparing with Experimental Results.

Juangphanich, P., De Maesschalck, C., & Paniagua, G. (2019). Turbine Passage Design Methodology to Minimize Entropy Production-A Two-Step Optimization Strategy. Entropy (Basel, Switzerland), 21(6), 604. https://doi.org/10.3390/e21060604

Murthy, SVR, & Kumar, SK. (2012), "Parametric Study of Axial Flow Turbine for Mean-Line Design and Blade Elements." *Proceedings of the ASME 2012 Gas Turbine India Conference. ASME 2012 Gas Turbine India Conference.* Mumbai, Maharashtra, India. December 1, 2012. pp. 131-137.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# CFM56-7B Tarafından Kullanılan Yakınsak-Iraksak Nozul için Geometrik Optimizasyon ve Performans Analizi

*Ender Can YAKAR*[1,2a]
*Halit KARABULUT*[2b,*]

**Özet**

Bir turbofan motor, güç üretim ve itki üretim üniteleri olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Güç üretim ünitesi kompresör, yanma odası, türbin ve nozuldan meydana gelmektedir. Güç üretim ünitesi yalnızca güç değil, aynı zamanda itkinin bir kısmını da üretmektedir. İtki, motorun eksoz nozulunda üretilmektedir. En çok kullanılan turbofan motorlardan biri CFM56-7B'dir. Bu motorlarda kullanılan nozul, yakınsak bir nozuldur. Bu çalışmada, yakınsak-ıraksak nozulun CFM56-7B turbofan motorlarına uygulanabilirliği araştırılmıştır. Başlangıçta CFM56-7B motorunun egzoz sistemi SolidWorks 2021 kullanılarak iki boyutlu olarak çizilmiştir. Daha sonra çizim, ANSYS Fluent'e aktarılmış ve Realizable k-ε türbülans modeli kullanılarak Quasi-1D analizi yapılmıştır. Bu analizde nozulun giriş koşulları 121 kN kalkış itki kuvvetine göre belirlenmiştir. Hesaplanan değerler, motorun referans değerleri ile karşılaştırılarak analizin doğruluğu değerlendirilmiştir. Nozul çıkış hızında %5.301 ve itme gücünde %15.132 fark olduğu gözlemlenmiştir. Bu analizde kullanılan yöntemin sağlıklı olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra sıkıştırılabilir akış bağıntıları kullanılarak Ma sayısının 1.3, 1.5, 2 ve 2.5 değerleri için dört farklı yakınsak-ıraksak nozulu tasarlanmış ve verilen referans değerler ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Tasarlanan nozulların itki değerleri, referans değerlerden daha düşük çıkmıştır. Ma=1.3 ve Ma=1.5 olan nozulların çıkış hızları %32.909 ve %45.159 daha yüksek olmasına rağmen itkiyi iyileştirmeye yeterli olmadığı gözlemlenmiştir. Diğer iki nozulda ise nozul içinde şok dalgası oluşumları gözlenmiş ve bu nedenle nozul çıkışlarında büyük hız düşüşleri meydana gelmiştir. Sonuç olarak, süpersonik nozulların CFM56-7B turbofan motorları için uygun olmadığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yakınsak-Iraksak Nozul, Süpersonik, Şok Dalgası, Sıkıştırılabilir Akış, Mach, CFM56, Ansys.

[1] Arş. Gör., Kocaeli Üniversitesi, Uçak Gövde ve Motor Bakımı, Orcıd: 0000-0002-9496-0138
[2a] Arş. Gör., Gazi Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, Orcıd: 0000-0002-9496-0138
[2b] Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, Orcıd: 0000-0001-6211-5258

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

Turbofan motor, güç üretim ünitesi tarafından tahrik edilen kanallı fan ile hızlandırılan bypass havası ve güç üretim ünitesinin eksozunda oluşturulan jet akımının bir kombinasyonu ile itki üreten jet motoru modelidir. Bu motorlar, güç üretim ünitesi ve itki üretim ünitesi olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Güç üretim ünitesi, sırasıyla, kompresör, yanma odası, türbin ve nozul kısımlarından oluşmaktadır. Güç üretim ünitesine motor çekirdeği de denmektedir.

Motorun çekirdeğinin çevresinden geçen bypass havası ile söz konusu bu üniteye giren havanın kütlesel olarak oranına bypass oranı denmektedir. İtkisinin çoğunu, motor çekirdeğinden alan turbofan motorlara düşük bypass oranlı motorlar; itkisinin çoğunu fandan alan motorlara ise yüksek bypass oranlı motorlar denmektedir. Düşük bypass oranlı motorlar, daha çok savaş uçaklarında kullanılırken; yüksek bypass oranlı motorlar genel olarak sivil havacılık uçaklarında; askeri alanda ise nakliye uçaklarında kullanılmaktadır.

Motor çekirdeği; motorun fanının dönmesini sağlamakla beraber itkinin bir kısmını da üretmektedir. Motor çekirdeğindeki türbinlerden çıkan yanmış gazların, atmosfere uçuş için uygun bir hız ve yön ile çıktığı ve söz konusu bu itkiyi üretmiş olduğu eksoz sistemine nozul adı verilmektedir. Bu sistemler sayesinde, hava araçlarının tüm uçuş koşulları için gerekli olan itki kuvveti sağlanabilmektedir.

Bu motor tipinde eksoz sisteminin ana bileşenleri, kuyruk konisi ve eksoz kanalıdır. Kuyruk konisi, türbin arka destekleri (strut) tarafından gövdeye bağlanmaktadır. Söz konusu bu parçalar, türbinden çıkan gazların jet borusuna aktarılmasından önce akışı düzleştirmektedir. Egzoz gazları da sonrasında, nozul aracılığıyla atmosfere geçmektedir. Eksoz gazları türbinden geçtikten sonra eksoz sistemine 228.6 m/s ile 365.76 m/s arasında girmektedir (Rolls-Royce plc., 1996: 61). Bu gazın basıncı, atmosfer basıncına göre çok düşmeden hızının artırılarak atmosfere gönderilmesi, itki performansının arttırılması açısından önemli bir husustur.

Literatüre bakıldığında, hava taşıtlarında nozul performansını arttırmak üzere yapılan çeşitli çalışmaların olduğu görülmektedir. PRANDTL ve BUSEMANN, yakınsak-ıraksak nozul tasarımı için kullanılan karakteristikler metodu ile alakalı ilk çalışmayı gerçekleştirmişlerdir (Prandtl ve Busemann, 1929: 499-509). PUCKETT ise nozulda daha küçük genişleme açılarını kullanmak suretiyle daha önceki çalışmalara göre daha uzun; fakat çıkışta daha düzgün bir akış profilinin olabileceği bir çalışma geliştirmiştir (Puckett, 1946: 265-270). FOELSCH ise PRANDTL ve BUSEMANN'ın çalışmasını esas alarak yöntemi geliştirmeye çalışmıştır (Foelsch, 1949: 161-188). GOULOS vd. turbofan motordaki fan kanalının çıkış profili üzerinde optimizasyon çalışmaları yapmış ve fan eksoz hız verimliliğinin arttırılabileceğini belirtmiştir (Goulos vd., 2019: 1-13). Bazı çalışmalarda nozulların ıraksak kısmına ait genişleme açılarının akışa olan etkilerinin incelendiği çalışmalar söz konusudur. Bu çalışmalarda genel olarak akış ayrışması, şok oluşumu, türbülans oluşumu gibi konular üzerinden farklı nozul tasarımları için karşılaştırmalar yapılmıştır (Ande ve Yerraboina, 2018; Chada vd., 2020; Gaur ve Prakash, 2018; Germer ve Marchi, 2018; Madhu vd., 2020; Meena vd., 2021). Bu çalışmalar haricinde roketlerin yanma odasında, yanmış gazın giriş

ISBN: 978-605-71156-5-2

sayısına göre performans analizi yapılan çalışmalar da mevcuttur (Bhaskar ve Sahu; 2022; Pandey ve Yadav, 2010)

Literatür araştırmalarından görüleceği üzere, yakınsak-ıraksak nozulların roket, uçak gibi farklı hava taşıtlarında uygulamaları ve bu uygulamaların itki üzerindeki etkileri üzerine birçok açıdan incelemeler söz konusudur. Günümüzde hava taşıtlarında performans ve verimlilik konularında, nozul optimizasyon çalışmaları da önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, CFM56-7B'de halihazırda kullanılan nozul yerine Mach sayısına göre ses üstü hızlara ulaşılabilen yakınsak-ıraksak nozul tasarımları uygulanarak, bu tasarımların eksoz gazı çıkış hız ve basıncına olan etkisi ortaya koyulmuş ve uygulanabilirliği incelenmiştir.

**Eksoz Nozulu**

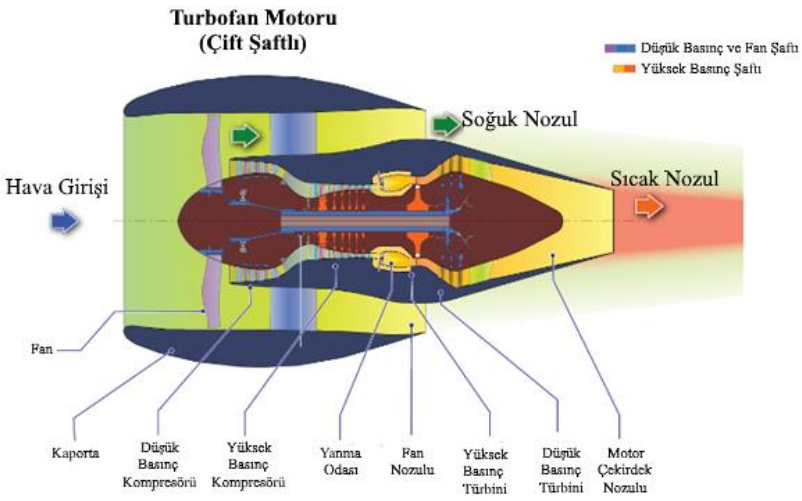
Turbojet ve turbofan motorlarının türbin kısmından çıkan gazların atmosfere, uçuş koşullarına uygun bir hız ve yönde atıldığı ve böylece tüm uçuş koşulları için gerekli olan itkinin sağlandığı motor kısmına eksoz nozulu denmektedir. Turboprop motorlarda ise itki, pervane tarafından sağlanmaktadır ve bu tip motorlarda eksoz gazları itki üretimi için neredeyse yok denecek kadar az bir etkiye sahiptir.

Turbojet ve turbofan tipi motorlarda eksoz sistemi, kuyruk konisi ve eksoz nozulu olarak ta bilinen eksoz kanalı adı verilen parçalardan meydana gelmektedir. Kuyruk konisi, türbin arka destek payandaları (strut) ile kasaya sabitlenmektedir. Bu destekler, gazlar jet borusuna geçmeden önce akışı düzeltmektedir.

Nozullar kullanım yerlerine göre yakınsak ya da yakınsak-ıraksak olarak tasarlanabilmektedir. Akış süpersonik ise, eksoz nozulunun her zaman için yakınsak-ıraksak olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu tür nozullar, genel olarak roketlerde ve ses üstü uçan uçaklarda görülmektedir.

Turbofan motorlarda fan eksozu akışı ve motor çekirdek eksozu akışı için ayrı nozullar kullanılmaktadır. Bu tür motorlarda nozul akışı iki kısma ayrılmaktadır. Bunlar; soğuk nozul ve sıcak nozul olarak isimlendirilmektedir. Sıcak nozul, fana hareket veren motor çekirdeğinin sahip olduğu eksozdur. Bu eksoz kısmında düşük basınç türbininden çıkan sıcak yanmış gazdan faydalanılmaktadır. Bu haliyle turbojet mantığı ile benzerlik göstermektedir. Soğuk nozul ise, motor fan kanalında hızlandırılan ve yakıt girişinin olmadığı havanının çıkış yaptığı nozuldur. Bypass oranı ise bahsi geçen bu soğuk nozula hava girişi için kullanılan motor fanından geçen hava debisinin, motor çekirdeği tarafından emilen ve sıcak nozulda kullanılan hava debisine oranıdır. Bu oranın boyutuna göre turbofan motorlar düşük bypass oranlı ya da yüksek bypass oranlı olabilmektedir. CFM56-7B, yüksek bypass oranlı sınıfına ait bir motordur. Turbofan motora ait görsel Şekil 1'deki gibidir:

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 1.** Turbofan motor şematik gösterimi (“Turbofan”,2022)

## Eksoz Nozul Tipleri

Eksoz nozulları üç ayrı başlıkta sınıflandırılabilmektedir (El-Sayed, 2008: 505-549). Bunlar:

- Daralma ve genişleme durumuna göre; yakınsak ya da yakınsak-ıraksak,
- Akışkanın yönlendirilme durumuna göre; aksisimetrik ya da iki boyutlu (itki yönlendirmeli),
- Nozul çıkış alanının ayarlanma özelliğine göre; sabit geometrili ya da değişken geometrili,

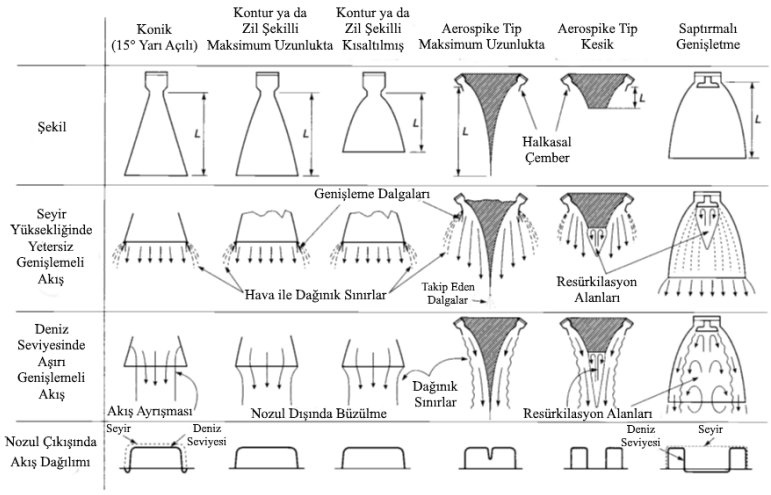
Yakınsak nozul; nozul girişinden çıkışına doğru nozul alanının sürekli olarak küçüldüğü nozul tipidir ve genellikle ses altı akış şartlarında kullanılmaktadır. Yakınsak-ıraksak nozul ise; nozuldan çıkan akışkanın ses üstü hızlara ulaşması için nozul alanının ses hızını elde edene kadar daraldığı; ses hızını elde ettikten sonrasında da genişlediği nozul tipidir. Bu nozullar ise genel olarak roket, süpersonik uçak gibi hava taşıtlarında kullanılmaktadır. Ses altı sivil taşımacılık için her iki tip de incelenirse, yakınsak-ıraksak nozul daha yüksek itki sağlayabilmektedir. Fakat bu nozul tipi kullanıldığında; artan ağırlık, uzunluk ve çap değerleri söz konusu olmaktadır. Bu da uçak ağırlığında ve sürüklenmede artışa neden olmaktadır (Saravanamuttoo vd., 2001: 99-150)

Aksisimetrik nozullar, itkiyi tamamen motorun ya da nozulun ekseni boyunca yönlendiren nozullardır. İki boyutlu nozullar ise itkiyi sadece motor ekseni boyunca değil; aynı zamanda motor eksenine göre farklı açılarda yönlendirebilen nozul tipidir (El-Sayed, 2008: 505-549).

Şekil 2’de 6 farklı nozul tipi, birbirleriyle olan karşılaştırmaları ve nozullarda meydana gelen farklı tiplerdeki akış olayları görülmektedir. İlk 3 şekil konik ve kontur şekilli nozullardır ve genel olarak roketlerde kullanılmaktadır. Diğer üç nozul tipinde ise nozul içinde bir merkez gövde vardır

ISBN: 978-605-71156-5-2

ve bu nozullar mükemmel irtifa telafisine sahiptir. Fakat bu nozulların herhangi bir hava aracında kullanımı söz konusu olmamıştır (Sutton ve Biblarz, 2001: 45-101).




**Şekil 2.** Yakınsak-ıraksak tip nozullarda farklı ıraksak kısım şekilleri (Sutton ve Biblarz, 2001:45-101)

## YÖNTEM

### Sıkıştırılabilir Akış

Jet akışı gibi akışlarda, yüksek hızdan dolayı akışkan yoğunluğunda önemli değişimlerin olduğu akış tipine sıkıştırılabilir akış denmektedir (White, 2011: 609-700). Denklem 1'de yoğunluk değişimi ile alakalı formül görülmektedir.

$$\tau = -\frac{1}{\rho}\frac{d\rho}{dP}; \; d\rho = \rho.\tau.dP$$

(1)

olarak ifade edilmektedir.

Sıvı akışkanlarda sıkıştırılabilirlik unsuru küçük olduğundan, basınç farkı dP ne kadar büyük olursa olsun yoğunluk değişimi de küçük olacaktır. Bu nedenden dolayı sıvı akışkanlarda akış sıkıştırılamaz olmaktadır. Gazlarda ise Mach sayısı 0.3'ü geçtiği zaman, sıkıştırılabilirlik unsurunun büyük olmasının da etkisiyle dP basınç değişiminin etkisi de büyük olmaktadır.

Bu akış tipi ile alakalı iki adet önemli ve belirleyici unsur vardır (White, 2011: 609-700). Bunlar:

- Akış debisini keskin bir biçimde sınırladığı için boğulma,
- Akış özelliklerinde neredeyse süreksizlik arz ettiği için şok dalgaları,

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Ses Hızı ve Mach Sayısı**

Sıkıştırılabilir akış konusunda dikkate alınan en önemli parametrelerden bir tanesi ses hızıdır. Ses hızı, bir akışkan ortamında yayılan son derece küçük bir basınç dalgasının hızı olarak tanımlanmaktadır. Mach sayısı ise akışkanın ya da akışkan içerisinde hareket eden herhangi bir nesnenin gerçek hızının, içlerinde bulunduğu ortamın termodinamik özelliklerine göre olan ses hızına oranı olarak ifade edilmektedir. Ses hızının birimi Ma'dır. Mach sayısı Denklem 2 ile hesaplanabilmektedir (Çengel ve Boles, 2015: 843-901).

$$Ma=\frac{V}{c} \quad (2)$$

Denklem 2'deki ses hızı ise Denklem 3 ile bulunabilmektedir (Çengel ve Boles, 2015: 843-901).

$$c=\sqrt{k.R.T} \quad (3)$$

0.3 Mach'tan büyük akışkan hızları için akışkandaki yoğunluk değişimleri ihmal edilemez bir hal almaktadır. 0.3 Mach'tan küçük olan akış hızlarında ise gazın akışı sıkıştırılamaz kabul edilmektedir. Mach sayısına göre akış tipleri şu şekilde ifade edilebilmektedir:

- Ma < 0.3: Yoğunluk değişimlerinin ihmal edilebildiği sıkıştırılamaz akış.
- 0.3 < Ma < 0.8: Yoğunluk değişimlerinin önemli olduğu; fakat şok dalgalarının oluşmadığı ses altı akış.
- 0.8 < Ma < 1.2: Şok dalgalarının ilk kez görüldüğü, akış karakteristiklerinin ses altı ve ses üstü alanlarının olduğu ve karışık karakteristiğinden dolayı uçuşun zor olduğu transonik akış.
- 1.2 < Ma < 3.0: Şok dalgalarının olduğu ve ses altı bölgelerin atık yok olduğu ses üstü akış.
- 3.0 < Ma: Şok dalgaları ve diğer akış değişikliklerinin özellikle güçlü olduğu hipersonik akış (White, 2011: 609-700).

**Sıkıştırılabilir Akışta İzoentropik Bağıntılar**

Sıkıştırılabilir akış tipi komplike bir akış türü olduğundan, problem çözümleri için izoentropik akış ya da tersinir adyabatik akış kabulleri uygulanarak basitleştirmeler yapılmaktadır.

Sıkıştırılabilir akışta kullanılan denklemlerde durma noktalarındaki akış özelliklerinin statik noktalardaki akış özelliklerine oranları şu şekillerdedir (Çengel ve Boles, 2015: 843-901):

ISBN: 978-605-71156-5-2

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \left(\frac{k-1}{2}\right).Ma^2$$

(4)

$$\frac{P_0}{P} = \left(1 + \frac{k-1}{2}.Ma^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

(5)

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left(1 + \frac{k-1}{2}.Ma^2\right)^{\frac{1}{k-1}}$$

(6)

Yakınsak-ıraksak nozulda kritik nokta olan boğaz kısmında Ma=1'dir. Bu değer, Denklem 4, Denklem 5 ve Denklem 6'da yerlerine konursa, boğaz özelliklerinin tespitinde kullanılan denklemler elde edilmektedir (Çengel ve Boles, 2015: 843-901):

$$\frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{k+1}$$

(7)

$$\frac{P^*}{P_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

(8)

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}$$

(9)

Süreklilik denkleminde türetmeler yapılması ile Denklem 10 elde edilmektedir. Yakınsak-ıraksak nozulda akışta ses üstü hızlara ulaşıldığı için akış boğulmaktadır ve mümkün olan maksimum kütlesel debiye boğaz kısmında ulaşılmaktadır. Maksimum kütlesel debiyi bulmak için Denklem 10'da Ma=1 eşitliği uygulanarak Denklem 11 elde edilmektedir. Bu denklemler aşağıdaki gibidir (Çengel ve Boles, 2015: 843-901):

ISBN: 978-605-71156-5-2

$$\dot{m} = \frac{A.Ma.P_0.\sqrt{\frac{k}{R.T_0}}}{\left[1+\frac{(k-1).Ma^2}{2}\right]^{\frac{(k+1)}{2(k-1)}}}$$

(10)

$$\dot{m}_{maks.} = \frac{A^*.P_0.\sqrt{\frac{k}{R.T_0}}}{\left[1+\frac{(k-1)}{2}\right]^{\frac{(k+1)}{2(k-1)}}}$$

(11)

Denklem 10 ve Denklem 11 birleştirildiğinde ise ıraksak kısımdaki çıkış alanının bulunduğu Denklem 12 elde edilmektedir (Çengel ve Boles, 2015: 843-901):

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{Ma}\left[\left(\frac{2}{k+1}\right).\left(1+\frac{k-1}{2}.Ma^2\right)\right]^{\frac{k+1}{2(k-1)}}$$

(12)

İtki hesabı yapılırken Denklem 13'ten faydalanılmıştır (Dankanich ve Peters, 2017: 7):

$$F = \dot{m}_{çıkış}.V_{çıkış} - \dot{m}_{giriş}.V_{giriş} + (P_{nozul} - P_{atmosfer}).A_{çıkış}$$

(13)

Denklem 13, turbofan motora uyarlandığında Denklem 14 elde edilmektedir (Dankanich ve Peters, 2017: 7):

$$F = \dot{m}_{fan}.V_{fan} + \dot{m}_{çekirdek}.V_{çekirdek} - (\dot{m}_{fan} + \dot{m}_{çekirdek}).V_{giriş} + (P_{fan} - P_{atmosfer}).A_{fan} + (P_{çekirdek} - P_{atmosfer}).A_{çekirdek}$$

(14)

Daha sonraki bölümlerde yapılan analizler sadece motor çekirdek nozuluna ait olduğu için Denklem 14'te motor çekirdeği giriş ve çıkış değerleri dikkate alınarak Denklem 15 türetilmiştir. Denklem 15'te motor çekirdeğine havanın giriş koşulları, TURAN ve ÇILGIN'ın yapmış olduğu çalışmada (Turan ve Çılgın, 2017: 1-5) düşük basınç kompresörüne giriş koşulları olarak alınmıştır.

$$F = \dot{m}_{çekirdek\ çıkış}.V_{çekirdek\ çıkış} - \dot{m}_{çekirdek\ giriş}.V_{çekirdek\ giriş} + (P_{çekirdek} - P_{atmosfer}).A_{çekirdek}$$

(15)

ISBN: 978-605-71156-5-2

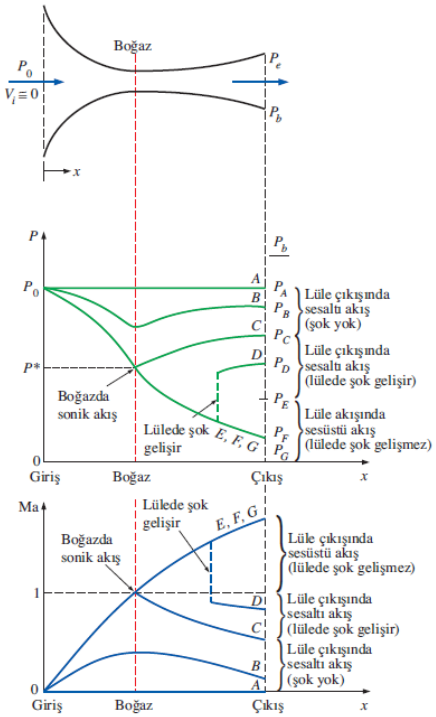
**Yakınsak-Iraksak Nozulda Ortam Basıncının Çıkış Basıncı ve Akışa Olan Etkileri**

Şekil 3'te farklı değerlerdeki karşı basınçların yakınsak-ıraksak nozul çıkışındaki gaz akışına olan etkileri görülmektedir. Gaz akışkan yakınsak-ıraksak nozula düşük hızda giriş yapmaktadır. Gaz akışkanın durma basınç değeri ise $P_0$ ile ifade edilmektedir. Şekil 3'e göre;

- A durumunda; nozul giriş basıncı nozul çıkış basıncına eşit olduğu için nozulda akış hareketi olmamaktadır. Nozulda akış olması için nozul girişi ile nozul çıkışı arasında basınç farkı olmalıdır.
- B durumunda ($P_0 > P_b > P_e$); nozul içindeki akış hiçbir noktada ses üstü değere ulaşmamıştır. Ses altı hız değerleri ile akış oluşmuştur. Kütlesel debi miktarı ise Ma=1'deki değere göre daha az olacaktır. Bu durumda nozul içerisinde hız, boğaz kısmına kadar artış gösterip boğaz kısmında maksimum değerine ulaşmaktadır. Ancak akış ses altı akış olduğu için ıraksak kısımda kazanılan bu hız büyük bir miktarda azalacaktır. Basınç değeri ise hıza bağlı olarak yakınsak kısımda boğaza kadar azalacak; sonrasında da ıraksak kısımda artacaktır. Bu nedenden dolayı yakınsak-ıraksak nozulun ıraksak kısmı bir difüzör gibi çalışacaktır. Akış ses altı olduğu için şok oluşumu olmayacaktır.
- C durumunda ($P_b = P_e$); nozul içindeki akış boğazda kritik noktaya gelmektedir ve bu kısımda Ma=1 değerine ulaşılmaktadır. Kütlesel debi ise ulaşacağı maksimum seviyeye gelmektedir. Fakat nozulun ıraksak kısmı difüzör gibi çalışmaya devam ettiği için ıraksak kısımda hız azalması ve basınç artışı meydana gelecektir.
- D durumunda ($P_c > P_b > P_E$); boğazda Ma=1 değerine ulaşılmış olup; ıraksak kısımda basınç düştükçe ses üstü hızlara çıkma eğilimi görülmektedir. Fakat yakınsak-ıraksak nozulda boğaz kısmı ile nozul çıkış kısmı arasında bir yerde normal şok oluştuğu için akışkanın ivmelenmesi aniden duracaktır. Bu nedenden dolayı nozul ıraksak kısmı içerisinde hız ses altı seviyelere düşecek; basınç ise ani olarak yükselecektir. Hız azalması ıraksak kısımda devam edecektir. Bu durumdan ötürü nozul tasarımında, normal şok dalgasının nozul içerisinde oluşmamasına dikkat edilmelidir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

- E,F ve G durumunda ise üç unsur söz konusudur. Bunlardan birincisi $P_b = P_F$ durumudur. Bu durumda nozulun içinde ya da nozul çıkışında şok oluşumu olmamaktadır. Nozul tasarımında istenen ideal durum bu olmaktadır. İkincisi $P_b < P_F$ durumudur. Bu durumda tersinmez özellikteki genişleme ve karışma dalgaları, nozul çıkış eksenine göre aşağıakımda oluşacaktır. Üçüncüsü ise $P_b > P_F$ durumudur. Bu durumda da nozul çıkışında eğik şoklar oluşacaktır.




**Şekil 3.** Yakınsak-ıraksak nozulda ortam basıncının akışa olan etkileri (Çengel ve Cimbala, 2006: s.611-678)

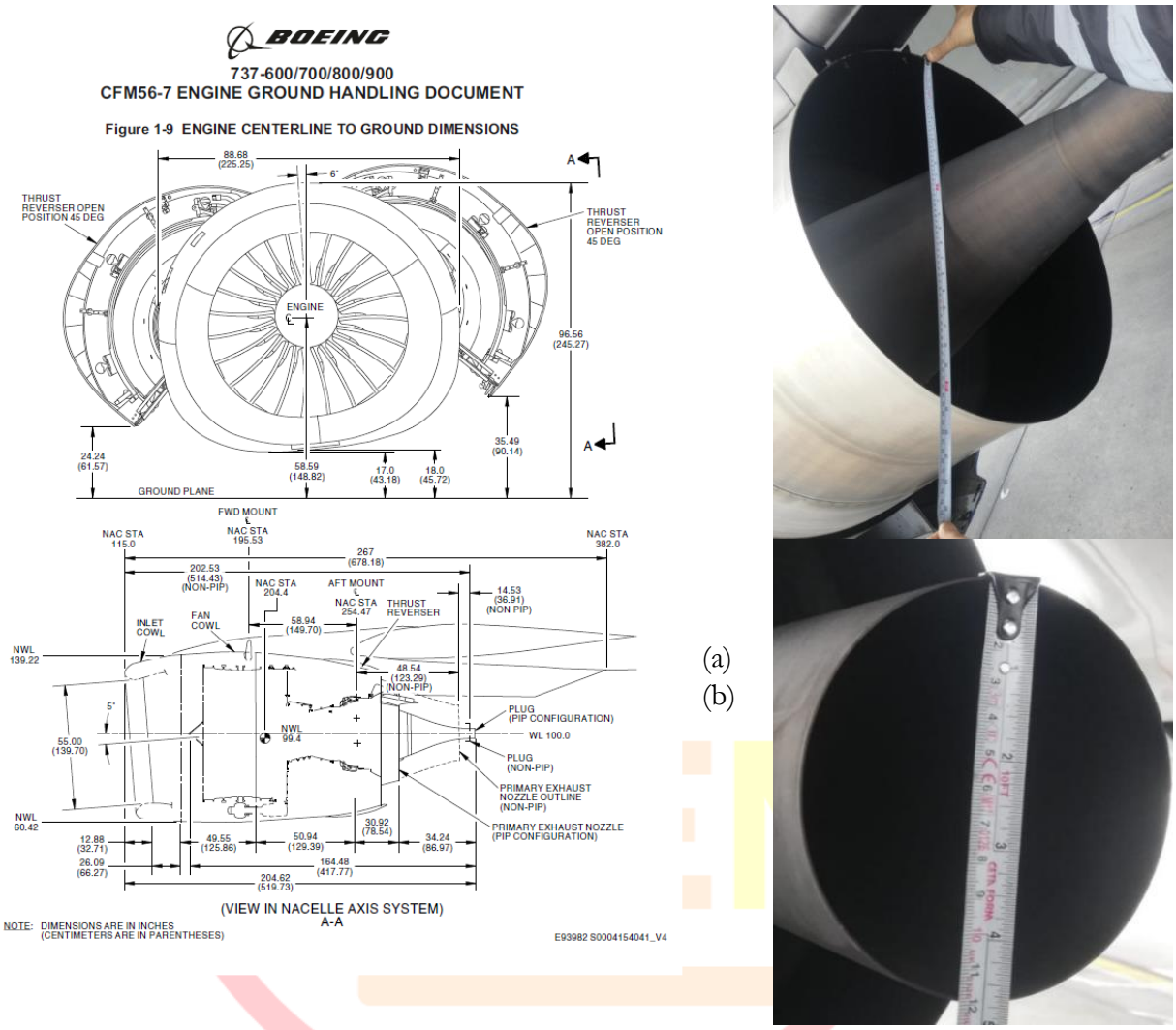
## YAPILAN TASARIMLAR, NÜMERİK ANALİZ ÇALIŞMALARI VE BULGULAR

Yapılan çalışmalarda çizim için SolidWorks 2021 R1 kullanılmıştır. Bu çizimler, ANSYS Fluent'e aktarılmış ve program içerisinde bulunan Realizable k-ε türbülans modeli kullanılarak HAD analizleri yapılmıştır. BULAT, yapmış olduğu çalışmada, süpersonik akışların analizinde en iyi sonuçları Realizable k-ε türbülans modeli ile SST türbülans modelinin sağladığını belirtmiştir (M. P. Bulat ve P. V. Bulat, 2013: 1263-1266). Bu nedenden dolayı analizlerde Realizable k-ε türbülans modeli kullanılmıştır

Bu modelin doğruluğunu araştırmak için ilk olarak, CFM56-7B'de kullanılan eksoz sisteminin analizi yapılmıştır. CFM56-7B eksoz sisteminin gerçek değerleri ile SolidWorks 2021 R1 ile bir çizim yapılmıştır. Gerçek değerler, Boeing 737-800 üzerinden ölçülebilen noktalarda ölçülmüş ve ARSHAD vd.'nin yapmış olduğu çalışmada (Arshad vd., 2013: 162-167) belirttikleri nozul ölçüleriyle karşılaştırılarak doğruluğu kontrol edilmiştir. Sonuç olarak çizimdeki değerler ile

ISBN: 978-605-71156-5-2

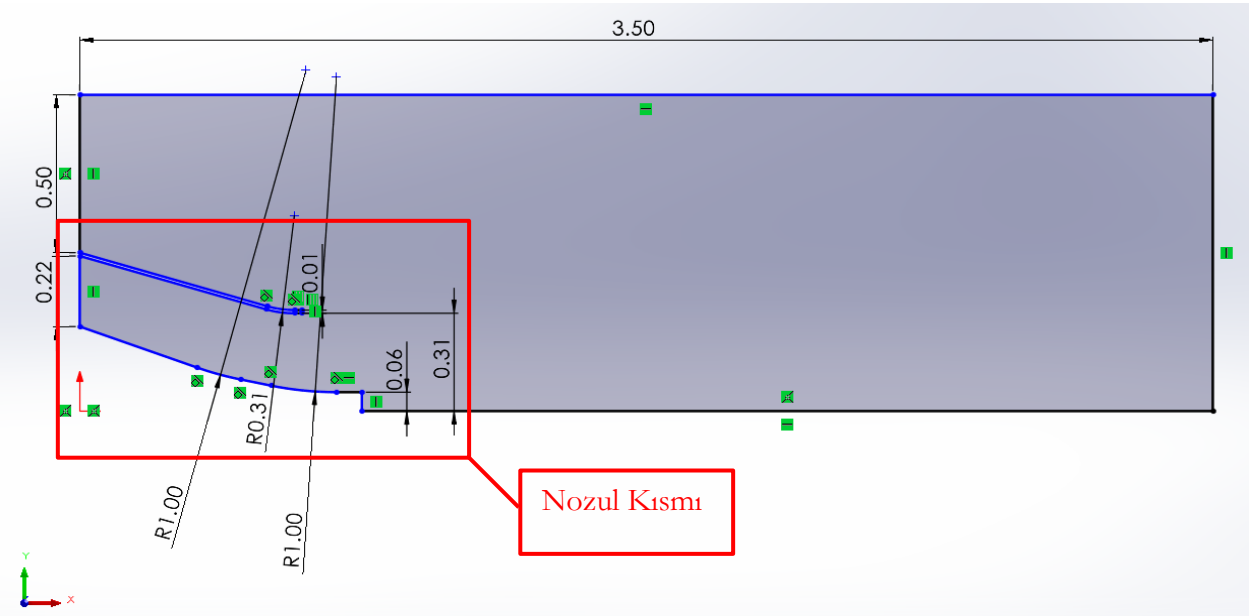
bahsi geçen diğer değerlerin birbirlerine çok yakın değerler oldukları görülmüştür. Söz konusu referans değerleri Şekil 4'teki gibidir.




**Şekil 4.** (a) CFM56-7B'ye ait nozul ölçülerine ait boy ölçüleri (Boeing, 2019), (b) Aynı nozula ait bazı çap ölçümlerinin yapılması

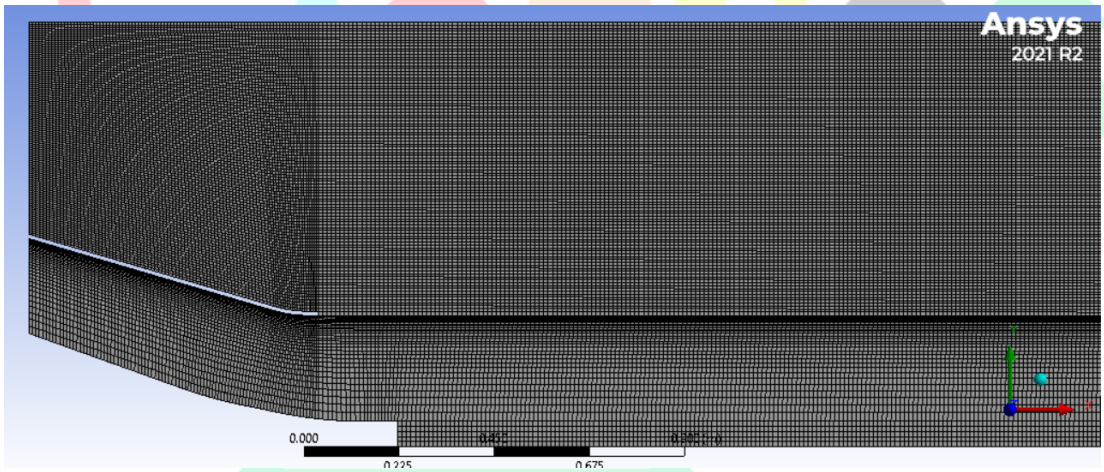
Bu çizim, ANSYS Fluent ortamına aktarılmış ve bu çizimin HAD analizi yapılmıştır. Yapılan çizim ile alakalı görseller Şekil 5'teki gibidir. Nozul analizi aksisimetrik olarak yapıldığı için çizim bu şekilde yapılmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 5.** CFM56-7B nozulunun SolidWorks 2020 R1'deki çizimi (Ölçüler metre cinsindendir)

Çizimin ANSYS Fluent ortamına aktarılmış hali Şekil 6'daki gibidir. Bu şekilde HAD analizi için gerekli olan mesh örüntüsünün görünümü de mevcuttur. Sayısal ağlar elemanları için "Face Meshing" metodu kullanılmıştır.




**Şekil 6.** CFM56-7B nozulunun ANSYS Fluent ortamındaki sayısal ağ görüntüsü

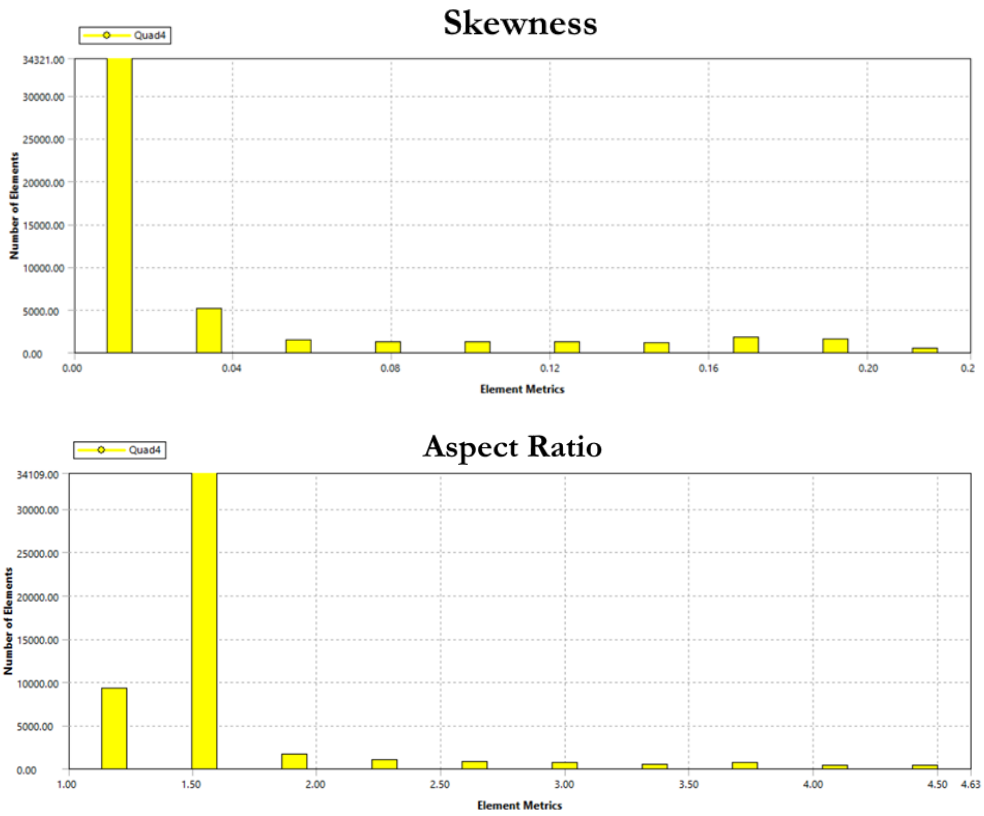
Sayısal ağların kalite unsurları da şu şekildedir (Ansys, 2011):

- Skewness değeri 0,9 ve üzeri olan ağ yapıları üzerinde yapılan çözümlemelerde yüksek oranda hatalı sonuç alma olasılığı söz konusu olmaktadır

ISBN: 978-605-71156-5-2

- Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak olan çözüm ağ elemanları arasındaki büyüme oranı olan Aspect Ratio değerinin ise 200'ün altında olması gerekmektedir.

Mesh kalite unsurları ise Şekil 7'deki gibidir:




**Şekil 7.** Mesh kalite unsurları

Şekil 7'den de görüleceği üzere skewness ve aspect ratio değerleri, sınır değerlerin çok altındadır. Bu durumda mesh kalitesinin yeterli olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca çözümleme, 49.000 elemana sahiptir.

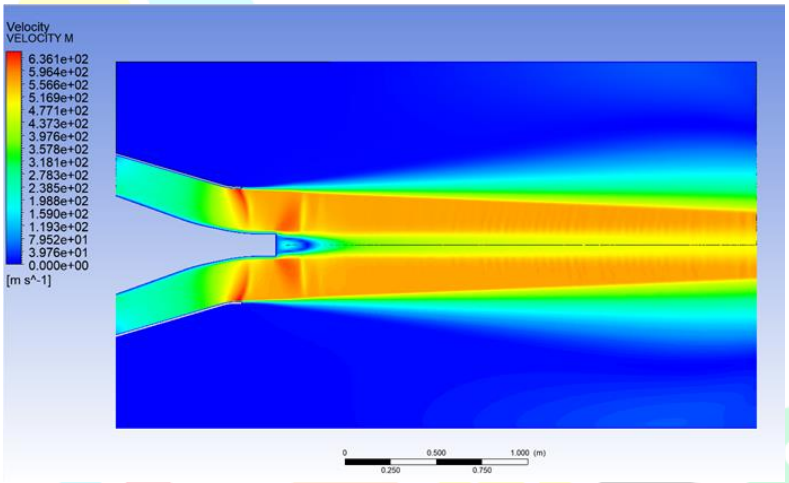
Diğer analizlerde de geçerli olmak üzere sınır şartları için referans değerler, TURAN ve ÇILGIN'ın CFM56-7B için hesaplamış oldukları ekserji analiz değerleri olarak alınmıştır. Bu değerler, Tablo 1'deki gibidir. Akışkan, ideal gaz olarak; vizkosite hesaplama yöntemi de Sutherland olarak seçilmiştir. Atmosfer şartları ise 101,400 Pa basınç, 288 K sıcaklık değeri olacak şekilde ayarlanmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

| Motor Kısmı | Hız (m/s) | Kütlesel debi (kg/s) | Sıcaklık (K) | Basınç (kPa) |
|---|---|---|---|---|
| Düşük basınç kompresörü girişi | 170.4 | 59.2 | 314 | 130.5 |
| Düşük basınç türbini çıkışı | 288.934 | 59.3 | 897 | 200.7 |
| Eksoz çıkışı | 507.841 | 60.5 | 894 | 198.7 |

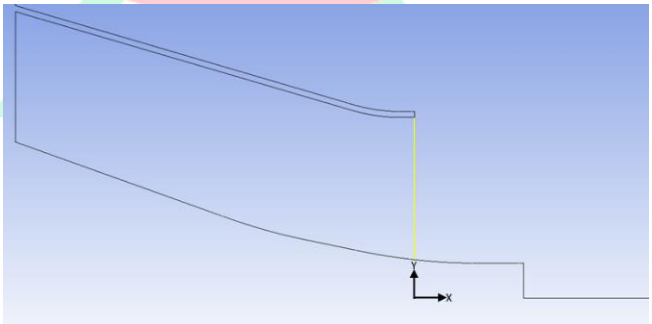
**Tablo 1.** CFM56-7B motoru için motor sıcak nozulu itki değerinin hesaplanması için alınan referans değerler (Turan ve Çılgın, 2017: 1-5)

Söz konusu bu model için HAD analiz sonuçlarına ait hız konturlarının görseli Şekil 8'deki gibidir.




**Şekil 8.** CFM56-7B eksoz nozulu hız konturları

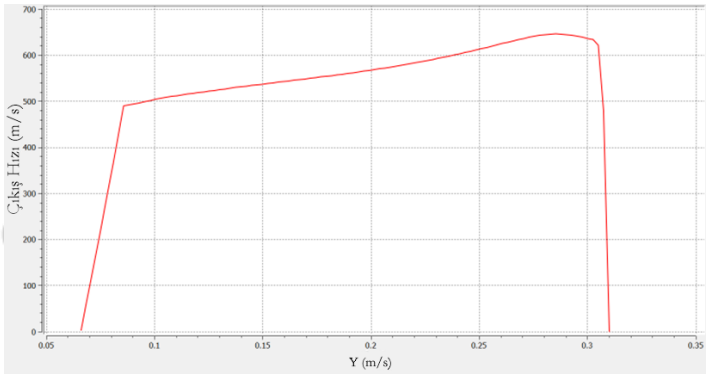
Analiz sonuçları alındıktan sonra, nozul çıkışı boyunca hız, basınç ve yoğunluk değerleri alınmıştır. Değerlerin alındığı kısım Şekil 9'daki gibidir:



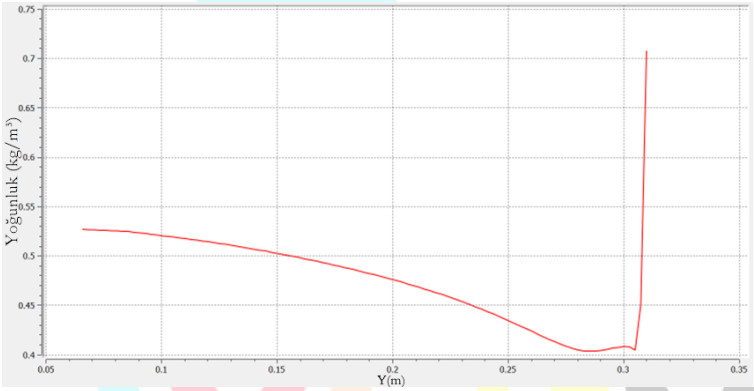
**Şekil 9.** Nozul çıkış y ekseni (sarı çizgi)

ISBN: 978-605-71156-5-2

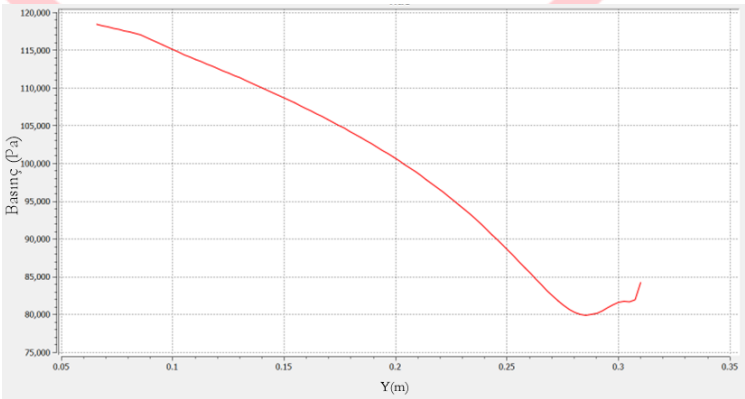
Alınan bu değerlerin Şekil 9'da belirtilen sarı çizgi üzerinde y ekseni boyunca dağılımını veren grafikler Şekil 10(a), 10(b) ve 10(c)'de sunulmuştur.




**Şekil 10 (a).** Nozul çıkışında y ekseni boyunca hız dağılımı



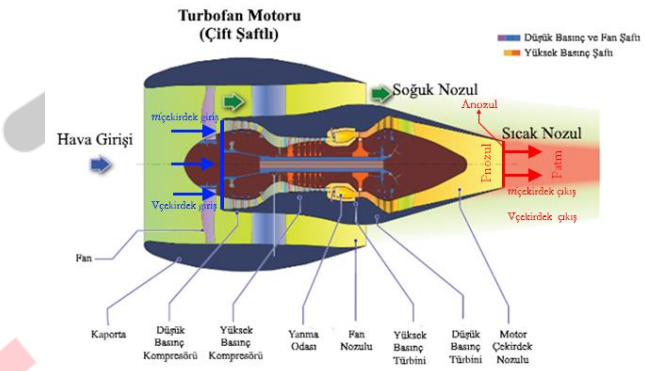

**Şekil 10 (b).** Nozul çıkışında y ekseni boyunca yoğunluk dağılımı




**Şekil 10 (c).** Nozul çıkışında y ekseni boyunca basınç dağılımı

ISBN: 978-605-71156-5-2

Çıkış kısmında itki hesabı yapılması için Denklem 15'teki unsurlara göre motor çekirdeğinin hem giriş hem de çıkışı için kütlesel debi, basınç ve alan bilgileri gerekmektedir. Motor çekirdeğine giriş şartları Tablo 1'de belirtilen düşük basınç kompresör giriş referans bilgileri olarak alınmıştır. Denklem 15'in motor üzerinde nerelerde uygulandığına ait görsel Şekil 11'deki gibidir.

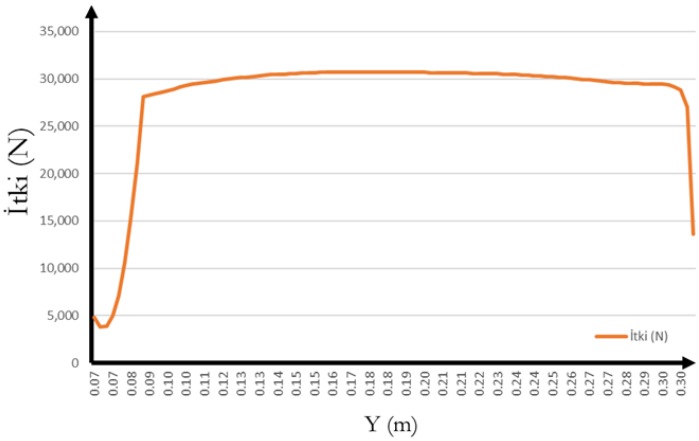



**Şekil 11.** Denklem 15'teki ifadelerin motorda uygulama yerlerinin gösterimi

Motor çekirdek çıkışında kütlesel debi hesabı için süreklilik denklemi olan $\dot{m} = \rho .A.V$ kullanılmıştır. Yoğunluk ve hız değerleri için analiz sonuçlarının ortalama değerleri alınmıştır. Sonrasında ise Denklem 15 kullanılarak itki hesabı yapılmıştır. Yapılan hesaplama sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. İtkinin nozul çıkışında y ekseni boyunca dağılımı ise Şekil 12'deki gibidir.

| **Akış Unsuru** | Yoğunluk (kg/m3) | Basınç (Pa) | Hız(m/s) | Kütlesel debi(kg/s) | İtki (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Ortalama Değerler** | 0.477 | 100,533.58 | 534.76 | 72.231 | 27.862 |

**Tablo 2.** CFM56-7B motorunda akış unsurları için analiz sonuçları ve itki hesabı

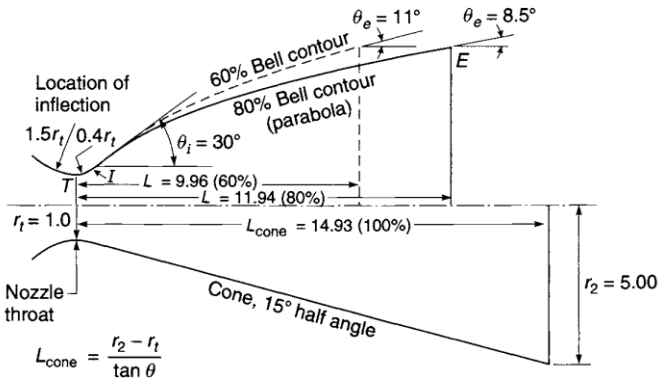



**Şekil 12.** Nozul çıkışında y ekseni boyunca itki değerlerinin dağılımı

ISBN: 978-605-71156-5-2

Analiz sonuçlarıyla makaledeki referans değerleri karşılaştırıldığında hız değerleri arasında %5.301'lik fark görülmüştür. CFM International'ın '*How does a CFM56-7B work ?*' adlı videosunda motor tarafından üretilen itkinin %80'inin fan (by-pass havası) tarafından üretildiği söylenmektedir. Geriye kalan %20'lik kısım ise motor çekirdeği tarafından üretilmektedir (CFM International, 2020). 121 kN kalkış itki değerine sahip olan CFM56-7B'nin 24.2 kN itki değerinin çekirdek tarafından üretildiği göz önünde bulundurulursa; hesaplanan 27.862 kN çekirdek itki değeri ile gerçek değer arasındaki fark %15.132 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında, kullanılan analiz yönteminin uygun olduğu görülmektedir.

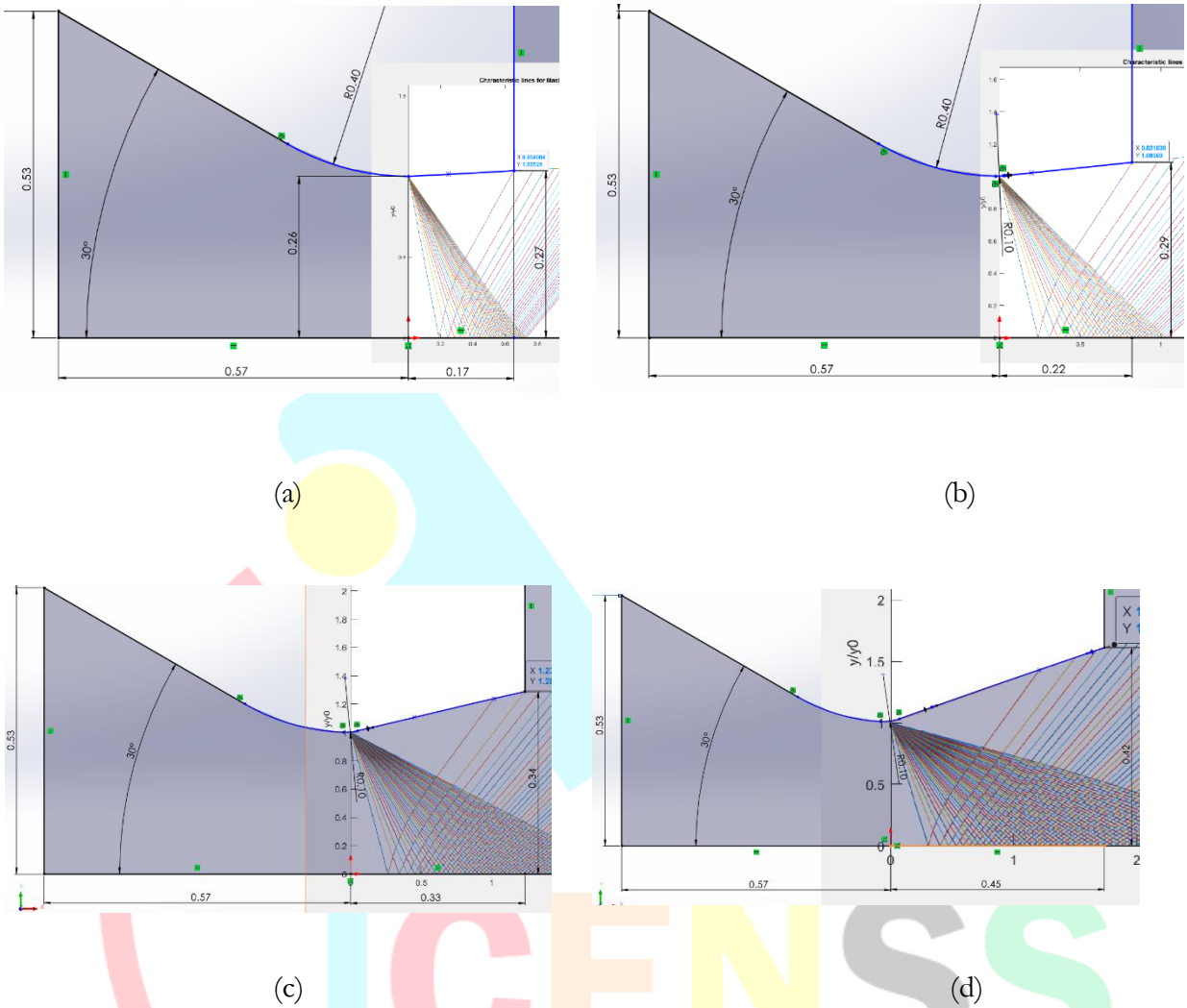
Daha sonra sıkıştırılabilir akış bağıntıları kullanılarak Ma sayısının 1.3, 1.5, 2 ve 2.5 değerleri için dört farklı C-D nozulu tasarlanmış ve verilen referans değer ile performansları karşılaştırılmıştır. Yakınsak kısmın ve boğaz kısmının tasarımında Şekil 13 kullanılmıştır. Iraksak kısmın tasarımında Karakteristikler Metodu kullanılmıştır. Bu tasarım için MAURYA tarafından yazılan; k değeri, çıkış Mach değeri ve karakteristik sayılarını girdi olarak kullanarak kontur profili oluşturabilen bir Matlab kodu kullanılmıştır (Maurya, 2022)




**Şekil 12.** Yakınsak-ıraksak nozul tasarımında önerilen değerler (Sutton ve Biblarz, 2001:45-101)

Tasarımlar yapılırken öncelikli olarak boğaz kısmının alanı ($A^*$), Ma=1'e göre hesaplanmıştır. Bunun için, Denklem 7 ve 8 kullanılarak kritik alan olan boğaz alanının basınç ve sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Sonrasında ideal gaz bağıntısı olan $P = \rho.R.T$ denklemi kullanılarak boğaz alan yoğunluğu hesaplanmıştır. Denklem 3 kullanılarak ta kritik noktadaki ses hızı (c) hesaplanmıştır. Bu kısım için kütlesel debi, Tablo 1'deki düşük basınç türbin çıkışı referans değeri olarak alınmıştır. Süreklilik denklemi olan $\dot{m} = \rho.A.V$ kullanılarak boğaz alanı hesaplanmış ve bu değer ise 0.219 $m^2$ olarak tespit edilmiştir. Daha sonra Denklem 12 kullanılarak her bir tasarımın çıkış alanı hesaplanmıştır ve Tablo 3'te belirtilmiştir. Bu değerlere göre yapılan çizimler Şekil 13(a), 13(b), 13(c) ve 13(d)'deki gibidir.

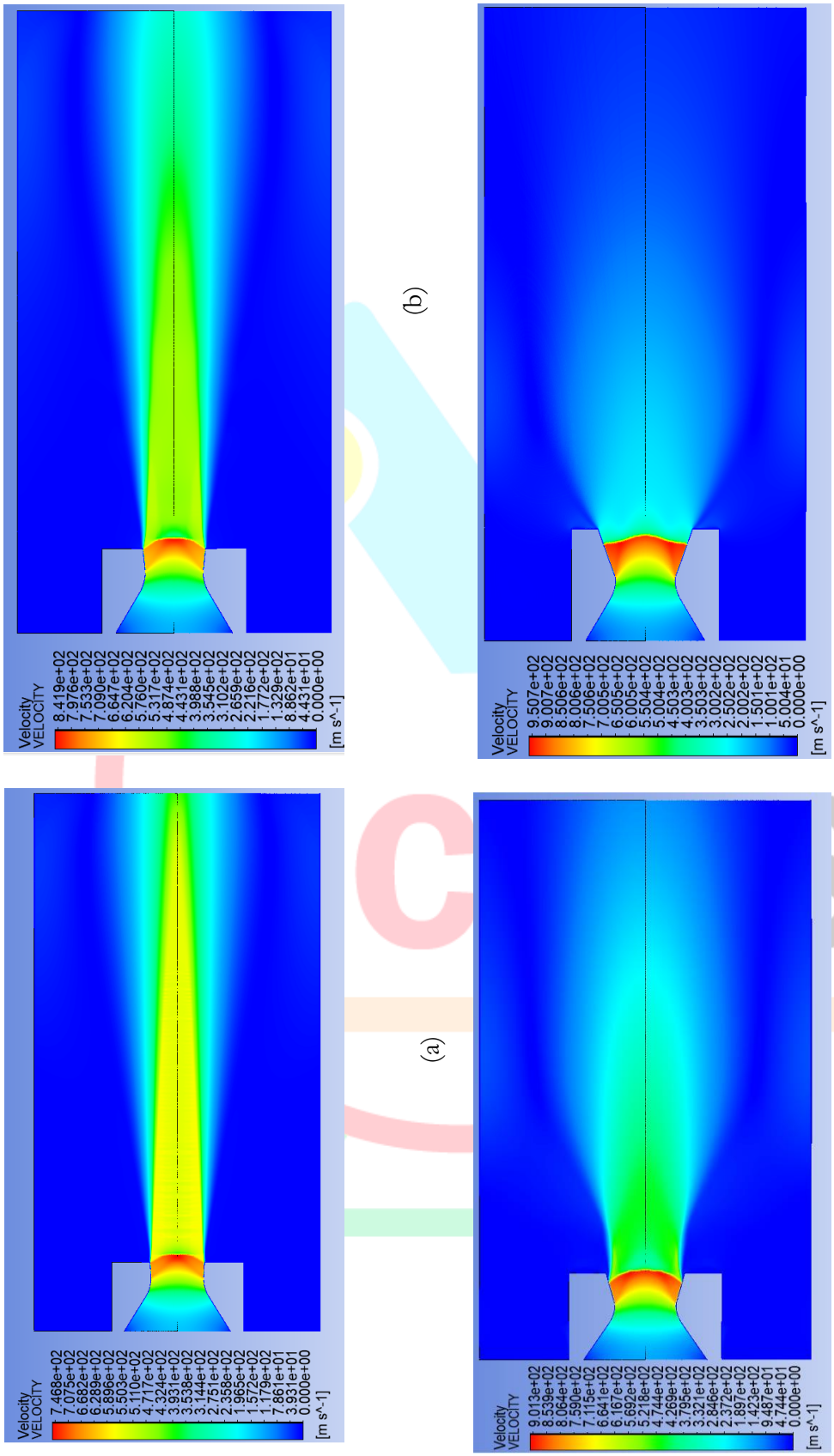
ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 13. (a)** 1.3 Ma için yapılan nozulun ölçüleri, **(b)** 1.5 Ma için yapılan nozulun ölçüleri, **(c)** 2 Ma için yapılan nozulun ölçüleri, **(d)** 2.5 Ma için yapılan nozulun ölçüleri,

Bu çizimler, ANSYS Fluent ortamına aktarılmış; aynı türbülans modeli ve sınır şartları kullanılarak analizler gerçekleştirlmiştir. CFM56-7B nozulu için yapılan hesaplama yöntemlerinin aynıları bu nozul tasarımları için de uygulanıp termodinamik özellikler hesaplanmıştır. Sonuçlar ise Tablo 3'te belirtilmiştir. Yapılan HAD analizinde hız konturlarına ait görseller Şekil 14(a), 14(b), 14(c) ve 14(d)'deki gibidir.

ISBN: 978-605-71156-5-2



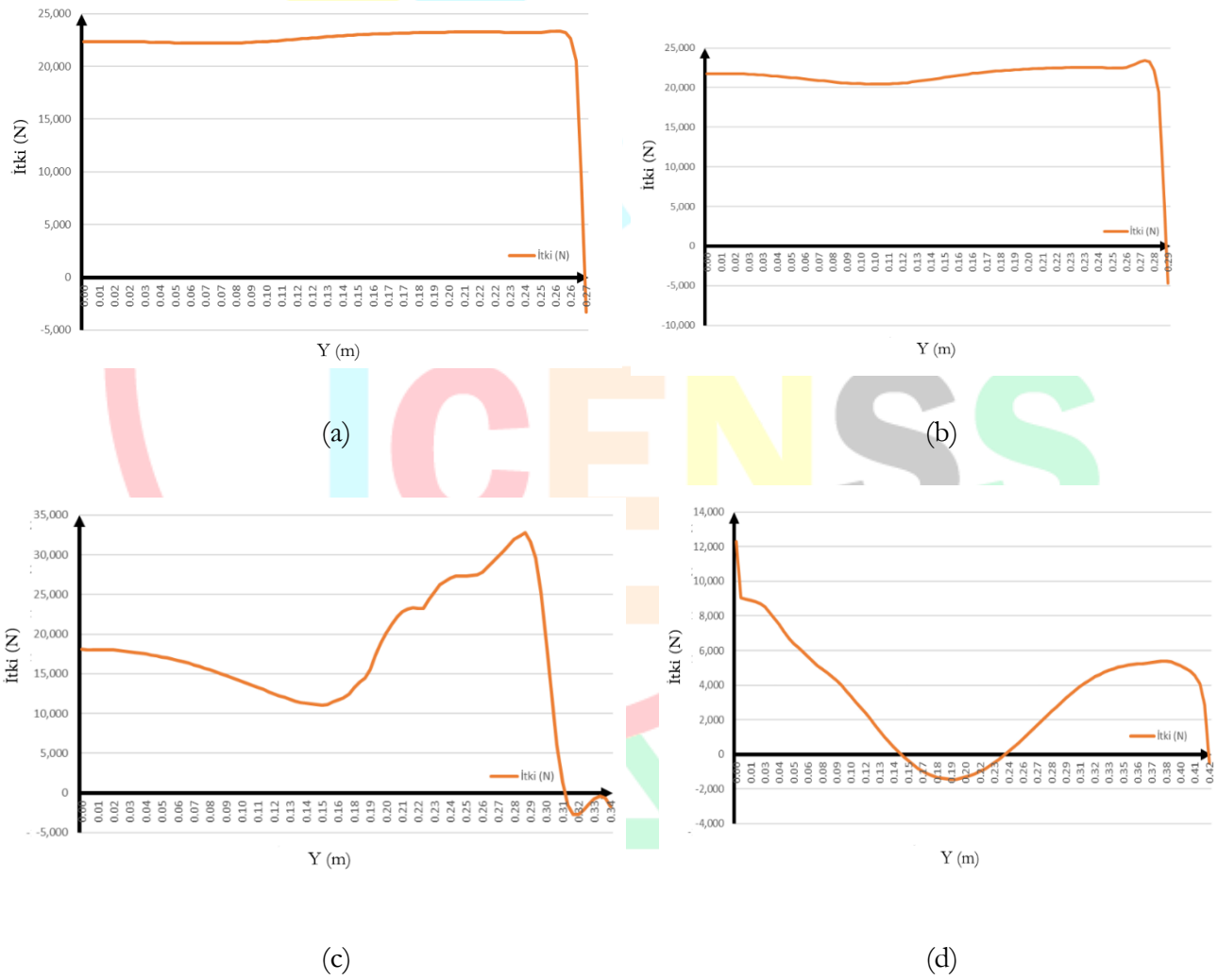

**(Şekil 14. (a)** 1.3 Ma için hız konturları, **(b)** 1.5 Ma için hız konturları, **(c)** 2 Ma için hız konturları, **(d)** 2.5 Ma için için hız konturları,

ISBN: 978-605-71156-5-2

| Tasarım Mach Sayısı (kN) | Boğaz Alanı (m²) | Çıkış Alanı (m²) | Iraksak Kısım Uzunluğu (m) | Çıkış Hızı (m/s) | İtki (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.3 | 0.219 | 0.229 | 0.17 | 674.96 | 22.345 |
| 1.5 | 0.219 | 0.264 | 0.22 | 737.18 | 21.223 |
| 2 | 0.219 | 0.363 | 0.33 | 672.05 | 16.849 |
| 2.5 | 0.219 | 0.554 | 0.45 | 288.64 | 3.183 |

**Tablo 3.** CFM56-7B motorunda akış unsurları için analiz sonuçları ve itki hesabı

Tablo 3 belirtilen itki değerlerinin nozul çıkışında y ekseni boyunca dağılımları Şekil 15(a), 15(b), 15(c) ve 15(d)'de belirtilmiştir.




**Şekil 15. (a)** 1.3 Ma için çıkışta y ekseni boyunca itki dağılımı, **(b)** 1.5 Ma için çıkışta y ekseni boyunca itki dağılımı, **(c)** 2 Ma için çıkışta y ekseni boyunca itki dağılımı, **(d)** 2.5 Ma için çıkışta y ekseni boyunca itki dağılımı

ISBN: 978-605-71156-5-2

Sonuçlar incelendiğinde tasarlanan nozulların itki değerleri, deniz seviyesi basınç ve sıcaklık değerleri altında, verilen referans değerlerden daha düşük çıkmıştır. Ma=1.3 ve Ma=1.5 için tasarlanan nozulların çıkış hızları %32.909 ve %45.159 daha yüksek olmasına rağmen, bu nozulların itkiyi iyileştirmeye yeterli olmadığı gözlemlenmiştir. Diğer iki nozulda ise nozul içinde şok dalgası oluşumları gözlemlenmiş ve bu nedenle nozul çıkışlarında oldukça büyük hız düşüşleri meydana gelmiştir. Bunlar haricinde Ma=2 ve Ma=2.5'ye göre tasarlanan nozullarda daha düzensiz bir itki dağılım profili tespit edilmiştir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, CFM56-7B Turbofan motoruna, halihazırdaki eksoz sistemi yerine yakınsak-ıraksak nozul tasarımı uygulamanın, nozul çıkış hızını artıracağı için daha fazla itki üretimini sağlayabileceği düşüncesiyle hareket edilmiş ve bu tasarımlar nümerik analiz metoduyla incelenmiştir. Sonuçlara göre, yakınsak-ıraksak nozul tasarımının bu motora uygun olmayacağı görülmüştür. Bu durumun nedeninin, düşük basınç türbininden çıkan yanmış gazın debi, hız ve basınç değerlerinin yakınsak-ıraksak nozula çok uygun olmayışı olarak düşünülmektedir. Bunlar haricinde, nozul ıraksak kısmın Mach sayısına göre çıkış alanının fazla büyümesi, deniz seviyesi şartları altında nozul akışını oldukça olumsuz etkilemektedir. Bu durumun nedeninin, nozul içi basıncın 1 atm'lik ortam basıncına göre çok küçük kalması nedeniyle şok dalgalarının nozul içerisinde oluşması olarak düşünülmektedir. Şoklardan dolayı nozul çıkışındaki hız miktarı çok düşmektedir. Yakınsak-ıraksak nozulun olumlu etki yapması için, motora değişken açılı nozul sistemi uygulanabileceği düşünülmektedir. Çünkü her Mach sayısındaki nozulun ideal olarak çalışabildiği bir basınç değeri söz konusudur ve bu basınç değeri, Mach sayısının artışına göre ters orantılı olarak azalmaktadır. Uçak yükseldikçe, maruz kaldığı dış basınç düşeceği için, nozul alanının basınca göre büyütülebileceği bir sistem, nozul performansını artırabilir. Bunun haricinde nozul girişinde daha yüksek basınç ve debi sağlanabilecek bir sistem tasarımı da düşünülebilir ki bu durumda motorun diğer kısımlarında değişikliğe gitmek gerekebilir.

### Terminoloji

| | | |
|---|---|---|
| $A$ | Iraksak Kısım Çıkış Alanı | [m$^2$] |
| $A^*$ | Boğaz Alanı | [m$^2$] |
| $A_{çekirdek}$ | Motor Çekirdeği Nozulu Çıkış Alanı | [m$^2$] |
| $A_{çıkış}$ | Nozul Çıkış Alanı (Genel) | [m$^2$] |
| $A_{fan}$ | Fan Nozulu Çıkış Alanı | [m$^2$] |
| $c$ | Ses Hızı | [m/s] |
| $F$ | İtki | [kN] |
| $k$ | Özgül Isı Oranı | |
| $\dot{m}$ | Kütlesel Debi | [kg/s] |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | | |
|---|---|---|
| $\dot{m}_{çekirdek}$ [kg/s] | Motor Çekirdeği Çıkışı Kütlesel Debisi | |
| $\dot{m}_{çekirdek\ çıkış}$ [kg/s] | Motor Çekirdeği Nozul Çıkışı Kütlesel Debisi | |
| $\dot{m}_{çekirdek\ giriş}$ [kg/s] | Motor Çekirdeği Girişi Kütlesel Debisi | |
| $\dot{m}_{çıkış}$ [kg/s] | Nozul Çıkışı Kütlesel Debisi (Genel) | |
| $\dot{m}_{fan}$ [kg/s] | Motor Fan Çıkış ve Giriş Debisi | |
| $\dot{m}_{giriş}$. [kg/s] | Motor Giriş Kütlesel Debisi (Genel) | |
| $\dot{m}_{maks.}$ [kg/s] | Nozul Boğaz Kısmı Maksimum Kütlesel Debi | |
| Ma | Mach Sayısı | |
| P | Nozul Statik Basıncı | [Pa] |
| $P_0$ | Nozul Durma Basıncı | [Pa] |
| $P_{atmosfer}$ | Çevre Basıncı | [Pa] |
| $P_b$ | Nozul Karşıt Basıncı | [Pa] |
| $P_{çekirdek}$ | Motor Çekirdeği Nozul Basıncı | [Pa] |
| $P_e$ | Nozul Çıkış Basıncı | [Pa] |
| $P_E$ | E Durumu Nozul Çıkış Basıncı | [Pa] |
| $P_F$ | F Durumu Nozul Çıkış Basıncı | [Pa] |
| $P_{fan}$ | Fan Nozulu Çıkış Basıncı | [Pa] |
| $P_{nozul}$ | Nozul Çıkış Basıncı (Genel) | [Pa] |
| R | Gaz Sabiti | [kJ/kgK] |
| T | Sıcaklık | [K] |
| $T_0$ | Durma Sıcaklığı | [K] |
| V | Akışkan Hızı | [m/s] |
| $V_{çekirdek}$ | Motor Çekirdeği Nozul Çıkış Hızı | [m/s] |
| $V_{çekirdek\ çıkış}$ | Motor Çekirdeği Nozul Çıkış Hızı | [m/s] |
| $V_{çekirdek\ giriş}$ | Motor Çekirdeği Nozul Giriş Hızı | [m/s] |
| $V_{çıkış}$ | Nozul Çıkış Hızı (Genel) | [m/s] |
| $V_{fan}$ | Fan Nozulu Çıkış Hızı | [m/s] |
| $V_{giriş}$ | Nozul Giriş Hızı (Genel) | [m/s] |

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Semboller**

| | |
|---|---|
| $\rho$ [kg/m$^3$] | Yoğunluk |
| $\rho^*$ [kg/m$^3$] | Boğaz Yoğunluğu |
| $\rho_0$ [kg/m$^3$] | Durma Yoğunluğu |
| $\tau$ | Sıkıştırılabilirlik Unsuru |

**KAYNAKÇA**

Ande, R., Yerraboina, V. N. K. (2018). Numerical investigation on effect of divergent angle in convergent-divergent rocket engine nozzle. *Chemical Engineering Transactions*, *Vol. 66(2010)*, s. 787–792, doi: 10.3303/CET1866132

*Ansys CFX solver theory guide.* (2011). *Vol.14*

Arshad, A., Andrew, N., Blumbergs, I. (2020). Computational study of noise reduction in CFM56-5B using core nozzle chevrons. *11th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering*, s. 162–167, doi: 10.1109/ICMAE50897.2020.9178891

Bhaskar, A., Sahu, M. K. (2022). Numerical investigation on performance of convergent–divergent nozzle with multi-inlet combustion chamber of a rocket engine. *Heat Transfer Vol.51*, s. 5–21, doi: 10.1002/htj.22296

*Boeing 737-600/700/800/900 CFM56-7 engine ground handling document.* (2019) Boeing

Bulat, M. P., Bulat, P. V. (2013). Comparison of turbulence models in the calculation of supersonic separated flows. *World Applied Sciences Journal Vol.27(10)*, s. 1263–1266, doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.27.10.13715

CFM International. (2012, Temmuz 9). *How does a CFM56-7B work?* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=KjYw0GdRpm0 [Erişim Tarihi: 01.05.2022]

Chada, J. S. R., Ragu, P. C., Bhaskar, A. P. (2020). Study on conceptual design and shape optimization of pintle nozzle of a rocket. *i-Manager's Journal on Mechanical Engineering*, *Vol. 10(4)*, s. 14-22, doi: 10.26634/jme.10.4.17480

Çengel,Y., Boles M.C. (2015) *Termodinamik mühendislik yaklaşımıyla, 7. Baskı,* s. 843-901, Ankara, Palme Yayıncılık

Çengel, Y., Cimbala, J.M. (2006) *Fluid mechanics,* s. 611-678, McGraw Hill Companies, Inc.

Dankanich, A., Peters, D. (2017). Turbofan engine bypass ratio as a function of thrust and fuel flow, *Mechanical Engineering and Materials Science Independent Study*. 34, doi:https://doi.org/10.7936/gps1-kd93

El-Sayed, A.F. (2008). *Aircraft propulsion and gas turbine engines*, s. 505-549, New York: CRC Press – Taylor&Francis Group

Foelsch, K. (1949, Mart). The analytical design of an axially symmetric Laval nozzle for a parallel and uniform jet. *Journal of the Aeronautical Sciences*, s.161-188, doi: https://doi.org/10.2514/8.11758

Gaur, D., Prakash, O. (2018). Comparative viscous flow analysis for rocket engine convergent-divergent nozzle for distinct geometric parameters. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol.7(6),* s.7476–7483, doi: 10.15680/IJIRSET.2018.0706118

Germer, E.M.; Marchi, C.H. (2018). Effect of convergent section contour on the sonic line in rocket engine nozzles. *Journal of Aerospace Technology and Management*, *Vol. 10(3218)*, doi: 10.5028/jatm.v10.924

Goulos, I., MacManus D., Sheaf C. (2019). Civil turbofan engine exhaust aerodynamics: Impact of fan exit flow characteristics. *Aerospace Science and Technology, Vol.93(105181),* s. 1-13, doi: https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.05.033

Madhu, B. P., Mahendramani G., Bhaskar K. (2020). Numerical analysis on flow properties in convergent - divergent nozzle for different divergence angle. *Materials Today: Proceedings, Vol. 45,* s. 207–215, doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.419

Maurya, S. (2022). *Minimum length nozzle design using method of characteristics*, https://ww2.mathworks.cn/matlabcentral/fileexchange/57098-minimum-length-nozzle-design-using-method-of-characteristics [Erişim Tarihi: 01.05.2022]

Meena, L. vd. (2021). Numerical study of convergent-divergent nozzle at different throat diameters and divergence angles. *Materials Today: Proceedings*, *Vol.46(42),* s. 1–5, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.432

Pandey, K. M., Yadav, S. K.(2010). CFD analysis of a rocket nozzle with two inlets at Mach 2.1. *Journal of Environmental Research And Development Vol. 5(2)*

Prandtl, L., Busemann, A. (1929). Näherungsverfahren zur zeichnerischen ermittlung von ebenen strömungen mit überschallgeschwindigkeit. *Stodola-Festschrift (Zürih),* s.499-509.

Puckett, A. E. (1946, Haziran). Supersonic nozzle design. *Journal of Applied Mechanics*, *Vol. 13(4)*, s. 265-270.

Rolls-Royce plc. (1996). *The Jet Engine 5th edition*, s. 61,Birmingham, Renault Printing Co Ltd.

Saravanamuttoo, H.I.H., Rogers, G.F.C., Cohen, H. (2001). *Gas turbine theory, 5th edition*, s. 99-150, Essex: Pearson Education, Ltd.

Sutton, G.P. (2001). *Rocket propulsion elements, 7th Edition*, s. 45-101, New York, John Wiley&Sons, Inc.

Turan, Ö., Çılgın, M. E. (2017). Entropy generation calculation of a turbofan engine: A case of CFM56-7B, *International Journal of Turbo & Jet-Engines Vol. 35(3)* s. 1-5, doi: https://doi.org/10.1515/tjj-2017-0053

Turbofan. (2022, Nisan 27).In Wikipedia.

*https://en.wikipedia.org/w/index.php?*

title=Turbofan&oldid=1084967089 [Erişim Tarihi: 01.05.2022]

White, F.M. (2011). *Fluid mechanics, 7th Edition,* s. 609-700, New York, McGraw Hill Companies, Inc.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Karides ve Pavurya Kabuklarından Kitosan Üretimi ve Baryum Adsorpsiyonunda Kullanılması

*Etkinnur CELIK*[1]
*Zehra Ozden OZYALCIN*[2]
*Azmi Seyhun KIPCAK*[3]

**Özet**

Dünya genelinde endüstriyel, teknolojik gelişmeler ve insan nüfusunun artması sonucunda çevre kirliliği gelecek nesiller için bir tehdit haline gelmiştir. Çevre kirliliğinin büyük bir kısmını su kirliliği oluşturmaktadır. Su kirliliğinin etkilerini azaltmak için tamamen sürdürülebilir olmayan birçok geri dönüşüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin maliyeti yüksektir ve süreçler tamamlandıktan sonra daha fazla kirliliğe neden olabilmektedirler. Bu çalışmada, karides ve pavurya kabuklarından üretilen kitosanın adsorplama davranışı incelenmiştir. Elde edilen kitosan, suda Baryum ağır metalinin adsorpsiyonu için sürdürülebilir bir yöntemdir. -40,+18, -60,+40 ve +60 tanecik boyutları, kitosan üretiminin parametrelerinden biri olarak seçilmiştir. Üretim 80 °C'de deproteinizasyon, demineralizasyon ve deasetilasyon olmak üzere üç adımda gerçekleştirilmiştir. Her adımda, farklı tanecik boyutu ve kitosan hammaddeleri için yüzde verim hesaplanmıştır. Kitinden deasetilasyon ile kitosan eldesi veriminin karides için %73.30 ve yengeç için %77.09 olduğu görülmüştür. Elde edilen kitosan, 20 ppm Baryum ağır metal stok çözeltisinde adsorban malzeme olarak kullanılmıştır. Adsorpsiyon, 0,1 g ağırlığında farklı hammaddelerden elde edilen kitosan ile her bir tanecik boyutu için 1, 2 ve 3 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Filtrasyondan sonra, ağır metal çözeltileri ICP-OES analizi ile adsorpsiyon miktarını elde etmek için incelenmiştir. +60 tanecik boyutuna sahip karides ve yengeç ile elde edilen kitosanların, 3 saatlik adsorpsiyon sonuçları incelendiğinde 18.80 ± 0.71 mg/L ve 16.29 ± 0.56 mg/L ağır metal konsantrasyonları ile en yüksek adsorpsiyon miktarına sahip oldukları görülmüştür. Ek olarak yengeç bazlı kitosanın, her parçacık boyutu ve sürede karides bazlı kitosandan daha yüksek adsorpsiyon miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** kirlilik, kitosan, verim, adsorpsiyon, baryum

[1] Master of Science Student, Yildiz Technical University, Chemical Engineering Department, Orcid: 0000-0002-8360-5624
[2] Research Assistant, Yildiz Technical University, Chemical Engineering Department, Orcid: 0000-0002-6662-5885
[3] Associate Professor Doctor, Yildiz Technical University, Chemical Engineering Department, Orcid: 0000-0003-2068-6065

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

Geçmişten bugüne hızla artan dünya nüfusu ve bu nüfusun ihtiyaçlarının karşılanmasının yolu teknolojinin gelişmesini gerekli kılmıştır. Gelişen teknoloji ise beraberinde doğal kaynakları hızla tüketen endüstrileşmeyi getirmiştir (Hacısalihoğlu, 2018: 1). Ekosistemin bileşenlerinin olumsuz yönde etkilendiği, madde ve enerji döngülerinin bozulduğu çarpık kentleşme, hızlı nüfus artışı ve sanayileşme ile gelen çevre problemleri su, hava, toprak ve gürültü kirliliği olarak sınıflandırılmıştır (Sönmezay, 2011: 1-2).

Endüstriyel atıksuların ağır metal iyonları ile doğal içeriklerinin yok olması çevre sorunlarının başında gelmektedir. Ekolojik döngü ile su ve topraktan canlı organizmalara geçen ve biyolojik bozunma ile zararsız hale getirilemeyen bu ağır metal iyonları (demir, nikel, kadmiyum, bakır, cıva, arsenik, kurşun, baryum, titanyum vb.) deri hastalıkları, merkezi sinir sistemi bozuklukları gibi çok çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Canlı yaşamına bu derecede tehdit oluşturan, belirli dozlar ile organizma üzerinde zehir etkisi gösteren ağır metallerin su ve endüstriyel atık sulardan uzaklaştırılması gerekmektedir (Kaya, 2011: 1-2). Adsorpsiyonun, sulardan kirleticileri uzaklaştırmada etkin bir giderme yöntemi olması ile birlikte kullanılan adsorbanın ucuz, çevre dostu ve kolay bulunabilir olması da ekonomikliğini ortaya koymaktadır (Tarım ve Göde, : 1). Adsorpsiyon yönteminde en çok kullanılan adsorban aktif karbon olmasına karşın, aktif karbonun pahalı olması ve geri kazanımındaki zorluklar, araştırmacıları yeni, doğal, ucuz ve yerel adsorbanlar bulmaya yöneltmiştir (Özcan vd., 2009: 499). Biyobozunur bir adsorban olarak kitosan; bol bulunması, toksik olmaması, doğal yollardan elde edilebilmesi, düşük alerjen ve yüksek kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olması bakımından bilimsel çalışmalarda ilgi çekmektedir (Parlayıcı, 2018: 41). Bu alanda yapılan araştırmaları destekleyici olarak, bu çalışma kapsamında, yengeç ve karides kabuğundan elde edilecek kitinin kitosana deasetilasyonu sağlanarak kitosan ile ağır metal içeren su örneklerinden ağır metal giderimi yapılacaktır. Böylelikle kitosanın çeşitli metal iyonları ve farklı derişimlerdeki çözeltiler için adsorpsiyon mekanizması incelenecektir.

Literatürde, atık su arıtımında çok çeşitli doğal adsorban maddeler ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Ağır metal gideriminde, genellikle, fındık ve hindistan cevizi kabuğu gibi ürünlerden elde edilen aktif karbon; pirina ve yaprak sapları gibi bitkisel temelli malzemeler adsorban olarak kullanılmıştır. Kitosanın ağır metal giderimindeki etkinliği üzerine yapılmış çalışmalar ise yeterli kapsamda olmayıp ağırlıklı olarak sabit parametreler üzerinden ilerlemektedir. Bu çalışma ile kitosanın atık sulardan ağır metal giderimindeki etkinliğinin literatürdeki kapsamının genişletilmesi, böylelikle kullanımının yaygınlaşması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda kitosan üretiminde kullanılan farklı parametrelerin elde edilen kitosan miktarına etkisi izlenerek, farklı sektörlerde kullanımı olan kitosanın üretim safhalarına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

## YÖNTEM

Deniz ürünleri restoranlarından temin edilen karides ve yengeç kabukları, deneyler başlayana kadar buzdolabında (-18°C) muhafaza edilmiştir. Deneyler başlamadan bir gün önce buzdolabı (+4°C) içerisinde çözülmesi sağlanmış ve iki saat önce de buzdolabından çıkartılarak

ISBN: 978-605-71156-5-2

desikatör içinde oda sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Karides ve yengeçler iç organlarından ayrılarak temizlenmiş ve kabukları kurutulmuştur. Kurutulan kabuklar öğütülerek -40,+18, -60,+40 ve +60 tanecik boyutlarına ayrılmıştır.

Karides ve yengeç kabuklarından kitosan elde edilmesi için üç temel üretim adımı belirlenmiştir. Bunlardan ilki, yapısındaki protein ve diğer organik maddeleri farklı tanecik boyutlarındaki kabuklardan ayrıştırmak için kullanılan deproteinizasyon adımıdır. Temizlenmiş ve öğütülmüş kabuklar %2'lik NaOH içeren çözelti ile 1:10 (g:mL) oranında muamele edilmiş ve 80 °C sıcaklıktaki manyetik karıştırıcılarda 500 rpm'de karıştırılarak 2 saat süresince deproteinize edilmiştir. Deproteinizasyon sonrası karides ve yengeç kabukları 1 litre saf su ile yıkanarak vakum altında süzülmüştür. Süzülen materyaller 40 °C sıcaklıktaki etüvde bir gece kurutularak verim hesabında kullanılmak üzere kuru tartımları alınmıştır. Deproteinizasyon sonrası elde edilen kuru materyal, üretimin ikinci adımı olan demineralizasyon adımında kullanılmak üzere desikatör içinde bekletilmiştir. Materyaller daha sonra demineralizasyon için gerekli olan %2'lik HCl içeren çözelti ile deproteinizasyon sonrası elde edilen kuru tartımlara göre 1:10 (g:mL) oranında muamele edilerek 80 °C sıcaklıktaki manyetik karıştırıcılarda 500 rpm'de 2 saat süresince demineralize edilmiştir. Demineralizasyon aşaması sonrası materyaller 1 litre saf su ile yıkanarak vakum altında süzülmüş, süzülen materyaller 40 °C sıcaklıktaki etüvde bir gece kurutulmuştur. Bu aşama sonrası elde edilen materyaller kitindir. Kurutma tamamlanarak kuru tartımı alınan farklı tanecik boyutundaki karides ve yengeç kitini numuneleri deasetilasyon aşamasına alınmıştır. Son adım olan deasetilasyon adımındaki amaç, kitin yapısında bulunan asetil grupların ayrıştırılarak kitosanın elde edilmesidir. Deasetilasyonun gerçekleştirilmesi için %30'luk NaOH çözeltisi kuru tartımı alınan karides ve yengeç kitini ile 1:10 (g:mL) oranında muamele edilmiş ve 80 °C sıcaklıktaki manyetik karıştırıcılarda 500 rpm'de karıştırılarak 2 saat süresince deasetile edilmiştir. 1 litre saf su ile yıkanan kitosan vakum altında süzüldükten sonra 40 °C sıcaklıktaki etüvde bir gece kurutularak FT-IR spektrumu ile analiz edilmiştir.

Baryum ağır metalinin giderimde karides ve yengeç kabuklarından elde edilen 0,1 gram kitosan 20 ppm konsantrasyonundaki 50 ml'lik baryum çözeltisi ile 1, 2 ve 3 saat süresince karıştırıldıktan sonra vakum altında süzülmüştür. Süzülen çözeltilerin ICP-OES analizi ile ağır metal içerikleri tespit edilmiştir.

**Sonuçlar ve Tartışma**

Yengeç ve karides kabuklarından kitosan eldesi için gerçekleştirilen üç adımın verim hesabı her bir deneyin öncesi ve sonrası ağırlıklarının farkı alınarak hesaplanmıştır. Bu hesabın amacı, karides ve yengeç kabuklarının protein ve minerallerinden arınarak saflaştırılma miktarını sayısal olarak ölçebilmektir. Verim yüzdeleri Tablo 1'de verilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Tablo 1** – Karides ve Pavurya Kabuklarından Elde Edilen Kitosanın Verim Yüzdeleri

| Tanecik Boyutu | Hammadde | % Deproteinizasyon | % Demineralizasyon | % Deasetilasyon |
|---|---|---|---|---|
| +60 | Karides | 66,73 | 56,10 | 67,69 |
| -60, +40 | Karides | 67,96 | 71,52 | 82,98 |
| -40, +18 | Karides | 70,05 | 74,21 | 89,23 |
| **Toplam** | **Karides** | **68,25** | **67,28** | **73,30** |
| +60 | Yengeç | 88,96 | 63,78 | 73,80 |
| -60, +40 | Yengeç | 92,62 | 72,56 | 75,62 |
| -40, +18 | Yengeç | 93,32 | 77,21 | 81,84 |
| **Toplam** | **Yengeç** | **91,63** | **71,18** | **77,09** |

Hesaplamalar sonucunda, her bir üretim adımı sonrası karides ve yengeç kabuklarının protein ile minerallerinden arınarak ağırlığının azalması ve buna bağlı olarak her bir aşamada azalan yüzde (%) değerlere sahip bir tablo elde edilmesi gerekirken; deasetilasyon aşamasında artan bir tablo (karides için %73,30 iken yengeç için %77,09) görülmektedir.

Farklı tanecik boyutlarının karides ve yengeç bazlı verim hesaplarına göre yengeç hammaddeli malzemeler her bir adımda daha yüksek verim sonuçlarına sahiptir. Karides kabuklarının yengeç kabuklarından daha yumuşak ve işlenebilir olması nedeniyle gerçekleştirilen deneyler esnasında her ne kadar karides daha avantajlı görünse de kimyasal olarak yapısındaki organikleri çok daha kolay kaybedebildiğinden verim hesabının daha düşük olduğu görülmüştür.

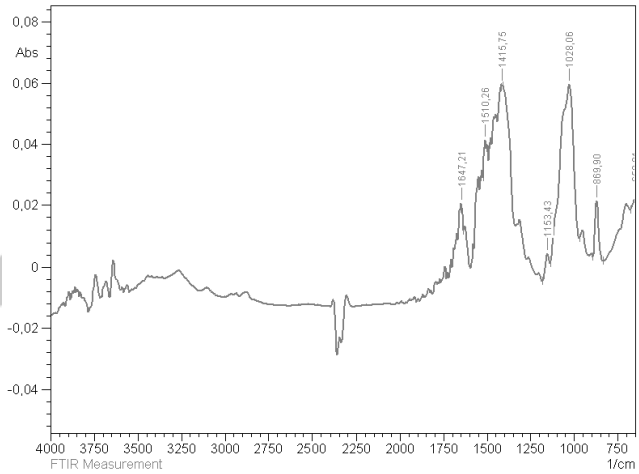
Aynı zamanda, yapılan hesaplamalara göre hem karides hem de yengeçten elde edilen -40, +18 tane boyutuna sahip kabuklar, +60 ve -60 +40 sonuçlarına göre daha yüksek verime sahiplerdir. Tanecik boyutu küçüldükçe yüzey alanı arttığından, daha küçük tanecik boyutlu kabuklar ile daha yüksek kitin ve kitosan verimi elde edilebilir.

Kıpçak ve Özyalçın, gerçekleştirdikleri benzer çalışmada karides ve yengeç kabuklarından kitosan eldesi verimlerini hesaplamışlardır (Kıpçak ve Özyalçın, 2020: 2099). Bu çalışmada, karides ve yengeç bazlı kitin eldesi ortalama yüzde oranları sırası ile %71,49 ve %70,89'dur. 80 °C'de deasetilasyon ile elde edilmiş kitosanın ortalama verim yüzdeleri ise karides kabukları için %75,16 iken yengeç kabukları için %70,28 olarak belirlenmiştir. İki çalışma arasındakı verim farkları organik maddelerin birbirlerinden farklı protein ve yağ içeriklerinden ve olası süzme işlemlerindeki deneysel hatalardan kaynaklanabilir.

Elde edilen kitosan saflığını araştırabilmek için kullanılan FT-IR spektrumu ile kitosanın kimyasal yapısı incelenmiştir. -40 +18 tanecik boyutlu yengeç kabuklarından elde edilmiş kitosanın FT-IR spektrumu Resim 1'de verilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Resim 1** – Pavurya Kabuklarından Elde Edilen Kitosanın -40 +18 Tanecik Boyutu FT-IR Spektrumu




Spektruma göre kitosanın yapısında bulunan (C=O) bağlarındaki gerilme, deasetilasyon ile amit gruplarının proton alarak asetil gruplarının uzaklaşmasıyla 1647 $cm^{-1}$ dalga boylarında gerçekleşmektedir. 1510 $cm^{-1}$ dalga boyu (C-O) bağlarındaki gerilme ve 1416 $cm^{-1}$ dalga boyu absorbans değeri (C-C) ve (C-N) bağlarındaki gerilme titreşimi olarak yorumlanabilir.

Yengeç ve karides kabuklarından elde edilmiş kitosan, baryum ağır metali giderimi için kullanılmıştır. 20 ppm konsantrasyona sahip baryum çözeltisi içerisinde 50 mL olacak şekilde beherlere alınarak 0,1 gram kitosan ile 1, 2 ve 3'er saat süresince karıştırılmıştır. Karıştırma sonunda vakum altında filtre yöntemi ile süzülen ağır metal çözeltileri, şişelenerek numunelenmiştir. Numunelerin ağır metal konsantrasyonları ICP-OES analizi ile araştırılmıştır. ICP-OES analizi sonuçları Tablo 2'de verilmiş olup, sonuçlara göre hem yengeç hem de karidesten elde edilen kitosanın adsorpsiyon miktarlarının karıştırma hızı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Karıştırma süresi arttıkça her bir tanecik boyutundaki kitosanın adsorpsiyon miktarı artmaktadır. Bir diğer parametre olan tanecik boyutları ile adsorpsiyon miktarı arasında ise ters orantı vardır. Tanecik boyutları küçüldükçe aynı miktardaki kitosanın yüzey alanı artması sebebi ile Tablo 2 incelendiğinde, tanecik boyutları küçüldükçe adsorpsiyon miktarının arttığı görülmüştür.

**Tablo 2** – Karides ve Pavurya Eldesi Kitosanların Baryum Konsantrasyonları

| | | | Karides | | Yengeç | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Tanecik Boyutu** | **Karıştırma Süresi (s)** | **Numune Ağırlığı (g)** | **Ba (mg/L)** | **Numune Ağırlığı (g)** | **Ba (mg/L)** |
| **Baryum** | -40, +18 | 1 | 0,1007 | 19,30 ± 0,67 | 0,1003 | 19,28 ± 0,70 |
| | -40, +18 | 2 | 0,1013 | 19,22 ± 0,73 | 0,1002 | 19,16 ± 0,67 |
| | -40, +18 | 3 | 0,1008 | 19,17± 0,73 | 0,1005 | 19,12 ± 0,69 |
| | -60, +40 | 1 | 0,1009 | 19,16 ± 0,69 | 0,1007 | 18,91 ± 0,65 |
| | -60, +40 | 2 | 0,1004 | 19,13 ± 0,65 | 0,1011 | 18,88 ± 0,65 |
| | -60, +40 | 3 | 0,1005 | 19,02 ± 0,72 | 0,1003 | 18,28 ± 0,63 |
| | +60 | 1 | 0,1012 | 19,00 ± 0,75 | 0,1003 | 17,88 ± 0,61 |
| | +60 | 2 | 0,1003 | 18,98 ± 0,72 | 0,1007 | 17,11 ± 0,59 |
| | +60 | 3 | 0,1005 | 18,80 ± 0,71 | 0,1008 | 16,29 ± 0,56 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 2 genel olarak incelendiğinde, baryum ağır metali konsantrasyonları arasında ciddi bir fark olmamasına karşın, kitosan eldesinde kullanılan hammadde yengeç olarak seçildiğinde, kitosanın tüm karıştırma süresi ve tanecik boyutlarında daha yüksek adsorpsiyon miktarına sahip olduğunu söylemek mümkündür.

**Bağlam**

Bu çalışmada, aynı üretim şekliyle farklı iki hammadde olan yengeç ve karides kabuklarından elde edilen kitosanın yine farklı iki parametre olan tanecik boyutu ve zamana bağlı baryum çözeltilerindeki adsorpsiyon miktarları ölçülmüştür. FT-IR analizi ile elde edilen kitosanın yapısal bant aralıkları belirlenmiştir. En yüksek baryum adsorpsiyon kapasitesine sahip olan kitosanın yengeç hammaddeli olduğu ve +60 tanecik boyutu ve 3 saat karıştırma sonucunda gerçekleştiği görülmüştür.

**Teşekkür Notu**

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2021-4333.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Hacısalihoğlu, N., (2008). *Farklı sıcaklıklarda aktifleştirilmiş içme suyu arıtma çamurunun çimentoda kullanılabilirliğinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Trabzon.

Kaya, R.H., (2011). *Sulu çözeltilerden adsorpsiyon yöntemiyle Ni (II)`nin giderimi* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Kıpçak, A.S., Özyalçın, Z.Ö., (2020). Antimony adsorption study of chitosan produced from Caridea and Brachyura shells, *J. Indian Chem. Soc.*, 97 (10), 2097-2100. doi: 10.5281/zenodo.5665999

Özcan, A.S., Gök, Ö., Özcan A., (2009). Adsorption of lead(II) ions onto 8-hydroxy quinoline immobilized bentonite, *J. Hazardous Materials*, 161 (1), 499–509. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.002

Parlayıcı, Ş. (2018). Kitosan kaplı muz kabuğu boncukları ile sulu çözeltilerden krom (VI) giderimi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 6 (1)*, 40-48. doi: 10.21541/apjes.337882

Sönmezay, A., (2011). *Mangan oksit minerali kullanılarak sulu çözeltilerden adsorpsiyon yöntemi ile kadmiyum ve kurşun giderimi* (Yüksek Lisans Tezi). Gebze İleri teknoloji Enstitüsü , Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmit.

Tarım, E., & Göde, F. (2011). *Kitosan ile sulu çözeltilerden krom uzaklaştırması: Removal of chromium from aqueous solution by chitosan* (Yüksek Lisans Tezi). SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Dolusavak Su Yüzü Profilinin Farklı Türbülans Yöntemleri ile İncelenmesi

*Eyyüp Ensar YALÇIN*[1]
*Erdinç İKİNCİOĞULLARI*[2]
*Nihat KAYA*[3]

**Özet**

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi, akışkan hareketini incelemek için kullanılan güncel analiz yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, akım hareketini hesaplarken Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri gibi akışkan akımını ifade eden temel denklemler ile çözümler yapmaktadır. HAD yöntemi, birçok hidrolik parametreyi birlikte değerlendirebildiğinden sonuç almada oldukça hızlıdır. Bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile birlikte araştırmacılara zaman ve ekonomi açısından önemli ölçüde tasarruf imkânı sağlayan HAD analizleri, birçok alanda olduğu gibi hidrolik mühendisliği alanında da etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, literatürden elde edilen dolusavak deney sonuçlarının HAD yöntemi ile doğrulanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında yürütülen analizlerde Flow-3D yazılımı kullanılmıştır. Türbülans yönteminin ve çözüm ağının sonuçlar üzerindeki etkisini görebilmek için beş farklı çözüm bloğu ve dört farklı türbülans modeli (RNG, LES, k–e k–ω) kullanılarak en ideal çözüm ağı ve türbülans modeli belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, Çözüm Ağı-4'ün en ideal çözüm ağı olduğu gözlenmiştir. Farklı türbülans modellerine göre yapılan analizler sonucunda ise LES (Large Eddy Simulation) türbülans modelinin en uyumlu sonuçları verdiği, deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki hata oranının maksimum % 4.5 civarında olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler**: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), Flow-3D, Dolusavak

[1] Arş. Gör., Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, 0000-0001-9446-2991
[2] Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, 0000-0003-2518-980X
[3] Doç. Dr., Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1. Giriş

Dolusavaklar baraj gölünde biriken fazla suların veya feyezan debisinin barajın yapısına zarar vermeden membadan mansaba iletilmesini sağlayan yapılardır. Dolusavaklar genel olarak dört temel kısımdan oluşur. Bu kısımlar; (1) yaklaşım kanalı, (2) eşik yapısı, (3) boşaltım (şüt) kanalı, (4) enerji kırıcı yapılardır. Yaklaşım kanalı suyu emniyetli bir şekilde eşik yapısına iletir. Ogee kretine sahip olan eşik yapısı suyu boşaltım kanalına iletir (Berkün, 2007).

Dolusavakların akım karakteristiklerinin belirlenebilmesi için birçok fiziksel model oluşturularak deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bilindiği üzere, herhangi bir konuda deneysel bir çalışma yapmak hem maddi açıdan hem de zaman açısından önemli bir maliyete sahip olduğundan teknolojinin de gelişimiyle birlikte sayısal modellemeler yaygınlaşmıştır. Dolusavaklarla ilgili literatürde yapılan bazı sayısal çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Barani ve Fadei-Kermani (2014), dolusavak şüt kanalı üzerindeki akımı HAD yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Dolusavak boyunca hız, basınç ve su derinliği gibi akış özelliklerini, dört farklı debi için hesaplamışlardır. Gerçek akım türbülanslı olduğundan simülasyonlarında RNG türbülans modelini kullanmışlardır. Dolusavak boyunca akım hızı ve piyezometrik basıncın sayısal sonuçlarını, deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki maksimum farkın ortalama hız değerlerinde % 5,47, piyezometrik basınç değerlerinde % 7,97 olduğunu ve sayısal sonuçların deney sonuçlarıyla uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. İlkentapar (2015), dört farklı geniş başlıklı savaktan geçen akımın su yüzü profillerini ve akım hızlarını deneysel olarak ve Flow-3D yazılımını kullanarak belirlemiştir. Çalışmasında sayısal analiz Flow-3D paket programı ile 3 boyutlu sayısal modellemeler yapmıştır. Bu modellemelerde iki denklemli $k$-ε türbülans modelini kullanmıştır. Sayısal modelleme ile elde edilen su yüzü profilleri ile hız değerlerini deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır ve bu değerlerin birbirine oldukça yakın olduğunu belirlemiştir. Öztürk İspir (2018), labirent dolusavakların hidrolik karakteristiklerini belirlemek için laboratuvarda deneyler yapmıştır. Yaptığı her deney ile, savaklardan geçen akım debilerini ve bu debilere karşılık gelen akım yüksekliklerin ölçmüştür. Araştırmacı aynı zamanda yaptığı deneysel çalışmaları Flow-3D programında modellemiş, deneysel ve sayısal çalışmaların sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışmalar neticesinde, deneysel çalışmalarla sayısal analiz sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğunu belirtmiştir. Aşırok (2019) çalışmasında, Güllübağ Barajı dolusavak modeli üzerinde kavitasyon riskini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Araştırmacı, sayısal modeli Flow-3D yazılımını ve RNG türbülans modelini kullanarak üç boyutlu olarak oluşturmuştur. Sayısal ve deneysel modeller, üç farklı debi için incelenmiştir. Dolusavak üzerine yerleştirilen ölçüm cihazları ile basınç, hız, kavitasyon ve derinlik parametreleri ölçülmüştür. Araştırmacı deneysel ve sayısal sonuçların birbirleriyle uyumlu sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Literatür araştırmalarından anlaşılacağı gibi, son dönemde sayısal modellemelerin farklı ticari yazılımlar ya da açık kaynak kodlu yazılımlar sayesinde yürütüldüğü ve sonuçların, fiziksel modellerle oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca deney seti kurulumu için gerekli olan bina, teçhizat vb harcamalar dikkate alındığında, sayısal modellemeler fiziksel modellemelere kıyasla oldukça kısa sürede sonuca ulaşabilmektedir.

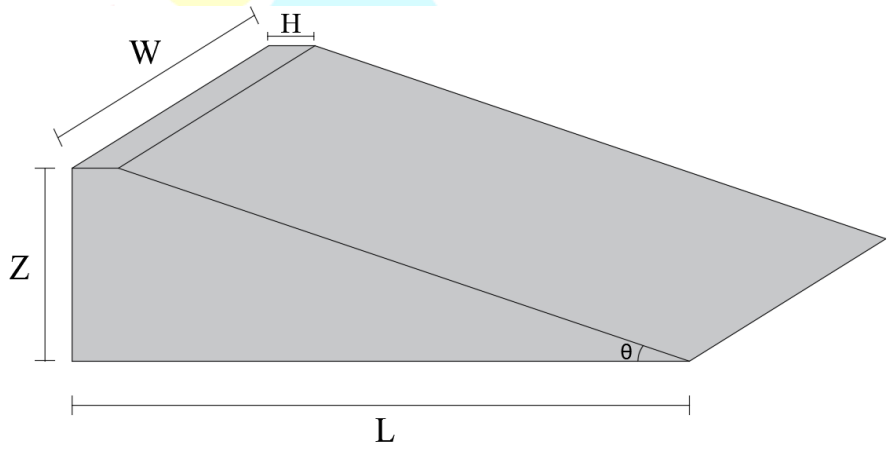
ISBN: 978-605-71156-5-2

Bu çalışmada, literatürdeki fiziksel bir modelin (Elmageed, 2005) deney sonuçları kullanılarak dolusavak üzerindeki akımın su yüzü profilleri farklı türbülans yöntemleri ile incelenmiş ve en uygun türbülans modeli ile çözüm ağı bloğu belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Deneysel Model

Çalışma kapsamında, Elmageed (2005) tarafından yürütülen deneysel model kullanılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere, dolusavak genişliği 0.60 m, uzunluğu 1.60 m, yüksekliği 0.50 m ve kret genişliği 0.12 m olacak şekilde şüt kanalı 1/3 eğim ile tasarlanmıştır (Elmageed, 2005). Deneysel modelin fiziksel parametreleri Tablo 1'de özetlenmiştir.




**Şekil 1.** Fiziksel model (Elmageed, 2005)

**Tablo 1.** Fiziksel Model Boyutları ve akım parametreleri (Elmageed, 2005)

| **Genişlik** (W) (m) | **Uzunluk**(L) (m) | **Yükseklik** (Z) (m) | **Kret genişiliği** (H) (m) | **Şüt Kanalı eğimi** | **Debi** (Q) ($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.6 | 1.6 | 0.5 | 0.12 | 1/3 | 0.028124 |

### 2.2 Sayısal Model

Deneysel geometrinin üç boyutlu katı modelini oluşturmak için Solidworks programı kullanılmıştır. Oluşturulan katı model,.stl uzantısı şeklinde kaydedilerek Flow-3D yazılımına aktarılmıştır. Flow-3D, akışkanların dinamik hareketlerinin hesabını sayısal olarak çözümleyen ve birçok farklı alanda kullanılmaya uygun bir şekilde tasarlanmış bir yazılımdır. Bu yazılım, Navier-

ISBN: 978-605-71156-5-2

Stokes ve genel kütle denklemlerini kullanarak iki veya üç boyutlu çözümler yapabilmektedir. Navier-Stokes denklemleri, sıkıştırılamaz akışkan akımının hareketini tanımlayan akışkanlar mekaniğinin temel bünye denklemleridir. (Flow Science Incorporated, 2016).

Flow-3D yazılımı, türbülans modeli için birden fazla seçenek sunmaktadır. Bu seçenekler:

-- Prandtl karışma boyu modeli
-- Tek denklemli (k) türbülans enerji
-- İki denklemli (k -e ve k -w)
-- Renormalized Group (RNG)
-- Büyük Eddy Simülasyonu (LES)

şeklinde sıralanabilir.

Tek denklem k modeli zaman ortalamalı türbülanslı kinetik enerjiyi (k) hesaplar ve tüm konumlarda türbülanslı karıştırma uzunluğunun bilinmesini gerektirir ki bu önceden bilinmediğinden, tek denklem modeli karmaşık akımların modellenmesi için uygun değildir (Kılıç, 2020).

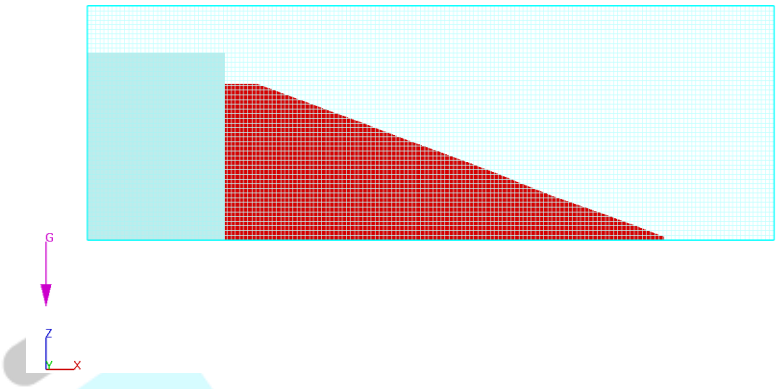
LES modeli, ortalama türbülans kinetik enerjiyi temsil etmek için skaler değerler kullanmak yerine türbülanslı dalgalanmaların birçoğunu doğrudan çözümleyerek türbülanslı akım hakkında daha ayrıntılı veriler sunabilir. İki denklemli modellere göre daha iyi çözüm ağı ve bilgisayar gücü gerekmekte olup buna bağlı olarak çözüm süresi uzamaktadır (Kılıç, 2020).

Standart k-e modeli, türbülanslı kinetik enerjiyi (k), ve sönümleme oranını (e) hesaplayan ve türbülanslı karıştırma uzunluğunu $L_T$'yi dinamik olarak hesaplayan iki denklemli bir modeldir. Renormalized Group (RNG) modeli iki denklemli k-e modelinin geliştirilerek çözüm aralığı genişletilmiş şeklidir. Çoğunlukla endüstriyel problemlerde kullanılması önerilmektedir. Bu model yüksek Reynolds sayılı akımlarda daha makul sonuçlar vermekte ve sınır tabakasının dışında da geçerli olmaktadır (Kocaman, 2007). İki denklemli k-w modeli ise, kinetik enerji ile sönümleme oranını $\omega=\varepsilon/k$ şeklinde tanımlamaktadır (Kılıç, 2020).

### 2.3 Çözüm Ağı ve Sınır Şartları

Sayısal çalışmalarda en önemli unsurlardan birisi çözüm ağının yapısıdır. Yapılacak çalışma için çözüm ağı seçimi, analiz süresini uzatmayacak ve fiziksel modelin geometrisini doğru bir biçimde yansıtacak şekilde yapılmıştır. Bu çalışma için beş farklı boyutta kare prizmatik çözüm ağı denenmiştir. Bu çözüm ağlarının boyutları ve hücre sayıları Tablo 2.'de gösterilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

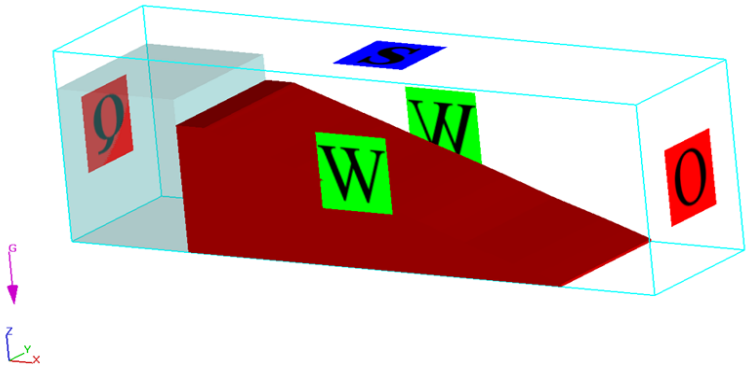


**Şekil 2.** Çözüm ağı yapısı

**Tablo 2.** Çözüm ağları

| Çözüm Ağı | Hücre Boyutları (cm) | Toplam Hücre Sayısı |
|---|---|---|
| 1 | 2.00 | 150,000 |
| 2 | 1.50 | 333,333 |
| 3 | 1.25 | 576,000 |
| 4 | 1.00 | 1,125,000 |
| 5 | 0.80 | 2,197,265 |

Deneysel çalışmalar ile uyumlu sonuçlar elde edebilmek için deney koşullarının mümkün olduğunca yazılıma aktarılması gerekmektedir. Akıma ait debi, düşü yüksekliği, kuyruksuyu derinliği, hız gibi parametreler, sınır şartları ile belirlenebilmektedir. Şekil 3'te, yürütülen analizlere ait sınır şartları gösterilmiştir. Savak üzerinden birim zamanda sabit bir akımın geçebilmesi için çözüm bloğunun $x_{min}$ yüzeyine debi ($Q$) ve deneysel çalışmadaki kadar akım yüksekliği, dolusavaktan savaklanan suyun sistemi terk etmesi için $x_{max}$ yüzeyine çıkış ($O$) sınır şartı, çözüm bloğunun sağ ve sol yüzeyleri ($y_{min}$ ve $y_{max}$ ) ile çözüm bloğu tabanına duvar ($W$) sınır şartı tanımlanmıştır.



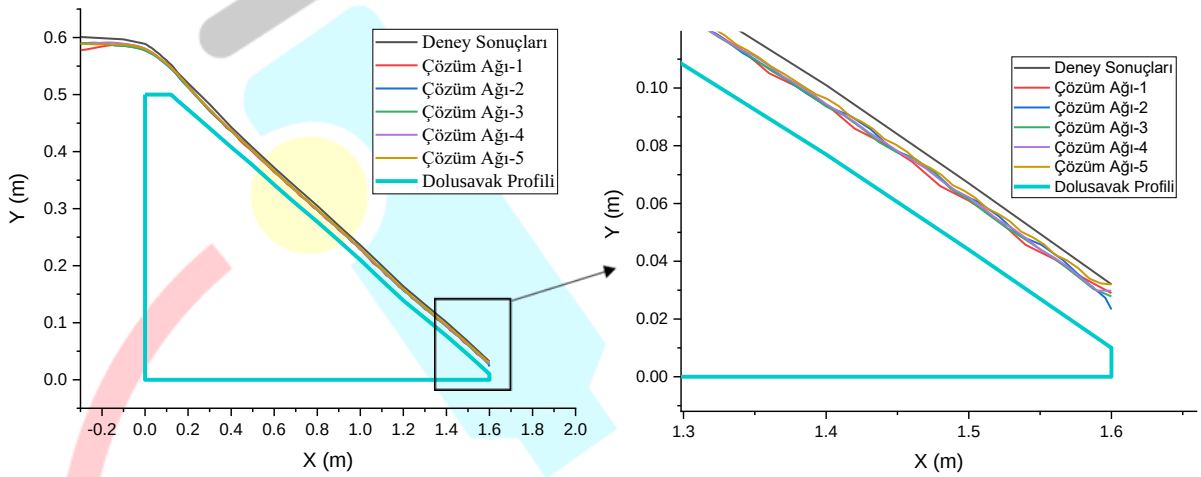

**Şekil 3.** Sayısal modele ait sınır şartları

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 3. Sayısal Sonuçların Doğrulanması

### 3.1 Farklı Çözüm Ağları ile Elde Edilen Sonuçlar

Sayısal çalışmada, beş farklı çözüm ağı için k-e türbülans modeli ile analizler yürütülmüş ve elde edilen su yüzü profil değerleri, literatürden elde edilen fiziksel modelin(Elmageed, 2005) su yüzü profili değerleriyle karşılaştırılmıştır.




**Şekil 4.** Farklı çözüm ağları kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Beş farklı çözüm ağı için analiz süresi, sonuçların deney sonuçları ile uyumu, çözüm ağının model geometrisini doğru yansıtması gibi parametreler göz önüne alındığında optimum çözüm ağının Çözüm Ağı-4 olduğuna karar verilmiştir.

### 3.2 Farklı Türbülans Modelleri ile Elde Edilen Sonuçlar

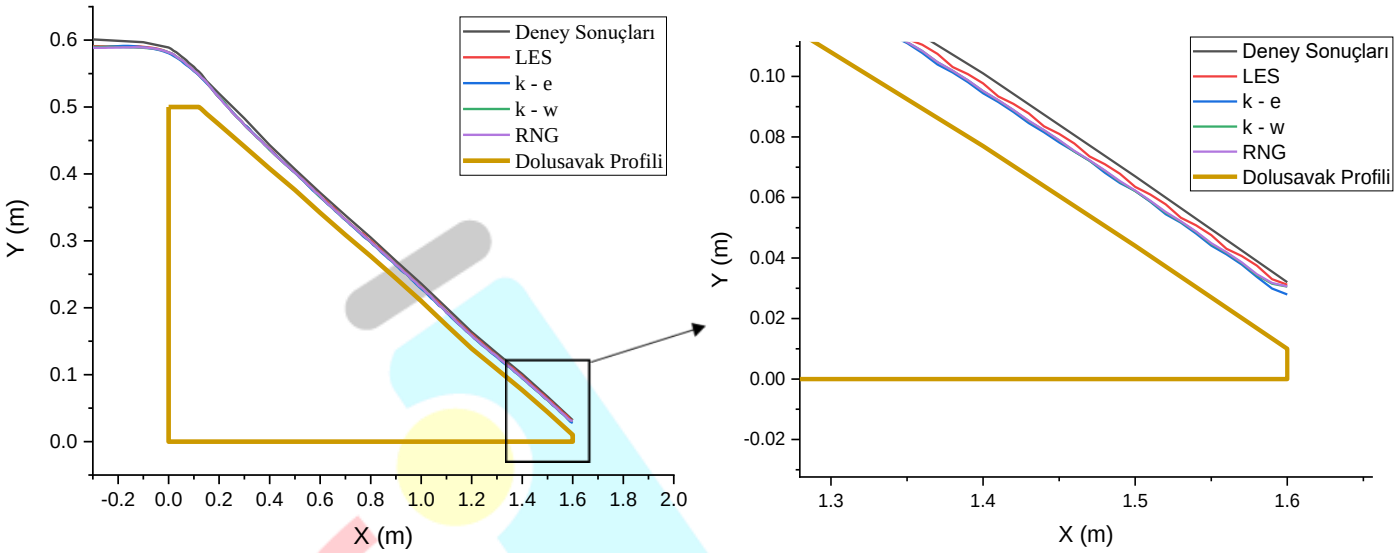
Sayısal analizler için yeterli olduğu kanaatine varılan Çözüm Ağı-4 için; RNG, LES, k-e ve k-w türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, LES türbülans modelinin deney sonuçlarıyla en uyumlu sonuçları verdiği görülmektedir (Şekil 5). Diğer türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olmasıyla beraber LES modeline en yakın sonuçlar RNG türbülans modeli ile elde edilmiştir. Tablo 4'teki sonuçlara göre, deneysel çalışma ile sayısal sonuçlar arasındaki maksimum hata oranı yaklaşık %4.48 iken ortalama hata oranı ise %1.52 civarlarındadır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Tablo 3.** Deneysel ve sayısal sonuçlar (Farklı türbülans modelleri için)

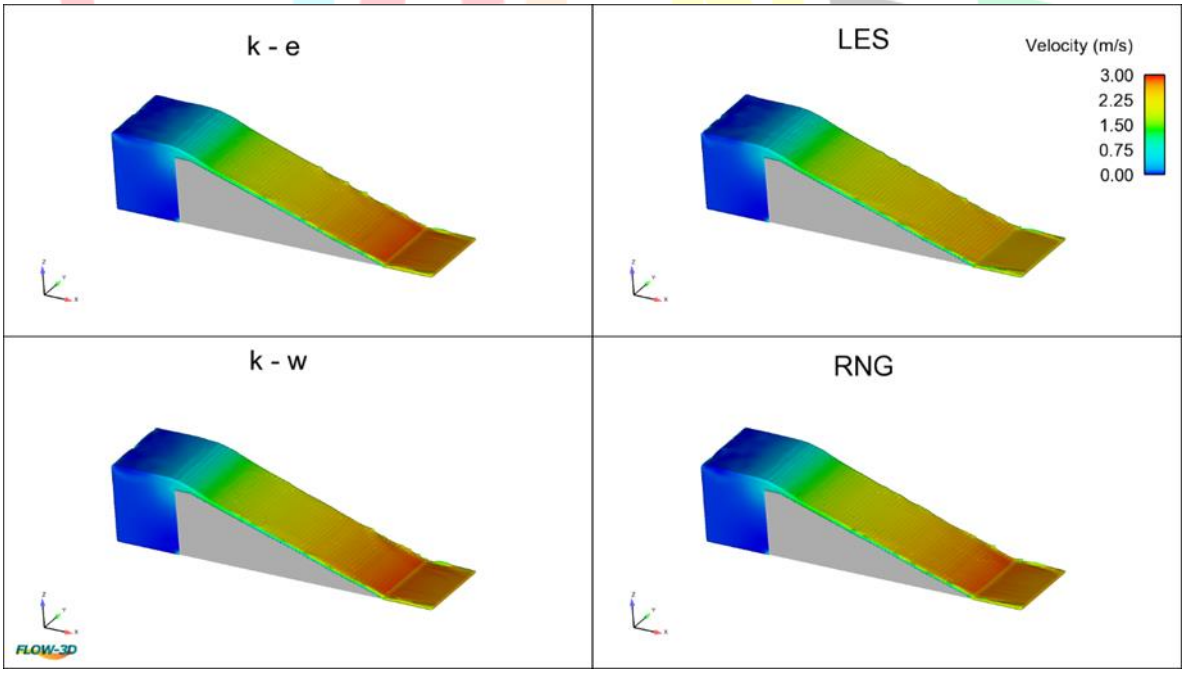
| Su Yüzü Profili Değerleri (m) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Yatay Mesafe (m)** | **Deney sonuçları** | **LES** | **RNG** | **k - e** | **k - w** |
| -0.30 | 0.601 | 0.591 | 0.589 | 0.588 | 0.590 |
| -0.10 | 0.597 | 0.590 | 0.589 | 0.589 | 0.589 |
| 0.00 | 0.589 | 0.582 | 0.581 | 0.580 | 0.582 |
| 0.01 | 0.587 | 0.580 | 0.580 | 0.579 | 0.580 |
| 0.02 | 0.584 | 0.579 | 0.578 | 0.576 | 0.578 |
| 0.03 | 0.582 | 0.576 | 0.575 | 0.574 | 0.576 |
| 0.04 | 0.579 | 0.573 | 0.573 | 0.572 | 0.573 |
| 0.05 | 0.576 | 0.571 | 0.571 | 0.569 | 0.571 |
| 0.06 | 0.573 | 0.568 | 0.568 | 0.566 | 0.568 |
| 0.07 | 0.570 | 0.564 | 0.564 | 0.562 | 0.564 |
| 0.08 | 0.566 | 0.561 | 0.562 | 0.560 | 0.561 |
| 0.09 | 0.563 | 0.558 | 0.558 | 0.557 | 0.558 |
| 0.10 | 0.560 | 0.555 | 0.555 | 0.554 | 0.555 |
| 0.11 | 0.556 | 0.552 | 0.552 | 0.551 | 0.552 |
| 0.12 | 0.553 | 0.548 | 0.548 | 0.548 | 0.548 |
| 0.13 | 0.549 | 0.544 | 0.544 | 0.544 | 0.544 |
| 0.15 | 0.539 | 0.537 | 0.537 | 0.536 | 0.537 |
| 0.20 | 0.520 | 0.514 | 0.514 | 0.514 | 0.514 |
| 0.30 | 0.483 | 0.474 | 0.473 | 0.474 | 0.473 |
| 0.40 | 0.443 | 0.438 | 0.437 | 0.436 | 0.436 |
| 0.50 | 0.407 | 0.402 | 0.402 | 0.402 | 0.402 |
| 0.60 | 0.372 | 0.368 | 0.367 | 0.365 | 0.366 |
| 0.70 | 0.338 | 0.332 | 0.332 | 0.331 | 0.332 |
| 0.80 | 0.305 | 0.300 | 0.299 | 0.298 | 0.299 |
| 0.90 | 0.270 | 0.265 | 0.264 | 0.263 | 0.264 |
| 1.00 | 0.236 | 0.231 | 0.231 | 0.228 | 0.231 |
| 1.10 | 0.200 | 0.194 | 0.193 | 0.193 | 0.193 |
| 1.20 | 0.164 | 0.161 | 0.158 | 0.158 | 0.159 |
| 1.30 | 0.132 | 0.128 | 0.128 | 0.126 | 0.128 |
| 1.40 | 0.101 | 0.098 | 0.095 | 0.094 | 0.095 |
| 1.50 | 0.067 | 0.064 | 0.062 | 0.062 | 0.062 |
| 1.60 | 0.032 | 0.031 | 0.031 | 0.030 | 0.031 |

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 5.** Farklı türbülans modelleri ile elde edilen su yüzü profillerinin karşılaştırılması

Şekil 6'da, farklı türbülans modelleri ile elde edilen sayısal sonuçların üç boyutlu hız profilleri gösterilmiştir. Kullanılan türbülans modellerinin hız profilleri aynı iken sadece LES türbülans modeline ait sonuçlarda dolusavak mansabındaki akım hızının daha düşük olduğu gözlenmektedir. Dolusavak üzerindeki akım hızı daha düşük olduğundan su yüksekliği de diğer modellere kıyasla daha yüksek olmaktadır.




**Şekil 6.** Farklı türbülans modelleri için su yüzü profilleri ve hız dağılımları

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Tablo 4.** LES türbülans modeli için bağıl hata değerleri

| Yatay Mesafe (m) | Su yüzü profili değerleri (m) | | Bağıl hata (%) |
|---|---|---|---|
| | Deney sonuçları | LES | |
| -0.30 | 0.601 | 0.591 | 1.66 |
| -0.10 | 0.597 | 0.590 | 1.17 |
| 0.00 | 0.589 | 0.582 | 1.19 |
| 0.01 | 0.587 | 0.580 | 1.19 |
| 0.02 | 0.584 | 0.579 | 0.86 |
| 0.03 | 0.582 | 0.576 | 1.03 |
| 0.04 | 0.579 | 0.573 | 1.04 |
| 0.05 | 0.576 | 0.571 | 0.87 |
| 0.06 | 0.573 | 0.568 | 0.87 |
| 0.07 | 0.570 | 0.564 | 1.05 |
| 0.08 | 0.566 | 0.561 | 0.88 |
| 0.09 | 0.563 | 0.558 | 0.89 |
| 0.10 | 0.560 | 0.555 | 0.89 |
| 0.11 | 0.556 | 0.552 | 0.72 |
| 0.12 | 0.553 | 0.548 | 0.90 |
| 0.13 | 0.549 | 0.544 | 0.91 |
| 0.15 | 0.539 | 0.537 | 0.37 |
| 0.20 | 0.520 | 0.514 | 1.15 |
| 0.30 | 0.483 | 0.474 | 1.86 |
| 0.40 | 0.443 | 0.438 | 1.13 |
| 0.50 | 0.407 | 0.402 | 1.23 |
| 0.60 | 0.372 | 0.368 | 1.08 |
| 0.70 | 0.338 | 0.332 | 1.78 |
| 0.80 | 0.305 | 0.300 | 1.64 |
| 0.90 | 0.270 | 0.265 | 1.85 |
| 1.00 | 0.236 | 0.231 | 2.12 |
| 1.10 | 0.200 | 0.194 | 3.00 |
| 1.20 | 0.164 | 0.161 | 1.83 |
| 1.30 | 0.132 | 0.128 | 3.03 |
| 1.40 | 0.101 | 0.098 | 2.97 |
| 1.50 | 0.067 | 0.064 | 4.48 |
| 1.60 | 0.032 | 0.031 | 3.13 |
| **Ortalama bağıl hata** (%) | | | 1.52 |

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı türbülans yöntemlerinin su yüzü profiline etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal modelin doğrulanmasında Elmageed (2005) çalışmasına ait deney modelinin parametreleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yürütülen analizlerde Flow-3D yazılımı

ISBN: 978-605-71156-5-2

kullanılmıştır. Yürütülen analizlerde beş farklı çözüm ağı tipi ve dört farklı türbülans modeli (RNG, LES, k – e, k – w) kullanılarak, en ideal çözüm ağı tipi ve türbülans modeli belirlenmeye çalışılmıştır.

Yürütülen analizler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Beş farklı çözüm ağı denenerek yürütülen çalışmalar neticesinde en ideal çözüm ağının 1,125,000 eleman sayısı ile Çözüm Ağı-4 olduğu,
- Optimum çözüm ağı olarak belirlenen Çözüm Ağı-4 için LES türbülans modelinin deney sonuçlarıyla en uyumlu türbülans modeli olduğu,
- Nihai çözüm ağı ve türbülans modeli için elde edilen sayısal sonuçlar ile deney sonuçları arasında maksimum % 4.48 hata olduğu ve bu hata değerinin sayısal çalışmalar için kabul edilebilir bir değer olduğu sonuçlarına varılmıştır.

## 5. Bilgilendirme

Bu çalışma Eyyüp Ensar YALÇIN'ın yüksek lisans seminer çalışmasından türetilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Flow-3D (v11.2) ve Solidworks yazılımları için Fırat Üniversitesi'ne teşekkür ederiz

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynakça**

Aşırok, E. (2019). Experimental study and numerical simulation of cavitation potential on güllübağ spillway model.

Barani, G. A. ., & Fadei-Karmani, E. (2014). Numerical simulation of flow over spillway based on the CFD method. Scientia Iranica, 91–97.

Berkün, M. (2007). Su Yapıları. Birsen Yayınevi.

Elmageed, T. M. M. A. (2005). Flow Over Spillway Chute Channels (Issue March). University of Khartoum.

İlkentapar, M. (2015). Açık Kanallarda Geniş Başlıklı Savaklar Üzerindeki Akımın Deneysel ve Sayısal Modellenmesi. Erciyes Üniversitesi.

Kılıç, Z. (2020). Piyano Tuşu Yan Savakların Hidrolik Karakteristiklerinin Sayısal ve Deneysel Analizi. Fırat Üniversitesi.

Kocaman, S. (2007). Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak Incelenmesi. Çukurova Üniversitesi.

Öztürk İspir.Ezgi. (2018). Labirent Dolusavakların Karakteristik Özelliklerinin Deneysel ve Matemetiksel Yöntemlerle Araştırılması. Necmetin Erbakan Üniversitesi.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Portland Çimentosu İkamesinin Kalsiyum Alüminat Çimentolu Harçların Taze Hal Özellikleri ve Uzun Dönemli Dayanım Performansına Etkileri

*Faruk EREN*[1]
*Muhammer KESKİNATEŞ*[2]
*Burak FELEKOĞLU*[3]
*Kamile TOSUN FELEKOĞLU*[4]

**Abstract**

Calcium aluminate cement is generally preferred in applications where rapid setting ability, high early strength development and resistance to chemical attack are required. However, the long-term strength development of calcium aluminate cement may cause durability problems in the long-term depending on environmental conditions due to the occurrence of transformation reactions. In addition, the high cost of materials compared to Portland cement limits the application areas of Calcium aluminate cement. In order to propose a solution to the above-mentioned problems, blended mortar mixtures were prepared by replacing Calcium aluminate cement with variable amounts of Portland cement within the scope of this study. With the use of additives, it is aimed to improve the fresh state properties of calcium aluminate cement and to eliminate the long-term strength problem. The fresh state properties such as spread flow, consistency and rheological behavior of these mortars with additives were determined and compressive strength development of mortar specimens up to 400 days were investigated under semi-dry curing conditions at 20±5°C and 60±20% RH. As a result, by adding Portland cement to the calcium aluminate cement in certain proportions, a repair mortar material exhibiting higher consistency and shorter setting time was obtained. Similar long-term compressive strength values were obtained with 20% Portland cement replacement compared to that of 100% Calcium aluminate cement mortars. With the addition of Portland cement, the fresh and hardened properties of calcium aluminate cements are improved; At the same time, calcium aluminate cement mortars have become preferable with the decrease in high material costs.

**Keywords/Anahtar Kelimeler:** calcium aluminate cement, portland cement, rheology, strength

[1] Doktora Öğrencisi (Yüksek İnşaat Mühendisi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Programı, Orcıd: 0000-0003-4518-0669
[2] Arş. Gör. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi & Karamanoğlu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orcıd: 0000-0001-8334-3073
[3] Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orcıd: 0000-0002-7426-1698
[4] Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orcıd: 0000-0003-2191-7793

ISBN: 978-605-71156-5-2

**1. Giriş**

Portland çimentosu (PC) esaslı yapılar, şiddetli çevre koşullarına ve kimyasal etkilere maruz kaldığında çeşitli dayanıklılık sorunları ile karşı karşıya kalmaktadır. Yıpratıcı etkilerin yol açtığı hasarlar hizmet ömrünün kısalmasına yol açarak mevcut altyapının onarım ihtiyacını önemli ölçüde arttırmıştır. Modern yapılar için uzun süreli hizmet verilebilirlik bir gereklilik olduğundan, Kalsiyum alüminat çimentosu (KAC), portlandit içermeyen hidratasyon reaksiyonları sayesinde asidik kimyasallara karşı dirençlidir. Ayrıca uygulanacak yüzeye iyi yapışması ve boyutsal kararlılığı nedeniyle PC'ye alternatif bir bağlayıcı olarak görülmektedir. (El Hafiane ve diğerleri, 2014; El Sokkary ve diğerleri, 2004; Khaliq ve Khan, 2015; Pacewska ve diğerleri, 2011; Scrivener ve diğerleri, 1999; Tuyan ve diğerleri, 2020). KAC'ın en temel farklardan biri yüksek erken dayanımdır. KAC harcı, PC harcının 28 günlük mukavemetine sadece 6 saatte ulaşabilmektedir (Sucu ve Delibaş,2015). Bu özelliği sayesinde KAC, hızlı sertleşme gerektiren endüstriyel zemin uygulamalarında da kullanılabilir. Yüksek hidratasyon ısısı nedeniyle düşük sıcaklıkta betonlama uygulamaları için de faydalı olabilir. (Taylor, 1997). Bununla birlikte KAC'ın uzun vadeli mukavemet gelişimi, yarı kararlı hidratların oluşumu ve dönüşümü nedeniyle kürleme koşullarına büyük ölçüde bağlıdır ve bu da nihai mukavemeti tahmin etmeyi zorlaştırır. (Adams ve diğerleri, 2018; Garsel, 1996; Odler, 2003). KAC su ile reaksiyona girdiğinde, $CAH_{10}$, $C_2AH_8$, $C_3AH_6$ ve ayrıca $AH_3$ gibi kalsiyum alüminat hidratlar üretir. 10°C'de oluşan tek hidrasyon ürünü $CAH_{10}$'dur ve bu faz, sıcaklık 25°C'ye kadar yükseldiğinde $C_2AH_8$ ile kombinasyon halinde oluşabilir. (Pacewska ve diğerleri, 2013). KAC'nin yüksek erken dayanımı, yarı kararlı altıgen hidratların ($CAH_{10}$ ve $C_2AH_8$) oluşumundan kaynaklanır. Bu hidratlar, uzun vadede hidratasyon ilerledikçe zaman ile birlikte $AH_3$'ün kararlı kübik hidratlarına dönüşür. Sıcaklık 40°C'yi aşarsa, $CAH_{10}$ ve $C_2AH_8$'in yarı kararlı fazların, $C_3AH_6$ ve $AH_3$'ün daha kararlı kübik hidratlarına dönüşümü gerçekleşir. 60°C'ye uzun süreli maruz kalma durumunda sadece kararlı $AH_3$ fazları gözlemlenebilir (Fryda ve diğerleri, 2001; Kırca, 2006; Son ve diğerleri, 2019). Sıcaklık faktörünün yanı sıra yüksek nemli ortam $C_3AH_6$ ve $AH_3$ oluşumu için de uygun ortam sağlamaktadır (Litwinek ve Madej, 2020). "Dönüşüm" olarak adlandırılan hem dönüşüm hem de dehidrasyon süreçleri, gözenekliliği arttırır ve suyun salınması ile birlikte mukavemette azalmaya neden olur. Kararsız fazlara kıyasla kararlı fazların daha yüksek yoğunluğu da gözeneklilik artışına katkıda bulunur. (Bizzozero, 2014; Gosselin ve Scrivener, 2008; Litwinek ve Madej, 2020). Mukavemet gelişimindeki belirsizlikler nedeniyle inşaat sektöründe KAC talebi sınırlı kalmıştır. Bazı araştırmacılar, dönüşüm reaksiyonlarının dayanım gelişimi üzerindeki olumsuz etkileriyle mücadele etmek için KAC ile birlikte kullanılan çeşitli mineral katkı maddelerinin etkinliğini araştırmışlardır (Kırca ve diğerleri, 2013; Majumdar ve Singh, 1992; Yang ve diğerleri, 2019).

Bu bağlamda ikili çimento esaslı sistemlerde, Portland çimentosu (PC) ve kalsiyum alüminat çimentosu (KAC) karışımları uygulamada ihtiyaçlara çözüm oluşturabilecek bir seçenek olarak sunulmuştur (Amathieu ve diğerleri, 2001; Gu ve diğerleri, 1997). Bu sistemlerde de saf KAC'da olduğu gibi hızlı priz alma ile istenilen mukavemet birkaç saat içinde geliştirilebilir; kaçakların kapatılmasında, hızlı duvar yapımında ve yol kaplama onarımında kullanılabilmektedir (Kighelman, 2007). Bununla birlikte, kullanım oranlarındaki değişime bağlı olarak uzun vadeli

ISBN: 978-605-71156-5-2

mukavemet gelişimindeki belirsizlik yerini korumaktadır. Bu iki çimentonun karıştırılması, özellikle çabuk sertleşme gereksinimini karşılamasına rağmen uygun karışım oranı sağlanmaz ise tatmin edici bir çözüm sağlayamayabilir (Gu ve diğerleri, 1997),(Gu ve Beaudoin,1997). Bu nedenle, ikili çimento sisteminin hidratasyon davranışını ve mukavemet gelişimini anlamak, mukavemet performansını arttırmak için uygun karışım oranlarını belirlemek önemlidir (Gu ve diğerleri, 1997).

Kalsiyum alüminat çimentosuna Portland çimentosu eklenmesi ile oluşturulan sistemlerin hidratasyon ürünleri birleşim oranlarına bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup, meydana gelen $CAH_{10}$, $C_2AH_8$ ve etrenjit fazlarının erken yaşlarda hidratasyon gelişiminde önemli rol aldığı bilinmektedir (Gu ve diğerleri, 1997). Portland çimentosu ve kalsiyum alüminat çimentolu sistemlerde, Portland çimentosundan gelen alçı bileşeni, kalsiyum alüminat çimentosu fazları tarafından tüketilir ve etrenjitin kristalleşmesi, bağlayıcının sertleşmesini hızlandırabilir. Bununla birlikte geçirimsiz etrenjit tabakaları çimento tanelerinin suya erişimini engelleyebilir. Etrenjit fazı kararsızdır ve sülfat iyonlarını sıvı faza bırakarak ayrışır. Daha sonraki yaşlarda gecikmiş veya ikincil etrenjit oluşumu, mukavemetin azalmasına neden olabilir (Amathieu ve Estienne, 2003; Scrivener ve diğerleri, 1999).

Bu çalışma, KAC'ın dönüşüm sürecinden kaynaklanan dayanım gelişim problemini en aza indirmek, KAC'ın sahip olduğu taze hal özelliklerini geliştirerek kullanım alanlarını arttırmak üzere olası çözüm yöntemlerinin birleşik etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda KAC'a farklı ikame oranlarında Portland çimentosu eklenerek ikili harç karışımları tasarlanmıştır. Numuneler 400 güne kadar ortalama 20±5°C kürleme sıcaklığına ve %60±20 bağıl neme tabi tutulmuştur. Katkı modifikasyonu ile birlikte KAC esaslı sistemlerin yayılma çapı, priz süresi ve reolojik davranışı gibi taze hal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak, PC ikamesinin; uzun vadeli dayanım gelişimi, maliyet ve olası kullanım alanlarına etkisi irdelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Katkı Oranlarının Seçimi

KAC'ın hidratasyon süreci sıcaklık ve zamana dayalı kür faktörlerine bağlı olduğu için, katkı maddesi modifikasyonu, hidratasyon ürünlerinde değişiklik sağlayarak kısa vadede taze hal özelliklerini geliştirmede, uzun vadede ise mukavemet problemini önlemek için etkili bir alternatif olarak önerilmiştir (Şengül ve Erdoğan, 2021). Bu kapsamda katkı maddesi olarak Portland çimentosu farklı ikame oranlarında kullanılmıştır. Katkı oranları mevcut literatür çalışmaları ışığında kalsiyum alüminat çimentosunun asıl özelliklerini yitirmeden taze hal özelliklerini geliştirip, oluşacak hidratasyon ürünlerine bağlı olarak uzun dönemde daha stabil yapıya sahip olmasını sağlamak üzere belirlenmiştir.

Meydana gelen hidrate ürünler KAC ve PC'li ikili sistemlerinin dayanım gelişimini etkilemektedir. Kullanım oranlarına bağlı olarak KAC baskın sistemlerde; $CAH_{10}$, $C_2AH_8$ oluşumu ile birlikte etrenjit fazının sistemdeki mukavemet gelişimi üzerinde etkisi görülürken, PC baskın

ISBN: 978-605-71156-5-2

sistemlerde etrenjit, C-S-H, $Ca(OH)_2$, monosülfoalüminat hidratlar oluşmaktadır (Gu ve diğerleri, 1997).

KAC – PC karışımlarında ana bileşen olarak KAC kullanılması durumunda, elde edilen çimento karışımının priz süresi önemli ölçüde kısalır. Aynı zamanda bir saatten daha kısa sürede ölçülebilir dayanım değerlerinin elde edilmesini sağlanır, hızlı priz ve sertleşme, esas olarak PC ilavesinin neden olduğu karışımın pH değerindeki artıştan kaynaklanan KAC hidratasyonunun hızlı oluşumundan kaynaklanmaktadır. Ancak nihai dayanımlar yalnızca PC veya KAC ile elde edilenlerden daha düşüktür (Kırca, 2006). PC ana bileşen olduğunda, hızlı priz ve sertleşmenin meydana gelmesi esas olarak etrenjitin hızlı oluşumundan kaynaklanmaktadır (Kırca, 2006).

Bu bağlamda %20 ve %50 oranlarında PC ilavesi yapılarak ikili harç karışımları oluşturulmuştur (Gu ve diğerleri, 1997; Xu ve diğerleri, 2017).

### 2.2 Kullanılan Malzemeler

Yaklaşık %40 oranında alüminyum oksit içeren bir kalsiyum alüminat çimentosu kullanılmıştır. Kalsiyum alüminat çimentosunun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1** – KAÇ'nin kimyasal ve fiziksel/mekanik özellikleri

| Kimyasal Özellikler | | Fiziksel ve Mekanik Özellikler | |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ % | 3.6 | Özgül ağırlık | 3.25 |
| $Al_2O_3$ % | 39.8 | Özgül yüzey (Blaine) $cm^2/g$ | 3000 |
| $Fe_2O_3$ % | 17.05 | Priz başlangıcı (dk) | 280 |
| CaO % | 36.2 | Priz sonu (dk) | 295 |
| MgO % | 0.65 | Su muhtevası % | 23.1 |
| $SO_3$ % | 0.04 | Hacim sabitliği (mm) | 1 |
| Kızdırma kaybı | 0.30 | 0.045 mm elek bakiyesi (%) | 23 |
| $Cl^-$ | 0.009 | 6 saatteki basınç dayanımı | 47 |
| S | 0.01 | 24 saatteki basınç dayanımı | 70 |

Portland çimentosu (PC) olarak TS EN 197-1 standartlarına uygun CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. CEM I 42.5R'nin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri, üretici tarafından bildirildiği üzere Tablo 2'de sunulmaktadır. KAC ve PC ikili karışımlarında kür koşullarına bağlı olarak $CAH_{10}$ ve $C_2AH_8$'in yanı sıra hidratasyon ürünlerinde kararlı stratlingite ve etrenjit fazlarının da görülebileceği iddia edilmektedir (Gu ve diğerleri, 1997).

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Tablo 2** - CEM I 42.5R'nin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

| Kimyasal Özellikler | | Fiziksel ve Mekanik Özellikler | |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ (%) | 18.11 | Özgül ağırlık | 3.09 |
| $Al_2O_3$ (%) | 4.42 | Yüzey alanı (Blaine) ($cm^2/g$) | 3150 |
| $Fe_2O_3$ (%) | 3.09 | Priz başlangıcı(dk) | 200 |
| CaO (%) | 63.4 | Priz sonu (dk) | 285 |
| MgO (%) | 1.31 | Su ihtiyacı (%) | 28.9 |
| $SO_3$ (%) | 3.54 | Hacim sabitliği (mm) | 0.50 |
| Kızdırma kaybı | 3.80 | 0.032mm elek bakiyesi (%) | 25.7 |
| $Cl^-$ (%) | 0.01 | 2 günlük basınç dayanımı (MPa) | 29.7 |
| S (%) | - | 28 günlük basınç dayanımı (MPa) | 51 |

Harç karışımlarının hazırlanmasında maksimum tane boyutu 4 mm olan kalkerli ince agrega kullanılmıştır. Özgül ağırlık, su emme ve incelik modülü değerleri sırasıyla %2.7, %1.7 (ağırlıkça), %3.9 dur.

### 2.3 Deneysel Program ve Test Yöntemleri

Katkı türü ve ikame oranı baz alınarak deney programı planlanmıştır. Katkı malzemesi olarak yalnızca Portland çimentosu kullanılarak kalsiyum alüminat çimentosu ile ikili harç karışımları tasarlanmıştır. İnce agrega/çimento/su oranı tüm harç karışımları için ağırlıkça 3/1/0.5 olarak sabit tutularak belirlenmiştir. KAC hidratlarının dönüşüm oranı göz önüne alınarak su/çimento oranı 0,50'de sabit tutulmuştur (Adams ve diğerleri, 2018). Harç numuneleri TS EN 196-1 standardına göre hazırlanmış, eğilme sonrası basınç deneylerinde kullanılmak üzere yedi set (her biri için üç prizma) 40*40*160 mm prizmatik kalıplara, aşınma deneylerinde kullanılmak üzere 70 mm'lik küp prizmatik kalıplara (her biri için üç prizma) dökümler yapılarak numuneler hazırlanmıştır. Numuneler için eğilme ve basınç dayanımı değerleri 1, 3, 7, 28, 90, 180 ve 400. günlerde belirlenmiş olup, aşınma deneyleri 28 günlük numuneler yapılmıştır.

#### 2.3.1 Taze Hal Deneyleri

##### *2.3.1.1 Yayılma Deneyi*

Çimento harçlarının karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra kalıplara doldurulmadan önce, hazırlanan harçların akıcılığı ve işlenebilirliğini test etmek amacıyla TS EN 1015-3 Standardı'na uygun olarak yayılma tablası deneyi yapılmıştır. 300 mm çaplı tablanın üzerine yüksekliği 60 mm, taban çapı 100 mm ve üst çapı 70 mm olan kesik koni şeklindeki kalıp yerleştirilmiştir. Harç karışımı, 30-45 saniye bekletildikten sonra, akma tablasının kalıbına iki kademeli olarak yerleştirilmiştir. Kalıbın üst kısmı iyice düzeltildikten sonra numuneyi sarsmadan kalıp yukarı doğru çekilmiş ve manuel kol saniyede bir devir yapacak şekilde 15 kez düşürülerek harç yayılma davranışına maruz bırakılmıştır. Harcın kalıp içerisindeki ilk çap değeri 100 mm olup, yayılma

ISBN: 978-605-71156-5-2

uygulaması sonrası harcın kıvamı sebebiyle yayılma çapı 100 mm'den büyük olmaktadır. Harç yayılma çapı bir kumpas yardımı ile ölçülerek yayılma çapı bulunmuştur.

#### *2.3.1.2 Kıvam Deneyi*

Katkısız ve katkılı harç karışımlarının kıvamını belirlemek için TSE EN 196-3 standardına uygun Vicat sondası kullanılmıştır. Sonda etkili uzunluğu 50 ± 1mm ve çapı 10,00 ± 0,05mm olan dik silindir şeklinde korozyona dayanıklı metalden yapılmıştır. Hareketli parçaların toplam kütlesi 300 ± 1 gramdır.

Sondanın ucu, hazırlanmış olan vicat halkasının ortasında çimento harcının üst yüzeyine dokunacak kadar indirilir ve serbest bırakılır. Sonda, kendi ağırlığı ile çimento harcının içine girer. Sondanın alt yüzü ile taban plakası arasındaki mesafeyi veren değer okunur ve bu değer, çimentonun kütlesi cinsinden yüzde olarak ifade edilmek suretiyle su muhtevası ile birlikte kaydedilir. Kullanılan çimento harcında sonda, 30 saniye içerisinde cam levhaya 5-7 mm kalıncaya kadar iniyorsa kullanılan su miktarı yeterlidir. Çimento hamuru normal kıvamdadır. Eğer sonda 7 mm'nin üzerinde kalıyorsa su miktarı yetersizdir. Sonda 5 mm'den daha aşağı iniyorsa kullanılan su miktarı fazladır (Avcıoğlu, 2012).

Kıvam değerlerine bağlı olarak mevcut kıvam durumu Tablo 3'te özetlenmiştir. Kıvam deneyindeki amaç, elde edilen harçların su miktarını belirlemekten ziyade, katkı kullanılması ile elde edilen karışımların kıvam yapısı hakkında bilgi edinmeye dayanmaktadır.

**Tablo 3** - Vicat Aleti ile Kıvam Değerleri

| Kıvam | Vicat sonda değeri (mm) |
|---|---|
| Akıcı Kıvam | 0-3 |
| Normal Kıvam | 3-7 |
| Koyu Kıvam | 7-10 |
| Çok Koyu Kıvam | 10'dan büyük |

#### *2.3.1.3 Priz Süresi Tayini*

Priz süresi belirleme deneyi, laboratuvar ortamında TS EN 196-3 standardına uygun bir cihaz kullanılarak yapılmıştır. Priz başlangıç ve bitiş sürelerini tespit etmek için yapılmıştır. Sıfır olarak kabul edilen başlangıç zamanından itibaren iğne ile taban plakası arasındaki mesafe 4± 1 mm oluncaya kadar geçen süre priz başlangıç süresi olarak kaydedilmiştir. İğnenin batırılma işlemi numunelerin harç olmasından ve iğnenin agregaya denk gelme riskine karşılık farklı noktalardan batma derinliği teyit edilmiştir. Yaklaşık her 10 dakikada bir iğneyi batırma işlemi tekrarlanmıştır. Literatürde iğnenin batmamaya başladığı zaman priz sonu süresi olarak kaydedilmiştir.

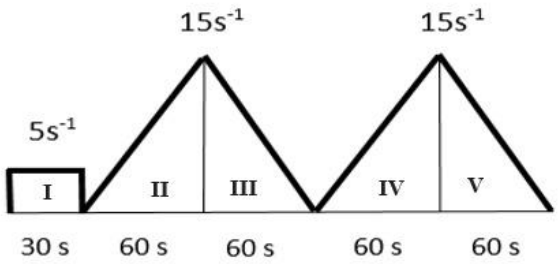
ISBN: 978-605-71156-5-2

***2.3.1.4 Reometre Deneyi***

Her numune için S/Ç oranı 0.5'te sabit tutularak dökümler yapılmış ve reometre haznesine yerleştirilmiştir. Anton Paar Physica MCR51 BMS reometresi kullanılarak reolojik ölçümler yapılmıştır. Bu deney ile birlikte Newtonian ve Newtonian olmayan davranış gösteren akışkanların eşik kayma gerilmeleri ve belirli bir kayma hızında viskozite değerleri elde edilmektedir. Bağlanılan bilgisayardaki Rheoplus programıyla çalışan bu sistemde bir kap ve 8 mm çaplı bilya tipi bir uç bulunmaktadır. Akma eğrileri, kayma hızı kontrollü ölçüm sistemi kullanılarak kayma gerilmesi – kayma oranı bağıntısı Rheoplus programında yazılan 5 aşamalı kayma oranı makrosu kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 1) (Godek ve diğerleri, 2015).

Reometre ham veriler alarak, dönme hızı ve moment değerlerini ölçmektedir. Silindirik kabın içinde dönen başlığın dönme hızı Rheoplus yazılımı yardımıyla kayma hızına, ölçülen moment değeri ise kayma gerilmesine dönüştürülür. Karışımların, eşik kayma gerilmesi, viskozite, tiksotropi, psödoplastik ve dilatant davranış gibi reolojik özelliklerini belirlemek için Rheoplus yazılımı ile kayma gerilmesi - kayma hızı, anlık viskozite-kayma hızı, kayma gerilmesi - zaman, viskozite - zaman grafikleri çizilebilmektedir (Alpaslan ve Felekoğlu, 2019).

Literatürdeki çalışmalar incelendikten sonra, deneylere uygun bir akma protokolü oluşturulmuş ve deformasyon hızı 0' dan $15s^{-1}$ 'e kademeli olarak arttırılıp azaltılarak çıkış ve iniş akma eğrileri elde edilmiştir. Akma eğrilerinde, belirli devirden sonra akış ölçümlerinin stabil hale gelmesinden dolayı son iki (4. ve 5. Bölüm) aşamadaki verilerin kullanımı tercih edilmiştir.




**Şekil 1** - Deneylerde kullanılan akma protokolü

Akma eğrisi verilerinin modellenmesinde Herschel Bulkley bağıntısı kullanılmıştır. Bu bağıntı belirgin bir eşik kayma gerilmesine sahip olan ve sonrasında kayma yumuşaması veya kayma sertleşmesi gösteren malzemeler için tercih edilmektedir. Herschel Bulkley modeli aşağıdaki denklem (1)'deki formül ile tanımlanır:

$$\tau = \tau_0 + b * \gamma^p \quad (1)$$

$\tau$: herhangi bir kayma oranındaki kayma gerilmesi (Pa) (y-ekseni değişkeni),
$\tau_0$: eşik kayma gerilmesi (Pa),
$\gamma$: kayma oranı (1/s) (x-ekseni değişkeni),
b: model katsayısı
p: viskozite katsayısıdır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

### 2.3.2 Sertleşmiş Hal Deneyleri

#### *2.3.2.1 Yüzeysel Aşınma Deneyi*

Aşınma dayanımındaki artışın ayrıca çimento hamuru ile agrega arasındaki ara yüzey bölgesi kalitesindeki iyileşmeye bağlı olduğu düşünülmektedir. Normal Portland çimentosu kullanılan betonlarda bu bölgedeki çimento tanelerinin etrafında toplanmasından dolayı daha gözenekli buna bağlı olarak daha zayıftır. KAC hidratlar boyunca uzandığı için bu bölgeyi daha iyi doldururlar (Saucier ve diğerleri, 2001).

Yüzeysel aşınma deneyi; Dorry (Bohme) aygıtı ile yapılmıştır. Cihaz dakikada 28-30 devir yapmakta olup, 440 devir sonra ağırlık ve hacim ölçülür, aşınma miktarı hesaplanır. Deney yönteminin ayrıntıları TS EN 14157'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda katkısız ve katkılı harç karışımlardan 70 mm'lik küp numuneler üretilmiş ve 28. gündeki aşınma miktarları belirlenerek yüzeysel aşınma değerleri g/50 $cm^2$ cinsinden Şekil 7'de verilmiştir.

#### *2.3.2.2 Basınç Deneyi*

Deney 40x40x160 mm boyutlu prizma örnekler üzerinde eğilme sonrası basınç deneyi yapılmıştır. Eğilme deneyi sonucu iki parçaya ayrılan örnekler 4x4 $cm^2$ lik bir alanda eğilme sonrası basınç deneyine tabi tutulmuştur. Basınç gerilmesi ise aşağıdaki denklem (2) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma = P / A \quad (2)$$

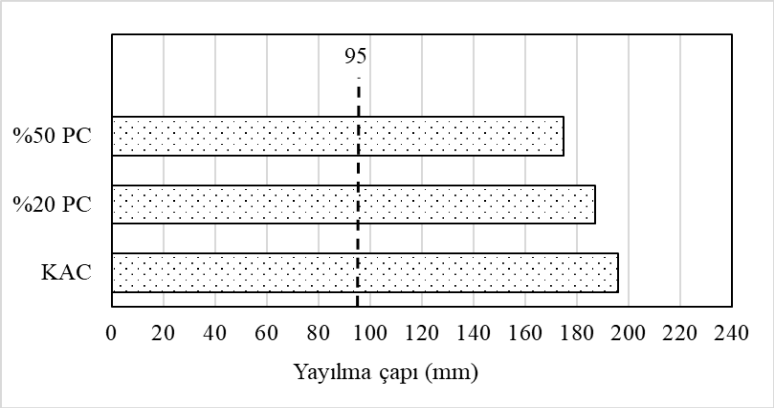
σ: Basınç dayanımı (MPa)
P : Uygulanan yük (kgf)
A : Alan ($cm^2$)

## 3. Bulgular ve Tartişma

### 3.1. Taze Hal Özellikleri

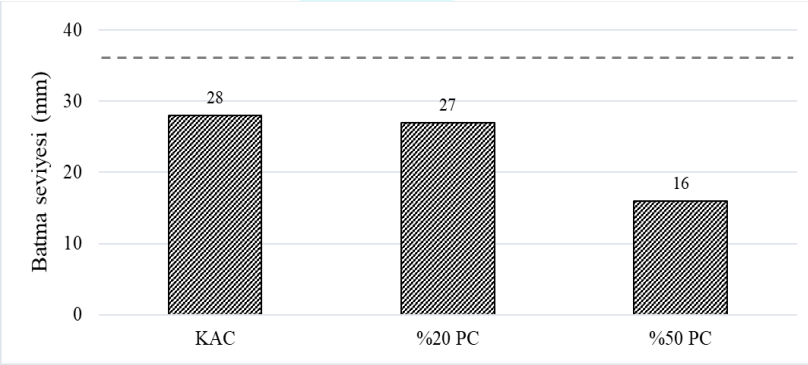
Farklı katkı tipi ve oranlarına sahip harç numunelerinin yayılma değerleri 100 mm referans çapı baz alınarak Şekil 2'de verilmiştir. Yayılma çaplarına bakıldığında katkısız harcın 190 mm'lik değeri ile en fazla yayılma davranışı gösteren seri olduğu; Portland çimentosu eklenmesi ile yayılma çapının azaldığı gözlemlenmiştir. %50 PC katkılı seride ise 170 mm ile en az yayılma davranışı görülmüştür.

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 2** - Katkısız ve katkılı harçların yayılma davranışı

Kıvam deneyi sonucunda, sondanın batırılma değerlerine bakıldığında katkısız numunelerin normal kıvam ile koyu kıvam sınırında, %20 Portland çimentosu katkılı numunelerin koyu kıvamda; %50 Portland çimentolu numunelerin ise çok koyu kıvamda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Portland çimentosu eklenmesi ile oluşturulan harç karışımlarının yayılma davranışını azaltmasını teyit eder nitelikte kıvamı da koyulaştırdığını; katkı oranının artması ile birlikte daha yoğun yapıda bir harç malzemesi oluştuğunu göstermiştir.



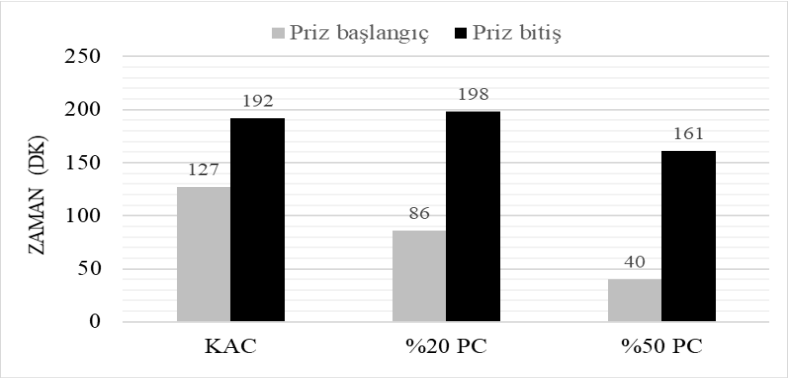

**Şekil 3** - Numunelerin kıvam analizi

Kalsiyum alüminat fazlarının priz süresi, kireç-alümina (C/A) oranının artması ile aşamalı olarak azalmaktadır. Kırca (2006), KAC çimento hamurunda priz süresini yaklaşık 4 saat olduğunu rapor etmiştir, fakat kalsiyum alüminat çimentolarında görülen daha kısa priz süresi, kireç bakımından zengin $C_{12}A_7$ fazının etkisinden kaynaklanır. $C_{12}A_7$'nin bu güçlü etkisi nedeniyle, miktarının artması priz süresinin azalmasına ve buna bağlı olarak erken sertleşmeye neden olabilir. Bu nedenle kalsiyum alüminat çimentosunda $C_{12}A_7$ miktarı değişkenliği önlemek için kontrol edilir. Portland çimentolarında priz süresini belirleyen en önemli faz $C_3A$ fazıdır. Kireç açısından zengin kalsiyum alüminat fazı $C_3A$ su ile hızla reaksiyona girer; diğer bileşen $CA_2$ aşırı derecede yavaş reaksiyona girer ve ayrıca $CA_6$ çevre sıcaklıklarında etkisizdir.

Kalsiyum alüminatlı çimentoların priz süresi, Portland çimentosu ile beraber kullanılma durumunda kullanım dozajına bağlı olarak kısaldığı bilinmektedir (Scrivener ve diğerleri, 1999). KAC hidratasyonunu hızlandırma etkisinin literatürde %10 ve %20 Portland çimentosu ilavesiyle

ISBN: 978-605-71156-5-2

elde edildiği gözlemlenmektedir (Gawlicki ve diğerleri, 2010). Deney kapsamında üretilen harç numunelerin priz süreleri kıyaslandığında; kıvamı en koyu olan %50 Portland çimentosu katkılı numunelerin en hızlı prize başlayan ve bitiren numuneler olduğu görülmüştür (Şekil 4). Çimento hamuruna kıyasla priz sürelerinin biraz daha kısaldığı gözlemlenmiştir.




**Şekil 4 -** Katkısız ve katkılı serilerin prize başlangıç ve bitiş süreleri

Her akma eğrisi için dinamik eşik kayma gerilmeleri ve nihai viskozite değerleri ham verilerin Herschel Bulkley modeliyle işlenmesi sonucu hesaplanmıştır. Grafiklerin sol bölümünde bulunan düşey eksen akma gerilmesi verilerinden, sağ kısımda bulunan düşey eksen viskozite verilerinden, yatay eksen ise deformasyon hızı verilerinden oluşmaktadır. Grafiklerde karo olarak gösterilen noktalar viskozite değerlerini, üçgen olarak gösterilen noktalar kayma gerilmesi değerlerini gösterirken, bu noktalar üzerinden geçen eğriler Herschel Bulkley modelini göstermektedir. Kırmızı renk ile gösterilen eğriler ve noktalar modelin 4.aralığını, mavi renk ile gösterilen eğriler ve noktalar ise modelin 5.aralığındaki verileri temsil etmektedir.

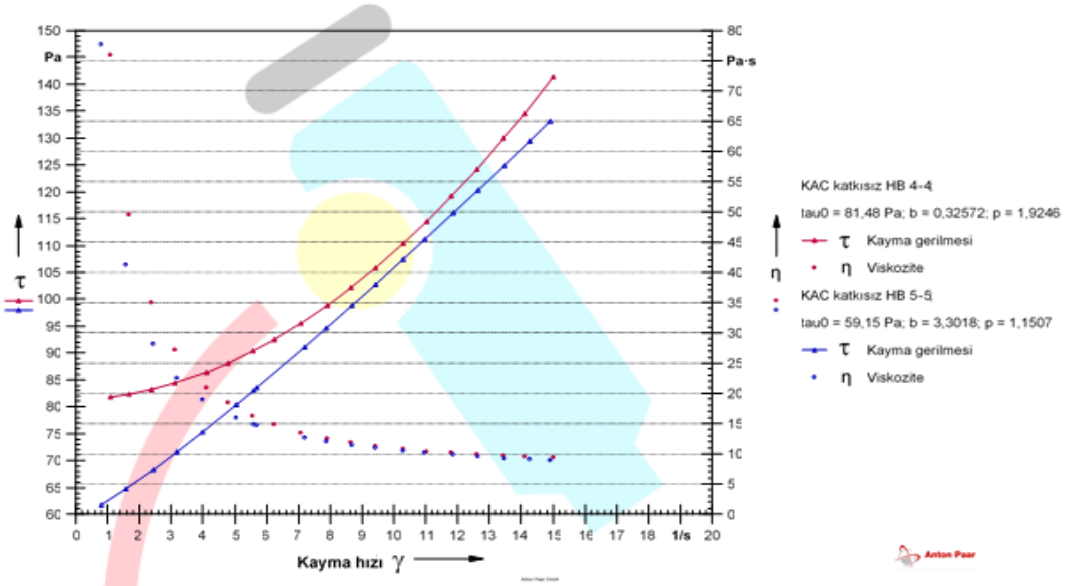
Katkısız kalsiyum alüminat çimentosu ve %20 Portland çimentosu katkılı seriler ile hazırlanan harçların kıvam değerleri akıcı ve normal olduğu için reometre deneyi uygulanmış olup, %50 Portland çimentosu katkılı harçlar çok kuru kıvamda kalmasından dolayı reometre haznesinde sonuç alınamamıştır. Elde edilen modeller ve verileri Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmuştur. Modelin uygulanması ile birlikte bulunan eşik kayma gerilmesi, viskozite değer verilerine Tablo 4'te yer verilmiştir.

**Tablo 4** - Herschel Bulkley modeli uygulanan numunelerin verileri

| Herschel-Bulkley: $y = a + b \cdot x^p$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Karışımlar | Eşik kayma gerilmesi (tau0, (Pa)) | b | p | $R^2$ | viskozite ($\eta_{15s-1}$, Pa.s) |
| KAC katkısı (4-4) | 81,48 | 0,326 | 1,9246 | 0,0864 | 9,41 |
| KAC katkısı (5-5) | 59,15 | 3,302 | 1,1507 | 0,7520 | 8,93 |
| KAC-%20 PC (4-4) | 126,0 | 10,28 | 0,9339 | 0,9504 | 17,04 |
| KAC-%20 PC (5-5) | 85,80 | 22,622 | 0,7056 | 0,8992 | 15,97 |

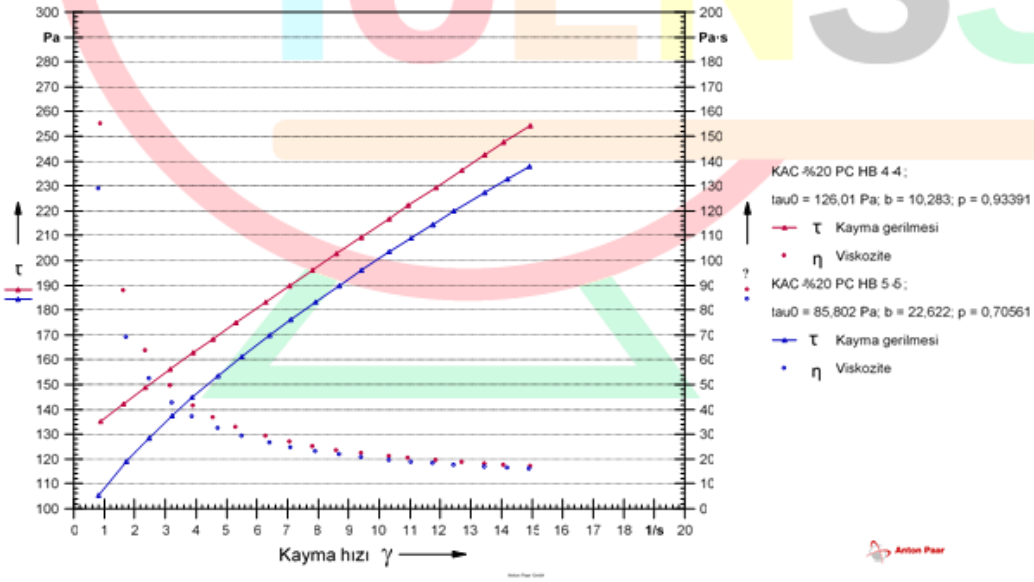
ISBN: 978-605-71156-5-2

Eşik kayma gerilmeleri incelendiğinde, Portland çimentosu ilavesi ile kayma direncinin arttığı görülmüştür. %20 PC katkılı seride eşik kayma gerilme değerleri katkısız numuneye oranla artış göstermiştir. Bu durum PC ilavesi ile oluşturulan sistemlerin yayılma ve kıvam deneyinde tespit edildiği üzere daha yoğun bir yapıya sahip olmasını destekler niteliktedir. Aynı şekilde viskozite sonuçları bu görüşü destekler niteliktedir; katkısız numunede 9 Pa.s olan viskozite değeri, %20 PC katkılı numunede 16 Pa.s değerine kadar çıkmıştır.




**Şekil 5**

- Katkısız kalsiyum alüminat çimentolu harcın kayma gerilmesi ve viskozite değerleri

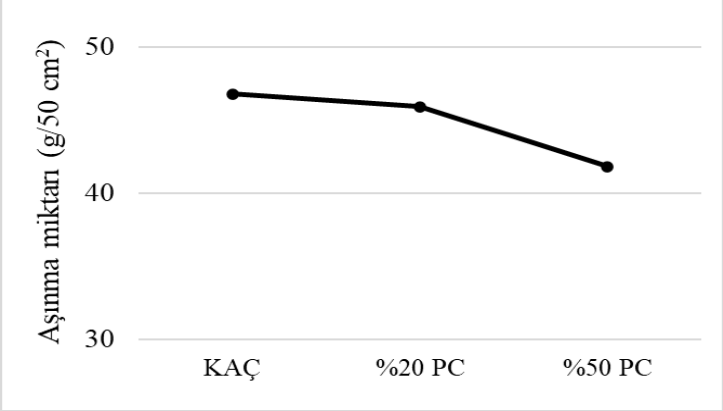



**Şekil 6** - %20 Portland çimentosu katkılı harcın kayma gerilmesi ve viskozite değerleri

ISBN: 978-605-71156-5-2

### 3.2. Sertleşmiş Hal Özellikleri

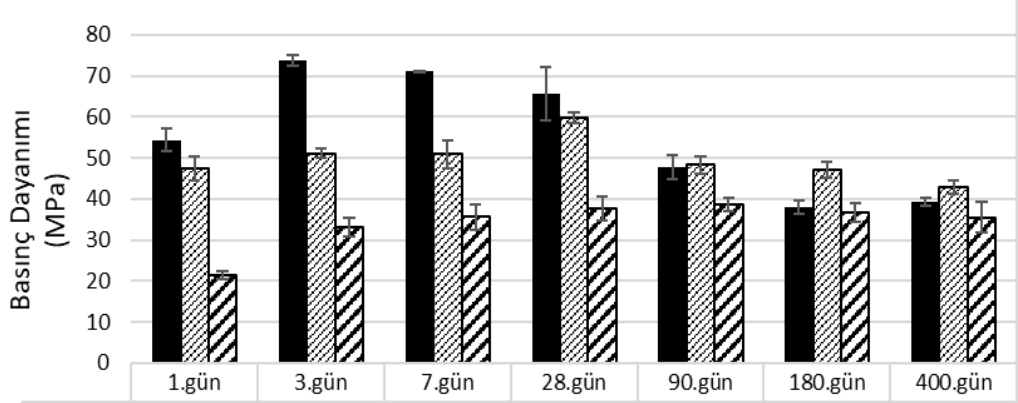
Katkısız ve katkılı numunelerin aşınma miktarları kıyaslandığında (Şekil 7); Portland çimentosu eklenmesi ile birlikte aşınma miktarlarında azalmalar meydana gelmiştir. Katkı oranının %50'ye çıkması ile birlikte en iyi aşınma dayanımına sahip seri elde edilmiştir.




**Şekil 7** - Numunelerin aşınma değerlerinin kıyaslanması

Numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde (Şekil 8); katkısız kalsiyum alüminat çimentolu harcın yüksek erken dayanım göstermesine rağmen zamana bağlı stabil hidratların oluşması ile birlikte dayanımında düşüşler meydana gelmiştir. KAC-PC ikili çimento karışımlarında, hidratasyonun ilk birkaç dakikasında kullanım oranlarına bağlı olarak etrenjit esaslı reaksiyonlar görülebilmektedir. İkili sistemlerinin dayanımı karışım oranlarına bağlı olarak bu reaksiyonlara bağlanmaktadır. (Gu ve diğerleri, 1997). %20 PC ilavesi ile oluşturulmuş harçlarda ilk 28 günde dayanım olarak katkısız numunelerden daha düşük dayanım değerine sahip olmasına rağmen uzun dönemde stabil yapıda kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum kalsiyum alüminat çimentosundaki uzun dönemli belirsiz dayanım gelişiminin kısıtlanarak daha öngörülebilir bir yapıya dönmesini sağlamıştır. %50 PC ikamesi yapılan harçlarda ise dayanım gelişimi katkısız numuneye kıyasla daha düşük seviyelerde kalmış olup, kalsiyum alüminat çimentosuna olumsuz yönde etki yaptığı görülmüştür.

ISBN: 978-605-71156-5-2




| | 1.gün | 3.gün | 7.gün | 28.gün | 90.gün | 180.gün | 400.gün |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KAC | 54,4 | 73,7 | 71,0 | 65,6 | 47,7 | 37,9 | 39,4 |
| %20 PC | 47,5 | 51,1 | 51,0 | 59,9 | 48,3 | 47,2 | 42,9 |
| %50 PC | 21,5 | 33,2 | 35,6 | 37,7 | 38,7 | 36,6 | 35,5 |

**Şekil 8 -** Katkısız ve katkılı numunelerin basınç dayanımı

## 4. Sonuçlar

Taze hal deneyleri analizleri sonucunda; harç numunelerinde yayılma ve kıvam davranışı kalsiyum alüminat çimentosuna Portland çimentosu ilave edilmesi ile birlikte daha yoğun, koyu ve viskoz bir harç yapıda oluşmaktadır. Priz süreleri üzerinden kıyaslama yapıldığında, Portland çimentosunun katkı olarak kalsiyum alüminat çimentosuna eklenmesi, hidratasyonu üzerindeki hızlandırıcı etkisini göstermektedir (Gu ve diğerleri, 1997). Katkı oranı arttıkça priz süresi kısalmaktadır. Yapılan analizler sonucu, %20 oranında Portland çimentosu ilave edilmiş kalsiyum alüminat çimentolu harçlar ile tamir-onarım malzemesi, tıkaç harcı veya yapıştırıcı gibi uygulamalarda daha olumlu sonuçlar alınabileceği değerlendirilmiştir.

Sertleşmiş hal deney sonuçlarına göre, aşınma dayanımlarında Portland çimentosu ilavesinin olumlu yönde katkısı tespit edilmiş olup; eğilme ve basınç dayanımlarında katkısız KAC'ın sahip olduğu erken yüksek dayanım özelliği ikili karışımlarda rastlanılamasa da %20 Portland çimentosu ilavesi ile oluşturulmuş karışımlar uzun dönemli süreçte daha öngörülebilir ve stabil yapıda dayanım gelişimi değerleri vermektedir. Katkı oranının %50'ye çıkarılması ise dayanım sonuçlarına olumsuz yönde etki yapmıştır.

Tüm analizler sonucunda, taze ve sertleşmiş hal deneylerinde en iyi sonuç veren karışıma %20 Portland çimentolu katkılı serilerde ulaşıldığı görülmüştür. Katkı tipinin yanında uygun katkı oranı seçiminin de kalsiyum alüminat çimentosunun özelliklerini geliştirmede belirleyici etkisi olduğu tespit edilmiştir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2021.KB.FEN.018 numaralı proje hibesi kapsamında maddi olarak desteklenen, ilk yazarın devam etmekte olduğu doktora tezinin bir parçasıdır. Desteklerinden dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**6. Kaynakça**

Adams, M. P., Lute, R. D., Moffatt, E. G., & Ideker, J. H. (2018). Evaluation of a Procedure for Determining the Converted Strength of Calcium Aluminate Cement Concrete. *Journal of Testing and Evaluation*, *46*(4), 1659-1672.

Alpaslan Ş.ve Tosun-Felekoğlu K. (2019). Polikarboksilat bazlı süperakışkanlaştırıcıların kalsiyum alüminat çimentosunun kıvam koruma performansı üzerine karşılaştırmalı bir çalışma. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 19* (2019) Özel Sayı (140-154).

Amathieu, L., Bier, T. A., & Scrivener, K. L. (2001). Mechanisms of set acceleration of Portland cement through CAC addition. In *International conference on calcium aluminate cements* (pp. 303-317).

Amathieu, L., & Estienne, F. (2003). Impact of the conditions of ettringite formation on the performance of products based on CAC+ CS + OPC. *Proceedings of the 15th Ibausil. Weimar.*

Avcıoğlu, M. (2012). *Malzeme bilimi ve yapı malzemeleri ve deneyleri*. Birsen Yayınevi.

Bizzozero, J. (2014). *Hydration and dimensional stability of calcium aluminate cement based systems*. (Ph.D. Thesis) Swiss federal Institute of Technology in Lausanne,

El Hafiane, Y., Smith, A., Abouliatim, Y., Chartier, T., Nibou, L., & Bonnet, J. P. (2014). Calcium aluminate cement tapes–Part I: Structural and microstructural characterizations. *Journal of the European Ceramic Society*, *34*(4), 1017-1023.

El Sokkary, T. M., Assal, H. H., & Kandeel, A. M. (2004). Effect of silica fume or granulated slag on sulphate attack of ordinary portland and alumina cement blend. *Ceramics international*, *30*(2), 133-138.

Fryda, H., Scrivener, K.L., Chanvillard, G. and Féron, C. (2001) Relevance of laboratory tests to field applications of calcium aluminate cement concretes. In *International conference on calcium aluminate cements* (pp. 227-246).

Garsel, D. (1996). High Alumina Cements and Chemical Binders Seminar "Refractories Technology- an Introduction and Update" Institute of Refractories Engineering, IRE, South Africa: p. 15

Gawlicki, M., Nocuń-Wczelik, W., & Bąk, Ł. (2010). Calorimetry in the studies of cement hydration: setting and hardening of Portland cement–calcium aluminate cement mixtures. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, *100*(2), 571-576.

Godek E., Felekoglu B., Felekoğlu K.T., Solmaz N. (2015) Kalker Katkısı İkame Oranının Çimento Hamuru Reolojik Özelliklerine Etkisi

Gosselin, C., & Scrivener, K. L. (2008). Microstructure development of calcium aluminate cements accelerated by lithium sulphate. In *Calcium Aluminate Cements Proceeding of the Centenary Conference* (pp. 109-122).

Gu, P., Beaudoin, J. J., Quinn, E. G., & Myers, R. E. (1997). Early strength development and hydration of ordinary Portland cement/calcium aluminate cement pastes. *Advanced cement based materials*, *6*(2), 53-58.

Gu, P., & Beaudoin, J. J. (1997). A conduction calorimetric study of early hydration of ordinary Portland cement/high alumina cement pastes. *Journal of materials science*, *32*(14), 3875-3881.

Khaliq, W., & Khan, H. A. (2015). High temperature material properties of calcium aluminate cement concrete. *Construction and Building Materials*, *94*, 475-487.

Kırca, Ö. (2006). Temperature effect on calcium aluminate cement based composite binders [Ph.D. thesis]. Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

Kırca, Ö., Yaman, İ. Ö., & Tokyay, M. (2013). Compressive strength development of calcium aluminate cement–GGBFS blends. *Cement and concrete composites*, *35*(1), 163-170

Kighelman, J. (2007). *Hydration and structure development of ternary binder system as used in self-levelling compounds* (Doctoral dissertation, Verlag nicht ermittelbar).

Litwinek, E., & Madej, D. (2020). Structure, microstructure and thermal stability characterizations of $C_3AH_6$ synthesized from different precursors through hydration. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *139*(3), 1693-1706.

Majumdar, A. J., & Singh, B. (1992). Properties of some blended high-alumina cements. *Cement and Concrete Research*, *22*(6), 1101-1114.

Odler, I. (2003). Cements containing calcium sulfoaluminate. In *Special inorganic cements* (pp. 89-107). CRC Press.

Pacewska, B., Wilińska, I., & Nowacka, M. (2011). Studies on the influence of different fly ashes and Portland cement on early hydration of calcium aluminate cement. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, *106*(3), 859-868.

Pacewska, B., Nowacka, M., Aleknevičius, M., & Antonovič, V. (2013). Early hydration of calcium aluminate cement blended with spent FCC catalyst at two temperatures. *Procedia Engineering*, *57*, 844-850.

Saucier, F., Scrivener, K., Gaudry, J. L., & Helard, L. (2001). Calcium aluminates cement based concretes for hydraulic structures: resistance to erosion, abrasion & cavitation. In *Proceedings of the*

ISBN: 978-605-71156-5-2

*Third International Conference Under Severe Conditions, University of British Columbia, Vancouver* (pp. 1562-1569).

Scrivener, K. L., Cabiron, J. L., & Letourneux, R. (1999). High-performance concretes from calcium aluminate cements. *Cement and concrete research*, *29*(8), 1215-1223.

Son, H. M., Park, S., Kim, H. Y., Seo, J. H., & Lee, H. K. (2019). Effect of CaSO4 on hydration and phase conversion of calcium aluminate cement. *Construction and Building Materials*, *224*, 40-47.

Sucu, M., & Delibaş, T. (2015). Calcium Aluminate Cement Based Repair Concretes. Journal of Ready-mixed concrete. Issue: 131 (September-October), 88-94. (*in Turkish*)

Şengül, K., & Erdoğan, S. T. (2021). Influence of ground perlite on the hydration and strength development of calcium aluminate cement mortars. *Construction and Building Materials*, *266*, 120943.

Taylor, H. F. (1997). *Cement chemistry* (Vol. 2, p. 459). London: Thomas Telford.

Tuyan, M., Soykan, K. S., Namal, İ., & Çakır, Ö. A. (2020) Investigation of mechanical, durability, thermal and internal structure properties of calcium aluminate cement-based mortars containing mineral additives. *Journal of Polytechnic*, *23*(2), 311-320. (*in Turkish*)

Xu, L., Wu, K., Rößler, C., Wang, P., & Ludwig, H. M. (2017). Influence of curing temperatures on the hydration of calcium aluminate cement/Portland cement/calcium sulfate blends. *Cement and Concrete Composites*, *80*, 298-306.

Yang, H. J., Ann, K. Y., & Jung, M. S. (2019). Development of strength for calcium aluminate cement mortars blended with GGBS. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2019*. pp. 1-12

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Atıksu Sistemlerinde Tıkanmalara Neden Olan Tuvalet Kâğıdı Yüklemelerinin Değerlendirilmesi

*Murathan AKÇA*[1]
*Fatih KARADAĞLI*[2]

**Abstract**

Personal hygiene products such as toilet paper and flushable wipes are disposed of into sewer systems. In sewers, they blend with other wastes such as grease and sand to form a mixture of waste materials that accumulate over time and cause sewer backups. Wastewater authorities and household residents incur financial costs, property damage, and health risks due to sewer blockages. To minimize such risks, this study assesses the amount of toilet paper that can be transported safely through toilets and household drains with a single flush (4 L). For this analysis, we collected various toilet paper samples and categorized them into two groups as 1-Economical, 2-ply, and thin products versus 2- Premium, 3-ply, and plush products. Then, representative samples from each category were tested according to toilet and drain-line clearance test protocol developed by the International Water Services Flushability Group, an organization representing wastewater authorities from around the world. The results elucidated critical loadings that are classified as sewer-safe, risky, and unsafe. As an example, up to 20 sheets of economical and 2-ply toilet paper was discharged safely with a single flush; hence, this range was defined as sewer-safe. Similarly, 20-40 sheets constituted a risky range for accumulations, while >40 sheets choked the toilet. For comparison, up to 8 sheets of premium and 3-ply toilet paper was transported safely, while 8-15 sheets were risky for accumulations, and >15 sheets caused blockages. In light of the findings, economical type toilet papers are preferable to prevent potential backups in household toilet and drain-line systems. In particular, economical products are highly recommended for entities such as shopping centers, student dormitories, and sports arenas.

**Keywords:** Toilet paper, safe loading, wastewater, sewer backup, blockage

[1] Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-3656-257X
[2] Profesor, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Orcid:0000-0003-3134-3519

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1.Giriş

Islak mendil ve tuvalet kağıdı gibi hijyenik ürünler bireysel temizlik ihtiyacını karşılamaktadır. Bu ürünlerin birçoğu "klozete atılabilir" (flushable) olarak pazarlanmakta, veya klozetlere atılabilir oldukları varsayılarak, tüketiciler trafından tuvaletlerden kanalizasyon sistemlerine bırakılmaktadır. Öte yandan klozete atılan bu ürünlerin binaların atıksu sistemlerinde ve kanalizasyon hatlarında tıkanmalara yol açtığı gözlemlenmektedir. Konuyla ilgili bilimsel çalışmaların sınırlı olması, uluslararası veya ulusal düzeyde uygulanan bir yönetmelik veya standardın bulunmaması, ve tüketicilerin dikkatsizlikleri gibi sebeplere bağlı olarak, bu tür atıklar atıksu toplama sistemlerinde birikim göstermekte ve tıkanmalara neden olmaktadır. Tıkanma olaylarının sonucu olarak, atıksu idareleri ve vatandaşlar finansal maliyetler, mal ve hizmet kayıpları, ve insan sağlığını tehdit eden unsurlarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle, atıks sistemlerinde meydana gelen tıkanma olaylarının sebeplerinin araştırılması ve kontrolü için sistematik çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Dünya genelinde tuvalet kağıtları, tüketicilerin sosyoekonomik durumlarına ve buna bağlı beklentilerine göre üretilmektedir. Örneğin, sosyoekonomik durumu yüksek olan tüketiciler yumuşak, 3-katlı, su tutma kapasitesi yüksek olan tuvalet kağıtlarını tercih etmektedirler. Bu tür tuvalet kağıtları yüksek kaliteli (lüks) ürünler olarak sınıflandırılmaktadır. Buna karşılık, ekonomik durumu orta ve/veya düşük seviyelerde olan tüketiciler, ince, 2-katlı ve su tutma kapasitesi düşük olan tuvalet kağıtlarını tercih etmektedirler. Bu tür ürünler ekonomik tuvalet kağıtları olarak sınıflandırılmaktadır. Bu iki gruptaki ürünlerin binaların atıksu sistemlerindeki davranışları hakkında mevcut bilgi düzeyimiz oldukça sınırlıdır. Konuyla ilgili bazı örnek çalışmalar şu şekilde özetlenebilir. Brown vd. (1996) kanalizasyon sistemine atılan tuvalet kağıtlarının, atıksu boru hatlarındaki ilerleyişini simüle edebilmek için matematiksel modelleme çalışmaları yapmıştır. Buna göre, kağıt atıkların tuvaletlerden gelen ilk sifon dalgası ile pissu borularında belirli bir noktaya kadar ilerledikleri gözlemlenmiştir. Daha sonra, ikinci ve üçüncü sifon su hareketleriyle bir miktar daha yol alarak, sokaklardaki kanalizasyon borularına taşındıkları tespit edilmiştir. Ancak, bu çalışmada kullanılan tuvalet kağıdı miktarları, bir kişinin günlük bireysel tuvalet kağıdı tüketimine göre belirlenmiştir (5-10 yaprak gibi). Bu nedenle, bu çalışma tek bir evden ve tek bir kişinin kullanacağı tuvalet kağıtlarının davranışını temsil etmiştir. Buna karşılık, tüketicilerin çoğunluğu apartman tipi çok haneli binalarda yaşamaktadır. Bu durumda, aynı anda farklı miktarlarda tuvalet kağıtları ortak bir pissu giderine atılabilmektedir, ve bu koşullar altında tıkanma olayları daha sık şekilde meydana gelmektedir. Bu nedenle, tıkanmalara neden olacak maksimum tuvalet kağıdı yüklemeleri henüz belirlenmemiştir.

Karadağlı vd. (2009) klozetlere atılabilecek ürünlerin kanalizasyon sistemlerindeki parçalanmasıyla ilgili teorik ve matematiksel modelleme çalışmaları gerçekleştirmiştir. Teorik altyapıya göre, klozetlere atılan atıkların, pissu borularındaki su akışının türbülansına ve ürünlerin fiziksel mukavemetine bağlı olarak parçalanacağı iddia edilmiştir. Su akışının türbülans değeri Reynolds sayısı ile temsil edilirken; ürünlerin parçalanma hız katsayıları deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. Bu şekilde, bir numunenin parçalanma davranışını belirlemek için gerekli olan deneysel çalışmalar belirli türbülans koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların

ISBN: 978-605-71156-5-2

sonuçlarına göre, geliştirilen teorik yaklaşımın ve matematiksel modelin ilgili ürünlerin kanalizasyon sistemlerindeki davranışlarını takip edebilmek için kullanılabileceğini gösterilmiştir.

Karadağlı vd. tarafından geliştirilen matematiksel model, Eren ve Karadağlı (2012) tarafından tuvalet kağıtlarının atıksu sistemlerinde parçalanma davranışlarını incelemek üzere uyarlanmıştır. Atıksu sistemlerine bırakılan tuvalet kağıtlarının kalınlık, hacim, yaprak ağırlığı gibi fiziksel özellikleri belirlenmiş, ve daha sonra, ilgili numunelerin parçalanma davranışları deneysel çalışmalar ve matematiksel modelleme yoluyla araştırılmıştır. Buna göre, kalın ve yaprak ağırlığı yüksek olan ürünlerin yavaş parçalandığı, ve buna karşılık, ince ve ekonomik tuvalet kağıtlarının daha hızlı parçalandığı gözlemlenmiştir. İlgili deneysel çalışmalarda bir yaprak tuvalet kağıdı numunesi kullanılmıştır. Bu nedenle, tuvalet kağıtlarının tıkanma problemleri açısından maksimum yükleme değerleri çalışılmamıştır.

Tang ve Jin (2013) klozete atılabilir şekilde üretilen ıslak mendillerin sularda parçalanmaları üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Buna göre, kullanılan deneysel düzenekteki karıştırma hızının ve karıştırma süresinin numunenin parçalanma hızını doğrudan etkileyen faktörler olduğu gözlemlenmiştir. Karıştırma süresinin uzun, ve karıştırma hızının yüksek tutulması halinde, numunelerin hızlı şekilde parçalanacağı ifade edilmiştir. Bununla beraber, karıştırma hızının, karıştırma süresinin, ve ortamda oluşan türbülans değeri gibi parametrelerin, gerçek atıksu sistemlerdeki bekletme süreleri ve türbülans koşullarını temsil etmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Bu bilgilerin ışığı altında, atıksu toplama sistemlerinde meydana tıkanma olaylarının sebepleri ve çözümleri için yeni çalışmaların yapılması ve yeni yaklaşımların sunulması gerekmektedir. Bu çerçevede, bu çalışmada kanalizasyon sistemlerine bırakılan tuvalet kağıtlarının kalitesine göre tıkanmalara neden olan yükleme miktarlarının tespit edilmesi ve tıkanmanın pissu gider hattının hangi mesafesinde gerçekleştiğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, uygulanan çalışma yöntemi, ve elde edilen sonuçlar bu raporun devam eden bölümlerinde arz edilmektedir.

## 2.Materyal ve Yöntem

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde kullanılan tuvalet kağıdı numuneleri yerel marketlerden temin edilmiş, ve temel fiziksel özellikleri dikkate alınarak lüks ve ekonomik ürünler olarak iki ana gruba ayrılmıştır. İlgili sınıflandırma işlemi yapılırken, ürünlerin kat sayısı (2 katlı, veya 3 katlı), fiziksel boyutları, yaprak ağırlığı ve yoğunluğu gibi fiziksel özellikleri dikkate alınmıştır.

Deneysel çalışmalar belirli uluslararası metotlara göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, dünya genelinde atıksu idarelerinin temsil eden Internatinal Water Services Flushability Group tarafından geliştirilen Toilet & Drain Clearance Test metodu bu çalışmada uygulanmıştır (IWSFG, 2020). Buna göre, standart bir alafranga tuvalet, bir S boru yardımıyla, 20 m uzunluğundaki PVC borulardan oluşan pissu giderine bağlanmıştır. Dünya genelinde, ev ve işyerlerinin pissu gider boruları %2 eğim verilerek ana kanalizasyon sistemlerinde bağlanması öngörülmektedir. Bu kritere bağlı olarak, PVC borular tuvaletin çıkışından itibaren %2 eğimle birbilerine bağlanarak deneysel düzenek kurulmuştur. Bu sistem, Sakarya Büyükşehir Belediyesine bağlı Hendek ilçesi atıksu arıtma tesisininde ve aşağıdaki Şekil 1'de sunulduğu gibi oluşturulmuştur.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Şekil 1** Hendek Atıksu Arıtma Tesisinde Kurulan Deney Düzenek

Deneysel düzeneğin başlangıç noktasında, tuvalet taşı yerden yaklaşık 1 metre yüksekliğindeki bir platforma monte edilmiştir. Tuvalet binanın su tesisatına bağlanarak, her sifon çekilişinden sonra, tuvaletin su rezervuarının otomatik şekilde dolması sağlanmıştır. Bu şekilde, deneylerde kullanılan sifon hareketlerinin ev ve işyerlerindeki tuvalet kullanımlarını temsil etmesi sağlanmıştır.

Daha sonra, yukarıda belirtilen tuvalet kağıdı gruplarını temsil eden numuneler kullanılarak deneysel testler gerçekleştirilmiştir. Bir test sırasında, belirli sayıda tuvalet kağıdı yaprağı tuvalete bırakılmış ve sifon çekilmiştir. Buna göre, ilgili yaprak adetinin pissu hattında aldığı mesafe not alınmıştır. Aynı şekilde, tuvalete bırakılan yaprak adetleri sistematik şekilde arttırılarak (2, 4, 8,..20 gibi) deneysel çalışmalar tekrar edilmiştir. Her bir deneme sırasında, bir sifon su hareketi ile tuvalete bırakılan yaprak miktarının tuvaletten çıkış ve gider hattında aldığı mesafe belirlenmiştir. Bu çerçevede, deneysel çalışmalar kısaca aşağıdaki aşamalardan oluşmuştur:

- Tuvalete atılan yaprakların bir sifon su ile pissu boru hattını terk etmesi (Emniyetli yükleme miktarı),
- Bir sifon su ile pissu hattını terk etmeyen miktarın pissu giderinde aldığı mesafenin belirlenmesi, ve ilgili yüklemenin2. Sifon su hareketiyle ile pissu hattını terk edip etmemesinin test edilmesi (riskli yükleme miktarı),
- 1. ve 2. Sifon su hareketleriyle pissu giderinden atılamayan yükleme miktarlarının belirlenerek, bu miktarların 3. Sifon su hareketiyle pissu hattını terk edip etmemesi (çok riskli yükleme miktarı) değerlendirilmiştir.

## 3.Deneysel Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmalarda, toplam 8 adet farklı tuvalet kağıdının tıkanma problemleri açısından davranış biçimleri incelenmiştir. Numunelerden 4 tanesi 2 katlı ve ekonomik ürünleri

ISBN: 978-605-71156-5-2

temsil ederken, diğer 4 ürün 3 katlı ve lüks ürünleri temsil edecek şekilde sınıflandırılmıştır. Deneysel çalışmalarda, her bir numune için "emniyetli yükleme", "riskli yükleme", ve "çok riskli yükleme" miktarları belirlenmiştir. Bu çerçevede, ilgili numunelere ait deneysel sonuçlar her bir ürün grubuna ait birer adet numuneyle bu raporda sunulmaktadır. Deneysel sonuçların tamamı, bu çalışmanın ayrıntılarının sunulduğu yüksek lisans tezinde incelenebilir (Akça, 2022).

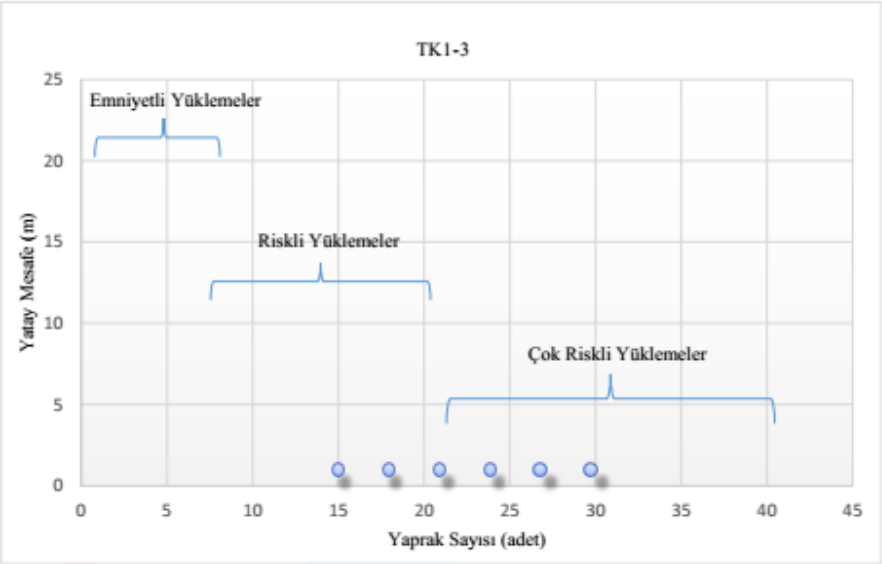
3 katlı ve lüks ürünleri temsil eden TK1-3-katlı numunesiyle yapılan testlerden elde edilen veriler aşağıda Tablo-1'de sunulmaktadır.

**Tablo 4** - TK1-3 Numunesi Deney Sonuçları

| Tuvalete Atılan Yaprak Sayısı (adet) | 1. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre) | 2. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre) | 3. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre) |
|---|---|---|---|
| 2 | 20 | * | * |
| 3 | 20 | * | * |
| 4 | 20 | * | * |
| 5 | 20 | * | * |
| 6 | 20 | * | * |
| 7 | 20 | * | * |
| 8 | 9 | 20 | * |
| 10 | 11 | 20 | * |
| 12 | 10 | 20 | * |
| 15 | 4 | 20 | * |
| 17 | 5 | 20 | * |
| 20 | 5 | 20 | * |
| 22 | 3 | 20 | * |
| 25 | 3 | 20 | * |
| 28 | 1 | 20 | * |
| 30 | 2 | 20 | * |
| 35 | 2 | 12 | 20 |
| 40 | 0 | 8 | 17 |

Tablo 1'deki veriler kullanılarak, TK1-3 numunesine ait yükleme ve bu yüklemelere bağlı olarak bir sifon su hareketiyle alınan yatay mesafe grafiği aşağıda Şekil 2'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 2**. TK1-3 numunesi ile elde edilen deneysel sonuçlar sunulmaktadır. Tuvalete bırakılan yaprak sayısı (yatay eksen) ve bu miktarın bir sifon su hareketiyle pissu giderinde aldığı mesafe (düşey eksen) gösterilmektedir.

Şekil 2'de, bir sifon su hareketiyle tuvalete bırakılan yaprakların pissu gider hattında aldıkları mesafeler sunulmaktadır. Bu çerçevede, her bir denemede tuvalete bırakılan yaprak sayısı (yatay eksen) 2,4,...40 adete kadar kadameli şekilde arttırılırken, ilgili miktarın pissu hattında aldığı mesafe (düşey eksen) giderek azalmıştır. Örneğin, 7 adet yaprağa kadar olan yüklemelerde, kullanılan kağıt miktarı bir sifon su ile pissu tesisatının tamamını (20 m) emniyetli şekilde geçerek, sistemi terk edebilmiştir. Bu şekilde, bu ürün için maksimum emniyetli yükleme miktarı 7 yaprak olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, 8-20 yaprak arasındaki yüklemelerin bir sifon su hareketi ile pissu hattında 5-10 m kadar ilerleyebildiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bu yüklemeler riskli yüklemeler olarak tanımlanmıştır (Şekil 2). Son olarak, 20-40 yaprak arasındaki yüklemelerde, kağıtların bir sifon su hareketiyle pissu hattında en fazla bir kaç metre ilerleyebildiği gözlemlenmiştir. Bu şekilde, 20-40 yaprak arasındaki yüklemeler çok riskli olduğu anlaşılmıştır. Buna bağlı olarak, TK1-3 numunesinin tıkanmaya sebep olduğu yükleme değerinin 40 yaprak olduğu tespit edilmiştir.

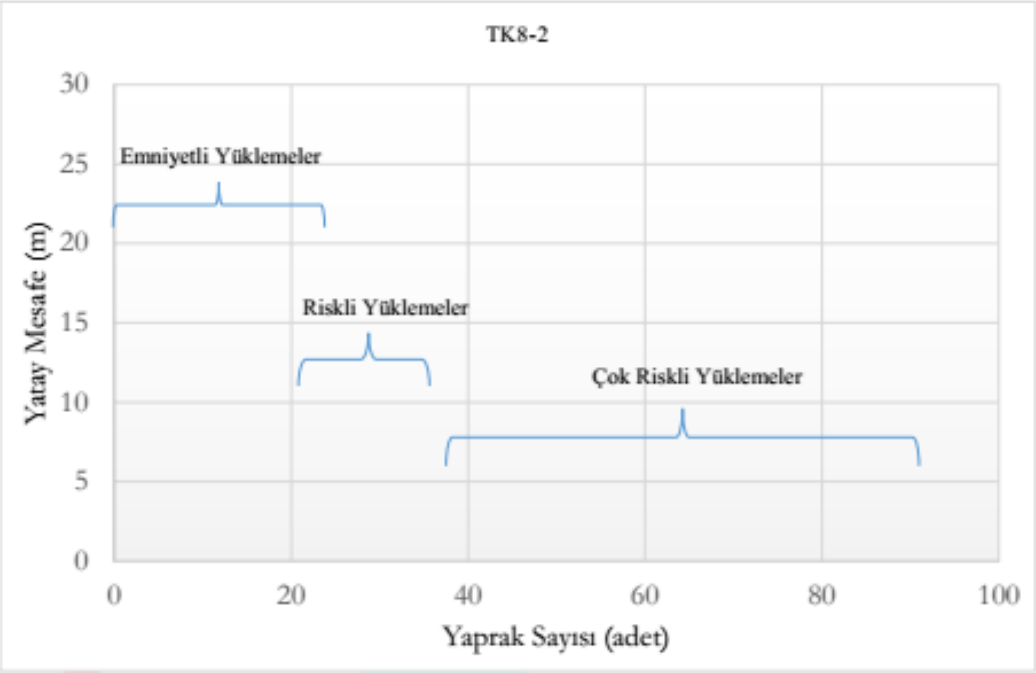
Benzer şekilde, ekonomik ürün grubunu temsil eden TK8-2 kodlu ikinci numunemizle yapılan deneysel çalışmaların sonuçları aşağıdaki Tablo 2'de ve Şekil 3'de sunulmaktadır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Tablo 2 - TK8-2 Numunesi Deney Sonuçları**

| Tuvalete Atılan Yaprak Sayısı (adet) | 1. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre) | 2. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre) | 3. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre) |
|---|---|---|---|
| 2 | 20 | * | * |
| 3 | 20 | * | * |
| 4 | 20 | * | * |
| 5 | 20 | * | * |
| 6 | 20 | * | * |
| 7 | 20 | * | * |
| 8 | 20 | * | * |
| 10 | 20 | * | * |
| 12 | 20 | * | * |
| 15 | 20 | * | * |
| 17 | 20 | * | * |
| 20 | 20 | * | * |
| 22 | 20 | * | * |
| 25 | 10 | 20 | * |
| 27 | 11 | 20 | * |
| 30 | 9 | 20 | * |
| 35 | 10 | 20 | * |
| 40 | 4 | 20 | * |
| 45 | 4 | 20 | * |
| 50 | 3 | 20 | * |
| 55 | 2 | 20 | * |
| 60 | 2 | 20 | * |
| 65 | 1 | 20 | * |
| 70 | 1 | 20 | * |
| 75 | 1 | 20 | * |
| 80 | 0 | 11 | 20 |
| 85 | 0 | 8 | 20 |
| 90 | 0 | 6 | 8 |

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 3.** TK8-2 numunesi ile elde edilen deneysel sonuçlar sunulmaktadır. Tuvalete bırakılan yaprak sayısı (yatay eksen) ve bu miktarın bir sifon su hareketiyle pissu giderinde aldığı mesafe (düşey eksen) gösterilmektedir.

Şekil 3'de, 2 katlı ve ekonomik tuvalet kağıtlarını temsil eden TK8-2 numunesinin yükleme miktarları ile pissu gider hattında aldığı mesafeler gösterilmektedir. Buna göre, bu ürünün 2-24 yaprak arasındaki yüklemeleri, bir sifon su hareketiyle emniyetli şekilde pissu gider hattını (20 m) terk etmiştir. Bu şekilde, bu ürün için maksimum emniyetli yükleme miktarı 24 yaprak olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, 24-36 yaprak arasındaki yüklemelerde, ilgili miktar bir sifon su hareketiyle pissu hattında 10 m kadar ilerleyebilmiştir. Bu nedenle, bu yüklemeler riskli yüklemeler olarak tanımlanmıştır (Şekil 3). Aynı şekilde, 40-80 yaprak arasındaki yüklemelerde, kağıtlar pissu hattında en fazla bir kaç metre ilerleyebilmişlerdir. TK8-2 numunesinin tıkanmaya sebep olduğu yükleme değerinin 80 yaprak olduğu gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak, 40-80 yaprak arasındaki yüklemeler çok riskli yüklemeler olarak tanımlanmıştır.

İki numune grubu arasında bir karşılaştırma yapılırsa, 3-katlı ve lüks ürünleri temsil eden TK1-3 numunesinin emniyetli yükleme değeri 7 yaprak olarak tespit edilirken, aynı değer 2-katlı ve ekonomik tuvalet kağıtlarını temsil eden TK8-2 numunesi için 24 yaprak olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, TK1-3 numunesi için riskli yükleme değerleri 8-20 yaprak olarak gözlemlenirken, bu değer TK8-2 numunesi için 24-36 yaprak aralığı olarak tespit edilmiştir. Paralel olarak, TK1-3 numunesinin tuvaletin tıkanmasına neden olan yaprak adeti 40 olarak belirlenirken, bu değer TK8-2 numunesi için 80 yaprak olmuştur. Bu karşılaştırma, ekonomik, ince, 2-katlı tuvalet kağıtlarının kanalizasyon tıkanmaları açısından makul bir tercih olacağına işaret etmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**4.Sonuç**

Alış-veriş merkezleri, öğrenci yurtları, stadyumlar, spor arenaları, ve düğün salonları gibi işletmeler önemli düzeyde insan yoğunluğunu ağırlamak için tasarlanmış tesislerdir. Nufus yoğunluğuna bağlı olarak, tuvalet kullanımı ve tıkanmalar bu tür tesislerde sık sık karşılaşılan problemler arasında yer almaktadır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, kanalizasyon tıkanmalarını azaltmak için ekonomik, ince, ve 2-katlı ürünlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Bu tercih, özellikle yukarıda belirtilen tesisler için elzem olmaktadır. Bu şekilde, tıkanma olaylarının azaltılması, ve buna bağlı zararların minimize edilmesi mümkün olabilecektir.

**TEŞEKKÜR**

Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler Koordinatörlüğü tarafından sağlanan finansal destek için şükranlarımızı arz ederiz (Genel Araştırma Projeleri – A Grubu, Proje Başlığı: Atıksu Sistemlerinde Tıkanmalara Neden Olan Maksimum Yükleme Değerlerinin Belirlenmesi, Proje No: 2022-9-32-31). Benzer şekilde, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Araştırma Destek Programları Başkanlığı (ARDEB) tarafından sağlanan finansal destekler için teşekkürlerimizi arz etmekteyiz (Proje Başlığı: Islak Mendillerin Karakterizasyonu ve Atıksu Sistemlerindeki Parçalanma Davranışlarının Araştırılması, Proje No: 118Y240).

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Akça, M. (2022). Atıksu Sistemlerinde Tıkanmalara Neden Olan Maksimum Yükleme Değerlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi: Sakarya Üniversitesi.

Brown, D., Butler, D., Orman, N., & Davies, J. W. (1996). Gross Solids Transport in Small Diameter Sewers. Water Science and Technology, 33(9), 25-30.

Eren, B., & Karadagli, F. (2012). Physical Disintegration of Toilet Papers in Wastewater Systems: Experimental Analysis and Mathematical Modeling. Environmental Science and Technology, 46(5),2870-2876.

International Water Services Flushability Group, (. (2020). Publically Available Specification for Flushability.

Karadagli, F., McAvoy, D., & Rittmann, B. (2009 ). Development of a Mathematical Model for Physical Disintegration of Flushable Consumer Products in Wastewater Systems. Water Environment Research, 81(5) pp. 454-459.

Tang, Y., & Jin, W. (2013). Study on flushability testing of wood pulp composite spunlaced nonwovens. Advanced Materials Research, cilt:610-613, sayfa 490-493.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Mechanical Behavior of Concretes Containing Macro Synthetic Fibers and High Strength Steel Fibers

*Fatih ÖZALP*[1]

**Abstract**

In this study, four different concrete mixtures were prepared, one plain concrete, one macro synthetic, and the other two normal strength and high strength steel fibers added. The slenderness (L/d) and length (L) of the steel wires used in the study are the same, L/d = 65 and L = 60 mm. The macro-synthetic fiber is of polyolefin origin and L/d=100 and L= 50 mm. In the concretes produced, steel fibers were used at the same rate as 78.5 kg/m3 (1%), macro synthetic fiber 9.1 kg/m3 (1%). Some properties of concretes in the fresh and hardened state were investigated. With the addition of fiber, there was a slight decrease in the slump values of all concrete mixtures in the fresh state and the workability of the concretes decreased. In the hardened concrete properties, the compressive strength of the concretes did not change much with the addition of fibers. Significant increases were obtained in bending strength, splitting tensile strength, and especially fracture energies. With the addition of synthetic fiber, normal strength steel fiber and high strength steel fiber, the flexural strength of concrete reached 1.2, 2.4, and 3.3 times that of plain concrete, respectively. Splitting tensile strengths reached 1.3, 1.9, and 2.1 times that of plain concrete, and fracture energy values reached 37, 79, and 107 times that of plain concrete, respectively. Water absorption tests were also carried out to determine the permeability properties of concrete. It was determined that the fiber addition did not have a significant effect on the water absorption properties of the concretes. When all the mechanical behavior results obtained in the tests are evaluated together, it is understood that the addition of fiber is very effective in improving the mechanical properties of concrete and higher mechanical properties can be obtained by using high-strength steel fiber.

**Keywords**: steel fiber, macro synthetic fiber, mechanical behavior, fracture energy, permeability

[1] Dr. Fatih ÖZALP, Istanbul Medeniyet University, Department of Civil Engineering

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1. GİRİŞ

Betona liflerin ilave edilmesi betonun çekme davranışını geliştirmek için kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir (Rios 2019; Larsen ve Thorstensen 2020). Lif kullanılması betonda hem çatlakların oluşmasını önler hem de gelişmesini azaltır. Ayrıca, betonun mekanik davranışını iyileştirir ve özellikle de enerji yutma kapasitesini önemli seviyede artırır (Akcay ve Taşdemir 2012; Noushini vd., 2018; Kazmi vd., 2018; Choi vd., 2019; Caetano vd., 2019; Picazo vd., 2019; Çelik ve Bingöl 2020; Ramesh vd., 2021). Bununla birlikte liflerin tipi ve lif miktarı gibi değişkenler betonun taze haldeki işlenebilirlik, hava içeriği gibi bazı özelliklerini olumsuz olarak etkileyebilir (Iqbal 2019).

Guerini ve ark (2018) tarafından yapılan bir çalışmada çelik ve makro-sentetik lifler %0,5 ve %1 hacim oranında kullanılarak 0,45 ve 0,50 su/çimento oranına sahip dört farklı beton karışımları hazırlanmıştır. Çalışmada, farklı tipte kullanılan liflerin betonların taze haldeki işlenebilirlik ve sertleşmiş haldeki mekanik davranış özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda lif içeren betonların hava içeriğinde yalın betona göre çok az bir artış olduğu, bu durumla uyumlu şekilde yalın ve lifli tüm numunelerin basınç dayanımlarının da birbirlerine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, lif ilavesinin betonunların işlenebilirliğini azalttığı, hedeflenen bir eğilme tokluğu için de çelik liflerin polipropilen liflere kıyasla beton işlenebilirliğini daha az etkilediği tespit edilmiştir (Guerini vd., 2018).

Yang ve ark (2012) çelik lifler ve poliolefin sentetik lifleri beton kirişlerin üretilmesinde kullanmışlardır. Çalışmada, lif ilavesinin yük taşıma kapasitesi, çatlak oluşumu ve gelişimi ile süneklik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Liflerin eklenmesi, ilk çatlama yükünü, nihai eğilme dayanımını ve sünekliği arttırmıştır. Ayrıca, betonlarda oluşan çatlak genişliklerinin liflerin ilavesi ile azaldığı belirlenmiştir (Yang vd., 2012).

Karim ve Shafei (2022) çelik liflerin sentetik liflerle kısmen değiştirilmesi araştırmışlardır. İşlenebilirlik ve mekanik davranış özelliklerine odaklanılarak, naylon, polipropilen, polivinil alkol, alkaliye dayanıklı cam ve karbon lifleri olmak üzere beş farklı sentetik lif kullanılan 15 farklı karışım tasarımı geliştirmişlerdir. Çalışmada, betonun çatlak oluşumu ve ilerlemesinin doğru bir şekilde tespiti için elde edilen sonuçlar dijital görüntü verileriyle eşleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, kullanılan tüm liflerin betonun çatlak direncine ve eğilme performansına belirgin bir katkısı olduğu belirlenmiştir (Karim ve Shafei., 2022)

Khan ve ark (2018) kırılgan davranış gösteren geopolimer beton karışımlarına yüksek mukavemetli polietilen lif (HSPE) ilavesinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada geopolimer kompozitlerin performansı, işlenebilirlik, tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı, eğilme dayanımı, enerji yutma kapasitesi ve tepe yükü sonrası kalan dayanım gibi taze ve sertleşmiş beton özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, liflerin eklenmesinin, kompozitlerin eğilme yükü altında yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini, eğilme dayanımın 3.89 MPa'dan 11.30 MPa'ya yükseldiğini göstermiştir. Ayrıca çelik ve HSPE lif eklenmesinin kompozitlerin enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir (Khan vd., 2018).

ISBN: 978-605-71156-5-2

Joshi ve ark (2018) çelik ve yapısal poliolefin sentetik liflerin öngerilmeli beton kirişlerin performansının iyileştirilmesi üzerindeki etkinliği incelemişlerdir. Betonun hacmine göre %0,35, %0,7 ve %1,0'lık değişen dozajlarda ayrı çelik ve makro sentetik yapısal poliolefin lifler kullanmışlardır. Çalışma sonuçları, çelik liflerin eklenmesinin, çatlama sonrası tepkiyi iyileştirdiğini ve makro sentetik poliolefin liflere kıyasla enerjisi yutma kapasitesini daha verimli bir şekilde arttırdığını göstermektedir. Hem çelik hem de poliolefin lifler için %1,0 lif ilavesinde enerjisi yutma kapasitesi %100'den fazla artmıştır (Joshi vd., 2018).

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1 Bileşen Malzemeler

Kullanılan çimento CEM I 42,5 R sınıfıdır. Çimentonun Blaine Özgül Yüzeyi 3942 cm²/g, 90 mikronluk elekte kalan miktarı %0,1, özgül ağırlığı 3,17 gr/cm³, priz başlangıcı 140 dakika ve priz sonu 195 dakikadır. Çimentonun basınç dayanımı 7 ve 28 günlük olmak üzere sırasıyla 40,6 ve 57,8 MPa'dır. Mineral katkı olarak özgül yüzeyi 4780 cm²/g, 90 mikronluk elekte kalan miktarı % 1,2 ve özgül ağırlığı 2,85 gr/cm³ olan Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu (ÖYFC) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çimento ve ÖYFC malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Çimento ve ÖYFC malzemenin kimyasal bileşimi

| | Çimento | ÖYFC |
|---|---|---|
| SiO2 (%) | 19,92 | 40,23 |
| CaO (%) | 65,12 | 35,72 |
| SO3 (%) | 2,38 | 0,17 |
| Al2O3 (%) | 4,52 | 12,63 |
| Fe2O3 (%) | 2,27 | 1,02 |
| MgO (%) | 1,52 | 6,90 |
| Na2O (%) | 0,57 | 0,60 |
| K2O (%) | 0,25 | 0,91 |
| Klor (Cl-) | 0,0032 | 0,010 |
| Kütle kaybı (%) | 3,11 | 1,45 |
| Çözünmeyen kalıntı (%) | 0,17 | 0,10 |

Agrega olarak; Kırmataş I (6-12 mm), Kırma taştozu (0-6 mm) ve Doğal kum (0-4 mm) malzeme kullanılmıştır. Agregalarının bazı fiziksel özelikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Kimyasal katkı malzemesi olarak yüksek oranda su azaltıcı polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 2. Agregaların bazı fiziksel özellikleri

| | Kırmataş I (6-12 mm) | Kırmataş Tozu (0-6 mm) | Doğal Kum (0-4 mm) |
|---|---|---|---|
| Gevşek birim ağırlık (kg/m3) | 1330 | 1710 | 1430 |
| Sıkı birim ağırlık (kg/m3) | 1490 | 1890 | 1610 |
| Görünen özgül ağırlık (kg/m3) | 2710 | 2700 | 2660 |
| Metilen mavisi | - | 1,00 | 0,25 |
| Kum eşdeğeri (%) | - | 62 | 90 |
| Çok ince malzeme içeriği (%) | 0,8 | 9,80 | 0,8 |
| Su emme (%) | 0,5 | 1,3 | 1,2 |

Karışımlarda normal ve yüksek dayanıma sahip farklı 2 çelik lif ve 1 adet poliolefin kökenli sentetik lif olmak üzere toplam 3 değişik lif kullanılmıştır. Bu liflerin bazı özellikleri ise Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Çelik liflerin ve sentetik lifin bazı özellikleri

| | Normal dayanımlı çelik lif | Yüksek dayanımlı çelik lif | Sentetik lif |
|---|---|---|---|
| Uzunluk (mm) | 60 | 60 | 50 |
| Çap (mm) | 0,75 | 0,75 | 0,5 |
| Narinlik | 80 | 80 | 100 |
| Yoğunluk (kg/m$^3$) | 7850 | 7850 | 910 |
| Elastisite modülü (MPa) | 210000 | 210000 | 11000 |
| Kopma dayanımı (MPa) | 1100 | 2250 | 590 |

### 2.2 Beton Karışımları ve Numunelerin Hazırlanması

Yalın beton karışımında, çelik tel içeren karışımlarda ve poliolefin lif içeren tüm karışımlarda su/çimento oranı 0,46 olarak sabit tutulmuştur. Karışımlarda kullanılan çelik tellerden birisi normal dayanımlı olarak 1100 MPa kopma dayanımına diğeri ise yüksek dayanımlı olarak 2250 MPa kopma dayanımına sahiptir. Poliolefin lifin kopma dayanımı ise daha düşük olup 590 MPa değerindedir. Betonlarda tüm lifler hacimce aynı oranda (%1) kullanılmış olup çelik teller için 78,5 kg/m$^3$ ve poliolefin sentetik lif 9,1 kg/m$^3$ değerindedir. Karışımlarda agregalar ortak olarak kullanılmış olup (Kırmataş I: 6–12 mm, Doğal kum: 0–4 mm, Kırmataş tozu: 0–6 mm) kullanılmıştır. Süperakışkanlaştıcı katkı yüksek oranda su azaltma özelliğine sahip olup tüm karışımlarda toplam bağlayıcıya ağırlıkça %1,3 oranında kullanılmıştır. Tüm karışımların 70 cm yayılma değerine sahip olarak akıcı kıvamda üretilmesi hedeflenmiştir. Lif ilavesi sonrası karışımların yayılma değerleri yeniden ölçülmüştür. Tüm beton karışımları için bileşen malzeme oranları ve bazı taze beton özellikleri Tablo 4'de verilmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Karışımların kodlanmasında yalın beton karışımı (REF), normal dayanımlı çelik tel içeren karışım (NDÇT), yüksek dayanımlı çelik tel için karışım (YDÇT) ve poliolefin içeren karışım (PL) olarak isimlendirilmiştir.

Tablo 4. Beton karışımları ve bazı taze beton özellikleri

| | REF | NDÇT | YDÇT | PL |
|---|---|---|---|---|
| Çimento(kg/m³) | 380 | 380 | 380 | 380 |
| ÖYFC (kg/m³) | 120 | 120 | 120 | 120 |
| Kırmataş I 6-12 mm (kg/m³) | 850 | 850 | 850 | 850 |
| Kırmataş tozu 0-6 mm (kg/m³) | 420 | 420 | 420 | 420 |
| Doğal kum 0-4 mm (kg/m³) | 400 | 400 | 400 | 400 |
| Süperakışkanlaştırıcı (kg/m³) | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 |
| Su (kg/m³) | 175 | 175 | 175 | 175 |
| Su/Çimento | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 |
| Su/Bağlayıcı | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Lif Miktarı (kg/m³) | - | 78,5 | 78,5 | 9,1 |
| Hava İçeriği (%) | 2,10 | 2,20 | 2,10 | 2,30 |
| Yayılma -Lif ilave öncesi (cm) | 70 | 71 | 70 | 69 |
| Yayılma -Lif ilave sonrası (cm) | - | 67 | 65 | 52 |
| Birim ağırlık (kg/m³) | 2352 | 2352/2430 | 2352/2430 | 2352/2361 |

*Su/çimento ve su/bağlayıcı oranının belirlenmesinde süperakışkanlaştırıcı katkıdan gelen su miktarı dikkate alınmamıştır. ** Birim ağırlıklar sırasıyla yalın helde ve lif ilavesi sonrası olarak verilmiştir.

Beton karışımlarının hazırlanmasında ilk olarak çimento, Kırmataş I, Kırmataş tozu ve Doğal kum malzemenin kuru halde karıştırılması işlemleri ile başlanılmıştır. Karışım suyunun yarısı kuru karışımın ıslatılması için ilave edilmiş sonrasında ise kalan su ve süperakışkanlaştırıcı katkı birlikte ilave edilerek homojen bir karışım elde edilmiştir. Lifler karışımlara son aşamada ilave edilmiş olup yeterli süre karıştırılarak beton içerisinde homojen dağılmaları sağlanmıştır. Yalın beton karışımı kendiliğinden akıcı kıvamda olduğu için herhangi dış etki olmaksızın kalıplara yerleştirilmiştir. Lif ilaveli beton karışımlarında yerleşmeye yardım için kalıplar dışarıdan elle hafif şiddette sarsılarak yerleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler 1 gün kalıpta bekletildikten sonra sökülerek deneyin yapılacağı 28. güne kadar ortalama 20 ̊C'de su kürü havuzlarında bekletilmiştir. Basınç dayanımı için bir kenarı 100 mm olan küp numuneler ve eğilme testleri için 100x100x500 mm boyutlarında kiriş numuneler hazırlanmıştır. Eğilme testlerinden kalan numuneler üzerinde yarma çekme deneyleri 100x100 mm kesitler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Su emme deneyleri için çapı 100 mm ve yüksekliği 200 mm silindir numuneler

ISBN: 978-605-71156-5-2

hazırlanmıştır. Tüm testlerde her deney için minimum 3 adet test numunesi hazırlanmış ve deneye tabii tutulmuştur. Numunelerin boyutları ve gerçekleştirilen testler Tablo 5'de sunulmaktadır.

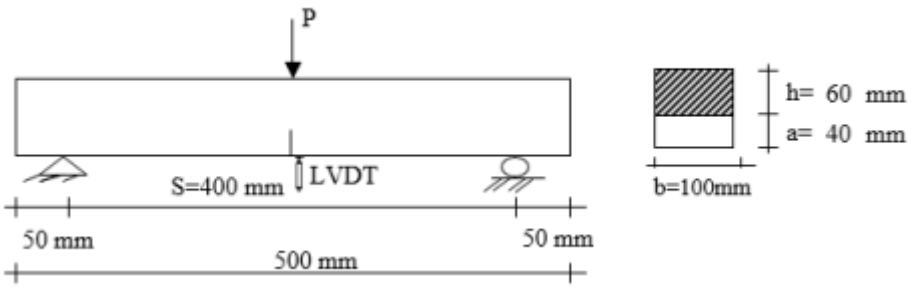
Tablo 5. Test yöntemleri ve numune boyutları

| Test | Numune | Ölçüler (mm) | Parametreler |
|---|---|---|---|
| Basınç | küp | h100 | $f_c$ (MPa) |
| Yarmada Çekme | küp | h100 | $f_{st}$ (MPa) |
| Eğilme | kiriş | 100x100x500 | $G_F$(N/m), $f_{flex}$ (MPa) |
| Su Emme | silindir | Ø100, h200 | k (%) |

$f_c$ =basınç dayanımı, $f_{st}$=yarmada çekme dayanımı, $G_F$ =kırılma enerjisi, $f_{flex}$ =eğilme dayanımı, k=su emme

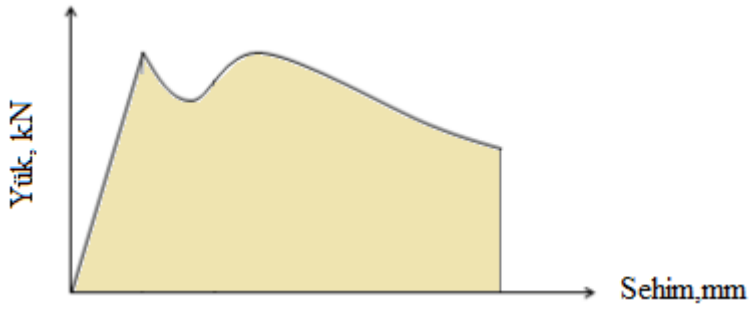
### 2.3 Deney Tekniği

Eğilme deneyleri 3 noktalı olarak 100x100x500 mm ebatlardaki kiriş numuneler üzerinde yapılmıştır. İlk olarak kiriş numunelerin ortasında genişliği 5 mm ve yüksekliği 40 mm olacak şekilde çentikler oluşturulmuştur. Böylece nuumunelerin etkin kesit alanı 100*60 mm olarak belirlenmiş ve kırılmanın istenen kesit bölgesinde gerçekleşmesi sağlanmıştır. Kriş numunelerin ortasındaki yerdeğiştirmeler 2 adet Doğrusal Değişken Yerdeğiştirme Transdüseri (LVDT) kullanılarak ölçülmüş ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Kararlı çatlak oluşumu için geri besleme değişkeni olarak Çatlak Ağzı Açılma Deplasmanı (CMOD) kullanılmıştır. Lif içermeyen yalın beton için yerdeğiştirme hızı 0.01 mm/dakika olarak belirlenmiştir. Çelik lif ve sentetik lif içeren betonlarda yerdeğiştirme hızı 0,5 mm sehime kadar 0,0175 mm/dakika sonrasında 4 mm sehime kadar 0,1 mm/dakika olarak uygulanmıştır. Yükleme 200 kN kapasiteli kapalı çevrimli ve deplasman kontrolü yapabilen bir cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde aynı yük için çatlak ağzı değiştirme deplasmanı ve sehim eğrileri elde edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 1'de verilmektedir. Deneylerden elde edilen yük-sehim eğrileri kullanılarak net eğilme dayanımları ve numunelerin kırılma enerjisi değerleri belirlenmiştir. Numunelerin kırılma enerjisi kiriş ortasındaki yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alan olarak tanımlanır ve şematik olarak Şekil 2'de verilmiştir.




Şekil 1. Eğilme deney numunesinin şematik gösterimi

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 2. Örnek yük sehim eğrisinin şematik gösterimi

Numunelerin kırılma enerjileri ($G_F$) RILEM TC 50-FMC'nin önerdiği denklem (1) ile hesaplanmıştır. Kırılma enerjileri 4 mm sehime kadar yük-sehim (yerdeğiştirme) eğrisinin altındaki alan kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu çalışma için nihai sehim 4 mm olarak belirlenmiştir.

$$G_F = \frac{W_0 + mg\frac{S}{L}\delta_s}{B(D-a)} \tag{1}$$

B, D, a, S, L ve m sırasıyla kirişin genişliği, derinliği, çentik derinliği, açıklığı, uzunluğu ve kütlesidir. $W_o$ yük-orta açıklık sapma eğrisi altındaki alandır, g yerçekimi ivmesidir ve $\delta_s$ kirişin belirtilen 4 mm sapmasıdır.

## 3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada farklı dayanımlara sahip çelik teller ve poliolefin sentetik lifler kullanılarak çelik tellerin ve sentetik lifin betonun eğilme altındaki davranışına etkileri araştırılmıştır. Lif içermeyen yalın beton ve lifli betonların basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi gibi mekanik özelliklerinin farklı lifler kullanılması ile değişimi incelenmiştir. Numunelerin basınç dayanımı EN 12390-3 standardına, yarma çekme dayanımları EN 12390-6 standardına, net eğilme dayanımları EN 12390-5 ve kırılma enerjisi değerleri ise RILEM TC 50-FMC'nin önerdiği denkleme göre belirlenmiştir. Ayrıca tüm karışımlar için su emme deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Betonların mekanik özellikleri ve su emme değerleri Tablo 6'da sunulmaktadır.

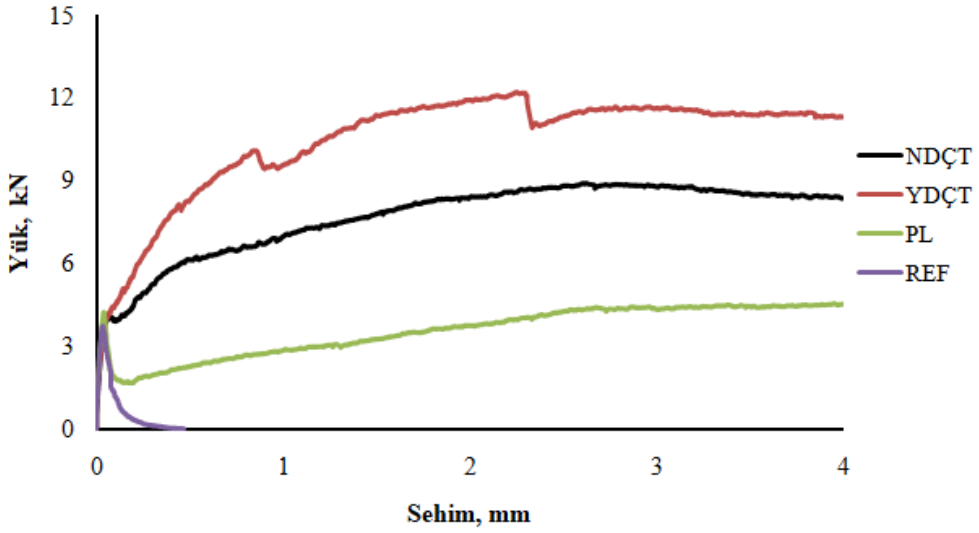
Tablo 6. Yalın ve lifli betonların mekanik özelikleri kırılma enerjileri ve su emme değerleri

| | REF | NDÇT | YDÇT | PL |
|---|---|---|---|---|
| Basınç dayanımı, (MPa) | 65,5 | 64,8 | 65,1 | 62,5 |
| Eğilme dayanımı, (MPa) | 6,24 | 14,86 | 20,37 | 7,61 |
| Yarmada çekme dayanımı, (MPa) | 5,97 | 11,12 | 12,42 | 7,97 |
| Kırılma enerjisi (N/m) | 65 | 5120 | 6982 | 2379 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Su emme, (%) | 3,62 | 3,56 | 3,33 | 3,36 |

Çalışma sonucunda, lif ilavesi ile taze haldeki tüm beton karışımlarının çökme değerlerinde bir miktar azalma olmuş ve betonların işlenebilirliği azalmıştır. Bu azalma poliolefin kökenli sentetik lif ilavesinde en belirgin olarak gerçekleşmiştir. Sertleşmiş beton özelliklerinde lif ilavesi ile betonların basınç dayanımı fazla değişmemiştir. Eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve özellikle kırılma enerjilerinde lif ilavesi ile önemli artışlar elde edilmiştir. Sentetik lif, normal dayanımlı çelik lif ve yüksek dayanımlı çelik lif ilavesi ile betonların eğilme dayanımı, lif içermeyen yalın betonun sırasıyla 1,2, 2,4 ve 3,3 katına ve yarma çekme dayanımları yalın betonun 1,3, 1,9 ve 2,1 katına ulaşmıştır. Yük- sehim grafikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3'de verilmiştir. Bu eğriler yardımı ile hesaplanan kırılma enerjisi değerlerinde ise lif içeren betonların yalın betona göre kırılma enerjileri yina aynı sıra ile 37, 79 ve 107 katına ulaşmıştır.




Şekil 3. Yalın ve lifli betonların yük-sehim eğrileri

Betonların geçirimlilik özelliklerini belirlemek için su emme testleri yapılmıştır. Lif ilavesinin betonların su emme özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Testlerde elde edilen tüm mekanik davranış ve su emme sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, betonun mekanik özelliklerini iyileştirmede lif ilavesinin oldukça etkili olduğu ve yüksek dayanımlı çelik tel kullanılarak daha geliştirilmiş mekanik özellikler elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Lif ilavesinin betonun su emme özelliğinde ise önemli bir etkisi görülmemiştir.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

-Lif ilavesi ile tüm beton karışımların yayılma değerlerinde azalma görülmektedir. Çelik lif içeren karışımlarda azalma poliolefin içeren karışıma göre daha azdır. Betonların işlenebilirliği dikkate alındığında hacimce aynı oranda (%1) içeren çelik lifler aynı oranda poliolefin life kıyasla

ISBN: 978-605-71156-5-2

daha iyi performans sergilemektedir. Çelik lifli karışımlarda yayılma değerinde azalma %7-8 iken poliolefin lifli karışımda azalma %25 mertebesindedir.

-Lif içermeyen referans yalın betona kıyasla hem çelik lifler içeren karışımların hem de poliolefin içeren karışımın basınç dayanımlarında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Bununla birlikte lifli betonların yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi değerlerinde yalın betona kıyasla çok belirgin artışlar elde edilmiştir. Lif kullanılması ile betonun basınç dayanımı dışındaki mekanik özellikleri önemli seviyede iyileşmektedir.

-Sentetik lif, normal dayanımlı çelik lif ve yüksek dayanımlı çelik lif ilavesi ile betonun eğilme dayanımı, lif içermeyen yalın betonun sırasıyla 1,2, 2,4 ve 3,3 katına, yarma çekme dayanımları yalın betonun sırasıyla 1,3, 1,9 ve 2,1 katına ulaşmıştır. Benzer şekilde kırılma enerjisi değerleri de yalın betonun sırasıyla 37, 79 ve 107 katına ulaşmıştır

-Poliolefin sentetik lif ve normal dayanımlı çelik tel içeren numunelerin yük-sehim eğrilerinde ilk çatlak sonrası dayanım değerleri düşmektedir. Bu düşme poliolefin içeren betonda normal dayanımlı çelik tel içeren betona kıyasla daha fazladır. Yüksek dayanımlı çelik tel içeren numunelerin yük sehim grafikleri incelendiğinde ilk çatlak sonrası dayanımları artmaya devam etmektedir. Bu durum yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin davranışının tipik bir göstergesidir. Hem normal dayanımlı hem de yüksek dayanımlı çelik lif içeren numuneler İlk çatlak oluştuktan sonra poliolefin lifli numunelere kıyasla daha iyi performans göstermektedir.

-Aynı narinlikte ve aynı hacimde kullanılan çelik tellerin dayanımındaki artışla betonların yarmada çekme, eğilme ve kırılma enerjisinde önemli artışlar olduğu görülmüştür. Çelik teller betondan sıyrılma veya kopma şeklinde beton içerisinde performans sergilemektedir. Çelik tellerin dayanımındaki artışın betonun mekanik özelliklerinin geliştirlmesinde önemli bir katkısı olduğu belirlenmiştir.

-Lif ilavesi ile betonların yalın betona göre su emme değerlerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Betonların su emme değerleri arasındaki dalgalanma lif ilavesi sonrası numunelerin kalıplara yerleştirilmesi süreçleri ile ilişkilendirilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKLAR**

Akcay, B., & Tasdemir, M. A. (2012). Mechanical behaviour and fibre dispersion of hybrid steel fibre reinforced self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 28(1), 287-293.

Caetano, H., Rodrigues, J. P. C., & Pimienta, P. (2019). Flexural strength at high temperatures of a high strength steel and polypropylene fibre concrete. Construction and Building Materials, 227, 116721.

Çelik, Z., & Bingöl, A. F. (2020). Fracture properties and impact resistance of self-compacting fiber reinforced concrete (SCFRC). Materials and Structures, 53(3), 1-16.

Choi, W. C., Jung, K. Y., Jang, S. J., & Yun, H. D. (2019). The influence of steel fiber tensile strengths and aspect ratios on the fracture properties of high-strength concrete. Materials, 12(13), 2105.

Guerini, V., Conforti, A., Plizzari, G., & Kawashima, S. (2018). Influence of steel and macro-synthetic fibers on concrete properties. Fibers, 6(3), 47.

Iqbal, S., Ali, I., Room, S., Khan, S. A., & Ali, A. (2019). Enhanced mechanical properties of fiber reinforced concrete using closed steel fibers. Materials and Structures, 52(3), 1-10.

Joshi, S. S., Thammishetti, N., & Prakash, S. S. (2018). Efficiency of steel and macro-synthetic structural fibers on the flexure-shear behaviour of prestressed concrete beams. Engineering Structures, 171, 47-55.

Karim, R., & Shafei, B. (2022). Investigation of Five Synthetic Fibers as Potential Replacements of Steel Fibers in Ultrahigh-Performance Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 34(7), 04022126.

Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Wu, Y. F., & Patnaikuni, I. (2018). Effect of macro-synthetic fibers on the fracture energy and mechanical behavior of recycled aggregate concrete. Construction and building materials, 189, 857-868.

Khan, M. Z. N., Hao, Y., Hao, H., & Shaikh, F. U. A. (2018). Mechanical properties of ambient cured high strength hybrid steel and synthetic fibers reinforced geopolymer composites. Cement and Concrete Composites, 85, 133-152.

Larsen, I. L., & Thorstensen, R. T. (2020). The influence of steel fibres on compressive and tensile strength of ultra high performance concrete: A review. Construction and Building Materials, 256, 119459.

Noushini, A., Hastings, M., Castel, A., & Aslani, F. (2018). Mechanical and flexural performance of synthetic fibre reinforced geopolymer concrete. Construction and Building Materials, 186, 454-475.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Picazo, Á., Alberti, M. G., Gálvez, J. C., Enfedaque, A., & Vega, A. C. (2019). The size effect on flexural fracture of polyolefin fibre-reinforced concrete. Applied Sciences, 9(9), 1762.

Ramesh, B., Eswari, S., & Sundararajan, T. (2021). Experimental and numerical studies on the flexural behaviour of GFRP laminated hybrid-fibre-reinforced concrete (HFRC) beams. Innovative Infrastructure Solutions, 6(1), 1-13.

Ríos, J. D., Leiva, C., Ariza, M. P., Seitl, S., & Cifuentes, H. (2019). Analysis of the tensile fracture properties of ultra-high-strength fiber-reinforced concrete with different types of steel fibers by X-ray tomography. Materials & Design, 165, 107582.

Yang, J. M., Min, K. H., Shin, H. O., & Yoon, Y. S. (2012). Effect of steel and synthetic fibers on flexural behavior of high-strength concrete beams reinforced with FRP bars. Composites Part B: Engineering, 43(3), 1077-1086.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Diyarbakır Hasan Paşa Hanı'nın Bellek Mekânın Sürekliliği Bağlamında İncelenmesi

*Fatma Azize Zülal AYDINOL*[1]
*Mehtap ÖZBAYRAKTAR*[2]

**Özet**

Hanlar yüzyıllardan beri sosyal, tarihsel ve kültürel olaylara sahne olan mekânların başında gelir. Çeşitli tarihsel olaylara sahne oldukları için toplumsal kimlik ve bellek izlerini taşırlar. Bu çalışmada, Diyarbakır'ın bellek mekânlarından biri olan Hasan Paşa Hanı'nın özelliklerinden yola çıkılarak, özgün mekânsal karakteri ve kimliğinin ortaya çıkarılması ve korunması, belleğin sürdürülebilmesi ve yaşanabilir hanlar için önerilerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Diyarbakır Hasan Paşa Hanı için yukarıda belirtilen amaç doğrultusunda öneriler geliştirebilmek için üç aşamalı bir çalışma yapılmıştır. Birinci aşamada, Diyarbakır ve Hasan Paşa Hanı ile ilgili bilgilere literatür taraması (basılı kaynaklar, tarihi haritalar ve fotoğraflar) yolu ile ulaşılmış ve bu veriler hanın mevcut durum değerlendirmesinde kullanılmıştır. İkinci aşama Hasan Paşa Hanı'nın yerinde gözlem yolu ile mevcut durum değerlendirmesinden oluşmaktadır. Üçüncü aşamada Hasan Paşa Hanı'nda 20 farklı dükkânda, yüz yüze görüşmeyi kabul eden 22 mal sahibi veya işletmeci ile bellek ve mevcut durum değerlendirme anketi yapılmıştır. Anketin hazırlanması sırasında Nihat Çolak'ın (2014) "Kent belleği mekânlar: Ankara pasajları" adlı yüksek lisans tezinden yararlanılmıştır. Kullanılan anketin modeli açık uçlu anket modelidir. Yapılan çalışmanın sonucunda, Diyarbakır'ın bellek mekânlarından biri olarak kabul edilen Hasan Paşa Hanı'nın tarihi yapısı ve dokusunun çok büyük ölçüde korunarak günümüze kadar ulaştığı ortaya çıkmıştır. Yapılan "bellek mekân anketi" sonucunda da hanın geçmişten gelen özelliklerinin hala hatırlandığını ve kolektif belleğin han var olduğu geleceğe aktarılabileceği ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler**: Bellek, Diyarbakır, Han, Mekân, Osmanlı

[1] Doktora Öğrencisi, Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık, azizeaydinol@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3463-6985
[2] Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık, mehtap.ozbayraktar@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4460-4968

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

İnsanlar duyu yetileri sayesinde dünya üzerinde birtakım şeyleri deneyimleyebilir ve bunlardan hoşlarına gidenleri belleklerine kaydederler veya hoşlanmadıklarını unutma yolunu seçerek hafızalarının en ücra köşelerine gönderebilirler. Hatırlamak ve unutmak karışık bir süreçtir ve bu konuda çalışmalar hala sürmektedir. Bellekteki süreçler hakkında düşünmek, felsefi düşüncelerin de ayrılmaz bir parçası olmuştur. Doktorlar, ilahiyatçılar, fizikçiler ve yazarlar da bellek araştırmalarına katkıda bulunmuş, teoriler ve çalışmalar üretmişlerdir (Draismaa, 2007: 20-87). Gündelik hayatta insanlar, belleklerinde bulunan bilgilerinin unutulma tehlikesine ve yanlış hatırlanabilme olasılığına karşı, kendilerince önemli buldukları şeyleri unutmamak, bunları aktarmak için yollar aramışlardır. Mağara duvarlarına yapılan figürler, işaretler ve daha sonraki süreçte yazının keşfedilmesi ile kâğıt ve kalem ile başlayan bu macera; günümüzde artık bilgisayarlarda yazı yazmaya kadar varmıştır. Bununla beraber Freud, yazı tahtası ve yazıyı insan belleğinin sonsuz kaydetme kapasitesi özelliğinin yanında sınırlı ve zayıf bulmuştur (Draismaa, 2007: 20-87). Bu konuda, deneysel psikoloji ile uğraşan psikologlar, dar ve tam anlamıyla anımsamanın çok ender karşılaşılan bir durum olduğundan bahsetmişlerdir (Connerton, 1999: 10-114). Buradan anlaşıldığı üzere hatırlamak, özellikle doğru hatırlamak zor bir eylemdir. Hooke, belleğin bir fikirler ambarı veya mahzeni olarak düşünülmesi gerektiğini söylemiştir. Ona göre; duyular, ambara izlenim dağıtan kolektörler veya taşıyıcılar gibi hareket ederken; ruh ise bunlara dikkat edip, sonradan kullanılmak üzere saklamakta ve korumaktadır (Draismaa, 2007: 20-87). Burada daha güvenilir "bedenleştirme pratiği" kavramı ile karşılaşılmaktadır. Örneğin anma törenleri beden pratiği denilince akla gelen ilk örneği oluşturur. Çünkü bu törenler, geçmişi ve geçmiş zamanda yaşanan olayların adeta temsil edici bir resmini çizerek hafızada tutulmasına yardımcı olmaktadır. Orada giyilen giysiler, hareketler, danslar vb. gibi şeyler taklit edilerek geçmiş hatırlanabilir (Connerton, 1999: 10-114). Yani beden hareketleri bilgilendiricidir ve geçmişin daha doğru hatırlanmasında önemli olabilir.

Kentsel bellek üzerine çalışan araştırmacılar ise hatırlamanın "mekâna bağlı" olduğu konusunda hemfikirdirler. Halbwacs için kolektif hatıralar mekânların içinde gizlidir (Halbwacs, 2017: 142). Assmann'a göre "hatırlama figürleri" mekânla ilişkilidir (Assmann, 2018: 58). Shudson belleğin; kolektif anıtlar, eserler ve işaretlerin içinde olduğunu belirtir (Shudson, 2007: 177-197). Nora'ya göre, hafızanın devam etmesi hafıza mekânlarının devamlılığına bağlıdır. Bunun için arşivler kurulmalı, belgeler toplanmalı ve törenler yapılmalıdır (Nora, 2006: 25). Mayo, kent ve mimarisinin insanların hatırlamasında önemli olduğunu ileri sürer (Mayo, 1996). Winter için bellek, yaşam öyküsüne sahip bellek mekânları içindedir. Bu mekânlar gruplar ve olaylarla bağlantılıdır (Winter, 2015: 321-343).

Araştırmacıların "hafıza mekânı", "bellek mekânı", "hatırlama figürü" olarak adlandırdıkları mekânlardan biri de Osmanlı İmparatorluğu döneminde inşa edilen hanlardır. Hanlar, yüzyıllardır konaklama ve ticaret mekânları olarak kullanılmış, ayrıca kendi dönemlerinin alışveriş merkezleri olarak işlevlerini sürdürmüştür. Bir sosyal mekân olarak, şehre uğrayan yerli veya yabancı insanların uğrak noktası olmuştur (Akabay, 2013). Farsça "ev" anlamına gelen "han" kelimesi arasta ve bedesten gibi Osmanlı çarşısının çekirdek mekânlarından biridir (Mortan ve

ISBN: 978-605-71156-5-2

Küçükerman, 2011: 116-117). Genel olarak kentlerin ulaşım sistemleri üzerinde, ticaret bölgelerinin önemli noktalarında, kentsel veya kırsal alanlarda konumlandırılmışlardır (Yalçıner, 1997: 753-754). Osmanlı'da iki tür han yapısı ile karşılaşılmaktadır. Birinci grup hanlar; kent merkezinde yer alır. Alt katları depolama amaçlıdır ve açık avlusunda hayvanlar gecelemektedir. Üst katlarda ise yabancılara konaklama imkânı sunulur. İkinci tür hanlar düşkün yurtlarıdır. Genel olarak iç avlulu, revaklı, dikdörtgen planlı, zemin katında pencere olmayan, iki katlı, erkekler için yapılmış yapılardır (Mortan ve Küçükerman, 2011: 116-117).

Bu çalışmada, Diyarbakır'ın bellek mekânlarından biri olan Hasan Paşa Hanı'nın özelliklerinden yola çıkılarak, özgün mekânsal karakteri ve kimliğinin ortaya çıkarılması ve korunması, belleğin sürdürülebilmesi ve yaşanabilir hanlar için önerilerin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## YÖNTEM

Diyarbakır Hasan Paşa Hanı için yukarıda belirtilen amaç doğrultusunda öneriler geliştirebilmek için üç aşamalı bir çalışma yapılmıştır. Birinci aşamada, Diyarbakır ve Hasan Paşa Hanı ile ilgili bilgilere literatür taraması (basılı kaynaklar, tarihi haritalar ve fotoğraflar) yolu ile ulaşılmış ve bu veriler hanın mevcut durum değerlendirmesinde kullanılmıştır. İkinci aşama, Hasan Paşa Hanı'nın yerinde gözlem yolu ile mevcut durum değerlendirmesidir. Bu değerlendirme sırasında hanın bulunduğu mahalle adı, parsel durumu, yerleşim özellikleri, planları, handaki dükkânların işlevlerine göre gruplandırmaları, yapım tarihleri, kat sayıları, yapım sistemleri, mekânlardaki değişimler ve onarımlar belirtilmiştir. Üçüncü aşamada, Hasan Paşa Hanı'nda 20 farklı dükkânda, yüz yüze görüşmeyi kabul eden 22 mal sahibi veya işletmeci ile bellek ve mevcut durum değerlendirme anketi yapılmıştır. Anketin hazırlanması sırasında çok sayıda çalışma içinden Nihat Çolak'ın "Kent belleği mekânlar: Ankara pasajları" adlı yüksek lisans tezinden yararlanılmıştır (Çolak, 2014). Kullanılan anketin modeli açık uçlu anket modelidir. Anket toplam üç bölümden oluşmaktadır: Birinci bölümde, ankete katılanların demografik özellikleri, ikinci bölümde, mekânın tarihi, üçüncü bölümde ise mekânın beğenilen ve beğenilmeyen bölümleri ile öneriler sorulmuştur.

### Diyarbakır Kent Merkezi, Ticaret Mekânları ve Tarihi Hasan Paşa Hanı

Diyarbakır, batısında Adıyaman ve Malatya; doğusunda Batman ve Muş; kuzeyinde Elazığ ve Bingöl; güneyinde ise Mardin ile çevrilidir (Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2013: 11-12). Tarihte "Diyarbekir", "Amid", "Amed", "Diyar- ı Bekir (6. Yy.) isimleri ile anılan kent; 1937 yılında "Diyarbakır" adını almıştır. 1507-1867 arasında Diyarbakır eyaletiyken; 1867-1923 yılları arasında "Diyarbakır vilayeti" olarak anılmıştır. 1924 yılında Türkiye Cumhuriyetinin vilayetidir (Sezen, 2017: 223). 2020 yılı TÜİK verilerine göre Diyarbakır'ın toplam nüfusu 1.783.431'dir (TÜİK, 2020).

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Şekil 1.** Türkiye içinde Diyarbakır ilinin konum haritası (Saygılı, 2020)

Diyarbakır'ın topoğrafya özellikleri incelendiğinde, kuzeybatıdan güneydoğuya doğru doğal bir eğimin var olduğu görülür. Dicle Vadisi'ne akan Dicle Nehri ile hem şehir, hem de bölge verimli topraklara sahiptir (Tuncer 2008: 23). Ortası çukur bir havzada yer alan Diyarbakır şehrinin kuzey bölümünü, doğu Anadolu'yu Güney Doğu Anadolu'dan ayıran Güney doğu Toroslar yer alır. Diyarbakır, Gevran (Ergani), Karahan, Kiki, Behremki ovaları ilin en büyük ovalarıdır (TÜİK, 2013: 11-12).

Eski adıyla Mezopotamya Bölgesi olarak bilinen bu bereketli toprakların üzerinde bulunan kent, birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Ergani ilçesine bağlı Çayönü Tepesi'nde yapılan kazılarda, bölgede ilk yerleşimin M.Ö. 9. binyıla uzandığını göstermektedir. Yine Ergani yakınlarındaki Grikihaciyan Tepesi'nde M.Ö. 5.000 yılları başına tarihlenen "Gelişkin Köy Evresi" ya da Kalkolitik Çağ olarak adlandırılan Halaf Kültürünün izleri görülmüştür. M.Ö. 3000 yıllarında bölgede egemen olan Hurriler' in İçkale arazisinde, savunma amaçlı kale işlevli ilk yapıları inşa ettiği kabul edilir (T.C. Diyarbakır Valiliği, 2017). Amed, sırasıyla M.Ö. 7. yüzyıl ortalarında İskitlerin, M.Ö. 625'te Medlerin ve M.Ö. 550'de Perslerin egemenliği altına girmiştir. M.Ö. 4. yüzyılda ise yörede Helenistik dönem başlamıştır. Kent ardından sırayla Asurlular, Urartular, Büyük İskender, Selefkoslar Partlar, Romalılar ve Sasaniler'in egemenliği altına girmiştir. M.S. 4. yüzyılda Roma'ya bağlanmıştır (T.C. Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü). Diyarbakır'ın Bismil İlçesi yakınlarında bulunan Üçtepe Höyük'te yapılan kazı çalışmalarında 2. binyıla ait olduğu tahmin edilen, Yeni Asur, Helenistik ve Roma İmparatorluk dönemlerine ait bir merkez bulunmuştur (Diyarbakır İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü). Kent, 7. yüzyılın ilk yarısına kadar Bizans idaresi altında yaşamış, 639 yılında İslam kent kimliği kazanmıştır. Hz. Ömer zamanında Arap Egemenliğine, 1085 yılında Selçuklu Devleti'ne dâhil olmuştur. Diyarbakır'ın Osmanlı Devleti'ne katılması 15 Eylül 1515'te Yavuz Sultan Selim döneminde gerçekleşmiştir (T.C. Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü).

Tarihi İpek Yolu (ticaret yolu) üzerinde konumlanan Diyarbakır, jeopolitik bir öneme sahiptir. Yıllar boyunca farklı medeniyet ve kültürden insanların uğrak noktası olmuş, göçler almıştır. Bu insan çeşitliliği ile bölge gelişmiş ve bir ticaret merkezi haline gelmiştir. Kente gelenlerin güvenli bir şekilde konaklaması ve rahat etmesi için hanlar, ticaretin daha çok gelişmesi içinde çarşılar yapılmıştır. Hanlar o dönemde çarşılardan farklı olarak iki türlü kullanılmışlardır: Konaklama yeri, çarşı veya ikisi bir arada olacak şekilde. Örneğin; bu çalışmanın ana konusunu oluşturan Hasan Paşa Hanı'nın zemin katı ticaret, birinci katı konaklama yeri olarak kullanılmıştır.

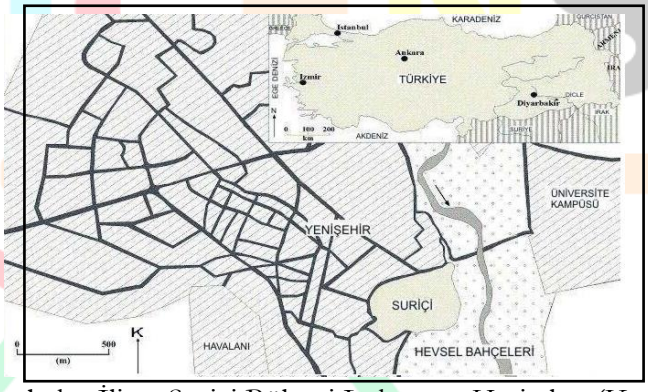
ISBN: 978-605-71156-5-2

Evliya Çelebi'nin seyahatnamesinde de bu belirtilmiştir. İpek Yolu'na uzanan yolda sistematik olarak bulunan hanlar belli mesafelerde kurulmuştur. Diyarbakır'ın ilçelerinde bulunan Hana Ahpar (Çınar), Hana Gevra (Ergani), Hana Telham (Eğil), Hana Çeper (Lice) bunlardan bazılarıdır. Diyarbakır'da bulunan hanlar daha çok merkez denilen eski Diyarbakır olarak bilinen (Amed), şimdiki Suriçi Bölgesi'nde bulunmaktadır. Bu ticaret mekânları o dönemlerde bu bölgeyi adeta bir ticari merkezi haline getirmişlerdir (Abakay, 2013).

**Şekil 2.** Diyarbakır Suriçi Bölgesi

**Şekil 3.** Diyarbakır Suriçi Bölgesi'nin Kuş Bakışı Görünümü[1]

Diyarbakır'da günümüze kadar gelmiş olan hanlar ve çarşılar olduğu kadar, yıkılan veya tamamen yok olanlar da vardır. Dicle Nehri'nin batı kıyısında, kentin güneydoğu kesiminde yer alan Suriçi Bölgesi'nde (Şekil 4.), Osmanlı döneminde 20 adet hanın bulunduğu söylenmektedir (Kavak, 2012: 30). Bunlardan sadece Çiftehan (Borsa Han), merkez bölgesi hanlardan Hasan Paşa Hanı, Deliller Hanı ve Sülüklü Han tarihi yapısını ve dokusunu koruyarak günümüze kadar ulaşmıştır (Tuncer, 2008: 16). Bunlardan bazıları turistik bir gezi mekânı olarak kafeleriyle, bazıları çeşitli esnafların işlettiği dükkânları ile kent içinde devamlılığını sürdürmektedir.




**Şekil 4.** Diyarbakır İli ve Suriçi Bölgesi Lokasyon Haritaları (Kavak, 2012)[2]

Kentte İbrahim Paşa Hanı, Tütün Hanı, Rüstem Paşa Hanı, Melek Ahmed Paşa Hanı, İpekoğlu Hanı, Han-ı Cedid, Kayseriye Hanı olarak bilinen hanlar zaman içinde yok olmuştur. Bu hanların bazıları 19.yüzyıla kadar gelmiş, bazıları Osmanlı döneminin son yıllarında veya Cumhuriyet'in ilk yıllarında yıkılmıştır (Abakay, 2013). Suriçi Bölgesi'nde yer alan Revaklı Çarşı (Sipahiler Çarşısı), Uzun Çarşı, Bakırcılar Çarşısı, Demirciler Çarşısı günümüze kadar gelmiş;

[1] www.tmo.gov.tr/Upload/Images/SubeHarita/Kultur/diyarbakirMerkez.pdf, 2018
[2] www.researchgate.net/publication/257419478_Sur_Ici_Diyarbakir_Tarihi_Binalarindaki_Silindirik_Kaya_Kolonlarin_Jeolojik_Incelemesi

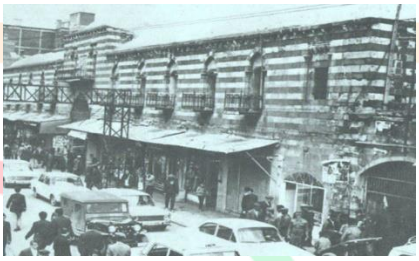
ISBN: 978-605-71156-5-2

Kürkçüler, Kaledibi, Kılınççılar, İplik çarşıları ise zamanla özelliklerini yitirmişler veya yok olmuşlardır (Tuncer, 2008: 16).

**Hasan Paşa Hanı Tarihi ve Genel Özellikleri**

Osmanlı dönemine ait tarihi bir yapı olan Hasan Paşa Hanı'nın yapımının başlanılması 1572-1575 yılları arasındaki dönemi kapsar. Yapımı başlatan Diyarbakır Valisi Sokullu'nun oğlu Vezirzade Hasan Paşa'dır. Fakat bu süreçte Vezirzade Hasan Paşa başka bir göreve atanınca, hanın tamamlanması dönemin valisi Osman Paşa dönemini bulmuştur. 1612 yılında Diyarbakır'a gelen Polonyalı gezgin Simeon, seyahatnamesinde bu han için "Çok sayıda oda ve 500 beygiri barındırabilen yer altında iki büyük ahır var" dediği bilinmektedir. Diyarbakır'a 17. yüzyılda gelen Evliya Çelebi ise Hasan Paşa Hanı ile ilgili olarak "Kale misali, gayet metin ve müstahkem bir yapı" olduğunu söylemiştir (T.C. Diyarbakır Valiliği, 2017). Seyyah Buckingham 1815-16 yılında, kentte yaklaşık on beş han ve kervansaray yapısının varlığından bahseder. Bunların başta gelenleri Hasan Paşa Hanı, Çifte Han, Yeni Han, Karakaş Hanı olmak üzere on bir tanesinin adını verir. "Hasan Paşa Hanı özellikle iyidir ve Urfa'daki hanların hepsinden daha üstündür. Onun alt katında, genellikle mısır çarşısı bulunur" diye bahseder (Buckingham, 1827). Bu ifadeden de anlaşılacağı üzere yapı o dönemlerde pazar işlevi görmüştür.

Hasan Paşa Hanı 19. yüzyılın ilk yarısına kadar Diyarbakır'ın en önemli hanlarından birisi olma özelliğini korumuştur. Hanın, Temmuz 1724 tarihli bir hüccetten Şehit Mehmed Paşa evkafından olduğu tespit edilmiş, 19. yüzyılda yan hasılatının Rağibiyye Medresesi'ne ait olduğu görülmüştür (Diyarbakır Vakıflar Genel Müdürlüğü, 2020). Etkileyici mimarisi ve tarihi önemi ile Hasan Paşa Hanı, Deliller Hanı'ndan sonra kentte bulunan ikinci büyük handır. Diyarbakırlılar için kentin özünü, Amed'i (eski Diyarbakır) ifade etmektedir. Daha önceleri konaklama ve ticari bir mekân olarak kullanılan Hasan Paşa Hanı, daha sonraları sırasıyla garaj (Bismil İlçe Garajı), sebze meyve hali ve son olarak farklı işletmelerin olduğu turistik bir gezi mekânı halini almıştır (Diyarbakır Vakıflar Genel Müdürlüğü, 2020).



**Şekil 5.** 1970'ler, Hasan Paşa Hanı[3]

**Hasan Paşa Hanı Mevcut Durum Değerlendirmesi Bulguları**

Hasan Paşa Hanı Diyarbakır'ın Sur İlçesi'nde, Dabanoğlu Mahallesi'nde bulunmaktadır. Yapının parsel durumu aşağıda verilmiştir (Tablo-1). Hasan Paşa Hanı, konum olarak Diyarbakır Suriçi Bölgesi'nin ortalarında, bölgenin kalbi olarak sayılabilecek bir noktada, iki ana akstan biri

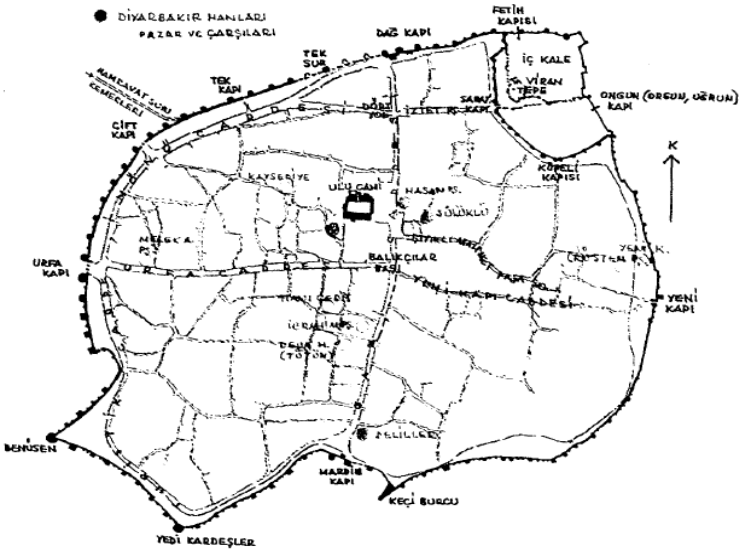
[3] www.diyarinsesi.org/foto-galeri/diyarbakirin-100-yildan-eski-resimleri-12886- p36.htm, 2018

ISBN: 978-605-71156-5-2

olan, Gazi Caddesi'ne paralel bir konumda yer almaktadır. Han'ın batısında tarihi Ulu Cami, güneydoğusunda diğer bir önemli han olan Sülüklü Han bulunmaktadır (Şekil 6.).

**Tablo 1 –** Hasan Paşa Hanı Parsel Durumu (www.parselsorgu.tkgm.gov.tr, 2019)

| | |
|---|---|
| **Taşınmaz Kimlik No:** | 3985055 |
| **İl:** | *Diyarbakır* |
| **İlçe:** | Sur |
| **Mahalle/Köy:** | Dabanoğlu |
| **Ada:** | 157 |
| **Parsel:** | 97 |
| **Tapu Alanı:** | 1.465,24 m2 |
| **Nitelik:** | Kargir<br>Hasan Paşa Hanı |
| **Pafta:** | 36 |




**Şekil 6.** Suriçi Bölgesi, Diyarbakır Hasan Paşa Hanı'nın Konumu (Tuncer, 1997)

2015 yılında Unesco Dünya Mirası Listesi'ne alınan Suriçi bölgesi, her geçen gün hem yerli hem de yabancı turistler tarafından daha çok ziyaret edilmektedir. Fakat gün geçtikçe popüler hale gelen bölgede yapılan yıkım ve yenileme çalışmalarındaki hatalardan dolayı bölgenin tarihi dokusu ciddi zarara uğramıştır. 2018 uydu görüntülerinde Hasan Paşa Hanı'nın bulunduğu Dabanoğlu mahallesinin büyük bir kısmının yıkılmış olduğu görülmektedir (Şekil 7.).

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Şekil 7.** Hasan Paşa Hanı, Uydu Görüntüsü (Google Earth, Aralık 2018)

**Şekil 8.** Hasan Paşa Hanı, Uydu Görüntüsü (Google Earth, Şubat 2021)

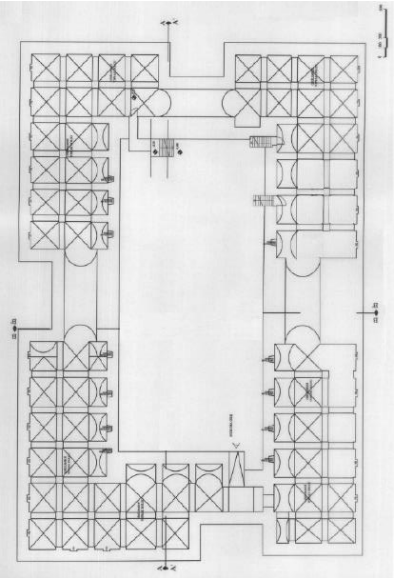
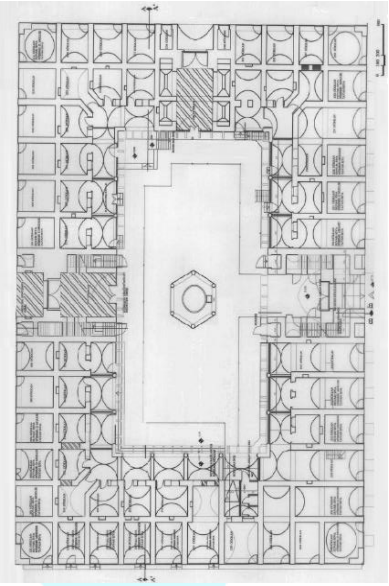
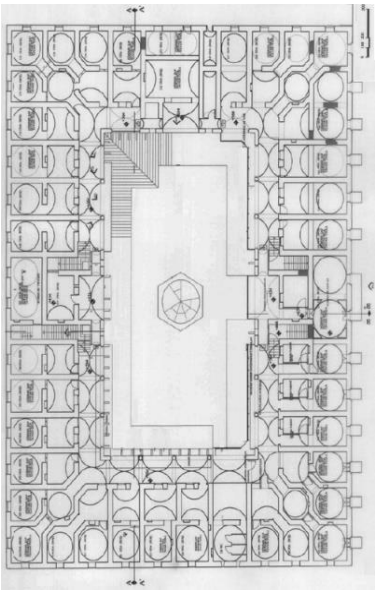
Hasan Paşa Hanı'nın mimari özelliklerine bakıldığında; yapının dikdörtgen bir plan şemasına sahip; avlulu, bodrum, zemin ve birinci kat olmak üzere üç kattan oluştuğu görülür. Kapalı alanı 3728 metre kare, revakların olduğu kısım 591 metre kare, avlu ise 500 metre karedir (Diyarbakır Vakıflar Genel Müdürlüğü 2020). Oldukça geniş olan avlunun ortasında altı adet sütundan oluşan ve üstü kubbeyle örtülmüş bezemesiz bir şadırvan bulunmaktadır (Şekil 9.).

**Şekil 9.** Hasan Paşa Hanı, Avlu ve Şadırvan, 2019

Hasan Paşa Hanı, Çiftehan (Borsa Han) gibi sütunları olan bir handır. Diyarbakır'da sadece bu iki handa sütun bulunmaktadır. Sütunlar avluya bakan kısımda yer almaktadır. Handa toplamda 22 adet sütun bulunmaktadır. Yarısı zeminde, bir diğer yarısı birinci kattadır (Kavak 2012: 30). Üst kata bağlantıyı sağlayan merdivenlerle inilen eyvanın sağında ve solunda ahır bölümüne açılan kapılar vardır (Tablo 2.).

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Tablo 2 –** Hasan Paşa Hanı Kat Planları (Diyarbakır Vakıflar Genel Müdürlüğü Arşivi, 2006) (2018'de çizimler revize edilmiştir.)

| Bodrum Kat Planı | Zemin Kat Planı | Birinci Kat Planı |
|---|---|---|
|  |  |  |

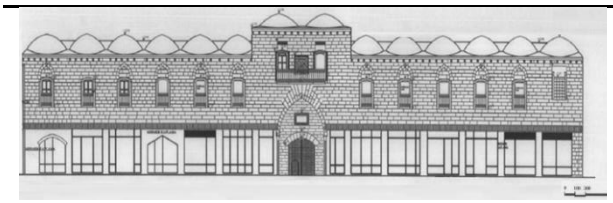
Hanın cephesinde yatay olarak iki renkli taş (kalker ve bazalt) sıralar kullanılmıştır. Bu da yapıyı olduğundan daha uzun göstermektedir. En üstte bulunan taş konsolların üzerine oturmuş bir silme yapıyı sınırlandırır. Alt katta bulunan odalar sivri kemerli revaklarla avluya açılır. Üst katta avluya doğru taşan konsollar bulunur. Üst katta revaklar ve bu revakların arkasında odalar yer alır (Şekil 10.), (Tablo – 3).

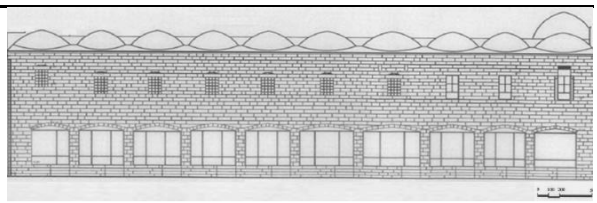
**Şekil 10.** Han'ın Avludan Görünüşü, Kullanılan Taşlar ve Silme, 2019

**Tablo 3 –** Hasan Paşa Hanı Kesit ve Cephe Görünüşleri (Diyarbakır Vakıflar Genel Müdürlüğü Arşivi, 2006) (2018'de çizimler revize edilmiştir.)

| Batı Cephesi | Kuzey Cephesi |
|---|---|

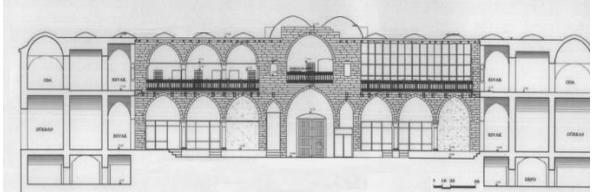
ISBN: 978-605-71156-5-2



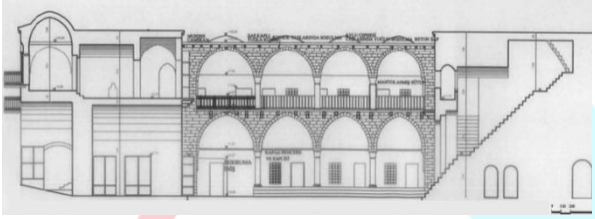


**AA Kesiti**

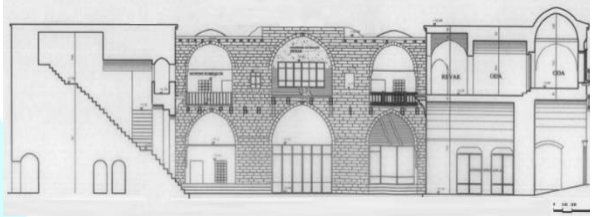
**A'A' Kesiti**



**BB Kesiti**



***B'B' Kesiti***



Basık kemerli bir kapıdan geçildikten sonra beşik tonozlu bir kısım gelir ve buradan avluya ulaşılır (Diyarbakırlılar Derneği, 2008), (Şekil 11.).

Hasan Paşa Hanı'nın doğu-güney cephelerinde ve giriş kapısında olmak üzere hanın geçmişine yönelik (ne zaman ve kim tarafından yapıldığı ile ilgili) bilgiler içeren kitabeler vardır (Diyarbakırlılar Derneği, 2008), (Şekil 12.).

**Şekil 11.** Batı Girişi, Basık Kemerli Kapı (solda) ve Yavru Kapı (sağda)[4]

**Şekil 12.** Batı Girişi ve Kitabe

Hasan Paşa Hanı'nda dükkânlar eskiden odalar olarak kullanılan bölümlerde faaliyetlerini sürdürmektedirler. Bazıları iki veya üç bölmeden, bazıları ise tek bölmeden oluşmaktadır. Tarihi Hasan Paşa Hanı, günümüzde çeşitli işletmelere ev sahipliği yapmaktadır. Han'da 65-70'e yakın dükkân bulunmaktadır. Kuyumcular Çarşısı'ndaki dükkânlar ile bu sayı 90'ı bulmaktadır. Bunlar kahvaltıcılar, restoranlar, kitapevi, çay evleri, kafeler, çeşitli eşya satan ve hizmet veren dükkânlar (oyuncak, kırtasiye elektrik-elektronik, matbaa), kuyumcular, bakırcılar ve antikacılardır. Ayrıca

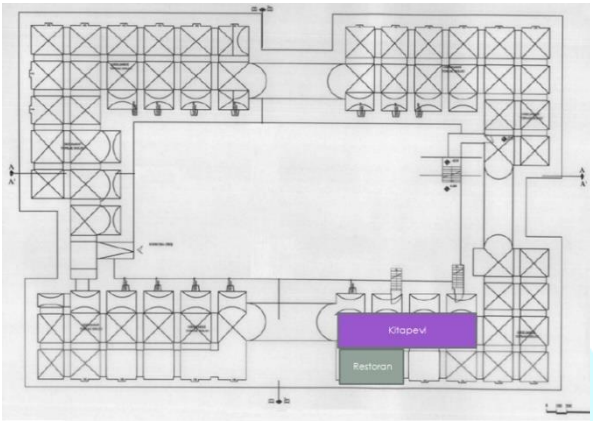
[4] www.diyarbakirlilardernegi.blogcu.com/diyarbakir-hanlari/398194, 2020

ISBN: 978-605-71156-5-2

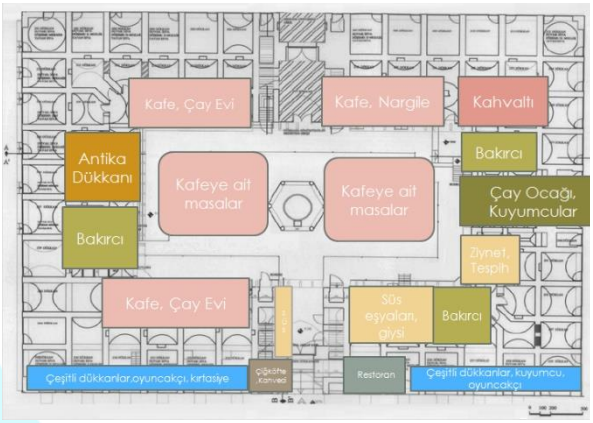
Kuyumcular Çarşısı ile bitişik nizamda olmasından dolayı, hem han içinde hem de Kuyumcular Çarşısı'nda gümüş ve altın satan dükkânlar mevcuttur (Tablo 4–5).

**Tablo 4 –** Hasan Paşa Hanı'nda bulunan dükkânların çeşitleri ve konumları (Diyarbakır Vakıflar Genel Müdürlüğü Arşivi, 2006), (İşlevler araştırmacılar tarafından işlenmiştir. Dükkân yer ve çeşitleri değişkenlik gösterebilir, 2018.)

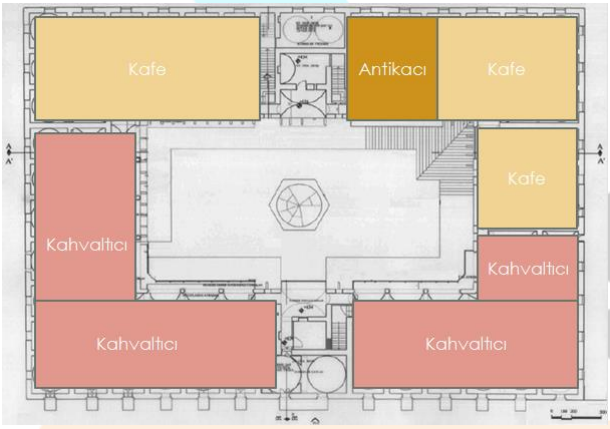
**Bodrum Kat**




**Zemin Kat**



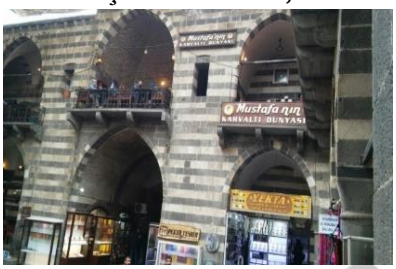

**Birinci Kat**




**Tablo 5 –** Diyarbakır Hasan Paşa Hanı'ndan Görünümler (Görseller Araştırmacılar Tarafından Çekilmiştir, 2018.)

ISBN: 978-605-71156-5-2

Han İçi ve Dükkânlar, 2018




Zemin Kat, İç Dükkânlar, 2018

Batı Cephesi, Dış Dükkânlar, 2018

Avlu ve Şadırvan, 2018

Zemin Kat, Dükkânlar, 2018

Bodrum Kat, Ensar Kitapevi, 2018

Birinci Kattan Hanın Görünüşü, 2018

Birinci Kat, Mustafa'nın Kahvaltı Dünyası, 2018

Hasan Paşa Hanı, 2005 yılında Diyarbakır Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan restorasyon projesinin Kültür Varlıkları Koruma Kurulu'nun onay vermesi ile özellikle çökme riski bulunan balkon ve çatılar başta olmak üzere, tarihi kimliğe uygun bir şekilde restore edilmiştir. Restorasyon projesinde çalışan ekip Muğla'dan gelmiştir. Restorasyonda Muğla'dan getirilen çeşitli malzemelerin karışımıyla hazırlanan horosan harcı kullanılmıştır. Bu harcın tercih edilme nedeni, yapının orijinal dokusuna uygunluğu ve uzun ömürlü oluşundan dolayı olmuştur. Yapının kimi

ISBN: 978-605-71156-5-2

bölümleri de silme denilen zımparalama işlemine tabi tutulmuştur (Diyarbakırlılar Derneği, 2008). Restorasyon çalışmaları kapsamında, handa çökme riski bulunan yerler oldukça, günümüzde de zaman zaman müdahale edilmektedir. Şekil 13.'de balkonların koruma altında olduğu görülmektedir.

**Şekil 13.** Hasan Paşa Hanı, 2016 (Diyarbakır Fotoğraf Kulübü (DİFSAK), 2019)

Öte yandan handa bulunan odaların kubbelerinde bulunan orijinal tuğla yapısı beton dökülerek yalıtılmaya çalışılmıştır (Diyarbakırlılar Derneği, 2008). Restorasyon sırasında, horosan harcı dökülerek bu kısımlar da örtülmüştür. Handa üst örtü bakımsızlıktan dolayı zaman içinde yok olmuştur. Günümüzde bir tente ile kapatılmıştır. Bu tente, kullanıcıları yaz aylarında sıcaktan korurken yağışlı kış aylarında da kısmen yağmur suyunun içeriye girmesine engel olmaktadır (Şekil 14.).

**Şekil 14.** Hasan Paşa Hanı, Hava Sirkülasyonu İçin Açılan Tente, 2016 (Diyarbakır Fotoğraf Kulübü (DİFSAK), Erişim 2019)

Yapılan yenileme çalışmalarından sonra, handaki dükkân sayısı artmıştır. Hem turistik bir gezi yeri hem de ticaret alanı olmuştur. Gün geçtikçe artan dükkân sayısı, kalabalığı ve insan çeşitliliğini de beraberinde getirmiştir. Handaki kirlilik seviyesi kullanıcı sayısıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Tarihi doku kimi zaman bozulma tehlikesi ile yeniden karşı karşıya kalmaktadır. Açılan dükkânların isim levhaları, ısıtma-soğutma için kullanılan klimalar, yapının dış cephesinde ve içinde hem çirkin bir görüntü oluşturmakta hem de duvarlara zarar vermektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Şekil 15.** Han İçi Dükkân, İç Cephede Klima Örneği, 2018

**Bellek Mekân Olarak Hasan Paşa Hanı, Mevcut Durum Değerlendirmesi Anketi Bulguları**

Hasan Paşa Hanı'nda kullanıcıların mevcut durum değerlendirmesi ve bellek çalışması için 20 farklı dükkânda, yüz yüze görüşmeyi kabul eden 22 mal sahibi veya işletmeci ile anket çalışması yapılmıştır[5].

Bu dükkânların bir kısmının girişi han içindeyken (%75), bir kısmına hanın batı cephesinden erişilebilmektedir (%25). Bu dükkânlar arasında; kahvaltıcı (2 adet), çay veya kahve dükkânı (4 adet), kitapevi (1 adet), elektronik malzeme dükkânı (2 adet), matbaacı (1 adet), antikacılar ve bakırcı (2 adet) bulunmakla birlikte daha fazla sayıda kuyumcu ve hediyelik eşya dükkânı da işletilmektedir. Anket üç bölümden oluşmaktadır. Demografik özelliklerin analiz edildiği ilk bölümde, dükkân çalışanlarına yaşlarını, cinsiyetlerini, eğitim durumlarını, mesleklerini, gelir durumlarını, mal sahibi veya işletmeci niteliklerini, çalışan sayısını ve mekânı ne kadar kullandıklarını anlamaya yönelik sorular yöneltilmiştir. Anketin ikinci bölümünde ankete katılanlara; Hasan Paşa Hanı'nın ilk yıllarına, kullanım alanlarına ve kullanıcılarına dair neler bildikleri sorulmuş; günümüzle bir karşılaşma yapmaları istenmiştir. Üçüncü bölümde ise çarşının beğenilen ve beğenilmeyen yönleri sorulmuş, bunlara dair ne tür öneriler getirdikleri irdelenmiştir. Beğenilen ve beğenilmeyen yönler ve önerilerin ortak noktaları bir araya getirilerek değerlendirilmiştir.

Ankete katılan işletmecilerin yaş grupları çeşitlidir: 26-40 yaş (7 kişi- %32), 41-55 yaş (7 kişi- %2), 56 ve üstü yaş grubu ( 6 kişi- %27), 18- 25 yaş ( 2 kişi- %9). Çoğunluğu ilköğretim (9 kişi- %41) ve lise (7 kişi- %32) düzeyinde eğitim almışlardır. Üniversite (5 kişi- %23) ve lisansüstü (1 kişi- % 4) eğitimi alanlar ise azınlıktadır. İşletmecilerin çoğunluğu erkektir (20 kişi- %91). 1501-3000 TL geliri olanlar çoğunluktadır (9 kişi- %41). 500 TL ve altı geliri olanlar (1 kişi- %5) ile 4500

[5] Görüşme tarihi: 27 Nisan 2018 Pazar, saat: 14.00.
(Dükkân isimleri ve görüşülen kişiler: Hasan Paşa Kahvecisi-Tarık Coşkun, Döviz Bürosu-Munis Yalman, Liberta Gümüş-Mehmet Ali Yaka, Kadayıfçıoğlu Kuyumculuk-Ferhan Kadayıfçıoğu, Bakır Ticaret-Selahattin Bakır, Zelal Hediyelik Eşya-Mehmet ve Zelal Kolalan, Ensar Kitap Kırtasiye-Muhammet Acar, Matbaa Dükkânı-Salih Evirgen, ZİN Hediyelik Eşya-Nuran Eryılmaz, Bakırcı Kemal-Kemal Alıncak, Çarşı Kuyumculuk-Süleyman Karayel, Kuyumcu Dükkânı-Selahattin Şengün.
(Diğer görüşülen kişiler kahvaltıcı, çeşitli antika, hediyelik eşya ve saraciye ürünleri satan, kuyumculuk dükkân çalışanları ve esnaflardır.)

ISBN: 978-605-71156-5-2

TL ve üzeri kazananlar ise (2 kişi- %9) azdır. Han'da işletmeci niteliğinde olan kullanıcılar çoğunluğu oluşturmaktadır (11 kişi- %59). 22 katılımcı ile yapılan anket ve 20 farklı dükkân incelemesi sonucuna göre; 2 dükkân 6 çalışana (%10), 2 dükkân 4 çalışana (%10), 3 dükkân 3 çalışana (%15), 6 dükkân 2 çalışana (%30), 7 dükkân 1 (%35) çalışana sahiptir. Bir ve iki çalışanı bulunan dükkânların çoğunlukta olduğu görülmüştür. "Kaç yıldır bu mekânı kullanıyorsunuz?" sorusuna en çok "6-15 yıl (13 kişi- %59)" cevabı verilmiştir. Bu durum dükkânların belli aralıklarla değiştiğini göstermektedir.

- **Bellek-Mekân Anketi Bulguları**

Anket çalışmasının ikinci bölümü olan mekânın tarihi ile ilgili olarak katılanların söyledikleri daha çok Hasan Paşa Hanı'nın geçmiş zamanlardaki kullanım bilgileri ile ilgili olmuştur. Söylenenler şu şekildedir:

- Bodrum Katta Hayvanların Barındığı
- Üst Katın Otel Olarak Kullanıldığı,
- Diğer Kullanım Şekillerinin Bismil İlçe Otogarı, Meyve ve Sebze Hali ve Kasap Olduğu,
- Handa Kuru Erzak Satan Toptancıların Olduğu,
- Esnafın ve Halkın Ekonomik Durumundan Dolayı, Önceleri Alışverişin Çok İyi Olmadığı,
- 2005'de Restore Edildiği, Dükkânların Sayısının Arttığı.

Anket çalışmasının üçüncü bölümü mekânın beğenilen ve beğenilmeyen bölümleri ile bunlara getirdikleri önerilerin sorulduğu kısımdır. Ankete katılan 22 kişinin Hasan Paşa Hanı ile ilgili olarak verdikleri cevaplar ortak bir paydada buluşturulmuş ve tabloda bir araya getirilmiştir (Tablo – 6).

**Tablo 6.** Dükkân İşletmecilerinin Hasan Paşa Hanı'nın Beğenilen-Beğenilmeyen Özellikleri Üzerine Görüşleri ve Önerileri (Anket bulguları, 2018)

| |
|---|
| **Beğenilen Özellikler** |
| • Tarihi bir değeri olması |
| • Etkileyici mimari yapısı |
| • Turistik bir yer olması, yerli ve yabancı turistlerin uğrak noktası oluşu |
| • Merkezi bir yerde olması |
| • Mekânın geçmişi hatırlatan atmosferi, otantik ve mistik bir havasının oluşu |
| • Esnafın sıcaklığı ve hoş sohbeti |
| • Çeşitlilik, farklı meslek gruplarından işletmecilerin oluşu, aranılan şeylerin kolay bulunuyor oluşu |
| • Kahvaltı mekânlarının oluşu |
| • İnsanların gelmesi, mekânın her zaman canlı oluşu |
| • Serin olması |
| • Kuyumcular Çarşısı ile bütünleşmesi |
| **Beğenilmeyen Özellikler** |
| • Fazla sayıda dükkânın oluşu |
| • Mekândaki kirlilik |
| • Restorasyonda, merdivenlerde iyileştirme çalışmalarının yapılmamış oluşu (Özellikle üst kattaki dükkân sahipleri veya işletmeciler şikâyetçi olmuşlardır.) |
| • Dış cephedeki bozukluklar ve düzensizlik |
| • Tuvaletlerin yetersizliği |
| • Bazı günler mekânın aşırı kalabalık oluşu |

ISBN: 978-605-71156-5-2

- Gazi Caddesi üzerindeki yol çalışmalarından dolayı zamanla asfaltın yükselmesi, girişi hanın batı cephesinden olan dış dükkânlar ile kot farkının oluşması (Özellikle dış tarafta bulunan dükkân sahipleri veya işletmecileri şikâyetçi olmuşlardır.)
- Dış cephe aydınlatmasının olmayışı
- Dükkân kiralarının yüksek oluşu
- Handaki kapı bekçilerinin maaşının düşüklüğü

**Öneriler**

- Kirliliğin giderilmesi, bunun için kullanıcıların bilinçli ve dikkatli olması, gerekli tedbirlerin alınması
- Tarihi dokunun korunması, gelecek nesillere aktarılması
- Dış cephede, özellikle batı cephesinde gözüken klima vs. gibi nesnelerin kaldırılması, bir düzenleme getirilmesi
- Gelen turistler için tercüman bulundurulması
- Masaların ve dükkânların azaltılması
- Kot farklarının giderilmesi
- Dış cephe aydınlatılmasının yapılması
- Çatıda, otomatik açılıp kapanabilen bir örtü sisteminin olması
- Avlu kısmının biraz daha genişletilmesi
- Turizm amaçlı kira desteğinin yıl boyunca verilmesi (12 ay boyunca turistlerin gelmemesinden dolayı)

## SONUÇ

Çalışmada elde edilen veriler ışığında Diyarbakır Hasan Paşa Hanı'nın mekânsal karakteri ve kimliği aşağıdaki şekilde ortaya konmuştur. Hasan Paşa Hanı'nın tarihi yapısını ve dokusunu koruyarak günümüze kadar ulaştığı literatür taraması ile edinilen bilgilerde vardır. Yapılan araştırma ile bunun doğruluğu saptanmıştır. Anket uygulamasında görüşülen kişilerin, han ile ilgili geçmişe yönelik söylediklerine bakıldığında, ortak anlam ve karşılıklarla hatırlandığı ortaya çıkmıştır. Bu da ancak kolektif olarak üretilen bir mekân kimliği ve kültürün oluştuğunu göstermektedir.

- Suriçi bölgesi 2015 yılında Unesco Dünya Mirası Listesi'ne alınmıştır. Bu durum yerli ve yabancı turist sayısını arttırmıştır. 2016'da Hasan Paşa Hanı'nın bulunduğu Dabanoğlu mahallesinin büyük bir kısmı yıkılmıştır, burada bulunan diğer tarihi yapılar da büyük zararlar görmüştür.
- Yapı dikdörtgen bir plan şemasına sahip avlulu, bodrum, zemin kat ve birinci kattan oluşur ve üç katlıdır.
- Oldukça geniş olan avlunun ortasında altı sütundan oluşan ve üstü kubbeyle örtülmüş bezemesiz bir şadırvan vardır.
- Hasan Paşa Hanı, Çiftehan (Borsa Han) gibi sütunları olan bir handır. Diyarbakır'da sadece Çiftehan (Borsa Han) ve Hasan Paşa Hanı'nda sütun bulunmaktadır. Sütunlar avluya bakan kısımdadır ve 22 adettir (Yarısı zeminde, bir diğer yarısı birinci katta).
- Merdivenle inilen eyvanın hem sağında hem de solunda ahır bölümüne doğru açılan kapılar bulunmaktadır.
- Avluya doğru açılan batı ve doğu eyvanın sağ ve solunda merdivenler bulunur. Üst katla bağlantıyı sağlayan merdivenler, girişin solunda ve karşısındadır.
- Yapı da iki renkli taş sıraları kullanılmıştır. Bu durum yapıyı olduğundan da uzun göstermektedir. Bunlar kalker ve bazalt taşlarıdır.
- Yapıyı en üstte taş konsolların üzerine oturmuş bir silme sınırlamaktadır.
- Alt katta bulunan odalar sivri kemerli revaklarla avluya açılmaktadır. Üst katta avluya taşan konsollar bulunmaktadır. Üst katta revaklar ve bu revakların arkasında odalar yer almaktadır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

- Odalarda kullanılan kapı ve pencere avluya olan bağlantıyı sağlar. Yapının batı kapısı içeriye doğru genişlemektedir. Basık kemerli bir kapıdan geçildikten sonra beşik tonozlu bir kısım gelmekte ve buradan avluya ulaşılmakladır.
- Hasan Paşa Hanı'nın doğu ve güney cephelerinde, ayrıca giriş kapısının üzerinde olmak üzere üç yerde hanın tarihi geçmişine yönelik (ne zaman ve kim tarafından yapıldığı) bilgiler veren kitabeler bulunmaktadır.
- Han'da 65-70'e yakın dükkân bulunmaktadır. Kuyumcular Çarşısı'ndaki dükkânlar ile bu sayı 90'ı bulmaktadır: Kahvaltıcılar, restoranlar, kitapevi, çay evleri, kafeler, çeşitli ziynet eşyası satan dükkânlar, kuyumcular, bakırcılar ve antikacılar.
- Kuyumcular Çarşısı ile bitişik nizamda olmasından dolayı, hem han içinde hem de Kuyumcular Çarşısı'nda gümüş ve altın satan dükkânlar mevcuttur.
- 2005 yılında özellikle çökme riski bulunan balkon ve çatılar başta olmak üzere yapı, tarihi kimliğe uygun bir şekilde restore edilmiştir. Yapının kimi bölümleri silme denilen bir zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Restorasyon çalışmaları kapsamında, handa çökme riski bulunan yerler oldukça, günümüzde de zaman zaman müdahale edilmektedir. Öte yandan handa bulunan odaların kubbelerindeki orijinal tuğla yapısı beton dökülerek yalıtılmaya çalışılmış; üst örtü bakımsızlıktan dolayı zaman içinde yok olmuş ve günümüzde bir tente ile kapatılmıştır.
- Yapılan restorasyon çalışmasından sonra, handaki dükkân sayısı artmış; hem turistik bir gezi yeri hem de ticaret alanı olmuştur.
- Handaki kirlilik seviyesi kullanıcı sayısıyla doğru orantılı olarak artmıştır.
- Dükkânların isim levhaları, ısıtma-soğutma için kullanılan klimalar hem duvarlara zarar vermekte, hem de hanın tarihsel kimliği ile uyumsuz bir görüntü oluşturmaktadır.

Hafızanın mekâna bağlı olduğu konusunda hem fikir olan araştırmacıların ışığında (Halbwacs 2017, Assmann 2018, Shudson 2007, Nora 2006, Mayo 1996, Winter 2015); Diyarbakır'ın bellek mekânlarından biri olan Hasan Paşa Hanı var olduğu sürece kolektif bellek de geleceğe aktarılabilecektir. Bu açıdan "Hasan Paşa Hanı bellek mekânı anketi" çarşının geçmişten gelen aşağıdaki özelliklerinin hala hatırlandığını ortaya çıkarmıştır. Anket yöntemiyle yapılan çalışma sonucunda, hanın görüşülenlerin belleklerinde geçen yıllara rağmen hala ortak bir anlam ve karşılıklarla anlatıldığı görülmüştür.

- Bodrum katta hayvanların barındığı, üst katı otel olarak kullanılan, kuru erzak satan toptancıların olduğu Hasan Paşa Hanı
- Meyve ve sebze hali olarak kullanılan Hasan Paşa Hanı
- Bismil İlçe Otoganı olarak Hasan Paşa Hanı
- Kasap olarak kullanılan Hasan Paşa Hanı

**Yaşanabilir Hasan Paşa Hanı İçin Öneriler**

Ankete verilen cevaplardaki beğenilen-beğenilmeyen yönler, mevcut durum tespiti ve literatür taraması sonuçları ile kişisel görüşler sentezlenerek aşağıda yaşanabilir bir Hasan Paşa Hanı için başlıca öneriler verilmiştir:

ISBN: 978-605-71156-5-2

- Hanın tarihi öneminden dolayı özellikle yenileme çalışmalarının yapının dokusuna uygun şekilde yapılması gerektiği önem arz etmektedir. Yapının korunumu kapsamında ele alınması gereken bu konu, Hasan Paşa Hanı'nda da tespit edilen parça kopmaları, çukurlaşma veya oyuklanma, siyah tabaka oluşumu, lekelenme ve çiçeklenme (tuz kristallenmesi) vb. gibi yapısal bozulmaları kapsar.
- Yine tarihi değer ve turizm açısından daha nitelikli hizmet vermesi adına han içinde zamana bağlı aşınmaların (özellikle merdivenlerdeki ve duvarlardaki taşlarda yüzey kaybı) giderilmesi gerektiği saptanmıştır.
- Han içindeki dükkân sayısı ya azaltılmalı ya da hem ziyaretçiye hem de esnafa bazı kurallar getirilmelidir. Bu sayede handaki kirlilik, kalabalık ve ses oranı azalacaktır.
- Gelen ziyaretçiler için tuvaletlerin yetersiz oluşuna çözüm olarak hem engelli hem normal ziyaretçiye uygun olarak tuvalet sayısı arttırılmalı ve temizliğine son derece önem verilmelidir.
- Handaki dükkân kiraları azaltılmalı ve handa çalışan bekçilerin maaşı arttırılmalıdır. Bu sayede esnafa da destek verilerek hanın güncel amaca uygun işlemesi sürdürülebilir olacaktır.
- Hasan Paşa Hanı'nın fiziksel bir mekânın ötesinde kentsel bellekte yer ettiğini söylemek mümkündür. Yapılacak her türlü iyileştirme çabası bu hassasiyet kapsamı gözetilerek yapılmalıdır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Abakay, M. Ali (2013). Diyarbakır Merkez Hanları Üzerine. Türkiye Yazarlar Birliği. Erişim tarihi: 10

Mart 2020, https://www.tyb.org.tr/diyarbakir-merkez-hanlari-uzerine-12107yy.htm/.

Buckingham, James Silk (1827). Travels in Mesopotamia. Henry Colburn, New Burlington Street, London.

Connerton, Paul (1999). Toplumlar Nasıl Anımsar?. Çev. Alaeddin Şenel. İstanbul. Ayrıntı Yayınları: 10-114.

Çolak, Nihat (2014). Kent Belleği Mekânlar, Ankara Pasajları. Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Başkent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Diyarbakırlılar Derneği (2008). Diyarbakır Hanları. Erişim tarihi: 1 Mayıs 2020, https://www.diyarbakirlilardernegi.blogcu.com/diyarbakir-hanlari/3981947/.

Diyarbakır Fotoğraf Kulübü (DİFSAK) (2016). Hasan Paşa Hanı Fotoğrafları. Erişim tarihi: 5 Nisan 2020.

Draismaa, Douwe (2007). Bellek Metaforları, Zihinle İlgili Fikirlerin Tarihi. Çev. Güral Koca. İstanbul. Metis Yayıncılık: 20-87.

Diyarbakır Vakıflar Genel Müdürlüğü (2016). Çizimler 2018'de revize edilmiştir. Erişim tarihi: 2019.

Hasan Paşa Hanı Parsel Durumu. Erişim tarihi: 15 Nisan 2018, https://www.parselsorgu.tkgm.gov.tr/.

Kavak, Orhan (2012). Sur İçi (Diyarbakır) Tarihi Binalarındaki Silindirik Kaya Kolonların Jeolojik İncelenmesi: 30, Erişim tarihi: 5 Mayıs 2021, http://www.researchgate.net/publication/257419478_Sur_Ici_Diyarbakir_Tarihi_Binalarindaki_Silindirik_Kaya_Kolonlarin_Jeolojik_Incelemesi/.

Mayo, James M (1996). The City Collective Memory: Historical Imaginary and Architectural Entertainment, Journal of Architectural Education. Erişim tarihi: 5 Ekim 2020, https://www.researchgate.net/publication/274807169/.

Mortan, Kenan ve Küçükerman, Önder (2011). Çarşı, Pazar, Ticaret ve Kapalıçarşı. 2. Baskı. İstanbul. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları: 116-117.

Nora, Pierre (2006). Hafıza Mekânları. Çev. M. E. Özcan. Ankara: Dost Yayınevi: 25.

Saygılı, Ramazan (2020). Konum Haritaları, Diyarbakır İlinin Konum Haritası. Erişim tarihi: 5 Ekim 2020, https://www.cografyaharita.com/haritalarim/4o-diyarbakir-ili-lokasyon-haritasi.png/.

ISBN: 978-605-71156-5-2

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Diyarbakır İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. Diyarbakır'ın Tarihçesi. Erişim tarihi: 4 Nisan 2019, https://www.diyarbakirkulturturizm.gov.tr/TR,56882/tarihce.html/.

T.C. Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü. Genel Bilgiler, Diyarbakır. Erişim tarihi: 4 Nisan 2019, https://www.tmo.gov.tr/Upload/Images/SubeHarita/Kultur/diyarbakirMerkez.pdf/.

T.C. Diyarbakır Valiliği (2017). Hasan Paşa Hanı. Erişim tarihi: 5 Ağustos 2020, https://www.diyarbakirkulturturizm.org/Yapit/Details/HANLAR/19/Hasan-Pasa-Hani/188/.

Tuncer, Cezmi (1997). Diyarbakır Vakıf Yapıları, Mahalleleri ve Dinsel Haritası (1511-1950). Erişim tarihi: 20 Nisan 2018, 16-23. https://www.acikerisim.fsm.edu.tr:8080/xmlui/handle/11352/737#sthash.i7xha5Rh.dpbs/.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2020). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, Diyarbakır Nüfusu. https://www.tüik.gov.tr/.

Uslu, Ayşe (2016). Hafıza ve Geçmişin Talebi Olarak Tarih Arasındaki Ayrım. ViraVerita. E-Dergi: 5. Erişim tarihi: 20 Nisan 2019, https://www.viraverita.org/e-dergi/3/hafiza-ve-gecmisin-talebi-olarak-tarih-arasindaki-ayrim/.

Yalçıner, Gamze (1997). Han. Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi. C.2. İstanbul. YEM Yayın: 753-754.

Winter, Jay (2015). Tarihçiler ve Bellek Mekânları. Zihinde ve Kültürde Bellek İçinde. Yay. Haz. P. Boyer ve J. V. Wertsch. Çev. Y. Aşçı Dalar. 1. Baskı. İstanbul. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları: 321-343.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Prediction of Heart Failure Disease with a Proposed Method Based on Deep Neural Networks

*Gaffari ÇELİK*[1]

**Abstract**

Heart failure is a very serious disease that can be seen at almost any age and can result in death if early measures are not taken. Different causes appear to be effective in this disease. It has been seen that extremely successful results have been obtained in the diagnosis of heart failure disease with the increasing number of data and advances in computer science in recent years.

In this study, a deep neural networks (DNNs) based architecture is proposed for the detection of heart failure disease. In addition, performance analysis was performed using different Machine learning techniques such as decision trees, random forest, XGBoost classification, support vectors machine and Gradient boosting machines. Accuracy, precision, sensitivity, F1 and confusion matrix techniques were used for performance analysis. Two different applications were carried out according to the use of age and gender characteristics. In the first application where all the features in the dataset were used, the proposed DNNs architecture achieved the highest performance with a success rate of 90.22% according to the accuracy metric. Similarly, it showed the highest performance with 0.90 according to precision, sensitivity and F1 metrics. According to the proposed architecture, accuracy, precision, sensitivity and F1 metrics, in a second application in which age and gender characteristics were not used, it was observed that it provided the best success with the rates of 90.76%, 0.90, 0.91 and 0.91, respectively. In addition, when the performances of the methods were examined according to the confusion matrix, it was observed that the proposed architecture showed a higher performance compared to the other methods. At the same time, it was observed that there was a general increase in the performance of the methods when age and gender characteristics were not used.

**Keywords:** Heart Failure, Machine Learning, Deep Neural Networks, Support Vector Machine, Random Forest Algorithm, Confusion Matrix

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Bilgisayar Tek. Bölümü, Orcıd: 0000-0001-5658-9529

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1. Introduction

Heart failure (HF), high jugular vein pressure and peripheral edema may be accompanied by symptoms; It is a clinical syndrome consisting of symptoms such as shortness of breath, ankle swelling, and fatigue cardinal. It is caused by a structural functional abnormality of the heart that results in elevated intracardiac pressures and inadequate cardiac during exercise at rest. Determining the etiology of the underlying cardiac dysfunction is imperative in the diagnosis of HF, as the specific pathology may determine subsequent treatment. HF most commonly results from myocardial function, which is systolic, diastolic, or both. However, pathology of the pericardium, valves, endocardium, heart rhythm, and conduction abnormalities can also cause HF (McDonagh et al., 2021: 14). In addition, HF can be the main stage of high disability, mortality and various cardiovascular diseases (Huang et al., 2014: 1).

This disease, which is frequently seen in the elderly, is spreading rapidly around the world and constitutes an important public health problem. HF is estimated to occur between 1% and 2% of adults, and 10% or more in persons aged 70 years and older (Ammenwerth et al., 2018: 1). The World Health Organization (WHO) recommends preventive measures to control mortality rates and record the number of patients (Sanni & Guruprasad, 2021: 1).

Since 1980, the American College of Cardiology (ACC) and the American Heart Association (AHA) have translated scientific evidence into clinical practice guidelines (guidelines) with recommendations for improving cardiovascular health. Based on systematic methods for evaluating and classifying evidence, these guidelines provide a cornerstone for quality cardiovascular care (Yancy et al., 2017: 2). Based on clinical features, patients are divided into four stages, from cardiovascular risk factors alone to heart failure, development of refractory end-stage heart failure, and final death: Stage A, stage B, stage C, and stage D. Disease severity increases from A to D. The ACC/AHA guideline has been universally accepted worldwide (Bozkurt, 2018: 4-5). Heart failure progression is difficult to predict based on the presentation of clinical and genetic features (Makavos et al., 2019: 12-13). The disease can only stay in the same period for a certain period of time, then progress and cannot be reversed. According to the stages of heart disease, there are two important periods of intervention: prevention of progression from stage A to stage B and prevention of progression of stage B to stage C. Early detection of this disease and accurate diagnosis of heart failure stages form the basis of ideal treatment outcomes. However, the lack of a simple and effective progressive diagnosis model of heart failure makes it difficult to diagnose heart failure clinically. This reduces the rate of rapid progression and control of heart failure (Li et al., 2019: 1). Therefore, it is very important to establish a real-time and dynamic heart failure automatic staging model.

Machine learning (ML) and artificial intelligence models are emerging as important components of medicine in improving diagnosis and risk stratification (Smole et al., 2021: 1). With these models and deep learning methods, which are the sub-branch of ML, they have shown impressive performance in medical imaging analysis and interpretation (Lakhani & Sundaram, 2017: 6). They also generate risk scores to predict heart failure, cardiac deaths, and certain diseases

ISBN: 978-605-71156-5-2

(Mpanya et al., 2021: 1). Machine learning has recently been proposed as a useful tool to improve disease prediction and progression (Tsay & Patterson, 2018: 3-4).

Various studies on heart disease have been conducted using ML algorithms. Using the logistic regression model for heart disease prediction, Younas achieved an accuracy of 86.89% (Ravikumar & Bhavani, 2021: 5). In the study by Shah et al., heart diseases were predicted using different machine learning algorithms (Guruprasad et al., 2021: 6). For the prediction of heart disease, Reddy M et al. (Praveen Kumar Reddy et al., 2019: 2) used the decision tree algorithm, and in another study, the random forest algorithm (Pal & Parija, 2021: 4-5).

## 2. Method

In this study, a deep neural networks (DDNs) based method was developed for heart failure prediction and its performances were evaluated with current machine learning algorithms. In the literature, decision trees, random forest, XGBoost Classification, support vector machines (SVM) and Gradient Boosting algorithms, which are the current architectures of machine learning, have been used.

### 2.1. Decision Trees (DT)

Decision trees can be applied to both regression and classification problems; It is one of the non-parametric supervised learning algorithms capable of controlling nonlinear relationships between features and classes (A & Homayouni, 2021: 2) (Ibrahim et al., 2020: 3). DT is a tree-based hierarchy of rules that repeatedly divides the input data into smaller ones. The splitting operation is based on a set of threshold values defined at each of the internal nodes in the tree, and the internal nodes split the input data from the root node to child nodes, and child nodes to other child nodes (A & Homayouni, 2021: 2). In this way, the input data is sorted through the sequential binary subdivision, at the end of the nodes called leaf nodes or leaves (Maxwell et al., 2018: 2).

### 2.2. Random Forest (RF)

The random forest algorithm is a classification algorithm in which multiple DTs are used to overcome the shortcomings of a single decision tree. Each tree is a combination of tree estimators in which each tree depends on the values of a randomly sampled vector and all trees in the forest have a similar distribution. With this method, the majority vote method is used to assign a final class label, as many trees are used to solve problems related to handling large numbers of variables in the model. The training of each tree is limited to its subsets. Although the combination of reduced variable count and training data reduces the performance of each tree, there is a smaller correlation between trees, making it safer for the community as a whole. The generalization error in RF depends on the strength of each tree in the forest and the correlation between them(Jin et al., 2020: 1-2).

ISBN: 978-605-71156-5-2

### 2.3. XGBoost Classification

XGBoost is one of the augmented tree algorithms that adopts the gradient boosting principle. Compared to other gradient boosting algorithms, XGBoost algorithm achieves higher performance by using a more regular model to control overfitting of data (Ibrahim et al., 2020: 4). At the same time, this algorithm is very flexible and supports user-defined objective functions and evaluation functions, where the cost function is second-order differentiable. It also supports parallel processing to reduce computation time and controls the complexity of the model by adding a regularization term to the cost function. With the regularization term, it reduces the variance of the model and avoids the problem of overfitting (Liu et al., 2022: 3).

### 2.4. Support Vector Machines (SVM)

Support vector machine (SVM) is an extremely popular supervised machine learning method mainly used for classification and regression tasks (Barik et al., 2020: 2)(Nti et al., 2020: 4). Trying to find the highest optimal boundary between two parallel planes, this algorithm is designed to determine the boundary of a linear class (Maxwell et al., 2018: 7). SVM methods can be used to extract the best feature map from the preprocessed dataset. Using the square of the weight of the features defined by SVM, log2 n features are selected from n features. This algorithm can be used as a linear separator embedded between multiple mixtures of data in multidimensional environments (Ponmalar & Dhanakoti, 2022: 3).

### 2.5. Gradient Boosting

Gradient boosting is a powered algorithm for classification and regression problems derived from the combination of Gradient Descent and Boosting. It involves the prospective deployment of a community model (Ibrahim et al., 2020: 4). In these methods, the learning is repeatedly adapted to new models to provide a more accurate estimate of the input data. The main goal is to create new base trainers that will be maximally correlated with the negative gradient of the cost function associated with the entire community. The cost functions of the model for training can be chosen randomly (Natekin & Knoll, 2013: 1).

### 2.6. Recommended DNN Architecture

Recently, in parallel with the development of deep learning, the use of deep neural networks (DNN) has become widespread (R. Xu et al., 2022: 1). DNN, which attracts a lot of attention in the field of computer science, is one of the nonlinear supervised learning methods with multiple hidden layers. With this method, very high successes have been achieved in the field of classification and regression (Wei et al., 2022: 5).

In this study, a DNN-based method is proposed for the prediction of heart failure disease. This method consists of 4 consecutive dens layers as shown in Fig.1. It has a structure that includes 24 cells in the first layer, 48 cells in the second layer, 96 cells in the third layer, and one cell for prediction in the last layer. After the first two layers, LeakyRELU and Dropout (0.2) layer are used as activation, and after the last layer, the sigmoid activation function is used. The LeakyRELU

ISBN: 978-605-71156-5-2

activation function is expressed mathematically in Eq. 1 (B. Xu et al., 2015: 2), while the Sigmoid activation function is expressed mathematically in Eq. 2. (Langer, 2021: 2).

$$f(x) = max\ (ax, x) \tag{1}$$

Here a takes values between 0 and 1.

$$\sigma(x) = 1/(1 + exp\ (-x)), x\epsilon R \tag{2}$$

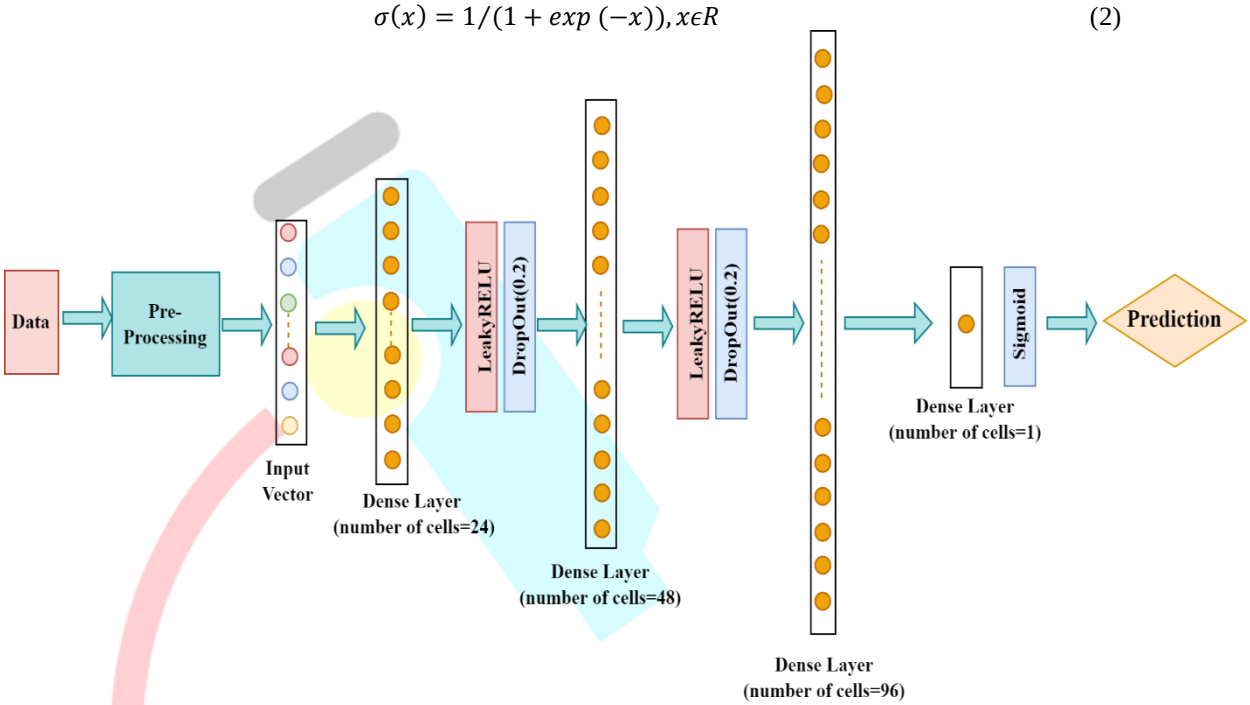



Figure 1. Proposed DNN architecture

In addition, for the optimization of the architecture, the education of the architecture was provided with the Adam optimization algorithm and the binary_crossentropy cost function. Cost function of the proposed architecture (Ho & Wookey, 2020: 2):

$$L_{BCE} = -\frac{1}{n}\sum((y_i . log(\hat{y}_i) + (1 - y_i). log\ (1 - \hat{y}_i) \tag{3}$$

Here $y$ is the actual value, $\hat{y}$ is the predictive value, and n is the number of samples.

## 3. Material

In this study, a dataset called heart failure was used (Fedesoriano, 2021: 1). A dataset that was created by combining different datasets that had not been merged before was used. This dataset was obtained by combining five different heart datasets with 11 common features. The features in the data set and the values of the features are given in Table 1. There are 918 samples in the dataset, including 508 heart failure patients and 410 healthy.

Table 1. Characteristics in the heart failure dataset and their values

| Feature Name | Definition | Value |
|---|---|---|
| Age | Patient's age | Between 28 and 77 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | | |
|---|---|---|
| Sex | Patient's gender | [M: Male, F: Female] |
| ChestPainType | Chest pain type | [TA: Typical Angina, ATA: Atypical Angina, NAP:Non-Anginal Pain, ASY: Asymptomatic] |
| RestingBP | Resting blood pressure [mm Hg] | Between 0 and 200 |
| Cholesterol | Serum cholesterol [mm/dl] | Between 0 and 603 |
| FastingBS | Fasting blood sugar | [1: if FastingBS > 120 mg/dl, 0: else] |
| RestingECG | Resting electrocardiogram results | [Normal: Normal, ST: with ST-T wave abnormality (T-wave inversions and/or ST elevation or >0.05 mV depression), LVH: Indicates probable or definite left ventricular hypertrophy according to Estes criteria] |
| MaxHR | Maximum achieved heart rate | Between 60 and 202 |
| ExerciseAngina | Exercise-induced angina | [Y: Yes, N: No] |
| Oldpeak | The numerical value measured in depression | Between -2.6 and 6.2 |
| ST_Slope | Peak exercise ST segment slope | [Up: Curved Up, Flat: Straight, Down: Curved Down] |
| HeartDisease | Illness status | [1: heart disease, 0: normal] |

Some sample records found in the heart failure dataset are given in Table 2. When the data is examined, it is seen that some features include non-numeric (categorical) features. Since machine learning algorithms work correctly on numerical data, categorical information is converted to its numerical equivalents in the preprocessing stage.

Table 2. Some sample records in the heart failure dataset

| Age | Sex | ChestPain Type | Resting BP | Chole sterol | Fasting BS | Resting ECG | Max HR | Exercise Angina | Old peak | STSlope | Heart Disease |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | M | ATA | 140 | 289 | 0 | Normal | 172 | N | 0.0 | Up | 0 |
| 49 | F | NAP | 160 | 180 | 0 | Normal | 156 | N | 1.0 | Flat | 1 |
| 37 | M | ATA | 130 | 283 | 0 | ST | 98 | N | 0.0 | Up | 0 |
| 48 | F | ASY | 138 | 214 | 0 | Normal | 108 | Y | 1.5 | Flat | 1 |
| 54 | M | NAP | 150 | 195 | 0 | Normal | 122 | N | 0 | Up | 0 |
| 37 | F | NAP | 130 | 211 | 0 | Normal | 142 | N | 0 | Up | 0 |
| 58 | M | ATA | 136 | 164 | 0 | ST | 99 | Y | 2 | Flat | 1 |

## 4. Findings and Discussion

Experimental studies for the determination of heart failure disease were carried out on the Python programming language platform. Machine learning and Deep neural networks (DNN) methods were used to determine the disease. The dataset used for training methods and testing is 80% for training and 20% for testing. Accuracy, precision, precision and F1 metrics were used to evaluate the performance of the models. These metrics are (Wang et al., 2020: 7):

$$\text{Accuracy}=\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}*100\% \quad (4)$$

$$\text{Precision}=\frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

$$\text{Sensivity}=\frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

$$\text{F1}=2*\frac{Precision*Sensivity}{Precision+Sensivity} \quad (7)$$

True Positive(TP): It means patient to patient.

True Negative(TN): It means not sick to those who are not sick.

False Positive (FP): It means sick to someone who is not sick.

ISBN: 978-605-71156-5-2

False Negative(FN): It means that the sick person is not sick.

Confusion matrix, correctly classified classes TN and TP; FN and FP can be defined as misclassified classes (Ibrahim et al., 2020: 5).

First, heart failure classification was made using all features in the dataset. The obtained results are presented in Table 3. When the results in Table 3 are examined, it is seen that the proposed DNN architecture shows the best success with 90.22% accuracy and 0.90 ratio in other metrics.

Table 3. Performances of methods used for detection of heart failure disease using all features

| Method | Accuracy (%) | Precision | Sensivity | F1 |
|---|---|---|---|---|
| DT | 79.34 | 0.79 | 0.79 | 0.79 |
| RF | 86.41 | 0.86 | 0.86 | 0.86 |
| XGBoost | 84.23 | 0.84 | 0.84 | 0.84 |
| SVM | 89.13 | 0.89 | 0.89 | 0.89 |
| Gradient Boosting | 84.78 | 0.84 | 0.84 | 0.84 |
| Proposed (DNN) | 90.22 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |

The results of the application made by subtracting age and gender characteristics are given in Table 4. When these features are removed and the findings obtained for the prediction of heart failure disease are examined, the proposed architecture provides the highest performance with 90.76% accuracy, 0.90 accuracy and 0.91% in other metrics compared to other architectures. At the same time, the results obtained without age and gender characteristics were higher than the first application in all methods except the SVM method.

Table 4. Performances of the methods used for the detection of heart failure disease without age and gender characteristics

| Method | Accuracy (%) | Precision | Sensivity | F1 |
|---|---|---|---|---|
| DT | 80.97 | 0.80 | 0.81 | 0.81 |
| RF | 86.95 | 0.87 | 0.86 | 0.86 |
| XGBoost | 89.13 | 0.89 | 0.89 | 0.89 |
| SVM | 88.58 | 0.88 | 0.88 | 0.88 |
| Gradient Boosting | 88.58 | 0.88 | 0.88 | 0.88 |
| Proposed (DNN) | 90.76 | 0.90 | 0.91 | 0.91 |

According to the confusion matrix performance evaluation, the success status of the methods is given in Figure 2. When the findings obtained according to the test data are examined, we can say that the suggested and SVM techniques have shown the best success by predicting 98 patients correctly. At the same time, the proposed method showed the highest performance by correctly estimating 69 non-patient records.

ISBN: 978-605-71156-5-2

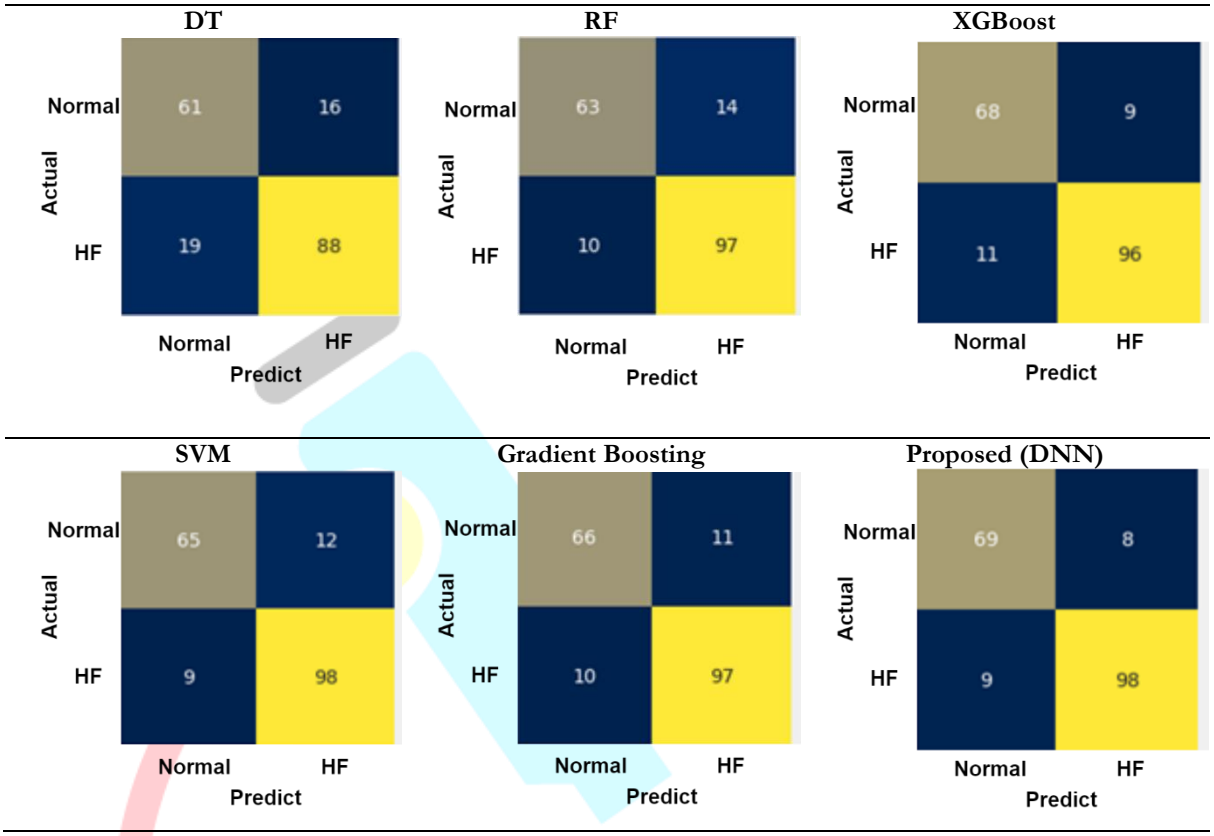



Figure 2. Confusion matrix results for heart failure prediction of methods by test set

## 5. Conclusion

In this study, a study was carried out for the detection of Heart failure disease, which is rapidly spreading around the world. A dataset consisting of a combination of five different datasets was used. In this dataset, which was created according to 11 characteristics, there are a total of 918 records, 508 patients and 410 healthy. For the diagnosis of heart failure, a deep neural network (DNN)-based architecture has been proposed, as well as the use of machine learning techniques, which are frequently used in the literature.

Heart failure estimation was made by using all features in the dataset and by performing two different applications without using age and gender features. According to the architectural accuracy metric recommended in the study using all features, 90.22%; According to the precision, sensitivity and F1 metrics, it showed the highest performance compared to other architectures with a ratio of 0.90. According to the accuracy, precision, sensitivity and F1 metrics, the study performed by removing age and gender characteristics showed the best success with the rates of 90.76%, 0.90 and 0.91, respectively. At the same time, when the performances of the methods were examined according to the Confusion matrix, the proposed DNN and SVM methods predicted 98 out of 107 patients correctly at the highest rate; In addition, it was observed that the proposed method correctly predicted 69 of 77 healthy individuals and achieved the best success compared to other methods. In addition, it has been observed that there is a general increase in performance in architectures by removing age and gender characteristics.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**References**

A, P. D., & Homayouni, S. (2021). Bagging and Boosting Ensemble Classifiers for Classification of Comparative Evaluation.

Ammenwerth, E., Modre-Osprian, R., Fetz, B., Gstrein, S., Krestan, S., Dörler, J., Kastner, P., Welte, S., Rissbacher, C., & Pölzl, G. (2018). HerzMobil, an integrated and collaborative telemonitoring-based disease management program for patients with heart failure: A feasibility study paving the way to routine care. JMIR Cardio, 2(1), 1–12. https://doi.org/10.2196/cardio.9936

Barik, S., Mohanty, S., Rout, D., Mohanty, S., Patra, A. K., & Mishra, A. K. (2020). Heart Disease Prediction Using Machine Learning Techniques. Lecture Notes in Electrical Engineering, 665, 879–888. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5262-5_67

Fedesoriano. (2021). Heart Failure Prediction Dataset. https://www.kaggle.com/fedesoriano/heart-failure-prediction

Guruprasad, S., Mathias, V. L., & Dcunha, W. (2021). Heart Disease Prediction Using Machine Learning Techniques. 2021 5th International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer Technologies and Optimization Techniques, ICEECCOT 2021 - Proceedings, 1(6), 762–766. https://doi.org/10.1109/ICEECCOT52851.2021.9707966

Ho, Y., & Wookey, S. (2020). The Real-World-Weight Cross-Entropy Loss Function: Modeling the Costs of Mislabeling. IEEE Access, 8, 4806–4813. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2962617

Huang, H., Huang, B., Li, Y., Huang, Y., Li, J., Yao, H., Jing, X., Chen, J., & Wang, J. (2014). Uric acid and risk of heart failure: a systematic review and meta-analysis. European Journal of Heart Failure, 16(1), 15–24. https://doi.org/10.1093/eurjhf/hft132

Ibrahim, A. A., Ridwan, R. L., Muhammed, M. M., Abdulaziz, R. O., & Saheed, G. A. (2020). Comparison of the CatBoost Classifier with other Machine Learning Methods. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 11(11), 738–748. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0111190

Jin, Z., Shang, J., Zhu, Q., Ling, C., Xie, W., & Qiang, B. (2020). RFRSF: Employee Turnover Prediction Based on Random Forests and Survival Analysis. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 12343 LNCS, 503–515. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62008-0_35

Lakhani, P., & Sundaram, B. (2017). Deep Learning at Chest Radiography: Automated Classification of Pulmonary Tuberculosis by Using Convolutional Neural Networks. Radiology, 284(2), 574–582. https://doi.org/10.1148/radiol.2017162326

Langer, S. (2021). Approximating smooth functions by deep neural networks with sigmoid activation function. Journal of Multivariate Analysis, 182, 104696. https://doi.org/10.1016/j.jmva.2020.104696

Li, D., Li, X., Zhao, J., & Bai, X. (2019). Automatic staging model of heart failure based on deep learning. Biomedical Signal Processing and Control, 52, 77–83. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.03.009

Liu, W., Chen, Z., & Hu, Y. (2022). XGBoost algorithm-based prediction of safety assessment for pipelines. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 197(May 2021), 104655. https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2022.104655

Makavos, G., Kairis, C., Tselegkidi, M. E., Karamitsos, T., Rigopoulos, A. G., Noutsias, M., & Ikonomidis, I. (2019). Hypertrophic cardiomyopathy: an updated review on diagnosis, prognosis, and treatment. Heart Failure Reviews, 439–459. https://doi.org/10.1007/s10741-019-09775-4

Maxwell, A. E., Warner, T. A., & Fang, F. (2018). Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. International Journal of Remote Sensing, 39(9), 2784–2817. https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343

McDonagh, T. A., Metra, M., Adamo, M., Gardner, R. S., Baumbach, A., Böhm, M., Burri, H., Butler, J., Celutkiene, J., Chioncel, O., Cleland, J. G. F., Coats, A. J. S., Crespo-Leiro, M. G., Farmakis, D., Gilard, M., & Heymans, S. (2021). 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. European Heart Journal, 42(36), 3599–3726. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab368

Mpanya, D., Celik, T., Klug, E., & Ntsinjana, H. (2021). Predicting mortality and hospitalization in heart failure using machine learning: A systematic literature review. IJC Heart and Vasculature, 34, 100773. https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2021.100773

Natekin, A., & Knoll, A. (2013). Gradient boosting machines, a tutorial. Frontiers in Neurorobotics, 7(DEC). https://doi.org/10.3389/fnbot.2013.00021

Nti, I. K., Adekoya, A. F., & Weyori, B. A. (2020). Efficient Stock-Market Prediction Using Ensemble Support Vector Machine. Open Computer Science, 10(1), 153–163. https://doi.org/10.1515/comp-2020-0199

Pal, M., & Parija, S. (2021). Prediction of Heart Diseases using Random Forest. Journal of Physics: Conference Series, 1817(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1817/1/012009

Ponmalar, A., & Dhanakoti, V. (2022). An intrusion detection approach using ensemble Support Vector Machine based Chaos Game Optimization algorithm in big data platform. Applied Soft Computing, 116, 108295. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.108295

Praveen Kumar Reddy, M., Sunil Kumar Reddy, T., Balakrishnan, S., Basha, S. M., & Poluru, R. K. (2019). Heart disease prediction using machine learning algorithm. International

Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8(10), 2603–2606. https://doi.org/10.35940/ijitee.J9340.0881019

Ravikumar, V., & Bhavani, M. (2021). Effective Heart Disease Prediction Using. 12(12), 273–285.

Sanni, R. R., & Guruprasad, H. S. (2021). Analysis of performance metrics of heart failured patients using Python and machine learning algorithms. Global Transitions Proceedings, 2(2), 233–237. https://doi.org/10.1016/j.gltp.2021.08.028

Smole, T., Žunkovič, B., Pičulin, M., Kokalj, E., Robnik-Šikonja, M., Kukar, M., Fotiadis, D. I., Pezoulas, V. C., Tachos, N. S., Barlocco, F., Mazzarotto, F., Popović, D., Maier, L., Velicki, L., MacGowan, G. A., Olivotto, I., Filipović, N., Jakovljević, D. G., & Bosnić, Z. (2021). A machine learning-based risk stratification model for ventricular tachycardia and heart failure in hypertrophic cardiomyopathy. Computers in Biology and Medicine, 135(May). https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104648

Tsay, D., & Patterson, C. (2018). From Machine Learning to Artificial Intelligence Applications in Cardiac Care: Real-World Examples in Improving Imaging and Patient Access. Circulation, 138(22), 2569–2575. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.031734

Wang, Z., Zhu, Y., Li, D., Yin, Y., & Zhang, J. (2020). Feature rearrangement based deep learning system for predicting heart failure mortality. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 191, 105383. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105383

Wei, Z., Han, X., & Li, J. (2022). State of health assessment for echelon utilization batteries based on deep neural network learning with error correction. Journal of Energy Storage, 51(December 2021), 104428. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104428

Xu, B., Wang, N., Chen, T., & Li, M. (2015). Empirical Evaluation of Rectified Activations in Convolutional Network. http://arxiv.org/abs/1505.00853

Xu, R., Li, J., Li, G., Pan, P., Zhou, Q., & Wang, C. (2022). SDNN: Symmetric deep neural networks with lateral connections for recommender systems. Information Sciences, 595, 217–230. https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.02.050

Yancy, C. W., Jessup, M., Bozkurt, B., Butler, J., Casey, D. E., Colvin, M. M., Drazner, M. H., Filippatos, G. S., Fonarow, G. C., Givertz, M. M., Hollenberg, S. M., Lindenfeld, J. A., Masoudi, F. A., McBride, P. E., Peterson, P. N., Stevenson, L. W., & Westlake, C. (2017). 2017 ACC/AHA/HFSA Focused Update of the 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Failure Society of Amer. Circulation, 136(6), e137–e161. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000509

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Time in Natural Phenomena, Space of Time

*Gasanbek ARAZOV*
*Tarana ALIYEVA*

**Abstract**

Mathematical formulas cannot accurately describe natural phenomena. They, like measuring instruments, can only give approximate estimates of natural phenomena. This is due to the fact that all natural facts are formed by taking into account all the influences (actions) of the surrounding objects and the environment, in automatic self-regulation. Despite this, the qualitative and quantitative methods of mathematical analysis allow one to obtain very valuable theoretical and practical results. In the same way, time implements potential and kinetic energies (stresses) that appear in natural phenomena in the space of a dynamic system. As examples, it points to numerous observed phenomena and processes in nature. In addition, it gives an analysis of how human, potential and kinetic energies can be distributed during his working activity. Time and thoughts are the products of the maturation of natural phenomena throughout the maturation of the Universe.

**Keywords:** natural phenomena, dynamic systems, births, maturation, maturation, lifetime.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1.Introduction.

In nature, there are many dynamic systems. All of them act as natural phenomena, united in certain groups. They are characterized by numerous parameters. The variability of all parameters in natural phenomena are different functions of time. Whence it follows that all dynamic systems and natural phenomena and processes are united and controlled by time. This is due to the calmness and impeccability of all the variability of time in the universe. All variability in nature is a consequence of predetermined patterns in space and time. They are cyclical. The periods of cycles of variability correspond to the periods of movements of objects that make up (include) natural phenomena and processes in dynamic systems.

Just as thoughts govern the birth, maturation and entire life of living organisms, so time realizes the potential and kinetic energies of time in space in natural phenomena. In the relevant existing, time-formed real initial conditions. In addition, unforgettable instructive historical anomalous variability in nature are also consequences of certain patterns in dynamic systems as natural phenomena.

Similar abnormalities also appear with families, administrative structures and government institutions that are different in natural phenomena. There are numerous examples of this in the history of the time of wars of nationalities and peoples [1-18].

## 2. Time in natural phenomena, spaces of time

The age of the Earth is considered to be $(4{,}6 \pm 0{,}2) * 10^9$ years. Until that time, it was an ordinary planet, with all the features, like all other planets. On this day, she collided with a planet like Mars. After that, the inclination of its axis of rotation to the plane of the equator became equal to $24^0$. After that, its parameters have changed significantly. The process of their variability continues now by inertia. Now it is equal to $23^0 26^/$. Everything that is on Earth at the present time is a product-consequence of the joint influence of the work of this angle with the entire Universe and time.

Time and natural phenomena, processes always, everywhere and with any tension work in an automatic mode of self-regulation. All variability in dynamic systems correspond to the following regularities: 1. All variability in natural phenomena has its time, its place, its beginnings and ends in time, its influences and consequences. 2. Space-time in dynamical systems is similar to a vessel without limiting boundaries. It covers the area that united all matter, natural phenomena and processes included in the dynamic system. 3. All patterns of variability in natural phenomena operate in time. And when time stops, they stop working. As for limiting local chaotic, catastrophic, anomalous processes and phenomena, they begin, as a rule, due to the commensurability of the frequencies of various small variability in natural phenomena.

In the Universe, all the sums of instantaneous, as well as large variability in natural phenomena, are produced and programmed by time. Only on Earth, some of them are produced, programmed and implemented by man along with time. All this is realized using the following

ISBN: 978-605-71156-5-2

regularities: 1. All variability in natural phenomena has its own time. 2. All variability in natural phenomena is the head of time. 3. All variability reveals and shows time.

Now a few words, how time creates a "great worker" of masterpieces (for example, the history of the construction of modern cities), and their destroyer of man (the history of wars testifies to this), one of the forms of living organisms. The maturation and maturation of a person, as a natural phenomenon operating in an automatic self-regulating mode, can be described as follows. Particles of matter are found in the womb. There, in a special space, they unite and mature for nine months, after which in the space of time, for seven years, he is brought up, then for eleven years he studies in high school. After that, he continued his studies at various higher educational institutions.

Everything needs time to mature. By studying the process of the effectiveness of the maturation of the human body over time, and from a comparative analysis of a large number of medical, mathematical, and statistical data, a team of doctors and psychologists came to the following conclusion:

"▪ A person's most productive age is between 60 and 70;

▪ 2nd most productive stage of a person - age from 70 to 80 years;

▪ 3rd most productive stage - 50 and 60 years. Prior to this, the person has not yet reached his peak.

▪The average age of Nobel Prize winners is 62;

▪The average age of presidents of the 100 largest companies in the world is 63;

▪The average age of pastors in the 100 largest churches in the US is 71;

▪The average age of dads is 76 years old.

▪ This confirms that a person's best and most productive years are between the ages of 60 and 80.

▪This study was published by a team of physicians and psychologists in the NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE.

▪They found that at age 60 you reach your emotional and mental peak, and this continues until age 80.

▪ Therefore, if you are 60, 70 or 80 years old, you are at the best level of your life.

SOURCE: New England Journal of Medicine."

It follows from this that the natural optimal selection of the correct rules of interaction and the final choice are realized by time together with its separate moments (or segments).

The above results and conclusions express the truth not only of people from the USA. They correspond to the interests of all countries of the world. True, time makes adjustments, taking into account geographic and climatic local variability.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Consequently, Time plays a decisive role in the evolution of the patterns of development of various forms of matter of natural phenomena in dynamic systems. Both in natural and in artificial formations and processes.

Various forms of matter in natural phenomena have their own, both quantitative and qualitative features. They cannot be neglected. In other words, any variability in natural phenomena may require instant accounting, corrections and adjustments in space and time. Thus, just as thoughts govern all the activity of a living form of matter, so time governs all the laws of the development of the earth and the universe in natural phenomena.

**Conclusion:** thus, all variability in natural phenomena are the consequences of certain regularities in space and time. They are cyclical. The periods of cycles of variability correspond to the periods of movements of objects that make up the dynamic system. Just as thoughts govern the birth, maturation and entire life of living organisms, so time always, everywhere and with any tension works in an automatic mode of self-regulation. And it realizes the potential and kinetic energies that are in space-time. In the appropriate (existing, time-formed real) initial conditions. The history of the development and maturation of the human mind in time is the result (product) of the evolution of numerous observable and unobservable variability in nature. And throughout its existence in the universe. Numerous daily observed processes and phenomena in nature are pointed out as examples.

Time and thoughts are the results (products) of maturation and maturation of natural phenomena throughout the existence of the Universe.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Literature**

1. Paul H Frampton, 2010. Did time begin? Will time end? World Scientific, p.108.

2. Carey S.U., 1991. In search of the laws of development of the Earth and Universe, Moscow, Peace, p. 447

3. Sun Y.S., Zhou L.Y., 2016. From ordered to chaotic motion in Celestial Mechanics, Nanjing University, China, World Scientific, 405 p.

4. Bogdanov S.V. 2011 Time. Bulletin of the Russian Academy of Sciences, vol. 81, p. 5, p. 436-447.

5. Zavelsky F.S. 1977. Time and its measurement. M.: Nauka, p. 457.

6. Jacobi K., 1936. Lectures on dynamics, ONTI.

7. D. Benest, C. Froeschle, E. Lega, 2005. Hamiltonian systems and fourier analysis. New prospects for gravitational dynamics. Advances in astronomy and astrophysics. Cambridge.305 p.

8. Arazov G.T. 2013. Time in mathematical modeling of dynamical system. News of Baku University. physical-mathematical sciences. N: 3, p.173-177.

9. Arazov G., Aliyeva T. 2018. Evolution of an Unstable Dynamical System in Mathematical Models of the Theory of Populations of Families of Small Bodies. World Journal of Applied Physics: 3(3) 51-53.

10. Arazov G.T. and Aliyeva T.H., 2015, Advances in Research, Chaos and Boundary Values Problems of Mathematical Models of Nonautonomous Dynamical Systems, p. 230-234.

11. Arazov G.T., Ganieva S.A., Novruzov A.G., 2006. Evolution of the external form and internal structure of the Earth, Baku, Elm, 193 p.

12. Arazov G.T., 2020. Time in mathematical simulations of the theory of population of observed families of small bodies in non-linear dynamic systems, Scientific collection "Interconf"/ no. 1(37), Astronomy, Space and aviation, p. 668-671.

13. Arazov G.T., 2021, Time in symbolic simulations of the theory of populations of families of small bodies in nonlinear dynamical systems Scientific potential., No. 1, (32), pp..18-20 ISS No. 2218.7774.

14. G. T. Arazov, Instantaneous variability of time in populations of families of small bodies in nonlinear dynamical systems. ISSN 2310-9319, Proceedings of the XV International Scientific Conference. (ideas, resources, solutions) May 31, 2021 No. 2 (21), p. 7-9.

15. Arazov G.T., 2021. On the time of symbolic simulation of the theory of populations of families of small bodies in nonlinear dynamic systems., Proceeding of the 11th International Scientific and Practical Conference No. 80, October, 2021, p. 156-160.

ISBN: 978-605-71156-5-2

16. Arazov G.T., 2021. Time of symbolic simulations of the theory of populations of families of small bodies in nonlinear dynamic systems. Scientific Collection Interconf , | No. 86 p. 393-396.

17. Arazov G.T., 2022. On variabilities in the theory of populations of families of small bodies in nonlinear dynamic systems. Scientific collection «Interconf» | No. 97, February, 2022, p. 417-420.

18. Arazov G.T., 2022. Time-normal and anomaly phenomena in the theory of context of populations of families of small bodies in nonlinear dynamic systems. Scientific horizon in the context of social crises PHYSICS AND MATHS SCIENTIFIC COLLECTION INTERCONF N 103. April, 2022, p/186-190.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Determination of the Effect of Diagonal Bars on Dynamic Parameters of Model Steel Bridge with Finite Elements

*Hakan AYDIN*[1]

**Abstract**

In this study, a model steel bridge was constructed under laboratory conditions. It is aimed to investigate the effect of diagonal elements on dynamic parameters. For this reason, two different model experimental structures, with diagonal connection and without diagonal connection were analyzed. In the analysis, the effects of the model steel bridge on the dynamic behavior of the structure were revealed by using the finite element method (SAP2000) program. These dynamic parameters consist of natural frequency, period and mode shapes.With the comparison of the results obtained it is seen that the effect of the steel test structure of the diagonal elements on the dynamic parameters provides a 62.06% decrase in the dominant period and a 38.34% increase in the dominant frequency.When the mode shapes of the model steel bridge in both diagonally connected and unconnected cases are examined in general, the diagonal elements in the steel test structure reinforced with diagonal elements have been replaced by the torsional mode shapes compared to the model steel bridge test structure. In the mode shapes, on the other hand, with the addition of diagonal elements, more balanced and smaller deformations were observed in other directions instead of the displacement values in the y direction. As a result, it has been seen that the diagonal elements have a positive contribution to the balanced distribution of the horizontal loads on the steel test structure.

It has been concluded that the model steel bridge is made safer against dynamic effects by using diagonal elements.

**Keywords:** Diagonal elements, Steel bridge, Period, frequency, Mode shape, Finite Element Method (SAP2000)

[1] Dr, University of Samsun, Kavak Vocational High School, Orcıd: 0000-0002-1886-5497

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1.Introduction

In today's world where the importance of transportation is increasing, the resistance and durability of the structural elements that will provide convenience in transportation to environmental conditions (earthquake, wind, etc.) are very important. Steel bridges are highly preferred structures today. The number of steel bridges is increasing day by day as they are more earthquake resistant, environmentally friendly and more economical. The biggest advantage of steel over other building materials used in bridge construction is its strength and ductility. Compared to steel concrete, it has higher tensile and compressive strength. If a comparison is made as a ratio of hardness to weight, steel has a much higher value than concrete. Therefore, structural steel is an efficient and economical material in bridge construction. The authors designed a single span and bolt connection model steel bridge. As a result of their studies, they have reached the dynamic parameters and mode shapes of the model structure. (Tuhta et al.,2020:728-729). Turkey is in an active seismic belt and it is of great importance to take this factor into consideration in the design of buildings. Structures are exposed to various factors throughout their service life. Structures are under constant vibration. There are many types of structures in the world (reinforced concrete structures, steel structures and bridges, etc.) that are common features of these structures, and their ability to survive under static and dynamic loads. Vibrations occur from the effects on structures under dynamic loads, which causes many damages to structures that cannot be intervened early. It affects the structures not only from environmental factors, but also from vibrations that can occur with natural events (earthquake, strong winds, etc.). Due to these loads, which generally act on the structures as lateral bases, sometimes cracks and undesired damages may occur in the structures.

In recent years, many earthquakes have occurred in the world and as a result, heavy losses have been given. By looking at the results, it has been understood that this situation creates various problems for the countries that have suffered heavy losses, and how important it is for the structure to be informed about the current status of the structures. Knowing the dynamic parameters of the structures provides us with information about the situation that may occur before or after the structure. Experimental behavior of structures is investigated with experimental studies in structures vibrating with various factors. In these studies, primarily analytical models of the structures are created. Dynamic analyzes are performed for different conditions created on these models. (Tuhta and Günday ,2019:912). In some studies (Kasımzade et al,2021:608) based on the structural condition of bridges and observation and project data, they investigated the dynamic parameters of a model bridge with an experimental method and obtained the dynamic data and mode shapes of the model. Today, rapid developments are provided in studies in the field of earthquake engineering. The dynamic behavior of buildings, bridges and other structural systems when exposed to earthquakes is generally studied with analytical and experimental models. Investigation of the dynamic behavior of any structure can be investigated theoretically by constructing a finite element model and experimentally by using modal analysis methods. In the literature review related to this publication, many studies using the finite element method have been reached. In some studies, studies such as artificial neural networks have been carried out to

ISBN: 978-605-71156-5-2

determine the dynamic performance of structures (Aydın ,2020). In his study, he concluded that the accuracy of the dynamic parameters to be obtained as a result of modeling a model steel bridge with artificial neural networks will be correct with this method. Some of the publications using the finite element method and guiding the author's work are as follows. (Aydın,2021; Bathe,2008; Whiteley,2017; Sewell,1985; Tekkaya and Soyarslan,2009; Oden et al,1976; Tuhta and Gunday,2020) on the use of the finite element method were used. With all this knowledge, this new study has been carried out. Researchers have conducted studies on FEM (Gunday et al ,2018; Kasımzade,2021) about steel structures which also refer to this study. With this study, the author aimed to reveal the effects of the use of diagonal elements in steel structures (steel bridges, buildings, etc.) on the dynamic behavior of structures (period, frequency, mode shapes). Using diagonal elements can be presented as an economical and practical structural strengthening method. In this study, a model steel bridge created under laboratory conditions is used. The changing factor was chosen as diagonal elements. In the model steel bridge, diagonal and non-diagonal situations were analyzed. The results of the analysis were given at the end of the study comparatively.

## 2.Material and Method

In this study, a model steel bridge was created and modal analysis was carried out with the finite element method. In the application of the finite element method, the SAP2000 package program, which is used in the field of academic and engineering applications all over the world, was used.

### A) Description of Model Steel Bridge

In this study, a model steel bridge with a length of 6.10 m, an opening of 0.83m and a height of 1.88 m was used. The bridge model has a deformed arch geometry. The feet leaning inwards in line with the long axis of the table ensured the console operation of the end segments of the table. degree bending is provided on the feet. In sewing and cross-linking (diagonals) elements, steel rod elements with diameters of 10mm were used. The weight of the steel bridge model is about 110 Kg. The profiles that continue along the arch axis are made of 20x50 mm box beam profile with a thickness of 2mm. In the cage beams, 4cm diameter circular section profile elements with a thickness of 3mm were used. (Fig.1). The model bridge finite element model was created using the SAP 2000 program. The finite element model of the steel bridge is given in (Fig.2.)

ISBN: 978-605-71156-5-2

Fig. 1. Model steel bridge with diagonal bars in laboratory

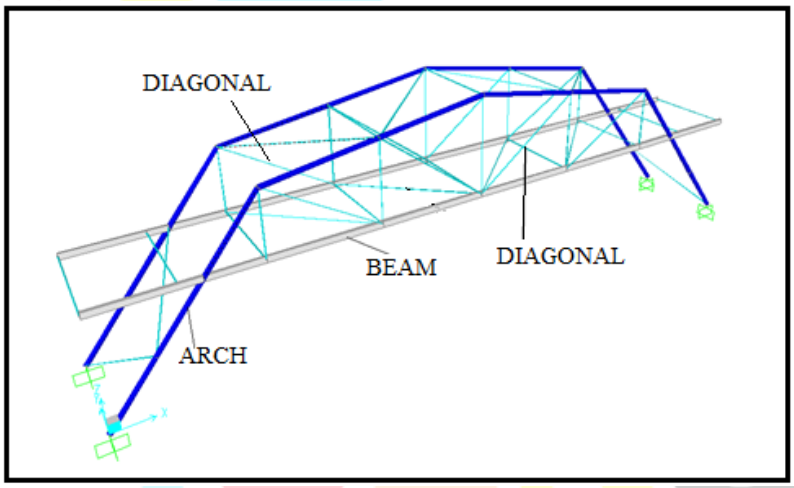



Fig. 2. Finite element model of the steel bridge with Sap2000

**B) Description of Diagonal Bars**

The diameter of the steel cross bars to be used in the model bridge is designed as 0.10 meters. Steel diagonal bars are designed diagonally to the beam bodies.

**1.Result and Discussion**

The model steel bridge was first analysed in its current state using SAP2000 (Sap2000,2010) with the finite element method, then steel diagonal bars were out and the same analysis was repeated and the results were compared. In this study, the following were taken as material properties in the analysis;

The modulus of elasticity as E = 2.0x105MPa, material density ϱ = 7.85kg / m3 and poisson ratio υ = 0.3.

ISBN: 978-605-71156-5-2

### A) Results of the Model Steel Bridge with Diagonal Bars

The steel bridge was analysed with diagonal bars. The first 5 modes were taken into account in the analysis. Obtained results are presented in figures 4,5,6,7,8 as periods and mode shapes.

```
FREQUENCY SHIFT  (CENTER) (CYC/TIME)      =     .000000
FREQUENCY CUTOFF (RADIUS) (CYC/TIME)      =  -INFINITY-
ALLOW AUTOMATIC FREQUENCY SHIFTING        =          NO

Found mode      1 of      9:  EV= 1.3024738E+03, f=    5.743870, T=    0.174099
Found mode      2 of      9:  EV= 5.2566429E+03, f=   11.539165, T=    0.086661
Found mode      3 of      9:  EV= 1.1652252E+04, f=   17.180076, T=    0.058207
Found mode      4 of      9:  EV= 1.7572193E+04, f=   21.097603, T=    0.047399
Found mode      5 of      9:  EV= 2.6277344E+04, f=   25.799475, T=    0.038760
Found mode      6 of      9:  EV= 3.3005976E+04, f=   28.914549, T=    0.034585
Found mode      7 of      9:  EV= 3.7349975E+04, f=   30.758510, T=    0.032511
Found mode      8 of      9:  EV= 3.7391870E+04, f=   30.775756, T=    0.032493
Found mode      9 of      9:  EV= 3.8082264E+04, f=   31.058574, T=    0.032197

NUMBER OF EIGEN MODES FOUND               =          9
NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED            =          5
NUMBER OF STIFFNESS SHIFTS                =          0

NON-ZERO RESIDUAL-MASS MODES SOUGHT       =    UX,UY,UZ
SIGNIFICANT RESIDUAL-MASS MODES FOUND     =    UX,UY,UZ


L I N E A R   M O D A L   H I S T O R Y   A N A L Y S I S            13:57:52
```

Fig. 3. Sap2000 anaylsis model of the steel bridge with diagonal bars

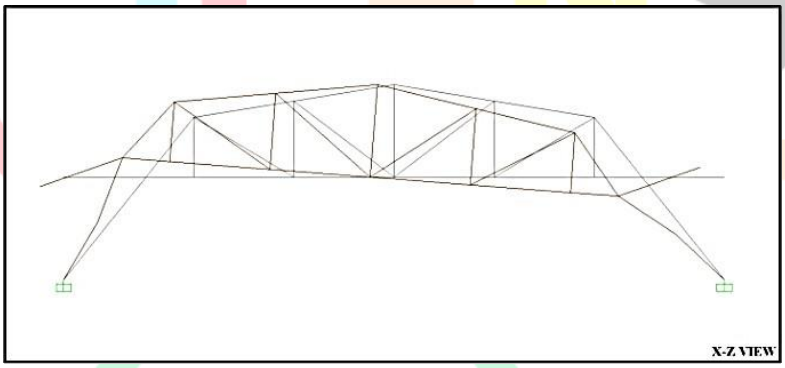



Fig. 4. Mode shape (Period value = 0.174 s)
Mode 1 is translational mode shape in X, Z direction

ISBN: 978-605-71156-5-2

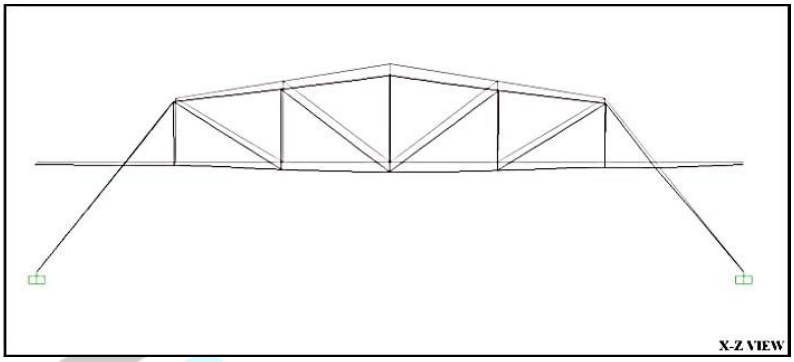



Fig. 5. Mode shape (Period value = 0.086 s)

Mode 2 is translational mode shape in Y direction

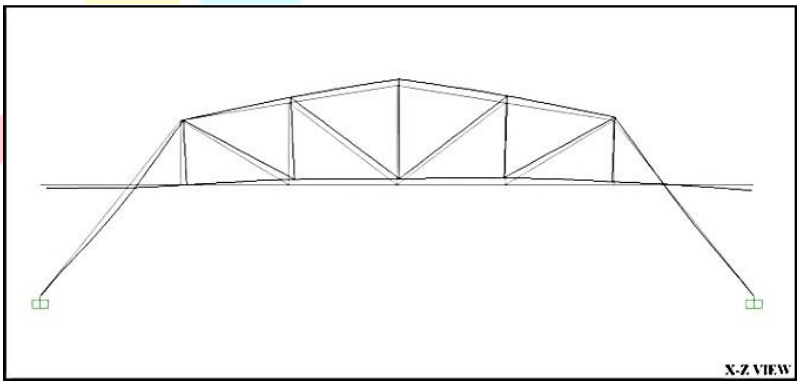



Fig. 6. Mode shape (Period value = 0.058 s)

Mode 3 is torsion mode shape around Y axis

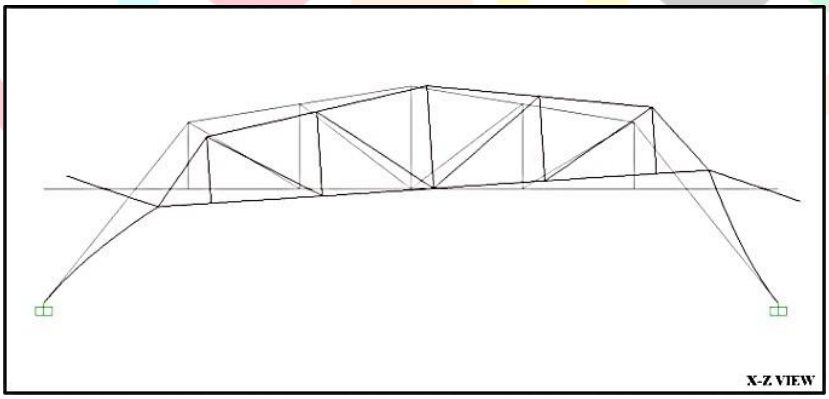



Fig. 7. Mode shape (Period value = 0.047 s)

ISBN: 978-605-71156-5-2

Mode 4 is torsional mode shape around X,Y direction

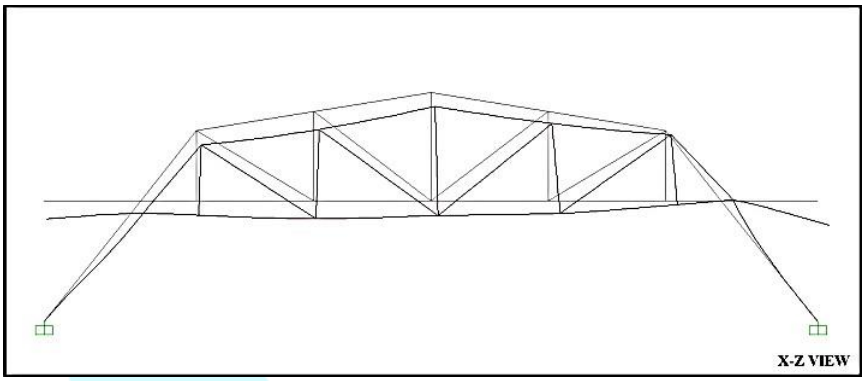



Fig. 8. Mode shape (Period value = 0.038 s)

Mode 5 is torsional mode shape around Y axis

**B) Results of the Model Steel Bridge without Diagonal Bars**

The model steel bridge without diagonal bars was analysed in Fig.9. In this study, the following were taken as material properties in the analysis;

the modulus of elasticity as E = 2.0x105MPa, material density ϱ = 7.85kg / m3 and poisson ratio υ = 0.3.

As a result of the analysis, although the analyzes of the model steel bridge were made for 9 different modes, the author has taken into account the first 5 modes of the structure. The results are presented in 11,12,13,14,15

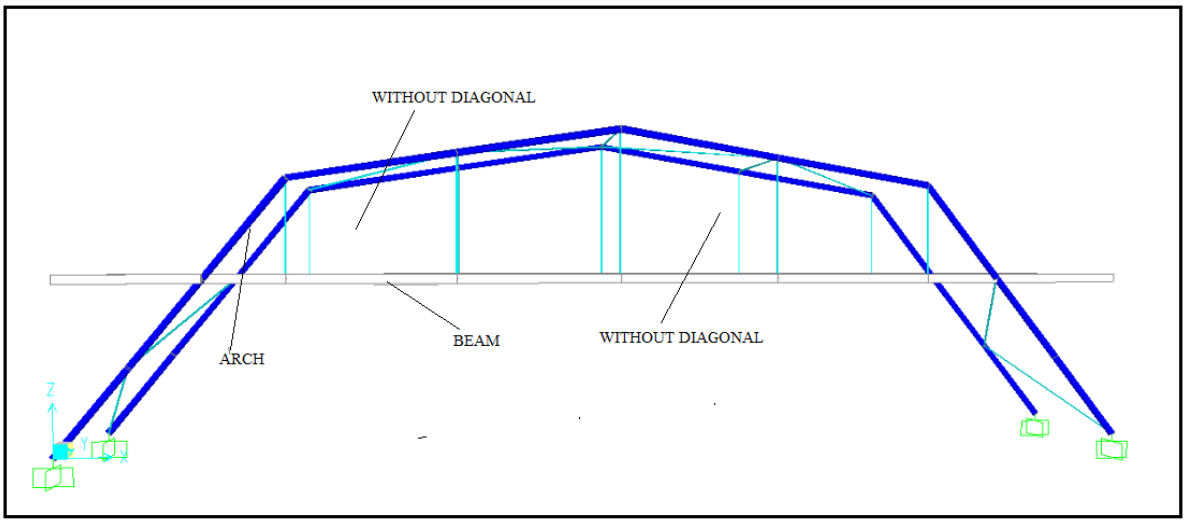



Fig. 9. Model steel bridge without diagonal bars with Sap2000

ISBN: 978-605-71156-5-2

```
Start Time:   11.04.2022 09:55:03          Elapsed Time:  00:00:04
Finish Time:  11.04.2022 09:55:07          Run Status:    Done - Analysis Complete

ALLOW AUTOMATIC FREQUENCY SHIFTING        =          NO

Found mode      1 of      9:  EV= 4.9523416E+02, f=    3.541811, T=    0.282341
Found mode      2 of      9:  EV= 1.2571189E+03, f=    5.642977, T=    0.177211
Found mode      3 of      9:  EV= 5.7538831E+03, f=   12.072596, T=    0.082832
Found mode      4 of      9:  EV= 7.6349402E+03, f=   13.906664, T=    0.071908
Found mode      5 of      9:  EV= 1.2226381E+04, f=   17.598234, T=    0.056824
Found mode      6 of      9:  EV= 1.3982406E+04, f=   18.819630, T=    0.053136
Found mode      7 of      9:  EV= 1.4010948E+04, f=   18.838829, T=    0.053082
Found mode      8 of      9:  EV= 1.7373238E+04, f=   20.977828, T=    0.047669
Found mode      9 of      9:  EV= 1.7543092E+04, f=   21.080126, T=    0.047438

NUMBER OF EIGEN MODES FOUND               =          9
NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED            =          5
NUMBER OF STIFFNESS SHIFTS                =          0

NON-ZERO RESIDUAL-MASS MODES SOUGHT       =    UX,UY,UZ
SIGNIFICANT RESIDUAL-MASS MODES FOUND     =    UX,UY,UZ


L I N E A R   M O D A L   H I S T O R Y   A N A L Y S I S            09:55:04

CASE: ACASE1
ANALYSIS TYPE                             =      LINEAR
```

Fig. 10. Sap2000 anaylsis model of the steel bridge without diagonal bars

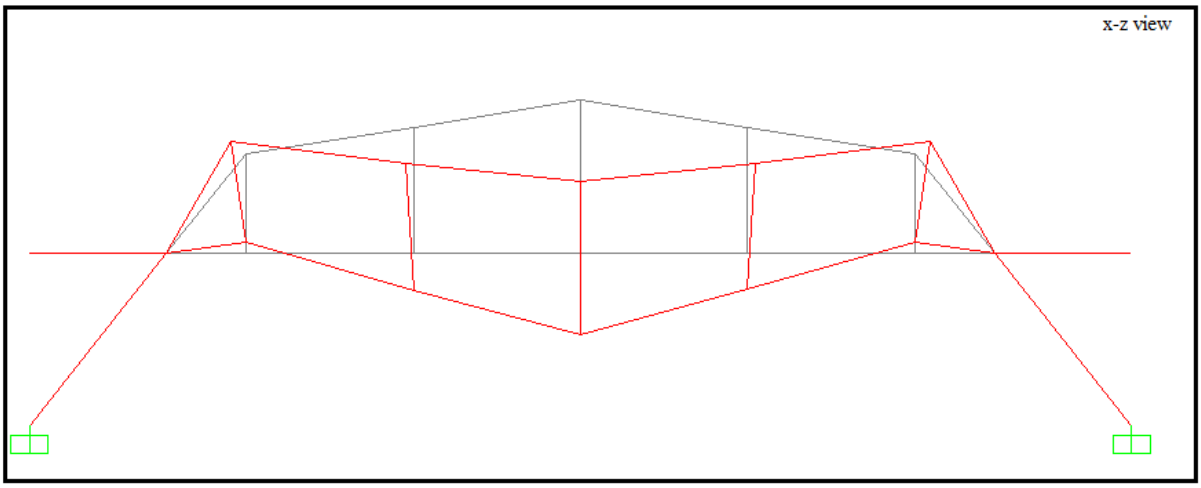



Fig. 11. 1. Mode shape (Period value = 0.282 s)
Mode 1 is translational in the Y side

ISBN: 978-605-71156-5-2

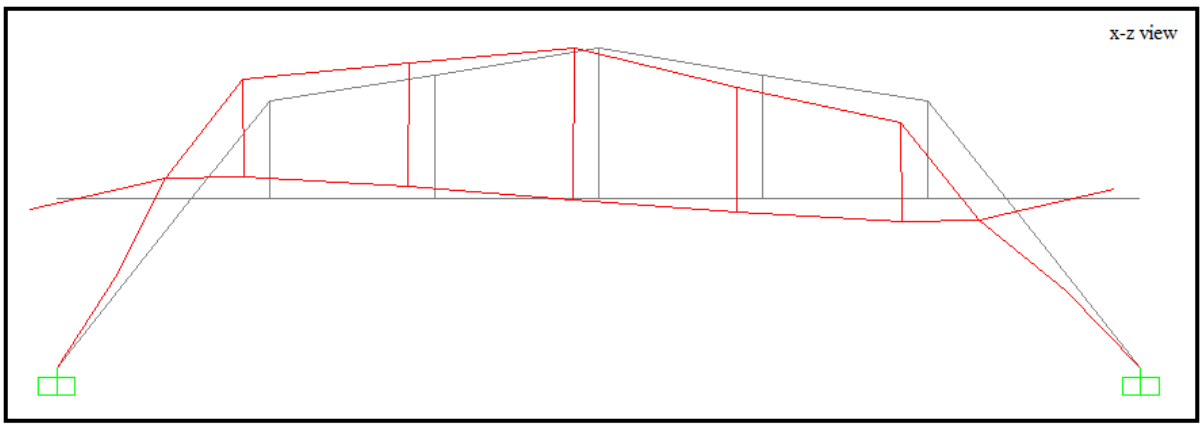



Fig. 12 2. Mode shape (Period value = 0.177 s)
Mode 2 is translational mode shape.

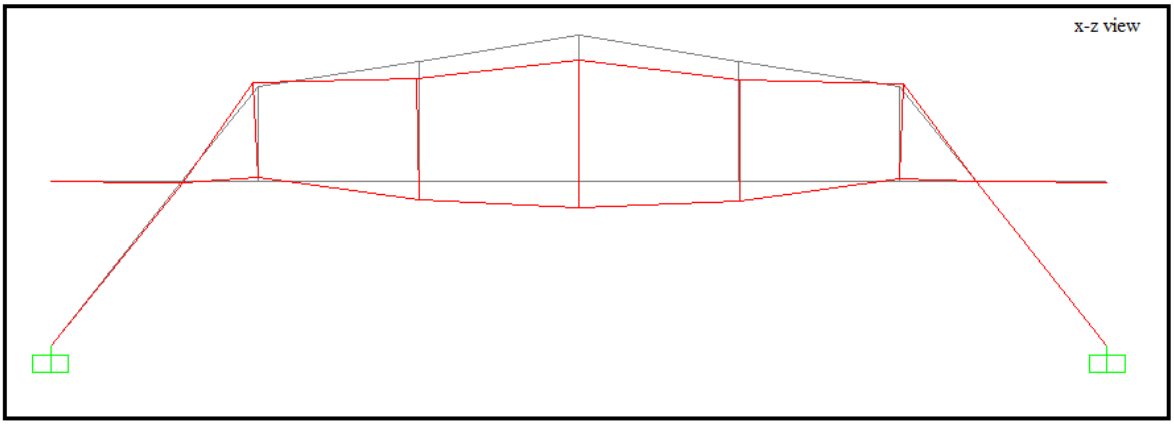



Fig. 13. 3. Mode shape (Period value = 0.082 s)
Mode 3 is translational mode shape.

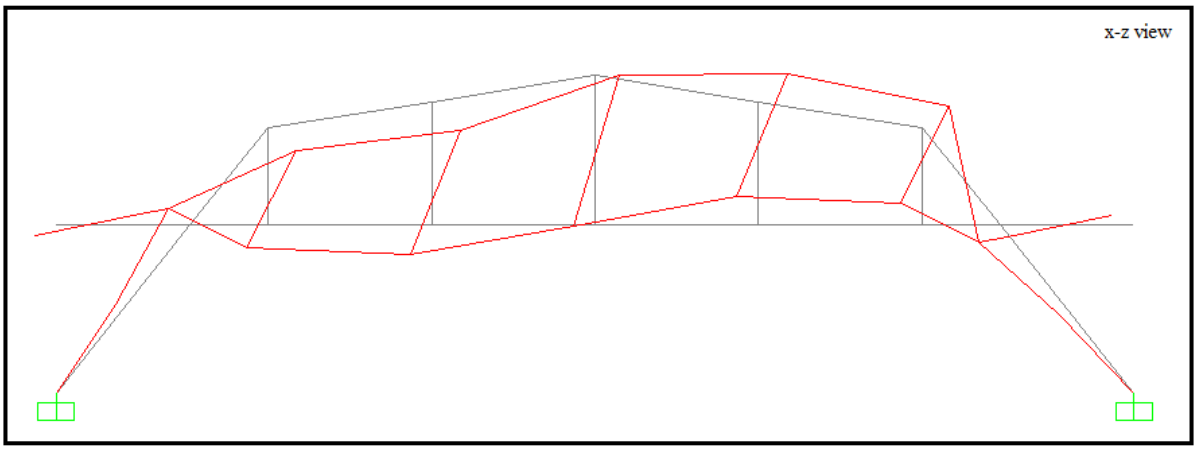



Fig. 14. 4. Mode shape (Period value = 0.071 s)
Mode 4 is torsional mode shape.

ISBN: 978-605-71156-5-2

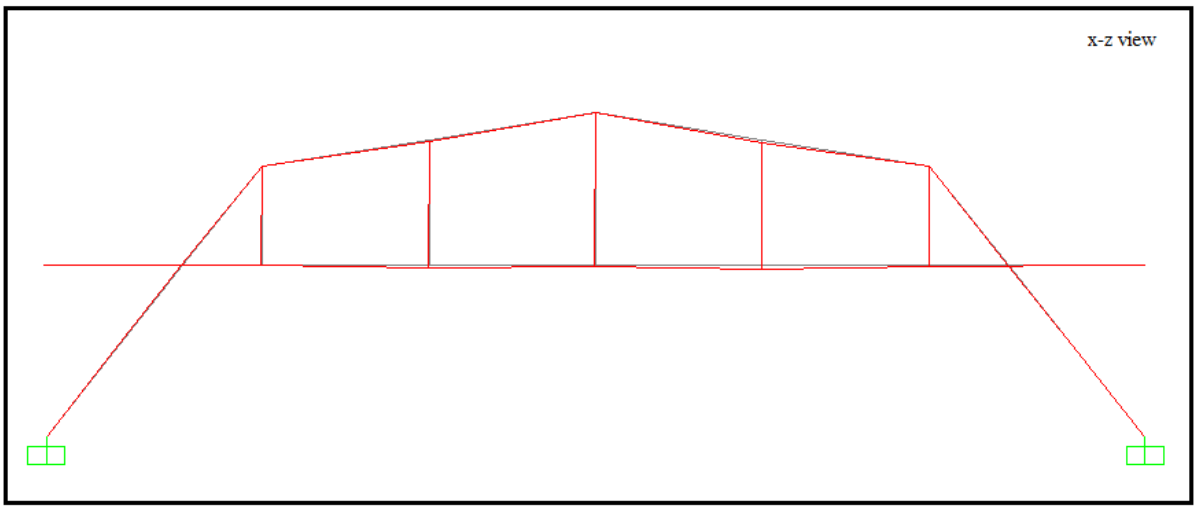



Fig. 15 5. Mode shape (Period value = 0.056 s)
Mode 5 is torsional mode shape in Y side

**C) Comparison of Results**

The comparison of model steel bridge with diagonal and without diagonal bars of the model is given in Table 1.

The first 5 mode shapes of the model steel bridge were used in this study, which was done by connecting the diagonal elements and removing the diagonal connection.

When the mode shapes are examined, X, Y and Z translational mode shapes and torsion mode shapes are also seen in the model steel bridge whose diagonal elements have been removed. Looking at the modes for each mode;

In the 1st mode, the translation in the Y direction, in the 2nd mode, the translation in the X direction, and in the 3rd mode, the translation in the Z direction is seen.

4.Mode torsion in X, Y and Z directions,

In the 5th mode, there is torsion in the Y direction.

When the mode shapes are examined the model steel bridge whose diagonal elements not removed at the modes for each mode;

In the model steel bridge made with diagonal elements, translation and torsion are seen in mode shapes. In the 1st mode, translation in the X, Z direction, in the 2nd mode, the translation in the y direction, in the 3rd mode, the torsion in the Y direction, in the 4th mode, the torsion in the X, Y direction, in the 5th mode, the torsion in the X, Y, Z direction are seen.

Table 1. Comparison of period value between diagonal and non-diagonal systems

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | DIAGONALIZED | | WITHOUT DIAGONAL | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MOD | FREQUENCY | PERIOD | FREQUENCY | PERIOD | DIFFERENCE | PERIOD DIFFERENCE % |
| 1 | 5.743 | 0.174 | 3.541 | 0.282 | 0.108 | 62.06 |
| 2 | 11.539 | 0.086 | 5.642 | 0.177 | 0.091 | 105.8 |
| 3 | 17.18 | 0.058 | 12.072 | 0.082 | 0.024 | 41.37 |
| 4 | 21.097 | 0.047 | 13.096 | 0.071 | 0.024 | 51.06 |
| 5 | 25.799 | 0.039 | 17.598 | 0.056 | 0.017 | 43.58 |

The difference between diagonal and non-diagonal systems in the dominant period is 62.06 %.

## 2.Conclusion

In the model steel bridge, the effect of diagonal elements on the dominant period was obtained as 62.06 %. As a result, it can be said that the rigidity of the structure increases as the addition of diagonal elements affects the reduction of the structure period. In the model steel bridge, the effect of diagonal elements on the dominant period was obtained as 62.06 and dominant frequency was obtained as 38.34%. With the addition of diagonal elements, more stable and smaller deformations were observed in other directions instead of the displacement values in the y direction. As a result, it is clearly seen that diagonal elements play a positive role in the balanced distribution of horizontal loads on the steel test structure.

According to the results, it is clearly seen that the rigidity of the structure increases by strengthening the model steel bridge with diagonal bars. With the use of diagonal elements in the model steel bridge, it was concluded that the model steel bridge was made safer against dynamic effects.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**References**

Sertaç Tuhta,Furkan Günday, Hakan Aydın ,Mohammad ALALOU (2020), Modal analysis of model steel bridge by finite element method, 2nd International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2020), October 07-09, 2020

Tuhta, S., & Günday, F. (2019). Application of Oma on The Bench-scale Aluminum Bridge Using Micro Tremor Data. İnternational Journal of Advance Research and Innovative İdeas in Education, 5(5), 912–923.

Tuhta, S., & Günday, F. (2020). Analytical Modal Analysis of RC Building Retrofitted with CFRP using Finite Element Method. International Journal of Latest Technology in Engineering, Management Applied Science, 9(2), 78–82.

Bathe, K.-J. (2008). Finite Element Method. In Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering, B.W. Wah (Ed.).

Whiteley, J. (2017). Finite Element Methods: A Practical Guide. Springer Nature, Cham, Switzerland.

Sewell, G. (1985). Analysis of a Finite Element Method. Springer, New York, NY.

Okumoto, Y., Takeda, Y., Mano, M., Okada, T. (2009). Finite Element Method. In: Okumoto, Y., Takeda, Y., Mano, M., Okada, T. (eds) Design of Ship Hull Structures. Springer, Berlin, Heidelberg.

Tekkaya A.E., & Soyarslan C. (2019). Finite Element Method. In: Chatti S., Laperrière L., Reinhart G., Tolio T. (eds) CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg.

Oden, J. T., & Reddy, J. N. (1976). An introduction to the mathematical theory of finite elements. Wiley, New York.

Kasımzade, A. A. (2021). Structural Design and Analysis in The Light of Current Regulations with Sap2000 on The Basis of FEM, Nobel Academic Publishing, Ankara, Turkey.

SAP2000 (2010), Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.

Wei-Xin Ren; Tong Zhao; and Issam E. Harik, M.ASCE (2004) Experimental and Analytical Modal Analysis of Steel Arch Bridge,Journal of Structural Engineering Volume 130 Issue 7 - July 2004

Günday, F., Dushimimana, A., & Tuhta, S. (2018). Analytical a nd Experimental Modal Analysis of a Model Steel Structure Using Blast Excitation. Presented at the International Conference on Innovative Engineering Applications.

Aydın H. (2020) Obtaining Modal Parameters in Model steel Bridge by System Identification Using Artificial Neural Networks, International Journal of Trend in Scientific

Research and Development (IJTSRD), Volume 4 Issue 2, February 2020 Available Online:www.ijtsrd.com e-ISSN:2456-6470,2021

Kasimzade, A. A., Tuhta, S., Günday, F., Aydın, H. "Obtaining Dynamic Parameters by Using Ambient Vibration Recordings on Model of The Steel Arch Bridge", Periodica Polytechnica Civil Engineering, 65(2), pp. 608–618, 2021. https://doi.org/10.3311/PPci.16422

Aydın, H., (2021),Çelik Köprülerde Diyagonal Elemanların Dinamik Parametrelere Etkisinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemi İle Belirlenmesi , Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği ABD, Samsun

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Damage Detection in Mechanical Structures via Transmissibility Concept

*Hakan UÇAR*[1]

**Abstract**

During their long life, mechanical structures experience several dynamic loads due to the excitation of the machinery. These loads lead to excessive vibration on the structure and may cause structural damage or even possible failure afterwards. As a consequence, it is critical to develop methods that can simultaneously detect the existence of damage prior to failure. In this paper, a damage detection method via transmissibility concept is presented. Transmissibility concept covers the measured transmissibility between the selected points on the structure and requires the external forces as the inputs and vibration quantities by sensors attached on the structure. As a case study, an analytical study along with transmissibility concept is conducted on a three-degree-of-freedom model. The results indicate that damage on the model is detected properly.

**Keywords:** damage detection, transmissibility, three-degree-of-freedom

[1] PhD, Piri Reis University, Department of Mechanical Engineering, Orcid: 0000-0001-8602-801X

ISBN: 978-605-71156-5-2

## Introduction

Structural damage is a condition that occurs in mechanical structures when they are under long-term operational loads or under an impact loading and traditionally defined as a change in the system that occurs intentionally or unintentionally and adversely affect the current or future performance, reliability and service life of the system [Frangopol et al, 1987, Cosenza, 2000, He et al., 2011]. Based on the definition, it can be said that damage does not always state a complete failure of a system, but results in a comparative breakdown of the system functionality and hence, unsatisfactory performance [Avci et. al, 2021]. However, damage is mainly prone to propagate depending on the environmental and mechanical conditions and eventually causes failure in the structure. Therefore, monitoring structural damage is extremely critical for maintaining the service life of the mechanical structures. In the past, various methods had been developed for the detection and location of damage in mechanical structures. Damage detection basically started as visual inspection and continued with several methods such as ultrasound, x-ray, magnetic resonance imagery, dye penetration, electron scanning etc. These methods are quite time consuming and costly, resulting in removal of some structural elements for the inspections [Kosmatka and Ricles, 1999, Beskhyroun et al., 2011]. Therefore, damage detection evolved in time and became more autonomous with the use of various methods and equipment. Among those damage detection methods, vibration-based damage detection stands out with its reliability and rapid results. Vibration-based damage detection generally covers the measurement of vibration in-situ and analysis of the measured responses to assess the presence and location of damage [Wu and Jahanshahi, 2018]. There is a significant number of studies concerning vibration-based damage detection. Palacz et al. [Palacz et al., 2002] described the effect of damage on the number of natural frequencies and mode shapes. Similarly, Peeters et al. [Peeters et al., 2001] defined that the environmental parameters as well as structural damage influence the dynamic behavior of the structure. Hence, they observed the change in natural frequencies by using a data set from a bridge. Bayissa et al. [Bayissa et al., 2008] presented a damage identification method by implementing the wavelet analysis. In another study, power spectral density estimation (PSE) of a signal is used to diminish the noise effect on damage detection [Lee and Eun, 2015]. He et al. [ He et al., 2018] developed a damage localization method by means of the extracted mode shapes. In the study, they extracted the mode shapes of a bridge by using the moving vehicle response and compared the mode shape curvatures. Hwang and Kim [Hwang and Kim, 2004] used a set of frequency response functions (FRF) and calculated the stiffness matrix. Due to the change in stiffness matrix, the damage was identified. Likewise, Dilena et. al [Dilena et. al, 2015] used FRF measurements performed on a concrete bridge to determine the damage by employing Interpolation Damage Detection Method.

However, since change in frequency is sensitive to environmental conditions such as temperature and humidity change, it can be noted that frequency analysis is relatively ineffective for damage detection [Beskhyroun et al., 2011]. Additionally, in order to determine the modal parameters and FRFs, the measurements are required. However, depending on the system configuration, it may be difficult or almost impossible to measure the required parameters. In this

ISBN: 978-605-71156-5-2

paper, transmissibility method, which eliminates the mentioned disadvantages and becomes faster and easier to implement, is presented. In transmissibility method, while FRF and modal measurements are not needed, only operational measurements are sufficient. These measurements are performed in where the system runs in its real operational condition. Thus, there is no need to apply time-consuming and difficult-to-implement procedures, such as dismantling system components and employing several sensors.

The paper is organized as following: in Section 2 a brief theoretical background for transmissibility method is given, Section 3 presents a practical implementation of the method for a 3-DOF system and finally Section 4 concludes the paper.

## Theoretical Background

Transmissibility is generally defined as the ratio between the output and input. In the context of mechanical vibrations, input can be a driving harmonic displacement whereas output can be the amplitude of the response. On the other hand, transmissibility can also be described as the ratio between the two responses at the i-th and j-th DOFs [Wu et al., 2021].

Considering a linear multiple-degree-of-freedom system, the dynamic equation of motion can be written by the well-known second order differential equation:

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = f(t) \tag{1}$$

where M, C, and K are the mass, damping, and stiffness matrices of the system, respectively; f(t) is the input force vector; $x$(t) is the displacement responses of each degree-of-freedom of the system; ( $\dot{}$ ) and ( $\ddot{}$ ) denote time derivatives of displacement such as velocity and acceleration, respectively. For a harmonic excitation, harmonic displacement amplitudes with respect to frequency is solved from Eq.(1) as;

$$X(\omega) = (K - \omega^2 M + i\omega C)^{-1} F(\omega) \tag{2}$$

where $\omega$ is the frequency and $X$ is the complex amplitude of the system response, $x$(t). Transmissibility between two points, point $i$ and a reference point $j$ can be described for a harmonic excitation force at a given DOF, $k$, as follows;

$$T_{ij(k)}(\omega) = \frac{X_{i(k)}(\omega)}{X_{j(k)}(\omega)} \tag{2}$$

In the presented tranmissibility concept, transmissiblities are estimated by using the operational responses at different operational conditions. Instead of real excitation forces, artificial excitations are applied by means of a screwdriver, a hammer or any hand tool. Thus, transmissibility is easily obtained without dismantling any components from the system. Operational response vector is constructed for each frequency as;

$$[S_{i(k)}] = [X_{i(k)}{}^{(1)} \quad X_{i(k)}{}^{(2)} \quad \dots \quad X_{i(k)}{}^{(m)} \quad ] \tag{3}$$

where $m$ is the number of artificial excitations. Once the operational response vector is obtained, transmissibility vector can be calculated by employing Equation (4) and (5)

ISBN: 978-605-71156-5-2

$$T_{ij(k)} = [S_{i(k)}]\,[S_{j(k)}]^{+} \tag{4}$$

$$[T_{ij}] = [T_{ij(1)} \quad T_{ij(2)} \quad \cdots \quad T_{ij(k)} \quad ] \tag{5}$$

where superscript + denotes pseudo inverse of the matrix. It should be noted that the number of artificial measurements, $m$ should be greater than the number of points of interest in order to calculate pseudo inversion accurately. Transmissibility Power (TP) is defined as the norm of the common logarithm of the transmissibility and can be calculated by

$$TP_{ij(k)} = \|\log T_{ij(k)}\| \tag{6}$$

TP is initially calculated for the healthy condition based on the artificial excitations. During operation, it is also calculated with real excitations in order to make a comparison between them. For this purpose, a Damage Power (DP) is defined as a spectral weighting between the damaged and healthy transmissibility powers, as shown in Eq. (7)

$$[DP_{ij}] = \frac{[T_{ij}]^{D} - [T_{ij}]^{H}}{[T_{ij}]^{H}} \tag{7}$$

where $[T_{ij}]^{H}$ is the healthy transmissibility between the points of interest and $[T_{ij}]^{D}$ is the current and potential damaged transmissibility. As can be seen, DP is a function of frequency and covers the transmissibility depending on each excitation point. In order to determine the possible location of the damage, a uniform weighting function is used as Damage Index (DI). Highest DI between DOFs i and j refers to damaged structure.

$$DI_{ij(k)} = \left|\sum_{\omega} DP_{ij(k)}\right| \tag{8}$$

**Case Study**

In order to determine the effectiveness of the presented methodology, an analytical case study composed of a 3-DOF system, shown in Figure 1, is performed. The system includes 3 moving masses, $m_1$, $m_2$ and $m_3$ which are connected to each other by means of springs, $k_1$, $k_2$, $k_3$, $k_4$ and viscous dampers, $c_1$ and $c_2$. As shown in Figure 1, the system is excited by external forces $f_1$, $f_2$ and $f_3$. All quantities of the system are listed in Table-1.

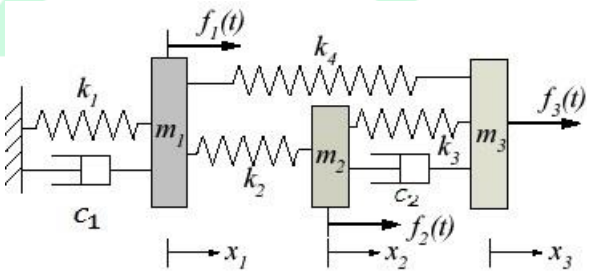



Figure 1. 3-DOF system [Efunda, 2022]

ISBN: 978-605-71156-5-2

Table 1. System quantities

| Mass (kg) | | Stiffness (N/m) | | Damping (Ns/m) | | Force (N) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $m_1$ | 1 | $k_1$ | $1.5x10^5$ | $c_1$ | 1.2 | $f_1$ | 30 |
| $m_2$ | 0.8 | $k_2$ | $3.2x10^5$ | $c_2$ | 0.8 | $f_2$ | 20 |
| $m_3$ | 0.4 | $k_3$ | $2.5x10^3$ | | | $f_3$ | 15 |
| | | $k_4$ | $1x10^5$ | | | | |

Dynamic equation of motion for a 3 DOF system is defined as in Eq. (1) and the mass, stiffness and damping matrices as well as forcing vector is given as

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}; \; K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_4 & -k_2 & -k_4 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ -k_4 & -k_3 & k_3 + k_4 \end{bmatrix}; \; C = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix}; \; f = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix} \tag{9}$$

Equation of motion can be written in the modal coordinate as;

$$[M_q]\{\ddot{q}\} + [C_q]\{\dot{q}\} + [K_q]\{q\} = \{f_q\} \tag{10}$$

where

$$[M_q] = [\Phi]^T[M][\Phi] \quad [C_q] = [\Phi]^T[C][\Phi] \quad [K_q] = [\Phi]^T[K][\Phi] \tag{11}$$

where $\Phi$ is the modal matrix and superscript, $T$ denotes the transpose of the matrix. After solving Eq. (10) and transforming it to the physical coordinates, the displacement response of the system can be expressed as;

$$\{x\} = [H]\{f\} \tag{12}$$

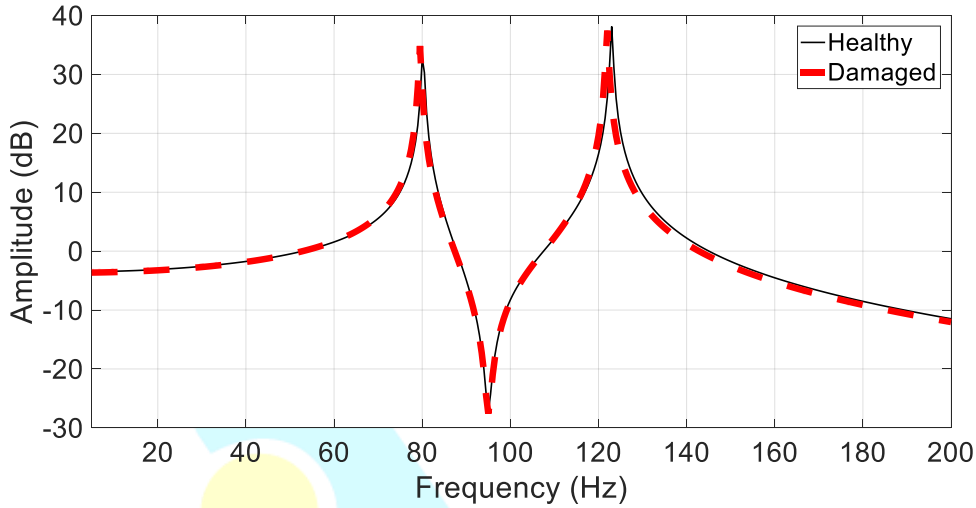
where $H$ is named as FRF matrix of the system which defines the transfer function between input and output. FRF for individual point can be calculated by means of modal parameters, as shown below.

$$H_{jk}(\omega) = \sum_{r=1}^{N} \frac{(\emptyset_{jr})(\emptyset_{kr})}{(k_r - \omega^2 m_r) + i(\omega c_r)} \tag{13}$$

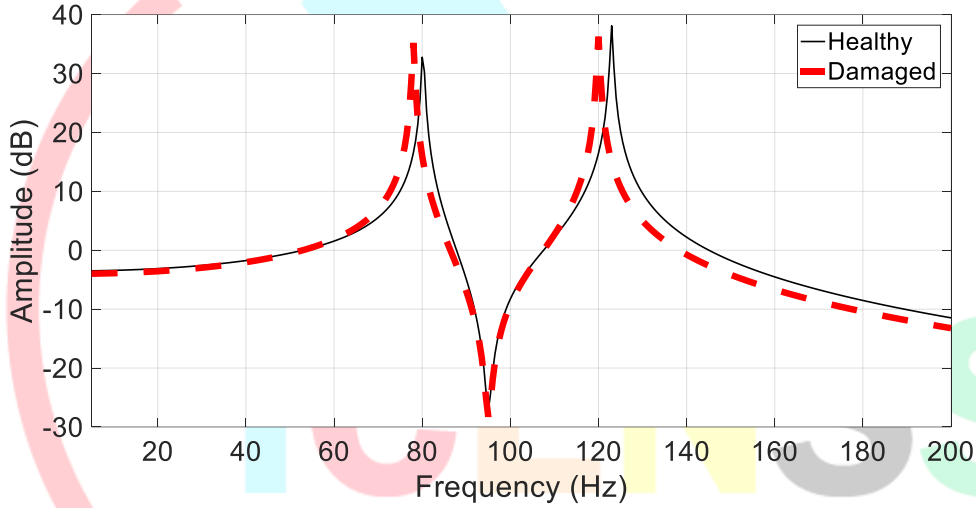
where $m_r$, $c_r$ and $k_r$ stand for the indices of the modal mass, damping, and stiffness matrices, respectively. Hence, the dynamic response of the system is determined once the FRF is calculated.

In this case study, for the given parameters in Table 1, the real response of the study is calculated. For healthy condition, 4 artificial forces ($m$) are used to construct the transmissibility functions. Afterwards, 2 damage cases are considered for the study of the damage localization. In the first case, 5 % loss in $k_2$ is considered as the damage and in this instance, the change in Path 1-2 is expected. According to the stiffness reduction rate, the change in FRF between Path 1 and 2 as well as natural frequency can be seen in Figure 2. With 5 % stiffness loss in $k_2$, small change can be observed as a slight shift of the second mode. On the other hand, when the defect is increased such that 15 % of stiffness is lost, the change in FRF and natural frequency becomes more noticeable. In this condition, both natural frequencies shift to the left with a considerable amount.

ISBN: 978-605-71156-5-2




(a) 5 % loss in $k_2$




(b) 15 % loss in $k_2$

Figure 2. Transmissibility between Path 1 and 2.

When the damage detection algorithm with the concept of transmissibility is applied, it can be seen in Figure 3 that the Damage Index (DI) is almost 1 for the path consisting DOFs of 1 and 2, regardless of the real excitation point. However, path 1-3 is also affected when the excitation force is only applied at mass, $m_1$. This is a reasonable result since any defect on path 1-2 affects the dynamic response of the path 1-3 due to the common DOF.

ISBN: 978-605-71156-5-2

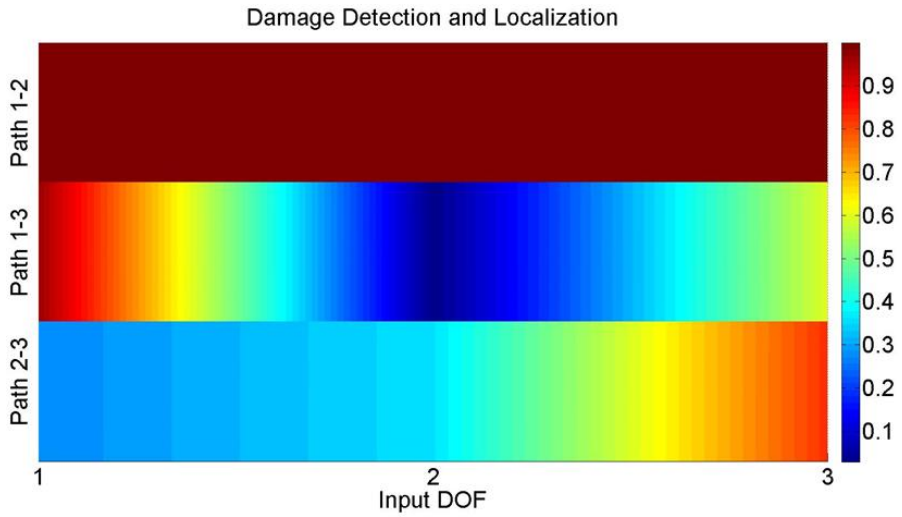



Figure 3. Damage localization for Case-1.

In the second case, 10 % loss in $k_4$ is assumed as the damage and thus, the change in Path 1-3 is expected. Figure 4 shows the transmissibility FRF between Path 1 and 3. Differently from the previous case study, it is observed that the FRF changes in magnitude not clearly in natural frequencies. However, when the damage index is considered as shown in Figure 5, Path 1-3 has the highest DI, as expected. Thus, it can be stated that damage on the structure results in not only the frequency change in transmissibility but also the change in magnitude and magnitude change may be sufficient to identify the location of the damage.

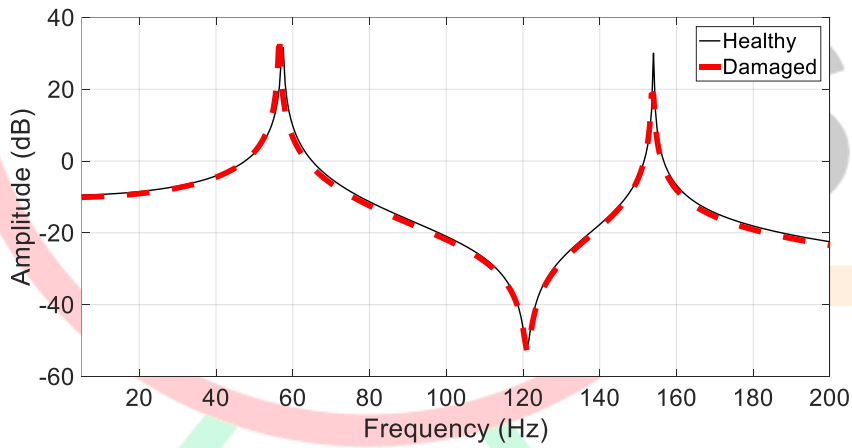



Figure 4. Transmissibility between Path 1 and 3.

ISBN: 978-605-71156-5-2

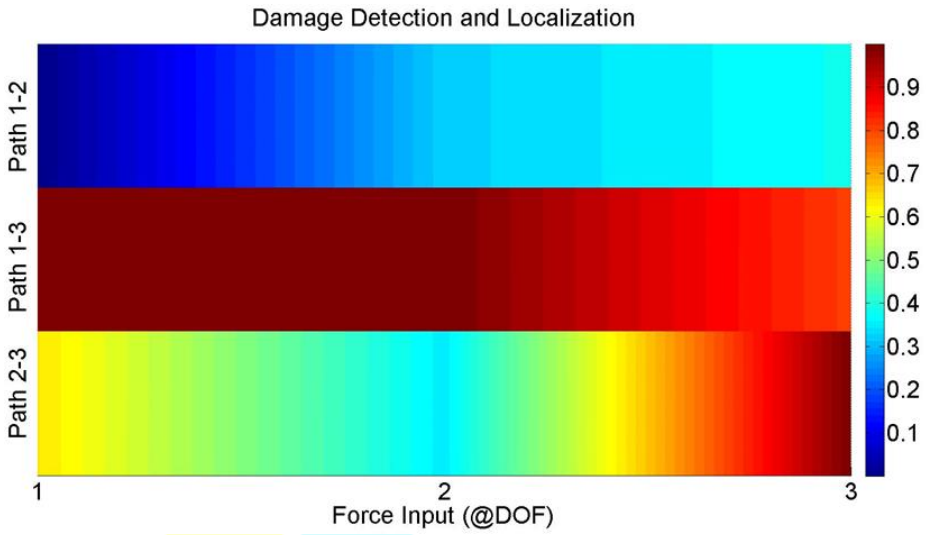



Figure 5. Damage localization for Case-2.

**Conclusion**

In this study, the concept of transmissibility and vibration-based damage detection were discussed. For this purpose, an analytical case study was conducted for the effectiveness of the methodology over the 3 DOF system. In transmissibility method, operational transmissibility between the selected points such as machine mounting locations, are used instead of FRF and modal measurements. Thus, operational transmissibility as well as transmissibility power between the points were calculated by means of arbitrary excitations. In order to obtain a good transmissibility and accurate results, the number of measurements was taken as bigger than the number of selected points. A damage index was defined based on the change in transmissibility.

The results show that with the application of transmissibility concept, the damage on a 3-DOF system is detected properly. When the change in transmissibility is considered, it can be stated that the change in magnitude or frequency of transmissibility indicates a change in the dynamic characteristics of the structure. Depending on the calculated transmissibility with respect to excitation force location, the damage can be localized. As a consequence, since the main methodology is based on operational measurements and easy to implement, transmissibility can be defined as a practical and accurate solution for detecting the damage on the structure.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**References**

(2022, April). Efunda engineering fundamentals: https://www.efunda.com/formulae/vibrations/mdof_eom.cfm adresinden alındı

D.M. Frangopol, J. C. (1987). Effects of damage and redundancy on structural reliability. *J. Struct. Eng.* .

Difei Wu, M. Z. (2021). Detection and localization of debonding beneath concrete pavement using transmissibility function analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing 159* , 107802.

E. Cosenza, G. M. (2000). Damage indices and damage measures. *Prog. Struct. Eng. Mater.*

Eun, E.-T. L.-C. (2016). Structural damage detection by power spectral density estimation using output-only measurement. *Shock and Vibration*, 13.

H.Y. Hwanga, C. K. (2004). Damage detection in structures using a few frequency response measurements. *Journal of Sound and Vibration 270*, 1–14.

K. He, W. Z. (2011). Structural damage detection using changes in natural frequencies: theory and applications. *J. Phys. Conf. Ser.* .

M. Dilena, M. A. (2015). Damage localization in bridges via the FRF interpolation method. *Mechanical Systems and Signal Processing 52-53*, 162–180.

M. Palacz, M. K. (2002). Vibration parameters for damage detection in structures. *Journal of Sound and Vibration*, 249(5), 999-1010.

Onur Avci, O. A. (2021). A review of vibration-based damage detection in civil structures: From traditional methods to Machine Learning and Deep Learning applications. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 147-107077.

Peeters B, M. J. (2001). Vibration-based damage detection in civil engineering: excitation sources and temperature effects. *Journal of Smart Materials and Structures*, 10:518–527.

R.T. Wu, M. J. (2018). Data fusion approaches for structural health monitoring and system identification: past, present, and future. *Struct. Heal. Monit.*

Ricles, J. B. (1999). Damage detection in structures by modal. *J. Struct. Eng.*, 125:1384-1392.

Sherif Beskhyroun, L. D. (2011). New methodology for the application of vibration-based damage detection techniques. *Struct. Control Health Monit.*

W.L. Bayissa, N. H. (2008). Vibration-based structural damage identification using wavelet transform. *Mechanical Systems and Signal Processing 22*, 1194–1215.

Wen-Yu He, J. H.-X. (2018). Damage localization of beam structures using mode shape extracted from moving vehicle response. *Measurement 121*, 276–285.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# The Effect of Mixing Ratios and Curing Time on Physical-Mechanical Properties of Sorel Cement

*Metin DAVRAZ*[1]
*Hatice AKÇA*[2]
*Nuri IŞILDAR*[3]

**Abstract**

Sorel Cement has superior mechanical properties compared to Portland cement. These properties are high mechanical strength, good resistance to abrasion and fire, low thermal conductivity are some of them. It consists of a mixture of calcined MgO and $MgCl_2$ in certain proportions. As a result of the reaction of these 2 basic components, 4 basic phases are formed. However, the mechanical properties of Sorel cement are closely related to the formation of Phase 3 and Phase 5. Under normal curing conditions, it controls the Phase 3 and Phase 5 formation, the molar ratios of $MgO/MgCl_2$ (A) and $H_2O/MgCl_2$ (B). In this study, Sorel cement mortars were prepared in 4 different molar ratios of A (7-16) and B (11-23) by using calcined MgO and MgCl2.6H2O. The mortars were poured into 40x40x160 mm prismatic molds, and after the samples were removed from the mold, they were cured at 23°C - 50% relative humidity conditions for 7, 14 and 28 days. The dry unit volume masses of the samples were determined according to the TS EN 1015-10 standard, the flexural and compressive strengths were determined according to the TS EN 1015-11 standard and the capillary water absorption coefficients were determined according to the TS EN 1015-18 standard. As the ratio of A and B increased, the densities and compressive strengths of the samples decreased, while the capillary water absorption coefficients and flexural strengths increased. The highest compressive strength (87 MPa, A: 7, B: 11) in the M1 sample and the highest flexural strength in the M3 sample (15 MPa, A: 12, B: 17) were determined during the 28-day curing period.

**Keywords/Anahtar Kelimeler:** Sorel cement, molar ratio, density, compressive and flexural strength, capillary water absorption.

[1] Prof. Dr. Metin DAVRAZ, Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Civil Eng. Department, Isparta, Turkey

[2] Hatice AKÇA, Süleyman Demirel University, Institute of Science and Technology, Isparta, Turkey, hhaticeakca@gmail.com

[3] Nuri IŞILDAR, Süleyman Demirel University, Natural and Industrial Building Materials R&A Center, Isparta, Turkey,

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1. Introduction

Sorel cement, also known as magnesia cement, was first produced by the Frenchman Stanislas Sorel in 1867. The approximate chemical formula of cement is $Mg4Cl_2(OH)6(H_2O)8$ (Jurišová vd.,2015: 1). In general, Magnesium oxychloride cement is formed as a result of the reaction after the addition of powdered magnesium oxide to the Concentrated Magnesium chloride solution. Magnesium oxide powder is obtained from the extraction of magnesium carbonate (MgCO3), which is more commonly known as magnesite. More than 65% of magnesite resources are found in China, Russia and North Korea, where magnesite is calcined at temperatures above 600 °C (Aiken vd., 2020: 1-2).

It is observed that this cement is sometimes considered as an ecological "eco-cement" due to its less energy use and less $CO_2$ emission compared to standard Portland cement in the production process. Also, MgO used in MOC production is usually made by calcining $MgCO_3$ at a much lower temperature than cement clinker calcination. MOC is a high early strength and fast setting cement. The composition of the magnesium oxide used the amount and the concentration of magnesium chloride, temperature and some other factors have decisive roles on the setting time (Misra and Marthur 2007: 239) (Singh et al., 2021: 1) (Andrew, 2018: 196).

MOC, which is one of the main representatives of mineral cement types, is a material that attracts a lot of attention due to the advantages it provides compared to Portland cement, due to its rapid hardening, air-hardening, low density, high mechanical strength, good abrasion, fire resistance and low thermal conductivity properties (Guo et al., 2018: 1) (Strydom et al., 2005: 1). It is widely used in industrial flooring, ship decks, railway passenger car flooring, hospital floors, ammunition factory floors, missile silos, and underground weapons factories and bunkers (Misra and Mathur, 2007: 239).

The four main reaction steps in the ternary MOC ($MgO$-$MgCl_2$-$H_2O$) system are: $2Mg(OH)_2{\cdot}MgCl_2{\cdot}4H_2O$ (phase 2), $3Mg(OH)_2{\cdot}MgCl_2{\cdot}8H_2O$ (phase 3), $5Mg(OH)_2{\cdot}MgCl_2{\cdot}8H_2O$ (phase 5) and finally $9Mg\ (OH)_2{\cdot}MgCl_2{\cdot}5H_2O$ (phase 9). Phases 3 and 5 can exist at room temperature, while phases 2 and 9 only occur at temperatures exceeding 100 degrees Celsius. Magnesium hydroxide or brucite ($Mg\ [OH]_2$) is another possible reaction product with sufficient reaction medium. Consequently, optimum phase 5 crystal formation is preferred in hydrated MOC cement, as it is widely reported that crystals provide the best mechanical properties. Phase 5 can theoretically be obtained by mixing the molar ratio of $MgO/MgCl_2$ with the water required by the stoichiometry. Mechanical strength is highly dependent on the MOC phases produced and the appropriate ratios of starting materials (Li and Chau, 2007: 866-867) (Xu et al., 2016: 614).

In this study, the MOC mixture known as Sorel cement was produced in 4 different A (7-16) and B (11-23) molar ratios and its physical-mechanical properties were investigated. MOC samples were cured at 23°C-%50 RH for 7, 14 and 28 days. Depending on the curing times, on the samples; compressive-flexural strength, unit volume mass and capillary water absorption tests were carried out. In this context, the molar ratios of $MgO/MgCl_2$ and $H_2O/MgCl_2$ and the change of physico - mechanical properties depending on the curing time were examined in detail.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 2. Material and Method

Magnesium oxide (MgO) and magnesium chloride hexahydrate ($MgCl_2.6H_2O$) were used in the magnesium oxychloride cement (MOC) samples produced within the scope of this study. Mortar composition does not contain aggregate. MgO and $MgCl_2.6H_2O$ properties are given in Table 1 and Table 2.

Table 1- Chemical and physical properties of MgO (Anonymous, 2022)

| Chemical Components | % |
|---|---|
| MgO | ≥80 |
| $SiO_2$ | ≤ 5 |
| CaO | ≤2 |
| $Fe_2O_3$ | ≤ 0.6 |
| $Al_2O_3$ | ≤ 1.0 |
| Atomic mass (g/mole) | 40.3 |
| Density (g/cm$^{3)}$ | 3.58 |

Table 2- Chemical and physical properties of $MgCl_2.6H_2O$ (Anonymous, 2022)

| Chemical Components | % |
|---|---|
| $MgCl_2$ | ≥46 |
| $MgSO_4$ | ≤ 0.5 |
| KCl | ≤2 |
| NaCl | ≤ 1.0 |
| $Al_2O_3$ | ≤ 1.0 |
| Fe | ≤ 0.001 |
| Atomic mass (g/mole) | 203.3 |
| pH (%5 $H_2O$, 20°C) | 4.0 – 7.0 |
| Density (g/cm$^{3)}$ | 1.57 |

Production of MOC samples was carried out according to 4 different molar ratios of MgO /$MgCl_2.6H_2O$ (A) and $H_2O$ / $MgCl_2.6H_2O$ (B). Due to the targeting of Phase 5 formation in MOC samples, A and B molar ratios were kept in the ranges of 7-19 and 10-22, respectively (Li and Chau, 2007: 867). Magnesium chloride solution was prepared using campus tap water. In the calculations, the molar masses of MgO, $MgCl_2$ and $H_2O$ were taken as 40.3, 95.2 and 18.0 g/mole, respectively.

ISBN: 978-605-71156-5-2

The mole values (n) of the components were calculated using Equation 1.

$$n = \frac{m}{M_m} \quad (1)$$

m: Amount of substance, g,

$M_m$ : Molecular mass, g/mole,

n : It is the mole value, mole.

The mass % ratios of the components in the mixture, their mole values (n), the A and B molar ratios in each mixture were given in detail in Table 3.

Table 3- The mass ratios, mole values, A and B molar ratios of the components in mixtures.

| Components | M1 | M2 | M3 | M4 |
|---|---|---|---|---|
| MgO (g) | 690 | 725 | 760 | 780 |
| $MgCl_2$ Çözeltisi (g) | 690 | 660 | 630 | 600 |
| Liquid/Solid | 1.00 | 0.91 | 0.83 | 0.77 |
| $H_2O$ (%) | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 |
| $MgCl_2.6H_2O$ (%) | 0.70 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| $H_2O/MgCl_2.6H_2O$ | 0.43 | 0.67 | 1.00 | 1.50 |
| Water (g) | 207 | 264 | 315 | 360 |
| $MgCl_2.6H_2O$ (g) | 483 | 396 | 315 | 240 |
| $n_{su}$ ($H_2O$) | 25.85 | 26.43 | 26.86 | 27.13 |
| $n_{mc}$ ($MgCl_2$) | 2.39 | 1.96 | 1.56 | 1.19 |
| $n_{mgo}$ (MgO) | 17.25 | 18.13 | 19.00 | 19.50 |
| A (mole/mole) | 7.21 | 9.25 | 12.18 | 16.41 |
| B (mole/mole) | 10.81 | 13.48 | 17.22 | 22.83 |

The prepared mixtures were poured into 40x40x160 mm prism sample molds. Nine prism samples were prepared from each sample group. 1 Sample set component amounts were given in Table 4.

Table 4- The component quantities for a sample set (9 prisms)

| No | MgO (g) | $MgCl_26H_2O$ (g) | Water (g) | Volume ($cm^3$) |
|---|---|---|---|---|
| M1 | 690 | 483 | 207 | 750 |
| M2 | 725 | 396 | 264 | 750 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| M3 | 760 | 315 | 315 | 750 |
| M4 | 780 | 240 | 360 | 750 |

The samples removed from the mold were conditioned for 7, 14 and 28 days in a climate cabinet at 23°C and 50% relative humidity. The samples, which completed the curing period, were dried at 70°C in an air circulation oven until they reached a constant mass. Sample masses were weighed with an electronic balance with a sensitivity of 1/100 g, and their dimensions were measured with an electronic caliper with a sensitivity of 1/100 mm.

The the mass per unit volume ($\rho_{uvm\text{-}dry}$) of the MOC samples were determined in accordance with the TS EN 1015-10 standard and were calculated using Equation 2 (TS EN 1015-10, 2001: 2-3).

$$\rho_{uvm-dry} = \frac{m_{dry}}{V_n} \quad (2)$$

Calculated dry unit volume mass values were rounded to ±10 kg/m$^3$.$V_n$ is the volume of the sample, cm$^3$.

Capillary water absorption coefficients of samples cured for 7 and 28 days were measured using mortar prism samples under prescribed conditions. The experiment was carried out in accordance with the TS EN 1015-18 standard (TS EN 1015-18, 2004: 8). Prism samples were placed in the tray containing water, after 10 minutes the samples were removed from the tray, the surface water was wiped with a moist cloth, the sample ($M_1$) was weighed and immediately placed in the tray. The same procedure was repeated after 90 minutes and the sample was weighed again ($M_2$). The capillary water absorption coefficient is, by definition, equal to the slope of the straight line connecting the representative points of the measurements taken at the 10$^{th}$ minute and the 90$^{th}$ minute. It was calculated using the equation given in Equation 3.

$$c = 0.1\ x\ (M_2 - M_1) \quad (3)$$

c : Capillary water absorption coefficient, kg/m$^2$.min$^{0.5}$

$M_2$ : 90 min. mass of sample in contact with water, g,

$M_1$ : 10 min. mass of sample in contact with water, g dır.

By taking the arithmetic average of 3 samples, the capillary water absorption coefficient (c) was rounded to the nearest 0.1 kg/m$^2$.min$^{0.5}$ .

The flexural and compressive strength tests of the samples, which completed the curing period of 7, 14 and 28 days, were carried out according to the TS EN 1015-11 standard (TS EN 1015-11, 2020: 5). In the flexural strength test, the loading speed was chosen as 50 N/s. In order to determine the compressive strength, 2 pieces of prism that emerged as a result of the test were preserved until the test. Flexural strength, $f_{cf}$, was calculated using Equation 4.

ISBN: 978-605-71156-5-2

$$f_{cf} = \frac{3}{2} \text{ x } \frac{F \text{ x } L}{b \text{ x } h^2}$$

(4)

$f_{cf}$: Flexural strength, MPa,

F: The greatest load applied, N,

L: Distance between bearings, mm,

b: Width of sample, mm,

h: Height of sample, mm,

The arithmetic average of the flexural strength results of 3 prism samples was taken and the average flexural strength was calculated with an approximation of 0.1 N/mm$^2$.

The samples were subjected to the compressive strength test immediately after the flexural test. The loading speed was chosen as 250 N/s in the experiment. The compressive strength was calculated according to Equation 5.

$$f_c = \frac{F}{A} \tag{5}$$

$f_c$: The compressive strength, MPa,

F: The largest applied load, N,

A: The cross-sectional area of the sample, mm$^2$ dir.

By taking the arithmetic average of the results of 6 sample pieces obtained from 3 prisms, the average compressive strength was calculated with an approximation of 0.1 N/mm$^2$.

## 3. Results

### 3.1. The Dry-Mass Per Unit Volume ($\rho_{muv\text{-}dry}$)

Depending on the curing time of the samples, dry mass per unit volume ($\rho_{muv\text{-}dry}$) values were determined and the findings were given in Fig 1. When the $\rho_{muv\text{-}dry}$ were compared in 7 and 14 day curing periods; while the increase was 1.8%, 0.7 and 0.8 in $M_1$, $M_2$ and $M_3$ samples, it decreased ~3.6% in $M_4$ sample. The increase in dry mass was associated with shrinkage, and its decrease with expansion. A very small amount of shrinkage occurred from 7 days to 14 days in $M_1$, $M_2$ and $M_3$ samples. On the other hand, it can be argued that there is an expansion in the $M_4$ sample.

When the $\rho_{muv\text{-}dry}$ were compared at 14 and 28 days curing times, it can be said that $M_1$ and $M_3$ samples almost gained volumetric stability, while $M_2$ and $M_4$ samples had shrinkage of 0.8% and 0.5%, respectively. In addition after the 14-day curing period, MOC samples were largely volumetric stable, ignoring minor changes. The $\rho_{muv\text{-}dry}$ values of $M_{1\text{-}4}$ samples, which completed the 28-day curing period, were determined as 1838, 1790, 1711 and 1623 kg/m$^3$, respectively.

ISBN: 978-605-71156-5-2

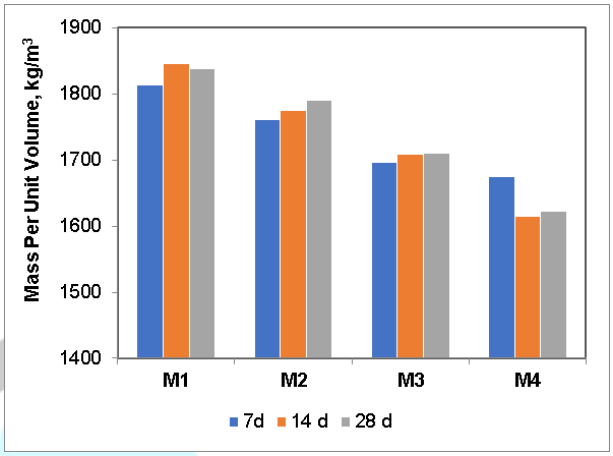



Figure 1- The relation between curing time - $\rho_{muv\text{-}dry}$ in MOC samples

### 3.2. Flexural and Compressive Strength

The $f_{cf}$ and $f_c$ values of the samples were determined according to the curing time. The findings were given in Fig 2 and Fig 3.

$f_{cf}$ values according to the 7 days curing periods;

- It decreased by 16% in 14 days and 38% in 28 days in $M_1$ samples.

- It increased by 7% in 14 days and 40% in 28 days in $M_2$ samples.

- It decreased by 28% in 14 days and increased by 64% in 28 days in $M_3$ samples.

- It decreased by 40% in 14 days and increased by 7% in 28 days in $M_4$ samples.

$M_1$ sample (2.6 MPa) showed the lowest $f_{cf}$ values at 28 days, while $M_3$ sample (15.5 MPa) showed the highest $f_{cf}$ values. According to $f_{cf\text{-}28g}$ values, $M_3$ sample has the most suitable A and B molar ratios. The $f_{cf}$ of the $M_1$ specimen (28 days) was much lower than the others. The reason for this was associated with the large number of cracks observed in the samples (Fig 4).

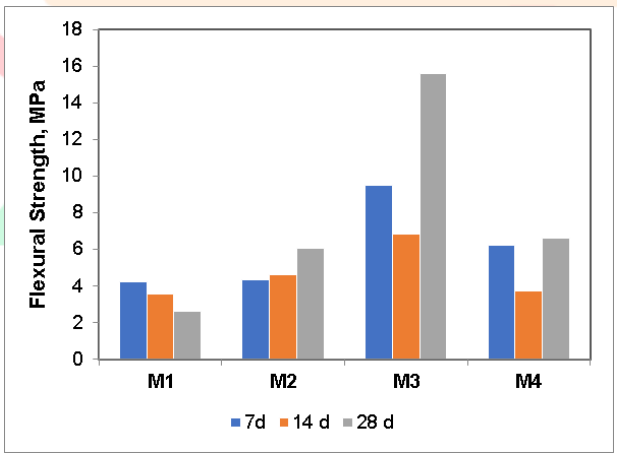



Figure 2. The flexural strength of MOC samples depending on curing time.

ISBN: 978-605-71156-5-2

The $f_c$ values according to the 7 days curing periods;

- It increased by 3% in 14 days and 7% in 28 days in $M_1$ samples,
- It increased by 3% in 14 days and 25% in 28 days in $M_2$ samples,
- It decreased by 5% in 14 days and increased by 7% in 28 days in $M_3$ samples,
- It decreased by 2% in 14 days and increased by 12% in 28 days in $M_4$ samples.

$M_4$ sample (50.4 MPa) showed the lowest $f_c$ values in 28 days, and $M_1$ sample (87.3 MPa) showed the highest $f_c$ values. $M_1$ sample has the most suitable A and B molar ratios in terms of $f_{c\text{-}28g}$ values.

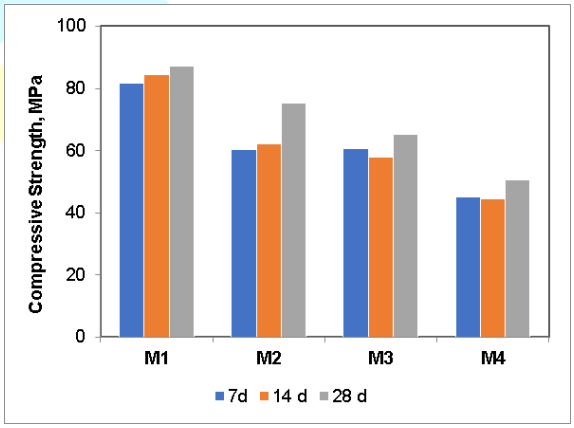



Figure 3. The compressive strength of MOC samples depending on curing time.

Figure 4. The cracks observed in $M_1$ samples at 28 days.

### 3.3. Capillary Water Absorption (*c*)

The most important reason why MOC concretes are not widespread in the construction industry is that they are affected by water. Capillarity is an important property that affects the interaction of the material with water. For this reason, capillary water absorption coefficient experiments were carried out on MOC samples with different A and B molar ratios at curing times of 7 and 28 days. The findings were given in Fig 5. Among the MOC samples, at 7 and 14 days, the lowest "*c*" values were shown by $M_1$ (0.062 and 0.056 kg/m$^2$min$^{0.5}$) samples, and the highest *c* values were shown by M4 (0.3 and 0.23) kg/m$^2$min$^{0.5}$.

ISBN: 978-605-71156-5-2

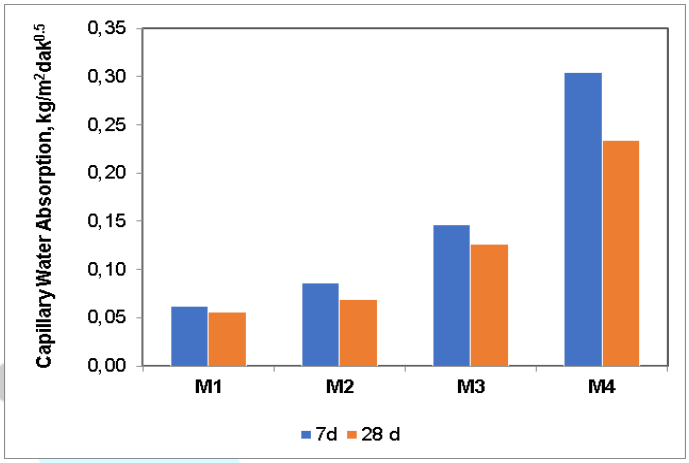



Figure 5. The *c* values of MOC samples at 7 and 28 days.

Depending on the increase in curing time, there is a decrease of 9-23% in *c* values. The increase in B ratio in MOC samples also increases the *c* value. B molar ratio – the variation of c values was examined in Fig 6. 1.1 times increase in B rate in 28 days, It caused the c value to increase by 3.2 times.

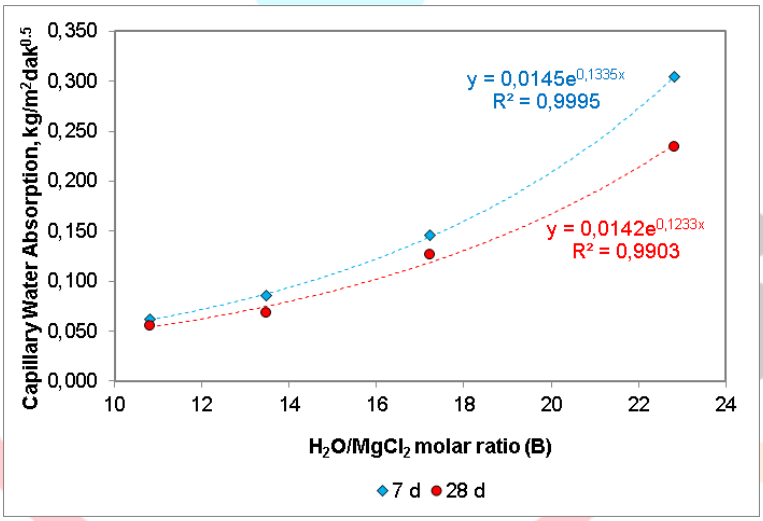



Figure 6. The relation between *c* values and B molar ratio in MOC samples

## 4. Results and Discussion

In this study, the effects of $MgO/MgCl_2$ (A) and $H_2O/MgCl_2$ (B) molar ratios on the physical and mechanical properties of MOC samples were investigated at 7, 14 and 28 days. A: 7-12 and B: 11-23 were selected. At curing times of 7, 14 and 28 days;

- There was no significant change in the $\rho_{muv\text{-}dry}$ values of the samples for the ratios A: 7, B: 12 (1814, 1846, 1838 kg/m$^3$). The $f_{cf}$ values of the samples decreased (4.2, 3.5 and 2.6 MPa, respectively), while the $f_c$ values increased slightly (82, 85, 87 MPa). The capillary water absorption coefficient of the samples did not change (0.062 and 0.056 kg/m$^2$min$^{0.5}$).

ISBN: 978-605-71156-5-2

- For the ratios A: 9, B: 13; There was no significant change in the $\rho_{muv\text{-}dry}$ values of the samples (1761, 1776, 1793 kg/m$^3$). The $f_{cf}$ values of the samples did not change at 14 days, but increased at 28 days (4.3, 4.6 and 6.0 MPa, respectively). Their $f_c$ values did not change at 14 days, but increased at 28 days (60, 62, 75 MPa). The *c* values of the samples decreased slightly (0.086 and 0.069 kg/m$^2$min$^{0.5}$).

- For ratios A:12 , B: 17; There was no significant change in $\rho_{muv\text{-}dry}$ of MOC samples (1697, 1709, 1711 kg/m$^3$), $f_{cf}$ values decreased in 14 days. However, it increased at a high rate in 28 days. (9.5, 6.8 and 15.6 MPa, respectively), $f_c$ values decreased slightly in 14 days. However, it increased in 28 days. (61, 58, 65 MPa), *c* values slightly decreased (0.146 and 0.126 kg/m$^2$min$^{0.5}$).

- For the ratios A: 16, B: 23, the $\rho_{muv\text{-}dry}$ decreased slightly in 14 days and did not change in 28 days (1676, 1615, 1623 kg/m$^3$). Their $f_{cf}$ values decreased at 14 days but it increased at 28 days (6.2, 3.7 and 6.6 MPa, respectively). While the $f_c$ values unchanged in 14 days, they increased in 28 days (45, 44, 50 MPa). The *c* values slightly decreased (0.304 and 0.234 kg/m$^2$min$^{0.5}$).

Depending on the increase in A and B molar ratios; Compared to the $M_1$ sample, the $f_c$ of the $M_2$, $M_3$ and $M_4$ samples are 14, 25 and 42% lower, respectively, their flexural strengths were 130, 495 and 152% higher, and the c values were 23, 126 and 319 % higher, respectively, at 28 days.

As a result, the most important mixing parameters determining the physical and mechanical properties of MOC concrete were the molar ratios of $MgO/MgCl_2$ and $H_2O/MgCl_2$.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 5. References

Aiken, T. A., Russell, M., McPolin, D., & Bagnall, L. (2020). Magnesium oxychloride boards: Understanding a novel building material. *Materials and Structures*, *53(5)*, 1-16. https://doi.org/10.1617/s11527-020-01547-z

Andrew, R. M. (2018). Global $CO_2$ emissions from cement production. *Earth System Science Data, 10(1)*, 195-217. doi.org/10.5194/essd-10-195-2018, 2018.

Anonymous, (2022). *Product*. Retrieved from (https://www.tekkim.com.tr/products.php), on (22.04.2022).

Guo, Y., Zhang, Y., Soe, K., & Pulham, M. (2018). Recent development in magnesium oxychloride cement. *Structural Concrete, 19(5)*, 1290-1300. doi.org/10.1002/suco.201800077

Jurišová, J., Fellner, P., & Pach, L. (2015). Characteristics of Sorel cement prepared from impure materials. *Acta Chimica Slovaca*, *8(2),* 87-90. doi:10.1515/acs-2015-0015

Li, Z., & Chau, C. K. (2007). Influence of molar ratios on properties of magnesium oxychloride cement. *Cement and Concrete Research, 37(6)*, 866-870. doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.03.015

Misra, A. K., & Mathur, R. (2007). Magnesium oxychloride cement concrete. *Bulletin of Materials Science, 30(3)*, 239-246. doi.org/10.1007/s12034-007-0043-4

Singh, A., Kumar, R., & Goel, P. (2021). Factors influencing strength of magnesium oxychloride cement. *Construction and Building Materials, 303*, 124571. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124571

Strydom, C. A., Van Der Merwe, E. M., & Aphane, M. E. (2005). The effect of calcining conditions on the rehydration of dead burnt magnesium oxide using magnesium acetate as a hydrating agent. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 80(3)*, 659-662. doi.org/10.1007/s10973-005-0710-x

TS EN 1015-10, 2001. Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar, Ankara, Turkey.

TS EN 1015-11, 2020. Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, Ankara, Turkey.

TS EN 1015-18, 2004. Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar, Ankara, Turkey.

Xu, B., Ma, H., Hu, C., Yang, S., & Li, Z. (2016). Influence of curing regimes on mechanical properties of magnesium oxychloride cement-based composites. *Construction and Building Materials, 102*, 613-619. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.205

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Adana ve Mersin İli Örtüaltı Domates ve Biber Üretim Alanlarında Sorun Olan Yabancı Ot Türleri, Yoğunlukları ve Rastlama Sıklıklarının Belirlenmesi

*Hilmi TORUN*[1]

**Özet**

Yabancı otlar günümüz tarımında önemli bitki koruma sorunlarının (böcek, patojen, yabancı ot vs.) başında gelmektedir. Tarımda yabancı otlarla mücadele edilmediği takdirde yetiştirilen ürünlerde ciddi verim kayıpları söz konusudur. Yapılan bu çalışma Adana ve Mersin ili örtüaltı domates ve biber üretim alanlarında verim kayıplarına neden olan yabancı ot türlerinin, yoğunluklarının (adet/m$^2$) ve rastlama sıklıklarının (%) bölgesel bazlı belirlenmesi amacıyla planlanmıştır. Surveyler 2020-2021 yılları arası Güz ve Bahar dönemlerinde örtüaltı domates ve biber yetiştiriciliği yapılan alanlarda hasattan önce rastlantısal olarak geçekleştirilmiştir. Toplamda 429 dekarlık alanda 45 sera incelenmiş olup, 12 farklı familyaya ait 18 yabancı ot türü tespit edilmiştir. Rastlama sıklığında *Amaranthus retroflexus* L. (%35.56), *Cyperus rotundus* L. (%13.33), *Portulaca oleracea* L. (%13.33), *Solanum nigrum* L. (%13.33) ve *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. (%11.11), yoğunluklarda ise *A. retroflexus* L. (0.86 adet/m$^2$) ve *C. rotundus* L. (0.19 adet/m$^2$) en yüksek ve yaygın türler olarak seralarda kaydedilmiştir. Familya düzeyinde değerlendirildiğinde Poaceae %22.22 (4 tür), Fabaceae %16.67 (3 tür) ve Amaranthaceae %11.11 (2 tür) ile ilk üç sırada yer almıştır. Sonuç olarak bölgesel bu çalışmayla örtüaltı domates ve biber alanlarında sorun olan yabancı ot türleri belirlenmiş ve diğer bölgelerde saptanan türlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca domates ve biber sera alanlarında saptanan ana veya potansiyel konumundaki yabancı ot türleri için yapılacak olan kritik periyot ve ekonomik zarar eşiği çalışmaları ile uygun yabancı ot mücadele stratejilerinin gerçekleştirilmesinde temel oluşturduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yabancı ot, domates ve biber, örtüaltı, rastlama sıklığı, yoğunluk

[1] Doktor, Adana Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yabancı Ot Bölümü, Orcıd: 0000-0001-6730-8809 hilmi.torun@tarimorman.gov.tr

ISBN: 978-605-71156-5-2

## Giriş

Domates (*Solanum lycopersicum*) ve biber (*Capsicum annuum*) ülkemiz için önemli tarım ürünleri olup, Solanaceae familyası içerisinde bulunan ve insan beslenmesinde sofralarda gerek çiğ gerekse pişirilerek tüketilen sebzelerin başında gelmektedir. Türkiye'de hemen hemen her yerde yetiştirilebilen domates ve biber üretiminin örtüaltı (sera, cam, plastik vs.) değerleri incelendiğinde 2020 verilerine göre Adana ve Mersin illeri toplamı ülkenin üretim alanlarının %15.83 (53.598 da)'lük kısmını, üretimin ise %12.33 (587.019 ton)'lük kısmını karşılamaktadır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2020).

Bütün kültür bitkilerinde olduğu gibi domates ve biber yetiştiriciliğinde de birçok bitki koruma zararlısı (böcek, patojen, yabancı ot vs.) sorunuyla karşılaşılmaktadır. Bunların başında ise verim ve kaliteyi olumsuz etkileyen yabancı otlar gelmektedir. Yabancı otlar kültür bitkisi yetiştirilen alanlarda ısı, ışık ve besin rekabetine girerek kültür bitkilerinde gelişim geriliğine sebep olurlar. Bu nedenle domates ve biber gibi ekonomik öneme sahip olan ürünlerde de yabancı otlar girdi maliyetlerini arttırmaktadır.

Ülkemizde farklı bölgelerde domates ve biber üretim alanlarında yapılan surveylerde ve çalışmalarda *Amaranthus* spp., *Chenopodium album* L., *Convolvulus arvensis* L., *Cyperus rotundus* L., *Echinochloa* spp., *Melilotus officinalis* (L.) Desr., *Orabanche* spp., *Polygonum aviculare* L., *Portulaca oleracea* L., *Setaria viridis* (L.) P.B., *Solanum nigrum* L. ve *Sorghum halepense* (L.) Pers. gibi yaygın türlerin üretimde problem olduğu bildirilmiştir (İbrişim ve Kitiş, 2020: 63-73; Kitiş, 2002: 121; Özaslan ve Kendal, 2014: 29-34; Özkut, 1976; Pamukoğlu, 2011: 61; Sırma vd., 2001: 13; Sırrı, 2014: 163). Bunun yanında domates ve biber üretiminde sorun olan türlere karşı solarizasyon, malçlama, farklı mekanik uygulamalar, allelopati, herbisit ve tuzak bitki kullanımı gibi bazı önemli olabilecek mücadele yöntemleri denenmiş, ancak bu tarz çalışmalara ek olarak farklı mücadele yöntemlerinin çalışılması ve üretici nezdinde yaygınlaştırılması gerektiği ortaya çıkarılmıştır (Aksoy vd., 2014: 126-135; Arslan vd., 2012: 349-366; Arslan ve Uygur, 2014: 219-232; Ateş ve Uygur, 2013: 69-77; Kaya, 2011: 54; Şenol, 1999: 86).

Bu çalışma Adana ve Mersin illeri örtüaltı domates ve biber yetiştirilen alanlarda sorun olan yabancı ot türlerinin, familyalarının, yoğunluklarının ve rastlama sıklıklarının belirlenmesi üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda örtüaltı yönüyle bölgemizde yoğun yetiştiricilik yapılan alanlarda sorun olan türlerin belirlenmesi ve diğer bölgelerde yapılan çalışmalarda sorun olan türlerin karşılaştırılması amacıyla planlanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Çalışma Adana (Ceyhan, Sarıçam, Seyhan ve Yüreğir) ve Mersin (Akdeniz, Tarsus ve Yenice) illeri örtüaltı domates ile biber yetiştiriciliği yapılan alanlarda yürütülmüştür. Bu illerde rastlantısal olarak girilen alanlarda bulunan önemli yabancı ot türleri ile bu türlerin rastlama sıklıkları (%) ve yoğunlukları (adet/$m^2$) belirlenmiştir. Survey metodu toplam alanın yaklaşık %1'ini temsil edilecek şekilde planlanmıştır (Bora ve Karaca, 1970: 167). Surveyler 2020-2021 yıllarında Güz ve Bahar dönemi örtüaltı üretim alanlarında toplam 45 noktada; Adana ilinde 175 dekar alanda 14

ISBN: 978-605-71156-5-2

noktada, Mersin ilinde 254 dekar alanda 31 noktada yabancı ot sayımları ve örneklemeleri yapılarak gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1 - 2020-2021 yılı Adana ve Mersin ili örtüaltı domates ve biberde survey yapılan alanlar (da) ile incelenen alan sayıları (adet) (Türkiye İstatistik Kurumu, 2020).

| İl | İlçe | İncelenecek alan (da) (Domates + Biber) | Alan (da) | Sayı (adet) |
|---|---|---|---|---|
| Adana | Ceyhan | 14.727 | 55 | 2 |
| | Sarıçam | | 80 | 8 |
| | Seyhan | | 15 | 2 |
| | Yüreğir | | 25 | 2 |
| Mersin | Akdeniz | 38.871 | 149 | 19 |
| | Tarsus | | 3 | 11 |
| | Yenice | | 102 | 1 |
| Toplam | | 53.598 da (%100) | 429 da (%1) | 45 adet |

Yabancı ot sayımları örtüaltı alanlarda köşegenler doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup, alanın 5-10 m içerisinden başlanarak yapılmış ve her ayrı incelenen örtüaltı domates ile biberde 5 adet (kez) çerçeve atılmıştır. Surveylerde yabancı ot türlerini belirlemek amacıyla teşhisler Davis (1965-1988)'e göre yapılmıştır. Bu sayede çerçeve içerisinde düşen yabancı otların rastlama sıklıkları (%) ve yoğunlukları (adet/$m^2$) hesaplanmıştır (Odum, 1971: 574; Uygur vd., 1984: 114). Rastlama sıklığı; bir yabancı ot türünün survey yapılan toplam alan içerisinde yüzde kaçında karşılaşıldığını gösteren değerdir. Yoğunluk ise; atılan çerçeve (metrekaredeki) içerisine düşen toplam bitki sayı adedinin, toplam survey yapılan çerçeve adedine bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Odum, 1971: 574).

**Bulgular ve Tartışma**

Örtüaltında 28 adet domates (314.5 da) ile 17 adet biber (114.5 da) üretim alanı 2020-2021 yıllarında Güz ve Bahar döneminde incelenmiş ve survey çalışması sonucunda 12 farklı familyaya ait 18 yabancı ot türü tespit edilmiştir. Bu yabancı ot türlerinden 4 adedi monokotiledon, 13 adedi dikotiledon ve 1 adedi parazit bir bitki olarak teşhis edilmiştir (Tablo 2). Domateste yapılan bazı survey çalışmalarında Isparta'da 1 tohumsuz, 1 monokotiledon ve 30 dikotiledon olmak üzere 32 familyaya ait toplam 165 yabancı ot türü (Kitiş, 2002: 121), Antalya'nın Kumluca ilçesi örtüaltı üretim alanlarında 1'i parazit, 5'i tek çenekli, 38'i çift çenekli olmak üzere, 21 familyaya ait toplam 44 tür (İbrişim ve Kitiş, 2020: 63-73) ve Diyarbakır Lice'de 17 familyaya ait 4'ü cins, 28'i tür düzeyinde olmak üzere toplam 32 takson (Özaslan ve Kendal, 2014: 29-34) saptanmıştır. Kahramanmaraş kırmızı biber yetiştirilen alanlarda Pamukoğlu (2011: 61) yaptığı surveylerde ise 1 parazitik, 2 monokotiledon ve 12 dikotiledon olmak üzere 15 familyaya ait toplam 20 yabancı ot türü, Sırrı (2014: 163) Tokat Kazova ilçesi biber, patlıcan ve fasulye üretim alanlarında ilkbaharda 98 yabancı ot türü, sonbaharda ise 56 yabancı ot türü toplamında 29 familya belirlemiştir.

Tablo 2 - Adana ve Mersin ili örtüaltı domates ve biber üretim alanlarında saptanan yabancı otlar ile bu türlerin yaygınlık (%) ve yoğunlukları (adet/$m^2$).

ISBN: 978-605-71156-5-2

| Yabancı Ot Türleri (Bilimsel İsmi) | Türkçe İsmi* | Domates | | Biber | | Genel | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Rastlama sıklığı (%) | Yoğunluk (adet/m$^2$) | Rastlama sıklığı (%) | Yoğunluk (adet/m$^2$) | Rastlama sıklığı (%) | Yoğunluk (adet/m$^2$) |
| **Fam: AMARANTHACEAE** | | | | | | | |
| *Amaranthus retroflexus* L. | Kırmızı köklü horozibiği | 28.57 | 0.77 | 41.18 | 1.01 | 35.56 | 0.86 |
| *Amaranthus graecizans* L. | Dar yapraklı horozibiği | <0.01 | <0.01 | 5.88 | 0.01 | 2.22 | <0.01 |
| **Fam: ASTERACEAE** | | | | | | | |
| *Conyza canadensis* (L.) Cronquist | Pire otu | 10.71 | 0.06 | 5.88 | 0.05 | 8.89 | 0.05 |
| **Fam: BORAGINACEAE** | | | | | | | |
| *Heliotropium europeaum* L. | Bozot | <0.01 | <0.01 | 5.88 | 0.01 | 2.22 | <0.01 |
| **Fam: CONVOLVULACEAE** | | | | | | | |
| *Convolvulus arvensis* L. | Tarla sarmaşığı | <0.01 | <0.01 | 5.88 | 0.01 | 2.22 | <0.01 |
| **Fam: CYPERACEAE** | | | | | | | |
| *Cyperus rotundus* L. | Topalak | 17.86 | 0.29 | 5.88 | 0.02 | 13.33 | 0.19 |
| **Fam: EUPHORBIACEAE** | | | | | | | |
| *Euphorbia nutans* Lag. | Sütleğen | 3.57 | 0.01 | <0.01 | <0.01 | 2.22 | 0.01 |
| **Fam: FABACEAE** | | | | | | | |
| *Melilotus officinalis* (L.) Desr. | Kokulu sarı yonca | 3.57 | 0.01 | <0.01 | <0.01 | 2.22 | <0.01 |
| *Prosopis farcta* (Banks & Sol.) Macbr. | Çeti | <0.01 | <0.01 | 5.88 | 0.01 | 2.22 | <0.01 |
| *Trifolium* spp. | Üçgül | 7.14 | 0.04 | 11.76 | 0.05 | 8.89 | 0.04 |
| **Fam: OROBANCHACEAE** | | | | | | | |
| *Orabanche* spp. | Canavar otu | 3.57 | 0.02 | <0.01 | <0.01 | 2.22 | 0.01 |
| **Fam: POACEAE** | | | | | | | |
| *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. | Çatal otu | 7.14 | 0.10 | 17.65 | 0.09 | 11.11 | 0.10 |
| *Echinochloa colonum* (L.) Link | Benekli darıcan | <0.01 | <0.01 | 23.53 | 0.34 | 8.89 | 0.13 |
| *Eleusine indica* (L.) Gaertn. | Kaz çimi | <0.01 | <0.01 | 11.76 | 0.13 | 4.44 | 0.05 |
| *Setaria viridis* (L.) P.B. | Yeşil kirpi darı | <0.01 | <0.01 | 5.88 | 0.07 | 2.22 | 0.03 |
| **Fam: PORTULACACEAE** | | | | | | | |
| *Portulaca oleracea* L. | Semiz otu | 10.71 | 0.14 | 17.65 | 0.13 | 13.33 | 0.13 |
| **Fam: SOLANACEAE** | | | | | | | |
| *Solanum nigrum* L. | Köpek üzümü | 7.14 | 0.02 | 5.88 | 0.04 | 13.33 | 0.03 |
| **Fam: URTICACEAE** | | | | | | | |
| *Urtica urens* L. | Isırgan otu | <0.01 | <0.01 | 11.76 | 0.04 | 4.44 | 0.01 |

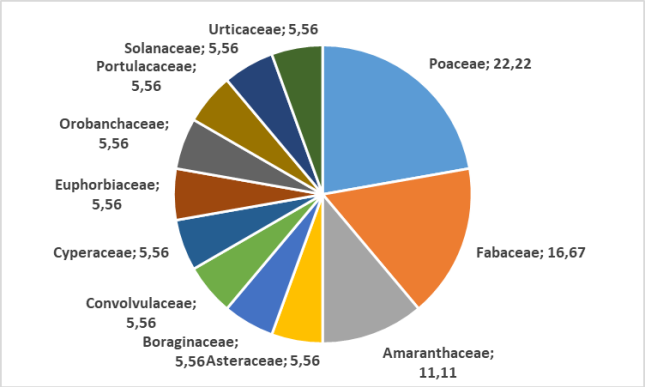
* Türkçe isimleri Uluğ vd. (1993: 513)'den alınmıştır.

Adana ve Mersin ili örtüaltı domates ve biber alanlarında 2020-2021 yılları arasında bulunan yabancı ot türlerinin rastlama sıklığı birlikte değerlendirildiğinde *Amaranthus retroflexus* L. %35.56; *C. rotundus* L., *P. oleracea* L. ve *S. nigrum* L. %13.33; *D. sanguinalis* (L.) Scop. %11.11 ile en yüksek saptanmıştır. Ürün bazında domateste *A. retroflexus* L. %28.57; *C. rotundus* L. %17.86; *C. canadensis*

ISBN: 978-605-71156-5-2

(L.) Cronquist ve *P. oleracea* L. %10.71, biberde gene *A. retroflexus* L. %41.18 ile başta olmak üzere *E. colonum* (L.) Link %23.53; *D. sanguinalis* (L.) Scop. ve *P. oleracea* L. %17.65 en yüksek olacak şekilde kaydedilmiştir (Tablo 2). Tokat ili domates üretim alanlarında Sırma vd. (2001: 13) 98 tarlada 786 dekar alanda 25 familyaya ait 49 tür belirlemiş, bunlardan *A. retroflexus* L., *C. album* L., *C. arvensis* L., *C. rotundus* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) P.B., *Orabanche* spp., *P. oleracea* L., *S. viridis* (L.) P.B., *S. nigrum* L. ve *S. halepense* (L.) Pers. türlerini önemli olarak saptamıştır. Benzer şekilde Kumluca (Antalya) ilçesinde İbrişim ve Kitiş (2020: 63-73) 148 dekar alanda 65 domates serasında gerek rastlama sıklığı gerekse yoğunluk bakımından en önemli türleri *A. retroflexus* L., *C. rotundus* L., M. *officinalis* (L.) Desr. ve *P. oleracea* L. olarak belirlemiş ve yapılan çalışmalarla tespit edilen türlerin örtüştüğü görülmüştür.

Belirlenen yabancı ot türleri familyalara göre değerlendirildiğinde Poaceae familyası %22.22 (4 tür) ile ilk sırayı almaktadır. Bu familyayı %16.67 (3 tür) ile Fabaceae ve %11.11 (2 tür) ile Amaranthaceae familyaları takip etmiştir (Şekil 1). Yapılan diğer çalışmalarda olduğu gibi Pamukoğlu (2011: 61)'nun Kahramanmaraş ili kırmızı biber surveylerine de paralellik göstererek Poaceae familyası (%15.00; 3 tür) en yüksek, ardından Amaranthaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae ve Solanaceae (%10.00; 2'şer tür) familyaları gelmiştir.




Şekil 1 - Adana ve Mersin ili örtüaltı domates ve biberde saptanan yabancı otların familyalara göre dağılımları (%).

Hemen hemen bütün örtüaltı domates ve biber üretim alanlarında aynı yabancı ot türleri ile karşılaşılmıştır. Adana ve Mersin ili üretim alanlarında belirlenen yabancı otların genel yoğunluklarına bakıldığında *A. retroflexus* L. 0.86 adet/m$^2$ ve *C. rotundus* L. 0.19 adet/m$^2$ olarak hesaplanmıştır. En yüksek yoğunluk örtüaltı domateste *A. retroflexus* L. 0.77 adet/m$^2$ ve *C. rotundus* L. 0.29 adet/m$^2$, biberde ise *A. retroflexus* L. 1.01 adet/m$^2$ ve *E. colonum* (L.) Link 0.34 adet/m$^2$ olmuştur (Tablo 2). Adana ve Mersin illerinde yapılan surveylerde olduğu gibi Antalya Kumluca ilçesi domates seralarında *A. retroflexus* L. 5.70 adet/m$^2$, *M. officinalis* (L.) Desr. 4.40 adet/m$^2$ ve *P. oleracea* L. 3.50 adet/m$^2$ (İbrişim ve Kitiş, 2020: 63-73), Diyarbakır Lice'de *A. retroflexus* L. 4.63 adet/m$^2$, *C. arvensis* L. 4.09 adet/m$^2$, *S. halepense* (L.) Pers. 4.06 adet/m$^2$, *S. nigrum* L. 3.37 adet/m$^2$, *E. colonum* (L.) Link. 3.04 adet/m$^2$ ve parazitik yabancı otlardan *Orabanche ramosa* (L.) Pomel 3.73 adet/m$^2$ (Özaslan ve Kendal, 2014: 29-34) ile fazla yoğunluk oluşturan türler olmuştur. Gene Ege Bölgesi'nde İzmir ve çevresindeki çalışmada domates, biber ve patlıcan üretim alanlarında yabancı ot surveylerinde en yoğun türlerin *Amaranthus* spp., *C. album* L. ve *P. oleracea* L. olduğu (Özkut, 1976), Tokat Kazova ilçesi domates üretim alanlarında sonbaharda *A. retroflexus* L., *C. album* L., *C.*

ISBN: 978-605-71156-5-2

*arvensis* L., *P. oleracea* L. ve *S. nigrum* L., ilkbaharda *A. retroflexus* L., *C. album* L., *C. arvensis* L. ve *Polygonum aviculare* L. türlerinin yaygın olarak görüldüğü bildirilmiştir (Sırrı, 2014: 163).

Yapılan bu çalışmada *A. retroflexus* L., *C. rotundus* L., *D. sanguinalis* (L.) Scop., *P. oleracea* L., *S. nigrum* L. gibi karşılaşılan yabancı ot türlerinin, İzmir ili domates, biber ve patlıcan üretim alanlarında (Özkut, 1976), Tokat ili domates üretim alanlarında (Sırma vd., 2001: 13), Isparta ili domates üretim alanlarında (Kitiş, 2002: 121), Diyarbakır ili domates üretim alanlarında (Özaslan ve Kendal, 2014: 29-34) ve Antalya domates sera alanlarında (İbrişim ve Kitiş, 2020: 63-73) saptanan türler ile benzer olduğu görülmüştür.

**Sonuç**

Bu bölgesel çalışmayla Adana ve Mersin ili örtüaltı domates ve biber yetiştiriciliği yapılan yoğun üretim alanlarında sorun olan yabancı ot türleri, bu türlerin yaygınlıkları ve yoğunlukları belirlenmiştir. Bölge surveylerinde tespit edilen yabancı ot türleri ile daha önce farklı bölgelerdeki survey çalışmalarında belirlenen türler arasında benzerlik olduğu gözlenmiştir. Ancak tespit edilen yabancı ot türlerinin bütün üretim alanlarında tamamen aynı olması beklenemez. Bu durumun birçok sebebi olmakla birlikte, bölgelerin toprak ve iklim yapılarının birbirinden farklı olması, oluşturulan ve uygulanan tarımsal agroekosistem farklılığı, farklı yabancı ot mücadele stratejileri, üretim alanlarında kullanılan herbisit miktarı gibi nedenlerden ötürü üretim alanlarında yabancı ot popülasyonlarında değişimler görülebilmektedir. Domates ve biber alanlarında bulunan yabancı ot popülasyonlarının verimle olan ilişkilerinin belirlenmesinde kritik periyot çalışmaları, ekonomik zarar eşiği çalışmaları, ekonomik ve uygun yabancı ot mücadele çalışmaları, ana veya potansiyel zararlı durumundaki yabancı ot türlerinin biyoloji çalışmalarının yapılması ve çevresel isteklerinin bilinmesine ek olarak eğitimlerle mücadeleye yönelik üreticilerin bilgilendirilmesi gereklidir.

**Teşekkür**

Bu çalışmayı destekleyen Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM/BSAD/Ü/21/A2/P1/2564)'ne teşekkür ederim.

**Kaynakça**

Aksoy, E., Arslan, Z.F., Tetik, Ö., Eymirli, S. (2014). Domates tarlalarında sorun olan mısırlı canavar otunun [*Phelipanche aegyptiaca* (Pers.) Pomel] mücadelesinde bazı tuzak ve yakalayıcı bitkilerin allelopatik özelliklerinden yararlanma olanakları. *Journal of Agricultural Sciences,* 20(2): 126-135. doi: 10.1501/Tarimbil_0000001273

Arslan, Z.F., Aksoy, E., Uygur, F.N. (2012) Doğu Akdeniz bölgesi örtüaltı domates yetiştiriciliğinde solarizasyon uygulamasının yabancı otlara ve verime etkisi. *Bitki Koruma Bülteni,* 52(4): 349-366.

Arslan, Z.F., Uygur, F.N. (2014). Sebze üretiminde sorun olan yabancı otlara karşı bazı yeni ve etkili yöntemler: malç tekstili, fırçalama aleti ve keser çapa. *Bitki Koruma Bülteni,* 54(3): 219-232.

Ateş, S., Uygur, F.N. (2013). Ekolojik yöntemlerle yetiştirilen patlıcan ve biberde yabancı ot mücadele yöntemlerinin ve etkinliklerinin araştırılması. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 2(1): 69-77.

Bora, T., Karaca, İ. (1970). *Kültür bitkilerinde hastalığın ve zararın ölçülmesi.* İzmir, Türkiye: Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, 167 s.

Davis, P.H. (1965-1988). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands.* Edinburgh, Great Britain: Edinburgh University Press.

İbrişim, H., Kitiş, Y.E. (2020). Kumluca (Antalya-Türkiye) ilçesi örtü altı domates yetiştiriciliğinde görülen yabancı otların bazı parametrelere bağlı yaygınlık ve yoğunlukları. *Turkish Journal of Weed Science,* 23(1): 63-73.

Kaya, Y. (2011). *Yeşil gübreleme ve malçlamanın sırık domates bitkisinde yabancı otlanmaya ve verime etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 54 s., Tokat.

Kitiş, Y.E. (2002). *Isparta ili domates ekiliş alanlarındaki yabancı otların, rastlama sıklıklarının ve yoğunluklarının belirlenmesi ve plastik toprak örtülerinin yabancı ot kontrolü ve domates verimine etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 121 s., Isparta.

Odum, E.P. (1971). *Fundamentals of ecology.* Philadelphia, London, Toronto: W.B. Sounders Company, 574 p.

Özaslan, C., Kendal, E. (2014). Lice domatesi üretim alanlarındaki yabancı otların belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 4(3): 29-34.

Özkut, A. (1976). *İzmir ve çevresi önemli sebze (domates, biber, patlıcan) alanlarında görülen yabancı ot türleri, bulunuş oranları ve savaş yöntemleri üzerinde araştırmalar* (Uzmanlık Tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Pamukoğlu, Z. (2011). *Kahramanmaraş kırmızı biber alanlarında sorun olan yabancı otlar ve bunlarla mücadelede kritik periyodun belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 61 s., Kahramanmaraş.

Sırma, M., Kadıoğlu, İ., Yanar, Y. (2001). *Tokat ili domates ekim alanlarında saptanan yabancı ot türleri, yoğunlukları ve rastlanma sıklıkları.* Türkiye III. Herboloji Kongresi Bildiri Özetleri, 9-12 Ekim, s. 13, Ankara.

Sırrı, M. (2014). *Tokat (Kazova) ve Konya (Çumra) ovalarında arazi kullanımına bağlı olarak yabancı ot dağılımının belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 163 s., Tokat.

Şenol, M. (1999). *Tokat (Kazova)'da yetiştirilen domates (Lycopersicon esculentum) kültüründe sorun olan yabancı otlar ile uygulanan farklı savaş yöntemlerinin verime olan etkileri üzerine araştırmalar* (Yüksek Lisans Tezi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 86 s., Tokat.

Türkiye İstatistik Kurumu (2020). *Türkiye İstatistik Kurumu.* Erişim tarihi: 26.01.2022, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr.

Uluğ, E., Kadıoğlu, İ., Üremiş, İ. (1993). *Türkiye'nin yabancı otları ve bazı özellikleri.* Adana, Türkiye: Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Zirai Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayın No:78, 513 s.

Uygur, F.N., Koch, W., Walter, H. (1984). *Yabancı ot bilimine giriş.* Stuttgart, Germany: PLITS, 1984/2(1), Verlog J. Margraf, 114 s.

International
Congress of Engineering and Natural Sciences
ISBN:NNNN-NNNN

# Blokzincir Kullanarak IoT Sistemlerinin Veri Güvenliğinin Sağlanması

*Kubilay TANYERİ*[1]
*Gül Fatma TÜRKER*[2]

**Özet**

Nesnelerin interneti (Internet of Things - IoT) endüstri alanınında son yıllarda logaritmik bir artış gözlenmektedir. Bu kadar büyük bir artışa rağmen mahremiyet ve güvenlik konularında IoT cihazları savunmasız durumdadırlar. Merkezi olmayan topolojiye sahip ve kaynak kısıtları olan IoT cihazları geleneksel olan güvenlik ve gizlilik özelliklerine sahip değillerdir. Güvenlik ve gizilik konularında yetersiz kalan IoT cihazlarının bu durumu kendi aralarında paylaşılan verilerin gizlilik ve güvenlik sorunlarını da beraberinde getirmektedir. IoT de kullanılan veriler hemen hemen hiçbir şekilde insan etkileşimi olmadan aktarılmaktadırlar. IoT çözümleri, hassas verileri içermesinden ve hizmet potansiyelinden dolayı, topladıkları ve işledikleri verilerin güvenlik ve gizlilik endişeleri dikkate alınması gereken konulardan birsi olarak karşımıza çıkmaktadır. IoT üzerindeki verilerin güvenli ve sürdürülebilir olması veri gizliliği ve bütünlüğü açısından oldukça önemlidir. IoT'deki bu veri güvenliği ve gizliliği sorunlarının üstesinden gelebilmek için araştırmacılar blokzincir (blockchain) uygulamalarına odaklanmış durumdadır. Blokzincir on yılı aşkın bir süredir gelişmekte olan bir teknolojidir. Blokzincirinin âdemimerkeziyetçilik, fikir birliği mekanizması, akıllı sözleşmeler ve veri şifreleme gibi özellikleri, işlem maliyetlerini azaltmak ve potansiyel saldırıları önlemek için dağıtılmış IoT sistemleri oluşturmak için oldukça uygun bir yapıdadır. Merkezi olmayan yapısıyla ve şeffaf bir veritabanı platformuna sahip olan blokzincir, IoT güvenliğinin performansını daha yüksek bir seviyeye çıkarma potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada, IoT cihazlarından alınan verilerin güvenliği için kullanılan blokzincir çözümleri ortaya konulmuştur. Bu amaçla öncelikle blokzincir teknolojisin nasıl işlediği üzerinde durulmakta, IoT teknolojilerine genel bir bakış yapılmakta ve blokzincir ile IoT entegrasyonu analiz edilmektedir. Ardından IoT cihazlarından alınan verilerin güvenliği için blokzincir potansiyel çözümlerinin neler oldukları tartışılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Blokzincir, IoT, Nesnelerin İnterneti, Nesnelerin İnterneti Güvenliği

---

[1]Kubilay TANYERİ, Yüksek Lisans Öğrencisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Orcid: XXXX-XXX3-4860-2265
[2] Gül Fatma TÜRKER, Dr. Öğretim Üyesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Orcid:0000-0001-5714-5102

**Giriş**

Nesnelerin interneti (IoT) cihazları milyarlarca cihazları birbirine aynı anda bağlayabilme ve iletişime geçebilme yeteneğe sahiptir. IoT cihazları kullanıcıların teknoloji ile etkileşim şeklini değiştirecek çeşitli faydalar sağlamaktadır. IoT cihazlarının kullanmış olduğu ucuz sensörler vasıtasıyla, çevremizden yaşam tarzımızı iyileştirmemizi ve olumlu yönde değişmemizi sağlayacak faydalı bilgiler toplanabilir (Atlam, Alenezi, Walters, vd., 2017)

IoT kavramı yeni bir kavram olarak değerlendirilemez. Nitekim 1999 yılında MIT (Massachusetts Institute of Technology)'nin kurucularında olan Ashton " Nesnelerin interneti, aynı inter*netin yaptığı gibi dünyayı değiştirebilme yeteneğine sahiptir, belki de ondan daha fazla* " diyerek nesnelerin internetinin IoT önemini vurgulamıştır (Ashton, 2009). ITU ise IoT yi resmi olarak "*bir bilgi tolumu için küresel altyapı, var olan ve gelişen birlikte çalışabilen bilgi ve iletişim teknolojileri ve hizmetler*" olarak tanımlamıştır (Karafiloski & Mishev, 2017). Hâlihazırda kullanılan IoT sistemleri, tüm cihazların sunucu üzerinden bağlanmasını ve kimliğinin doğrulanmasını gerektiren merkezi sunucu/istemci modeli üzerine kuruludur. Bu yapı merkezi sunucu/istemci modelinin getirmiş olduğu sıkıntılardan dolayı IoT cihazlarının yakın gelecekte karşılaşılması olası olan sorunların üstesinden gelinebilmesi için gerekli olan ihtiyaçları karşılayabilecek durumda değildir (Karafiloski & Mishev, 2017). Bundan dolayıdır ki, IoT sistemlerini merkezi olmayan bir yapıya taşımak en doğru karar gibi durmaktadır. Âdemimerkeziyetçi yapılardan bir tanesi ise son zamanlarda oldukça popüler bir teknoloji olan blokzincir platformu gibi durmaktadır.

Blokzinciri, ağa katılan taraflar arasında yürütülen ve paylaşılan tüm işlemleri içeren dağıtılmış bir kayıt veri tabanıdır. Bu dağıtılmış veri tabanına dağıtılmış defter (distributed ledger) adı verilmektedir. Yapılan her işlem (transaction) dağıtılmış defterde saklanır ve networke katılan katılımcıların çoğunluğunun onayı ile doğrulanır. Yapılan tüm işlemler ise blokzincirde yer alırlar. Merkezi olmayan eşler arası dijital para birimi olan Bitcoin, blokzincir teknolojisini kullanan en popüler örneklerden bir tanesidir (Stanciu, 2017).

Blokzincir ile IoT sistemlerini entegre etmek veri güvenliği ve bütünlüğü açısından kritik bir öneme sahiptir. Blokzincirin âdemimerkeziyetçi modeli, IoT cihazları arasında milyarlarca işlemi işleme yeteneğine sahip olacak ve bu da büyük merkezi veri merkezlerinin kurulması ve bakımıyla ilgili maliyetleri önemli ölçüde azaltacaktır. Aynı âdemimerkeziyetçi model IoT ağlarını oluşturan milyarlarca cihaz arasında hesaplama ve depolama ihtiyaçlarını dengeli biçimde dağıtacaktır. Buna ek olarak blokzincir teknolojisi ile çalışmak merkezi IoT sistemi ile ilişkili tek hata noktasını da ortadan kaldıracaktır (Banafa, 2017). Bunun yanında, blokzincirin IoT ile entegre edilmesi, merkezi sunucu-istemci modeline ihtiyaç duymadan IoT cihazları arasında eşler arası mesajlaşmaya, dosya dağıtımına ve otonom koordinasyona da izin verecektir (Karafiloski & Mishev, 2017).

Bilim insanları ve araştırmacılar son zamanlarda, blokzincir teknolojisini IoT sistemleri ile entegre etmek için bilimsel araştırma ve çalışmalar yapmaktadırlar. Bu bilimsel araştırma ve çalışmalarda blokzincirin akıllı sözleşmeler, kriptograifk düzenleme, veri bütünlüğü, âdemimerkeziyetçilik ve güvenlik gibi özelliklerinden faydalanmayı amaçlamaktadırlar. Biswas ve çalışma arkadaşları yaptığı çalışmalarında, akıllı şehir IoT cihazları arasında güvenli iletişim için blokzinciri sistemlerine dayalı bir taslak önermişlerdir. Makale yazarları akıllı şehirlerdeki IoT cihazlarının blokzincirle enteragasyonu sonucunda ortaya çıkacak olan

ISBN: 978-605-71156-5-2

ortamın, sistemde bulunan tüm IoT cihazlarının güvenli bir şekilde iletişim kurabileceklerini iddia etmişlerdir (Biswas & Muthukkumarasamy, 2016). Leiding ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında ise merkezi olmayan, Ethereum blokzinciri tabanlı kendi kendini yöneten bir VANET önerdiler (Leiding vd., 2016). Huang ve çalışma arkadaşları çalışmalarında, IoT üzerinde veri erişimi, gizliliği ve transferi gibi konular üzerinde yoğunlaştılar. Bu konularda güvenlik sorunlarına çözümleri üretmek için ethereum kullanılarak blokzincir tabanlı sistemleri önerdiler (Huang vd., 2017). Cha ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında giyilebilir IoT sistemleri ve son kullanıcılar arasında veri gizliliğini muhafaza eden blokzincir tabanlı bir network sistemi önerdiler. Kullanıcıların kullanacakları cihazları şifrelenerek, sadece kullanıcı tarafından ulaşılabilecek ve gene kendileri tarafından geri getirilecek şekilde blokzincirinde tutulmuştur (Cha vd., 2018). Pinno ve arkadaşları çalışmalarında ise IoT cihazların erişim kontrolü için blokzincir sistemine dayalı çözüm yöntemlerinden bir tanesi olan "ControlChain" yöntemini ileri sürdüler. Bu çalışmalarında Bitcoin blokzinciri ile aynı temel prensipler kullanılmakta ve IoT kontrolünün farklı yönlerini ele almak için çoklu blokzincir sisteminin kullanılabileceği söylenmektedirler (Pinno vd., 2017) .

Bu çalışmamızda, blokzincir teknolojisinin nasıl işlediği, IoT uygulamaları ve mimarisi, IoT güvenliğinde karşılaşılan problemlerin neler olduğu, IoT güvenliğinde blokzincir ile geliştirilen uygulamaların, yapıların, sistemlerin nasıl çözüm olarak önerildiği analiz edilmiştir.

## Blokzincir

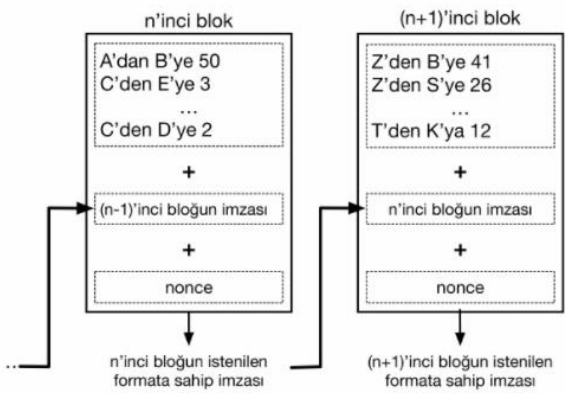
### Blockzinciri Teknolojisi

Blockzincir teknolojisi herhangi bir dijital etkileşimi veya işlemleri şeffaf güvenli ve kesintilere karşı oldukça dirençli denetlenebilir hale getirecek şekilde kayıt etme yöntemi sağlar. Bu teknoloji oldukça yeni ve hızlı değişim göstermektedir. Bununla birlikte endüstride karar destek birimleri ve iş fonksiyonları, yıkıcı sürprizlerden kaçınmak ve kaçırılabilecek fırsatları yakalayabilmek için bu yeni gelişen teknolojiye dikkatlerini vermek zorundadırlar (Banafa, 2017). 2008 yılında Satoshi Nakamoto Bitcoin konseptini yayınlamış olduğu bir makale ile tanıtmıştır. Bunu "Bitcoin: Eşler Arası Elektronik Nakit Sistemi" makalesi ile duyurmuştur (Nakamoto, 2009). Makale, elektronik işlemleri, takas için merkezi kurumlara bağımlı kılmak yerine dağıtık yapıyı kullanmalarını öneri olarak sunmuştur (Ahram vd., 2017).

Blokzincirin pek çok tanımı bulunmakla birlikte temelde, Blokzincir, "katılan taraflar arasında yürütülen ve paylaşılan tüm işlemlerin veya dijital olayların dağıtılmış bir kayıt veri tabanı veya genel kayıt defteri" olarak tanımlanır. Halka açık defterde tutulan bütün işlemler, sistemdeki katılımcıların çoğunluğunun ortak mutabakatı ile doğrulanır. Bir kez girildiğinde, bilgiler asla silinmez. Blokzincir teknolojisi, şimdiye kadar yapılmış her bir işlemin kesin ve doğrulanabilir bir kaydını içerir (Stanciu, 2017).

Blokzincir yapısında iki önemli elementi barındırır. Bu iki önemli öğe transaction ve bloktur.

ISBN: 978-605-71156-5-2

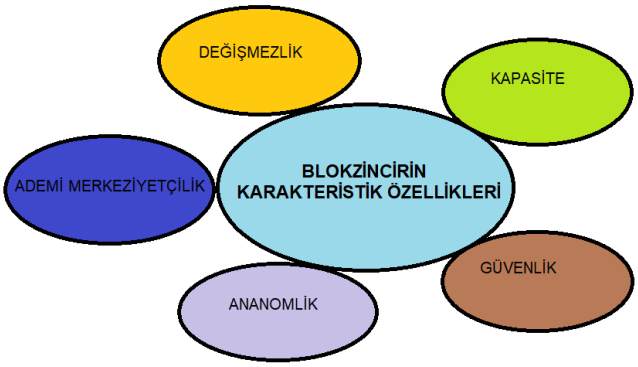



Şekil 1. Blok Zinciri Yapısı

- Transactions: sisteme giren katılımcılar tarafından yapılan işlemleri ifade eder.
- Bloklar: sistem katılımcıları tarafından üretilen işlemleri kayıt eder ve işlem kayıtlarının doğru sırada geldiklerinden ve tahrif edilmemiş olduklarından emin olurlar.

Blokzincir teknolojisinin IoT cihazlarının pek çok zorluklarının ve problemlerinin üstesinden gelme yönünde pek çok cazip tarafları bulunmaktadır.

Şekil 2'de blokzincir teknolojisinin karakteristik özellikleri verilmiştir (Dorri vd., 2017).




Şekil 2. Blokzinciricin Karakteristik Özellikleri

**Değişmezlik:** Değişmez defterler oluşturmak, blokzincirin temel değerlerinden biridir. Tüm merkezileştirilmiş veri tabanları bozulabilir ve genellikle veri bütünlüğünü korumak için üçüncü bir tarafa güvenilmesi gerekir. Blokzincir teknolojisinde bir işlem üzerinde anlaşıldıktan ve kaydettikten sonra asla değiştirilemez.

**Ademi merkeziyetçilik:** Merkezi bir kontrolün olmaması, bütün katılımcı düğümlerin kaynaklarını kullanarak, pek çok noktadan merkezi bir noktaya trafik akışını ortadan kaldırarak ölçeklenebilirlik ve sağlamlık sağlar. Bu da merkezi modelde tek merkez noktasından dolayı meydana gelebilecek hataları çözer ve gecikmeyi azaltır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Merkezi kontrolün olmaması, tüm katılımcı düğümlerin kaynaklarını kullanarak ve çoktan bire trafik akışlarını ortadan kaldırarak ölçeklenebilirlik ve sağlamlık sağlar, bu da gecikmeyi azaltır ve merkezi sistemde var olan tek hata noktası sorununu çözer.

**Anonimlik:** Anonimlik, katılımcıların kimliğini gizlemenin efektif bir yolunu sağlar ve bu katılımcıların kimliklerini gizli tutar.

**Yüksek Güvenlik:** Blokzincir teknolojisi merkezi yapıda meydana gelebilecek olan tek düğüm hatasında, tüm networkü kapatmak gibi bir durum söz konusu olmadığı için yüksek güvenlik sağlar.

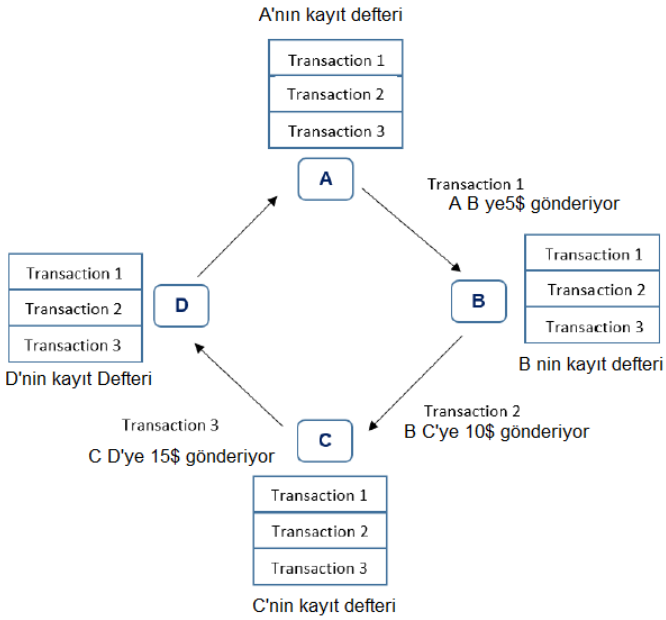
**Kapasite Artırma:** Blokzincirin önemli özelliklerinden bir tanesi de, bulunduğu ağın kapasitesini artırabilmesidir. Bir kaç merkezi yapının bir araya gelmesinden ziyade, binlerce bilgisayarın bir bütün olarak bir araya gelmesiyle oluşan yapı daha büyük bir güce sahip olmasına sebep olur.

**Blockzinciri Teknolojisi Çalılşma Sistemi**

Blokzinciri henüz yeni ve deneme aşamasında olmasına rağmen, âdemimerkeziyetçilik, kimlik, güven, veri sahipliği ve veri odaklı kararlar gibi modern teknoloji sorunlarını ele alan devrim niteliğinde bir çözüm olarak algılanmaktadır (IBM, 2015). Blokzinciri genellikle tüm işlemleri bloklar halinde saklayan bir veri tabanıdır. Yeni bir işlem oluşturulduğunda, gönderici bulunduğu ağdaki diğer tüm düğümlere Eşler Arası iletişim kanalına yayınlar. İşlem ilk başta yeni ve doğrulanmamış durumdadır. Düğümler işlemi aldığında, onu doğrular ve kayıt defterinde tutar (Conoscenti vd., 2016). İşlem doğrulama, işlemin yapısı ve eylemleri üzerinde önceden tanımlanmış kontroller çalıştırılarak gerçekleştirilir. Madenciler olarak adlandırılan özel düğüm türleri, yeni bir blok oluşturur ve işlem havuzlarındaki mevcut işlemlerin tümünü veya bir kısmını içerir. Ardından, yeni bloğun başlığındaki değişken verileri kullanarak iş kanıtını bulma süreci olan blok çıkarım iş ispatını (proof of work) bulmak, tanımlanmış zorluk hedefine uyan bir kriptografik hash'in sürekli hesaplanması olarak tanımlanır. Madencilik çok fazla işlem gücü gerektirir ve madenciler özel bir madencilik donanımı kullanmaktadırlar. Blok için ilk çözümü bulan madenci kazanır. Aday bloğu, zincirdeki yeni blok olur. İşlemler geldikçe madencilik bloğuna eklendiğinden, blokzincirdeki en son blok en son işlemleri içerir (Karafiloski & Mishev, 2017). Yeni bir blok oluşturulduğunda, zaman damgalıdır ve tüm ağ düğümlerine yayılır. Her düğüm bloğu alır, işlemleri doğrular ve bloğu defterine ekler. Düğümlerin çoğunluğu bloğu kabul ettiğinde, blokzincirin yetkili ve geri döndürülemez bir parçası haline gelir. İşlemlere ek olarak, her blok bir önceki bloğun bazı meta verilerini ve hash değerini depolar. Bu nedenle, her bloğun kendi ana bloğuna bir işaretçisi vardır. Bloklar bu şekilde birbirine bağlanır, blokzinciri adı verilen bir blokzinciri oluşturur (Karafiloski & Mishev, 2017).

Dağıtılmış defter, ağdaki herkesin blokları ve içindeki işlemleri kontrol etmesi için kullanılabilir. Ancak, kullanıcılar anonim kalır, yalnızca ortak anahtarlarıyla adres olarak tanımlanırlar. Ayrıca, işlemler şifrelenir. Geçersiz işlemler reddedilir ve bloklara dâhil edilmez. İşlemlerde kötü niyetli bir değişiklik yapma girişimi, ekli blok ve daha sonra tüm bloklar için çalışma kanıtının tekrar tekrar hesaplanmasını gerektirecektir. Ağdaki düğümlerin çoğu kötü niyetli olmadığı sürece bu hesaplamalar mümkün değildir (Andreas M. Antonopoulos., t.y.).

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 3. Blokzincir Örneği

Bitcoin olarak bilinen para transferi için blokzincirini kullanmak isteyen dört A, B, C ve D düğümümüz olduğunu varsayalım. Parayı bir düğümden başka bir düğüme aktarmak için, âdemimerkeziyetçilik fikri olan aktarım işlemini yapacak herhangi bir ara üçüncü taraf olmayacaktır. Bu nedenle, A düğümü, B düğümüne para aktarmak isterse, doğrudan transfer edilecektir. Şekil 3'te gösterildiği gibi, A düğümünün B düğümüne 5 $ göndermek istediğini varsayalım, ardından bir işlem oluşturulacak ve ağdaki diğer tüm düğümler tarafından onu deftere dâhil etmek için doğrulanacaktır. Ek olarak, eğer B düğümü D düğümüne 10 $ göndermek isterse, o zaman bir işlem oluşturulacak ve ağdaki diğer tüm düğümler tarafından onu deftere dâhil etmek için doğrulanacaktır. Bu, C düğümü D düğümüne 15 $ göndermek istediğinde aynı senaryo olacaktır. Tüm işlemler, kayıt defteri denilen defterde zincirlenir. Bu defter, tüm düğümlerin defterden aynı kopyaya veya sürüme sahip olduğundan emin olmak için ağdaki tüm düğümlere dağıtılır, bu nedenle dağıtılmış defter olarak adlandırılır.

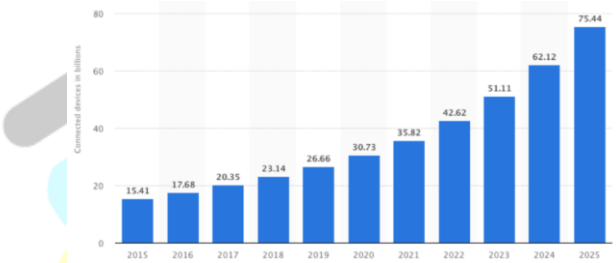
**IoT (Internet of Things)**

Birbirlerine benzerlik göstermeyen iletişim yollarına sahip gömülü sistem cihazların, internete bağlanma yoluyla birbirleriyle iletişim kurarak veri alışverişine olanak sağlayan teknoloji olarak tanımlanan Nesnelerin İnterneti (IoT), insanların etkisine gerek duymadan, insanların ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılamak amacıyla interneti kullanan teknolojik cihazlar vasıtasıyla aralarında alışveriş yapan sistemleri kapsamaktadır. IoT sistemleri bulundukları ortamlardaki verileri toplayıp birbirleriyle networksel olarak iletişime geçerek, amaçlarına uygun olarak bilgi servisi oluştururlar.

Günümüzde tahmini olarak 11-12 milyar IoT cihazının network sistemine dâhil olduğu varsayılmaktadır. IoT cihazlarının sayısının yüksek oranında olması sebebiyle veri trafiği problemini de beraberinde getirmektedir. IoT cihazlarının üretmiş oldukları verilerden elde edilen verilerin analiz edilmesi ve bu verilerin anlamlı veriler elde edilmesi çeşitli zorlukları ortaya çıkarmaktadır.

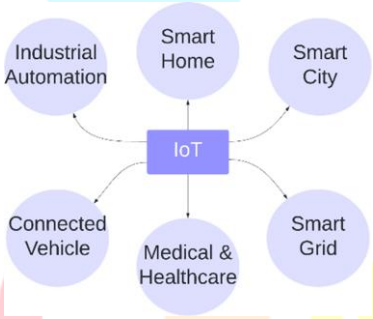
ISBN: 978-605-71156-5-2

Elde edilen tüm bu verilerin dijital platformda güvenliği ve mahremiyeti de önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Network üzerindeki IoT cihazlarının sayısının artması ile ciddi boyutta veri trafiği ve buna bağlı olarak da güvenlik riskleri oluşacaktır. Şekil 4'de küresel sistemde internete bağlı olan ağ cihazları grafiksel olarak gösterilmiştir.




Şekil 4. İnternete Bağlı Cihaz Sayılarındaki Tahmini (2015–2025) (Vinnter n.d, 2019)

Şekil 5 akıllı şehir, akıllı ev, sağlık ve tıbbi araçlar, akıllı şebekeler, bağlantılı araçlar, endüstriyel otomasyon gibi çok sayıda genel IoT uygulamasını göstermektedir.




Şekil 5. IoT Uygulama Alanları (Kumar vd., 2022)

İnsan eli değmeden tüm algılama, yorumlama ve iletişim süreçlerinin otomatik olarak gerçekleştiği, tüm nesnelerin birbirine bağlandığı IoT ile birlikte Kablosuz Algılayıcı Ağlar (WSN'ler), Makineden Makineye (M2M) veya Siber-Fiziksel Sistemler (CPS) gibi birçok farklı ağ teknolojilerinin gelişimi de kaçınılmaz olmuştur. Tüm bu gelişmelerle birlikte güvenlik problemleri de ortaya çıkmıştır.

**IoT'de performans ve güvenlik gereksinimleri**

Geleneksel ağlardan farklı olarak IoT'ler daha kısıtlı kaynağa sahip cihazları içerir. IoT cihazları için en önemli iki ihtiyaç pil ömrü, bellek ve işlemci kullanımını içermektedir. Sunucular güçlü bilgisayarlar, akıllı telefonlar gibi gelişmiş sistem kaynaklarına sahip cihazları içeren geleneksel ağlar, herhangi bir kaynak gözetmeksizin çok fonksiyonlu ve karmaşık güvenlik protokolleri ile güvence altına alınabilirken, IoT cihazların güvenliği için geliştirilecek algoritmaların işlemci, bellek ve pil kullanımı gibi kaynak tüketiminin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çünkü düğümler gelişmiş güvenlik prosedürlerinin işlenmesi ve depolanmasını yönetecek yeterli bellek alanına sahip değildirler. IoT ve geleneksel ağlar arasındaki temel farklar Tablo 1'de verilmiştir.

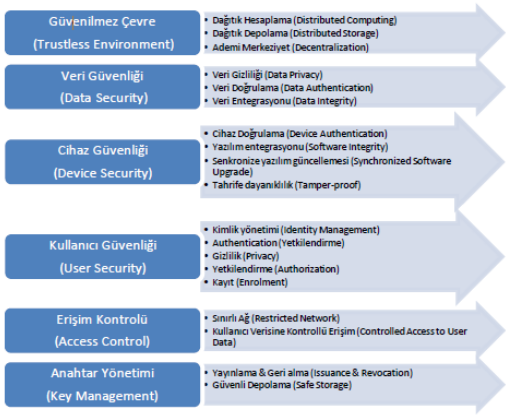
ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 1. IoT ve Geleneksel Ağların Karşılaştırılması (Kösesoy, İ, 2019)

| IoT | Geleneksel Ağ |
|---|---|
| • Düşük bellek, düşük işlem gücü ve sınırlı pil ömrüne sahip gömülü sistem cihazlardır. | • PC, sunucu, akıllı telefon gibi daha geniş kaynağa sahip cihazlar bağlanır. |
| • İnternete ve ağ geçidi cihazlara 802.15.4, 802.11a / b / g / n / p, LoRa , ZigBee, NB-IoT ve SigFox gibi düşük bant genişliği ve güce sahip sistemlerle bağlanır. | • Fiber optik, DSL / ADSL, WiFi, 4G ve LTE gibi daha güvenli ve daha hızlı kablolu/kablosuz ortamlar üzerinden iletişim kurar. |
| • Çok farlı veri içeriği ve formatı vardır. | • Neredeyse aynı işletim sistemine ve veri formatına sahiptirler. |
| • Çeşitlilikten dolayı standart bir güvenlik protokolü geliştirmek zordur. | • Güvenlik tasarımına bakarsak, güvenlik duvarlarına, IDS/IPS'ye dayanan statik ağ çevre korumasının bir karışımı ile korunur ve son cihazlar, anti virüs ve güvenlik/yazılım yamaları gibi ana bilgisayar tabanlı yaklaşımlarla güvence altına alınır. |
| • Bilgisayar tabanlı güvenlik yaklaşımı, kaynak kısıtı olan IoT cihazlarına uygulanamaz. | |
| • Tehditlere karşı yeterli güvenlik önlemi yoktur. Kullanıcıların güvenliği ve gizliliği ile ilgile tehditler vardır. | |
| • Dünya genelinde IoT çözümlerinde tutarlılık ve standardizasyon eksikliği vardır. | |

Makhdom ve arkadaşları yaptıkları literatür taramasında performans gereklerini ve güvenlik sorunlarını Şekil 6 ve Şekil 7'deki gibi gruplandırmışlardır (Makhdoom vd., 2019).

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 6. IoT Sistemlerde Güvenlik Gereksinimleri

Şekil 7. IoT Sistemlerde Performans Gereksinimleri

IoT geleneksel internet için var olan geleneksel çözüm yollarını kullanarak üstesinden gelinemeyecek birçok zorluğu da beraberinde getirdi. Bu sebeple IoT'den tam kapasiteyle faydalanabilmek için aşılması büyük önem arz eden bu dezavantajların tanınması gerekir.

- **Güvenlik ve gizlilik sorunu**

IoT sistemlerindeki en temel sorun güvenilmez ortamlarda çalıştırılabilir olmalarıdır. Pek çoğu sensor verilerine dayandığından veri manipülasyonu ve veri paylaşımına karşı güvenliğin sağlanması gerekir. Ayrıca akıllı trafik sistemleri, güvenlik kameraları gibi kamuya açık alanlarda kullanılan IoT cihazları fiziksel olarak de tehlikeye açıktır. Bu sebeple IoT cihazındaki kodun ve cihazlar arasındaki verilerin güvenliği paylaşım sırasında sağlanmazsa büyük bir güvenlik ve gizlilik sorunu ortaya çıkar. Bu sebeple IoT sistemlerinin ağı, cihazları ağa eklemeden önce doğrulaması gerekir.

Karmaşık güvenlik prosedürlerini yürütmek için düğümler genellikle gerekli işlem güçlerini içermez. Düğümler fiziksel olarak güvenli olmayabilir ve birçok IoT uygulamasında uygulanırken kötü kullanıcılara maruz kalabilirler. Güvenli bir IoT sistemi, kullanıcı verilerine ve networke izinsiz erişime karşı da koruma altında olmalıdır. Bu sebeple, kimlik doğrulama, kimlik yönetimi ve yetkilendirme gibi kullanıcı güvenliği hususlarına dikkat edilmelidir. Bir düğüm aracılığıyla katılmak her zaman mümkün olmayabilir. Örneğin, bir düğüm mobil olabilir ve o anlık erişilemez olabilir veya düğüm güç tasarrufu için "uyku durumunda" olabilir.

- **Sürdürülebilirliğin zorluğu**

IoT'nin güncelleme döngüleri, düğümlerin dünyayla nasıl güncelleme içinde olacağı ile ilgili sorunlar yaratır. Örneğin, düğümler, yaşam süreleri boyunca işletim sistemlerini iyileştirebilirler mi yoksa daha eski, güvenli olmayan ağlardan oluşan ayrılmış bir ağla mı karşılaşırlar?

- **Güvenilirliğin zorluğu**

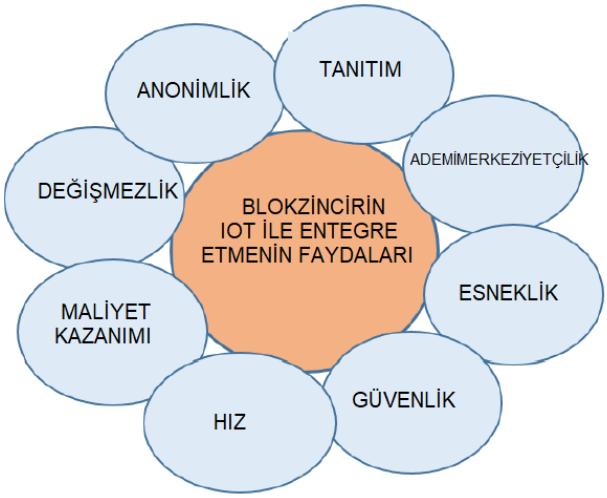
IoT teknolojisinin gelişiyle birlikte gelen belki de en önemli yenilik, fiziksel ortamlar ile sanal ortamlar arasındaki gelişmiş iletişim olanaklarıdır. IoT'ın hayatımızı önemli ölçüde değiştiren düğümler olarak her gün kullanılan makinelerle işbirliği yapması hayal edildi. Bu düğümlerin en az insan müdahalesi ile hatta belki de hiç insan müdahalesi olmadan başarılı ve etkin bir biçimde iletişimlerine izin verilmesi için güvenilir bir

yöntem gereklidir. Teknik geçerli sensörler ve aktüatörler içinde meydana gelen performansları içermelidir ve bazı kritik durumlar sırasında iletişime izin verip yeni ödül ve sorumluluk yöntemlerini sağlamalıdır. Donanımlarda bellek ve güç kaynakları yetersiz olduğundan yüksek şifreli güvenlik önlemleri alınamadığı için network'ün güvenliği için daha sıkı güvenlik protokolleri kullanılmalıdır.

IoT'nin bazı içsel sınırlamaları bilgi teknolojileri ve iletişim (ICT) alanındaki son gelişmelerle aşılmıştır. Bu gelişmelerden biri de blokzincir teknikleridir. Blokzincir gelişmeleri zayıf birlikte çalışabilirlik, güvenlik ve gizlilik açıkları gibi dezavantajların çözümüne büyük destek sağlamaktadır.

**Blokzinciri IoT ile Entegre Etmenin Faydalari**

Blokzinciri IoT cihazları ile entegre etmenin pek çok faydası bulunmaktadır. Şekil 8. bize IoT'nin blokzincirle entegre etmenin faydalarını özetlemektedir.




Şekil 8. IoT'nin Blokzincir ile Entegre Etmenin Yararları

**Tanıtım:** Her katılımcının kendi defteri olduğu için tüm katılımcılar tüm işlemleri ve tüm blokları görme olanağına sahiptir. İşlem içeriği, katılımcının özel anahtarı ile korunur, böylece tüm katılımcılar bile görebilir, korunurlar. IoT, tüm bağlı cihazların birlikte bilgi paylaşabildiği ve aynı zamanda kullanıcıların gizliliğini koruduğu dinamik bir sistemdir (Stallings, 2015).

**Ademimerkeziyetçilik:** Katılımcıların çoğunluğu, onaylamak ve dağıtılmış deftere eklemek için işlemleri doğrulamalıdır. İşlemleri onaylayabilecek veya işlemlerin kabul edilmesi için belirli kurallar koyabilecek tek bir yetkili yoktur. Bu nedenle, ağdaki katılımcıların çoğunluğunun işlemleri doğrulamak için bir anlaşmaya varması gerektiğinden, büyük miktarda güven söz konusudur (Samaniego vd., 2016). Bu nedenle blokzinciri, IoT cihazları için güvenli bir platform sağlayacaktır. Ek olarak, mevcut merkezi IoT mimarisinin merkezi trafik akışlarını ve tek hata noktasını ortadan kaldırır.

**Esneklik:** Her düğümün, ağda şimdiye kadar yapılmış tüm işlemleri içeren defterin kendi kopyası vardır. Bu nedenle, blokzinciri saldırılara daha iyi dayanabilir. Bir düğüm ele geçirilse bile, blokzinciri diğer tüm düğümler tarafından korunur (Cisco, 2014). IoT'deki her düğümde verilerin bir kopyasına sahip olmak, bilgi paylaşımı ihtiyaçlarını iyileştirecektir. Ancak, yeni işleme ve depolama sorunları ortaya çıkarır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Güvenlik:** Blokzincir, çok sayıda ve heterojen cihazlarla IoT'de ihtiyaç duyulan güvenilmeyen taraflar üzerinde güvenli bir ağ sağlama yeteneğine sahiptir (Dorri vd., 2017). Diğer bir deyişle, bir saldırı gerçekleştirmek için tüm IoT ağ düğümlerinin kötü niyetli olması gerekir.

**Hız:** Bir blokzinciri işlemi ağ üzerinden dakikalar içinde dağıtılır ve gün boyunca herhangi bir zamanda işlenir (Kshetri, 2017).

**Maliyet Azaltma:** Merkezi mimari, büyük sunucu çiftlikleri ve ağ ekipmanı ile ilişkili yüksek altyapı ve bakım maliyeti nedeniyle mevcut IoT çözümleri pahalıdır. On milyarlarca IoT cihazı olduğunda ele alınması gereken toplam iletişim miktarı, bu maliyetleri önemli ölçüde artıracaktır (Christidis, K. & Devetsikiotis, 2016).

**Değişmezlik:** Değişmez bir deftere sahip olmak, blokzincir teknolojisinin ana avantajlarından biridir. Dağıtılmış defterdeki herhangi bir değişiklik, ağ düğümlerinin çoğunluğu tarafından doğrulanmalıdır. Bu nedenle işlemler kolayca değiştirilemez veya silinemez (Boudguiga vd., 2017). IoT verileri için değişmez bir deftere sahip olmak, bu teknolojideki ve tüm yeni teknolojilerdeki en büyük zorluklardan olan güvenlik ve gizliliği artıracaktır.

**Anonimlik:** İşlemi gerçekleştirmek için hem alıcı hem de satıcı, kimliklerini gizli tutan anonim ve benzersiz adres numaraları kullanır. Bu özellik, yasadışı çevrimiçi pazarda kripto para birimlerinin kullanımını artırdığı için eleştirilmiştir. Bununla birlikte, örneğin seçim oylama sistemleri gibi başka amaçlar için kullanıldığında bir avantaj olarak görülebilir (Atlam, Alenezi, Alharthi, vd., 2017).

## IoT Güvenliği için Blokzincir Çözümleri

Blokzincirin güçlü alt yapısı kullanılarak IoT'nin gizlilik ve bütünlük sorunları çözülebilir. Örneğin homojen olmayan IoT cihazları arasında veri güvenilirliğinin garantisi ve güvenli veri paylaşımının zorluğu verilerin değiştirilemeyeceğini garantileyen ortak blokzincir platformu ile sağlanabilir. Bundan dolayı, çoğu zaman güvenilmeyen ortamlarda çalışan IoT cihazları için, Blok Zincir mekanizması, merkezi olmayan dağıtık yapısı sayesinde ideal bir çözüm sunarlar. Bu bölümde blokzincirin IoT güvenliğinde kullanılabilecek bazı alanları açıklanmaya çalışılmıştır.

## Kimlik Doğrulama Yönetimi

IoT sistemleri farklı türlerde kısıtlı kaynakların birlikte çalıştığı karmaşık bir ağ sistemi olduğundan, IoT senaryosu için çok faktörlü kimlik doğrulama ve hafif kimlik doğrulama protokolleri çok elzem olmaktadır. Büyük bir oranda tüm kimlik doğrulama protokolleri çok güvenli olmayan açık anahtarlı şifreleme sistemine dayanmaktadır. Pek çok kimlik doğrulama yöntemlerinin mevcut olmasına rağmen çeştili protokoller ve IoT cihazlarının sınırlı kaynakları kimlik doğrulamasını oldukça zorlaştırmaktadırlar. X.509 sertifikaları, Donanım Güvenlik Modülü (HSM), Güvenilir Platform Modülü (TPM) ve Simetrik Anahtarlar gibi bazı yaygın kimlik doğrulama yöntemleri kullanılabilir. Bunların yansıra her yöntemin kendi içerisinde avantajları mevcuttur ve doğru türde kimlik doğrulama mekanizmasını seçmek IoT cihazları arasında güvenilir iletişimin sürdürülmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

Akıllı sözleşmeler (smart contracts), IoT cihazlarına merkezi olmayan dağıtık yapıda kimlik kontrolü ve doğrulama yetenekleri elde etmesini sağlarlar. Ayrıca akıllı sözleşmeler, geleneksel yetkilendirme

ISBN: 978-605-71156-5-2

protokolleriyle kıyaslandığında, sisteme bağlı olan IoT cihazlarına daha efektif bir yetkilendirme erişişim kuralı sağlayabilirler. Bu protokoller günümüzde IoT cihazlarının yönetimi, yetkilendirilmesi ve doğrulanması için kullanılmaktadırlar. Akıllı sözleşmeler kullanılarak, makine, grup ve kişilerin verilere erişim süresi, durumu ve koşulu belirlenerek verilerin gizliliği sağlanabilir. Bunun yansıra akıllı sözleşmeler IoT donanımlarını veya yazılımlarını güncelleme, yama oluşturma, yükseltme, onarım veya servis isteği başlatma yetkisi olduğunu detaylı olarak açıklar (Makhdoom vd., 2019).

**Kimlik Yönetimi**

Dijital ortamlardaki kimlik, normal geleneksel yöntemler üzerine işleyen kimlik yönetimleri ile benzer şekilde çalışmaktadırlar. Kullanılan cihazların ve kullanıcı sayısının oldukça fazla olduğu IoT dünyasında güvenilir ve sağlam bir kimlik yönetim sistemi gerekmektedir. Geleneksel yöntemler olarak, birleştirilmiş, merkezileştirilmiş ve yalıtılmış sistemler kimlik yönetimi olarak bilinmektedirler ve dijital kimlik yönetimi olarak kullanılmaktadırlar. Dijital kimlik süreçleri olduğundan hızlı hale getirip aktörlerin sayısını azaltsa bile çoğu kimlik yönetim sistemleri kimlik verilerini merkezi bir sunucuda depolayarak bu sistemi birçok güvenlik saldırısına karşı savunmasız hale getirmektedir.

Blokzincir güvenlik özellikleri, güvenli ve güvenilir bir kimlik yönetim sistemi oluşturabilmek için kullanışlı bir sistemdir. Blockzincir geleneksel kimlik yönetim sistemlerinden gelen birçok sınırlamaları ortadan kaldırabilmektedir (Rathee & Singh, 2021). Blokzinciri tabanlı kimlik yönetim sistemleri, dijital kimliklerin doğrulanması için Merkezi olmayan tanımlayıcılar veya DID adı verilen benzersiz bir tanımlayıcı kullanır. Bir DID çözülebilir, kriptografik olarak doğrulanabilir, merkezi olmayan, yeniden atanamaz bağımsız sağlayıcılar olmalıdır. Blokzincir yapılı sistemlerde, kimliği veren kişi, kimlik bilgilerine DID ekler ve bu DID Blokzincir'de saklanır. Blockzincir gerçek veri erişim kısıtlamaları olan herkese aynı bilgiyi sağlayarak bir nevi kimlik doğrulayıcı görevi üstlenmektedir. Bundan dolayı Block zincir tabanlı sistemlerde kimlik bilgilerinin doğrulanması, kimlik doğrulayıcının kimliği verenin güvenilirliğine ilişkin değerlendirmesine bağlıdır. Bazı popüler kimlik yönetim sistemleri Sovrin, ShoCard ve uporttur. Bu protokoller otomatik bir şekilde çalışır ve açık kaynak kodludur (Haddouti & El, 2020).

**Veri Bütünlüğü Yönetimi**

Blokzincir ağına bağlı IoT cihazlarından alınan veriler tekil bir anahtara sahiptirler ve bu veriler ağ aracılığı ile doğrulanmaktadırlar. Bu sayede iletilen verilerin bütünlüğü ve doğrulanması gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte IoT cihazlarından aktarılan veriler dağıtılmış sisteme sahip olan blokzincirler tarafından kayıt edilmekte ve bütünlük ve güvenliği takip edilmektedir.

**Yetkilendirme ve Erişim Denetimi**

Yetkilendirme süreci, IoT ağında bulunan servis hizmetlerine erişimleri denetler. Cihazlar arasında güveni devam ettirmek oldukça gereklidir, bununla birlikte belirli hizmetleri belirli cihazlara atamak oldukça zordur. IoT ağında geleneksel veri erişiminden farklı olarak veri iletişimi gerçek zamanlı olarak yürütülür. Sorguların yürütülme işi ve veri akışı IoT networkünde gerçek zamanlı olarak gerçekleşir, bundan dolayı oldukça güçlü bir erişim mekanizması kullanılması gerekmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Blokzincirin âdemimerkeziyetçi yapısı ve değişmez altyapısı kullanıcı ile Authorization Server arasında güveilir bir veri iletişimi sağlar ve IoT cihazlarına merkezi olmayan kimlik doğrulama yeteneği kazandırır. Bununla birlikte erişim kontrol mekanizmaları politikalarını şeffaf ve değişmez bir hale gelir. Blokzincir çoğunlukla yetkilendirme erişim kontrolü gibi birçok zorlukların üstesinden gelinmesi gereken zorlukların üstesinden gelmeyi başarmış durumdadır. Blokzincir mekanizması kullanıcının sürekli olarak online olma gereksinimini ortadan kaldırmış ve bundan dolayı yüzey atak saldırılarını minimum düzeye indirmiştir.

**Birlikte Çalışılabilirlik**

IoT cihazlarındaki farklılıklar ve çeşitlilikler, bu cihazların birlikte çalışılabilirliğini gerektirmektedir. Ancak bu tarz çeşitlilikler ve farklı yapılar pek çok güvenlik sorununu da beraberinde getirmiştir. Birlikte çalışabilirlik, farklı yapıdaki ağlar protokoller ve platformalar gibi farklı farklı duruşlara sahip olabilirler. Mevcut birlikte çalışabilirlik, ağ geçitleri ve ağ cihazlarına dayanmaktadır. Fakat bu ağ cihazlarının ve ağ geçitlerinin stabil şekilde çalışabilmeleri için sınırlı yetenekleri mevcuttur. Birlikte çalışabilirlik için henüz belirlenmiş bir standart bulunmamaktadır ancak bu standartların oluşabilmesi için hizmet sağlayıcıların ve geliştiricilerin ortak çalışmaları bir zorunluluktur. Bir diğer sorun da IoT cihazlarının kendileri üzerinde kullanılan güvenlik çözümlerinden kaynaklanmaktadır.

Birlikte çalışabilirlik adına Blokzincir mekanizması etkin bir çözüm olabilir. Blokzincir mekanizması dağıtılmış ve otomatik bir şekilde çalışır. S2GHOST, Work (Co-PoW) ve Tornado otoritelerce tanımlanmış iç model olarak bilinmektedir.

**Gizlilik**

Veri gizliliği, dijital platformlardaki en önemli sorunlardan birisidir. IoT'de bu kavram içeresinde kalmaktadır. IoT cihazlarının kullanım alanlarından olan, akıllı araç sistemleri, akıllı sağlık sistemleri, akıllı evler vb. gibi her türlü sistemler üzerinden akan bilgilerin gizliliğinin korunması gerekmektedir. Akıllı araç sistemlerine kayıtlı bir araç içeresindeki kullanıcı mevcut konumunu gizli tutmak isteyebilir, gene aynı şekilde akıllı sağlık sisteminde verilerinin bulunduğu bir hasta, kendi kişisel hasta kayıt verilerinin bir başkası tarafından görülmesini istemeyebilir. IoT cihazları tarafından sistemden gelen veriler toparlandıktan sonra, son kullanıcılara aktarılmadan önce ön işlemden geçirilmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. IoT cihazlarının mimari yapısı gizlilik risklerini artırmaktadır. Çoğu zaman kullanıcılar verilerin kimin erişimine yetkisinin olduğunu bilemezler. Son zamanlarda yapılan araştırmalarda IoT cihazları için kriptografi kullanan bazı protokoller önerilmiştir. Bu protokollerin ve modeller kirptografi kullanmalarına rağmen gizliği korumada bazı sınırlamaları ve zorlukları mevcuttur.

Blokzincir verilerin şifrelenmesini kullanarak IoT'de gizliliği korumak için potansiyel çözüm olarak durmaktadır. Tüm kullanıcılara açık olan Blokzincir herkesin sistemde bulunan verilere erişmesine izin verirken, özel Blokzincir, Blokzincir ağ kullanıcılarını sınırlamak için ideal bir çözüm olarak düşünülebilir. Bununla birlikte verilere eşirim ilkeleri oluşturabilmek adına akıllı sözleşmeler kullanılabilir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Sonuç ve Öneriler**

Veri gizliliği ve bütünlüğünü korumak, sağlam yetkilendirme yapmak ve kullanıcı kimlik doğrulamasını yapmak güvenilir bir IoT sisteminin en kritik yönlerini oluşturmaktadır. Blokzincir teknolojisi geleneksel güvenlik yönetim sistemlerine nazaran IoT'de güven sağlamada önemli avantajlara sahiptir. Bunların yanı sıra Blokzincir teknolojisi IoT cihazlarının güvenilirliğini ve güvenliğin artırmanın yanısıra network sistemlerini saldırılara daha az eğilimli hale getirmektedir. Blokzincir IoT cihazları arasında güvenli bilgi alışverişi ve kaynak tahsisi için de bir hizmet aracı olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada, çalışma stratejisi incelendiğinde eğitim, sağlık, siber güvenlik gibi birçok alanda bulunan problemlere çözüm olabileceği düşünülen son zamanlarda oldukça popüler olan blokzincir teknolojisi ve günlük yaşantımızın hemen hemen her alanında karşılaştığımız IoT cihazları mimarisi incelenmiştir. IoT cihazlarında güvenlik ve işleyiş sorunlarında blokzincir teknolojisinin nasıl çözümler üretebileceği tartışılmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynakça**

Ahram, T., Sargolzaei, A., Sargolzaei, S., Daniels, J., & Amaba, B. (2017). *Blockchain technology innovations* (s. 141). https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2017.7998367

Andreas M. Antonopoulos. (t.y.). *Mastering Bitcoin: : Programming the open blockchain*.

Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID journal*, *22*(7), 4986,2009.

Atlam, H. F., Alenezi, A., Alharthi, A., Walters, R. J., & Wills, G. B. (2017). Integration of Cloud Computing with Internet of Things: Challenges and Open Issues. *2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, 670-675. https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData.2017.105

Atlam, H. F., Alenezi, A., Walters, R. J., & Wills, G. B. (2017). An Overview of Risk Estimation Techniques in Risk-based Access Control for the Internet of Things. *IoTBDS*.

Banafa, A. (2017). *IoT and Blockchain Convergence: Benefits and Challenges*.

Biswas, K., & Muthukkumarasamy, V. (2016). Securing Smart Cities Using Blockchain Technology. *2016 IEEE 18th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 14th International Conference on Smart City; IEEE 2nd International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*, 1392-1393.

Boudguiga, A., Bouzerna, N., Granboulan, L., Olivereau, A., Quesnel, F., Roger, A., & Sirdey, R. (2017). Towards Better Availability and Accountability for IoT Updates by Means of a Blockchain. *2017 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS PW)*, 50-58. https://doi.org/10.1109/EuroSPW.2017.50

Cha, S.-C., Chen, J.-F., Su, C., & Yeh, K.-H. (2018). A Blockchain Connected Gateway for BLE-Based Devices in the Internet of Things. *IEEE Access*, *6*, 24639-24649.

Christidis, K. & Devetsikiotis. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. *IEEE Access, 4, 2292-2303*.

Cisco. (2014). *The Internet of Things Reference Model*.

Conoscenti, M., Vetrò, A., & Martin, J. C. D. (2016). Blockchain for the Internet of Things: A systematic literature review. *2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA)*, 1-6.

Dorri, A., Kanhere, S. S., Jurdak, R., & Gauravaram, P. (2017). Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home. *2017 IEEE international conference on pervasive computing and communications workshops (PerCom workshops)*, 618-623.

Haddouti, & El, S. (2020). *3rd International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking, CommNet 2020. 3rd Int. Conf. Adv. Commun. Technol. Networking, CommNet 2020 1–7*.

Huang, Z., Su, X., Zhang, Y., Shi, C., Zhang, H., & Luyang, X. (2017). *A decentralized solution for IoT data trusted exchange based-on blockchain* (s. 1184). https://doi.org/10.1109/CompComm.2017.8322729

Karafiloski, E., & Mishev, A. (2017). *Blockchain solutions for big data challenges: A literature review*. 6-8. https://doi.org/10.1109/eurocon.2017.8011213

Kshetri, N. (2017). Can Blockchain Strengthen the Internet of Things? *IT Professional*, *19*, 68-72.

Kumar, R. L., Khan, F., Kadry, S., & Rho, S. (2022). A Survey on blockchain for industrial Internet of Things. *Alexandria Engineering Journal*, *61*(8), 6001-6022. https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.11.023

Leiding, B., Memarmoshrefi, P., & Hogrefe, D. (2016). *Self-managed and blockchain-based vehicular ad-hoc networks* (s. 140). https://doi.org/10.1145/2968219.2971409

Makhdoom, I., Abolhasan, M., Abbas, H., & Ni, W. (2019). Blockchain's adoption in IoT: The challenges, and a way forward. *J. Netw. Comput. Appl.*, *125*, 251-279.

Nakamoto, S. (2009). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. *Cryptography Mailing list at https://metzdowd.com*.

Pinno, O. J. A., Gregio, A. R. A., & De Bona, L. C. E. (2017). ControlChain: Blockchain as a Central Enabler for Access Control Authorizations in the IoT. *GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference*, 1-6. https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2017.8254521

Rathee, T., & Singh, P. (2021). Secure data sharing using Merkle hash digest based blockchain identity management. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, *14*(6), 3851-3864. https://doi.org/10.1007/s12083-021-01212-4

Samaniego, M., Jamsrandorj, U., & Deters, R. (2016). Blockchain as a Service for IoT. *2016 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, 433-436. https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData.2016.102

Stallings, W. (2015). The internet of things: Network and security architecture. *Internet Protoc. J*, *18*(4), 2-24.

Stanciu, A. (2017). Blockchain Based Distributed Control System for Edge Computing. *2017 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, 667-671.

Vinnter n.d. (2019). *Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025*. https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Performance of Autonomous Vehicles on a Bottleneck: A Simulation Study with SUMO

*Mehmet Nedim YAVUZ*[1]
*Halit ÖZEN*[2]

**Abstract**

In recent years, the implementations of intelligent transportation system (ITS) have been increasing thanks to the developments of computer science and information technology. One of the new technologies is the autonomous vehicles (AVs) technology and it has potential to effect traffic flow and mobility. Although it is not clear when the autonomous vehicles will place our live widely, it is expected that these vehicles have substantial impacts on road capacity, traffic safety, car ownership, mobility behavior etc. There are several studies to analyze these effects on traffic and mobility behavior in the literature. Most of these studies are based on simulation studies. The aim of this paper is to investigate the effects of varying penetration rates of autonomous vehicles with increased traffic volume scenarios on a hypothetical network with a bottleneck by using open-source Eclipse SUMO simulation software. It can be seen from results of simulation study; average trip duration and average delay decreased with increased of penetration rate of autonomous vehicles. Average trip duration reduced by 54% with the full penetration rate of AVs when traffic volume exceeded the capacity of the road. This reduction reached by 90% in terms of average delay for the same case. Moreover, autonomous vehicles were found to improve roadway mobility.
**Keywords**: Intelligent transportation systems, Autonomous vehicles, Simulation models, Eclipse SUMO.

[1] Arş. Gör., Maltepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Orcıd:0000-0001-9571-9146

[2] Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Orcıd: 0000-0003-4031-7283

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1.Introduction

Intelligent transportation system (ITS) applications have been promoting in recent years thanks to advances in computer science and information technology. Autonomous vehicles (AVs) technology is one of the emerging technologies and takes great attention in these implementations. Although it is not clear when the autonomous vehicles will enter our live, it is anticipated that these vehicles have substantial effects in terms of traffic and mobility such as road capacity, traffic safety, car ownership, mobility behavior etc. There are numerous research and efforts in the academic and private sectors to study these remarkable impacts (Cyganski et.al., 2018; Tettamanti et.al., 2016; Zong, 2019).

First of all, the definition of an autonomous vehicle, levels of automation and its working principles are explained in this part. Autonomous vehicle is a vehicle that works without human intervention and detects its surrounding (Lu et.al., 2018). The Society of Automotive Engineering (SAE) has categorised the levels of automation into six groups, ranging from level-0 to level-5. Level-0 refers to no automation, level-5 refers to the highest automation level. The working principles of these levels are presented in the Table-1.

**Table 1. The levels of driving automation and its principles (SAE, 2016).**

| Level | Name | Explanation |
|---|---|---|
| 0 | No Automation | In this level, a human-driver performs all the driving tasks and monitors driving environment. |
| 1 | Driver Assistance | There is an function-specific automation at this level. Advanced driving assistance systems such as steering or acceleration/deceleration are deployed. Human-driver is in charge of keeping track of the driving environment. |
| 2 | Partial Automation | In this level, both steering and acceleration/deceleration duties can be implemented. Human-driver is in charge of keeping track of the driving environment. |
| 3 | Conditional Automation | All the driving task and control the driving environment can be conducted by automated driving system. If the need for intervention arises, the human-driver should act appropriately. |
| 4 | High Automation | All the driving tasks and control the driving environment can be conducted by automated driving system. There is no need for a human driver to pay attention regarding the driving tasks. |
| 5 | Full Automation | For all road and environmental conditions, an automated-driving system can conduct all driving duties and monitor the driving environment. For level-5, human-driver is like a passenger in the vehicle. |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Since human-drivers and automated driving systems behave differently, it is anticipated that AV technology would have an remarkable impact on present traffic flow and mobility patterns. Human-driven vehicles and autonomous vehicles have different driving behaviors. For instance, autonomous vehicles have shorter reaction times, resulting in reduced headway requirements. Road capacity could be promoted as a result of this feature. Furthermore, autonomous vehicles technology allows for reduction of human mistakes and diminishing the number of traffic accidents, resulting in increased traffic safety (Fakhrmoosavi et al., 2020; Talebpour et al., 2016).The aim of this study is to investigate effects of autonomous vehicles in mixed traffic with different penetration rates on a bottleneck. The simulation scenarios are performed with open-source microscopic simulation tool Eclipse Simulation of Urban Mobility (SUMO).

The rest of this paper is categorized as follows: Section-2 covers a literature review about modelling of autonomous vehicles and their effects. Section-3 presents of modelling of AVs and implementing scenarios in SUMO software. The final section includes the findings of this study.

## 2.Literature Review

Numerous studies on autonomous vehicle technology have been conducted in recent years to assess potential traffic impact. Simulation tools, expert opinions, and field tests are mainly used in the literature studies. Because AVs are not common in traffic networks, most of studies rely on simulation tools (Asadi et al., 2019). Traffic simulation is defined as the mathematical modeling of transportation systems with the use of software programs in order to improve system planning, design, and operation. According to level of details, traffic stream models are divided into three category. The first one is the macroscopic model. The traffic flow variables such as density, flow and speed over the network are described using a macroscopic model. The individual vehicle interactions are studied using microscopic models. Between macroscopic and microscopic models, mesoscopic models contain an indermediate level of detail (Azlan and Rohani, 2018).

According to literature studies, the projected impacts of AVs technology on traffic can be summarized as promoting the road capacity, increasing or decreasing traffic congestion by means of need of shorter headway time, decreasing travel times by means of their smoothing driving behavior and reducing the number of accidents by minimizing or removing of human mistakes. Several studies about the impact of autonomous vehicles on traffic safety (Deluka et al.,2018; Morando et al.,2018; Mousavi et al.,2021; Papadoulis et al.,2019), road capacity (Carrone et al., 2021; Lu et al., 2020; Nippold et al., 2021), traffic efficiency and mobility (Alazzawi et al., 2018; Yu et al., 2019; Xie et al., 2019) were conducted using various simulation tools (i.e. PTV Vissim, AIMSUN, SUMO) under interrupted or uninterrupted flow conditions. In the study (Morando et al., 2018), human-driven vehicles and Level-4 autonomous vehicles are modelled in the PTV Vissim simulation program and their effects on traffic safety in the signalized intersection and roundabout environment are analyzed. According to the results of the study, there is a 20%-65% reduction in traffic conflicts, depending on the 50% and 100% penetration rates at signalized intersections. For the roundabout scenario, this reduction rate is 29% and 64%. Within the scope of the study (Lu et al., 2020), the effects of autonomous vehicles on a urban road are investigated

ISBN: 978-605-71156-5-2

by using SUMO simulation program. The results of the study showed that the capacity of urban road is increased with the increased penetration rate of autonomous vehicles on network. In the study (Yu et al., 2019), the impact of autonomous vehicles on traffic safety and efficiency in mixed traffic situation and also the usage of specific lane for AVs are studied. According to the result of this study, traffic efficiency is improved with increased penetration rate of AVs. In summary, it can be seen from literature review, autonomous vehicles have potential to change traffic environment.

## 3.Modelling and Simulation

Microscopic traffic simulation studies occupy an important place for AVs technology to analyze their effects on traffic in the literature. By the helping of microscopic simulation tools, studies related to AVs technology can be conducted without interrupting of real traffic network. In the context of this study, Eclipse SUMO (Simulation of Urban Mobility) is used as a microsimulation tool. SUMO is one of the open sources and considerable portable simulation software aimed to manage large networks. It enables the modelling of intermodal traffic systems consisting of road vehicles, public transport, and pedestrians. It is advanced by Institute of Transportation Systems at German Aerospace Center (Lopez et al., 2018).

### 3.1. Modelling of Autonomous Vehicles in SUMO

SUMO is one of the used microsimulation tools in order to model AVs. The default car following model in SUMO is the Krauss model. By the helping of an application programmer interface (API), the desired car following models including the Intelligent Driver Model (IDM), Wiedemann model can be implemented in SUMO. The Krauss car following model is depending on the philosophy that allows the vehicles to drive as fast as possible while ensuring maximum safety. The default lane-change model in SUMO is the LC2013 model. The causes of lane-change behavior are explained based on strategic, cooperative, tactical and obligatory reasons in this model (Lopez et al., 2018). According to sensitivity analysis conducted in study (Mintsis et al., 2018) the two most influential parameters for lane-changing behavior are considered. The descriptions of Krauss car following and LC2013 lane changing model parameters are given in Table-2 (Lopez et al., 2018).

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Table 2. Krauss car following and LC2013 lane-changing model parameters.**

| Parameter | Explanation |
|---|---|
| Mingap (m) | It represents offset to the leading vehicle while waiting in a jam. |
| Accel(m/s$^2$) | It represents the capability of acceleration of vehicle. |
| Decel (m/s$^2$) | It represents the capability of deceleration of vehicle. |
| Emergency Decel (m/s$^2$) | It represents the capability of deceleration of vehicle in the event of emergency. |
| Sigma | It represents the driver deficiency. A value between 0 and 1 is taken. |
| Tau (s) | It represents the minimum reaction time of driver. |
| lcAssertive | It represents the desire to accept lower front and rear gaps on the target lane when executing a lane change. |
| lcSpeedGain | It represents the lane changing to gain speed. |

In this study, default Krauss car following and LC2013 lane changing model parameters are modified to reflect autonomous vehicles behavior based on literature studies. In the scope of this study, three vehicle types are considered: Level-0 (no automation) represents human-driven vehicles, Level-2 (partial automation) and Level-4 (high automation) represents autonomous vehicles. For human driven vehicles, default values are taken for all parameters. The mingap and tau values are diminished from Level-0 to Level-4 based on study (Kavas-Torris et al., 2021; Olstam et al., 2020). Acceleration, deceleration, and emergency deceleration values are taken as default and same for all vehicle types because of considering physical vehicle-based parameter. The driver imperfection (sigma) is decreased through Level-0 to Level-4 based on study (Kavas-Torris et al., 2021). For level-4 sigma value is taken as 0 since there is no need of human intervention in this level. In order to modelling lane changing behavior of autonomous vehicles, the two most influential parameters are taken into account. The assertiveness parameter of lane changing model is taken as default and same for all vehicles type because the vehicle distance gaps in front of and behind of vehicles are already determined by car-following parameter. There is no need further impact from a lane-changing model parameter. The lcSpeedGain parameter is increased with increased autonomy level as in the study of (Kavas-Torris et al., 2021). Also, it is assumed that Level-4 autonomous vehicles will obey exactly road speed limits. Because of having human driver intervention, Level-0 and Level-2 vehicles can exceed the road speed limit by 10% at most. The parameters of all vehicle types are presented in Table-3.

**Table 3. Car following and lane-changing model parameters**

| Level | mingap (m) | accel (m/s$^2$) | decel (m/s$^2$) | emergency decel (m/s$^2$) | sigma | tau (s) | lcAssertive | lcSpeedGain |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Level-0** | 2.5 | 2.6 | 4.5 | 9.0 | 0.5 | 1.5 | 1 | 1 |
| **Level-2** | 2 | 2.6 | 4.5 | 9.0 | 0.2 | 1.2 | 1 | 1.2 |
| **Level-4** | 1.5 | 2.6 | 4.5 | 9.0 | 0 | 0.9 | 1 | 1.6 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

### 3.2. Simulation Scenarios and Outputs

In this study, it is considered a hypothetical network which includes of 1 kilometer length with two lane road and then 1 kilometer length with one lane road. The speed limit is set to 50 km/hr assuming as a urban road. The network is given in Figure-1.

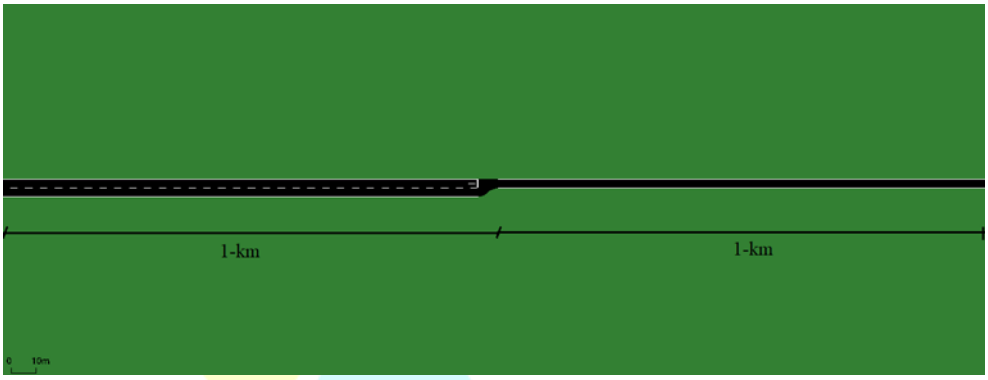



**Figure 4. The network created with SUMO**

With increased traffic volume (500-1000-2000 veh/hr), the effects of varying penetration rate of autonomous vehicles are investigated in this study. The penetration rates of AVs are assumed as:0%-20%-40%-60%-80%-100%. Also, it is assumed that Level-2 and Level-4 autonomous vehicles share equal percentages. The simulation ends with clearing of all vehicles from network in each scenario. Scenarios are run 10 times with different random seed in order to represent the stochastic nature. The summary of scenarios is given in Table-4.

**Table 4. Summary of scenarios.**

| Scenario | Traffic Volume (veh/hr) | Penetration Rate of AVs | Traffic Composition |
|---|---|---|---|
| Scenario-1 | 500 | 0%-20%-40%-60%-80%-100% | HV-AV |
| Scenario-2 | 1000 | | |
| Scenario-3 | 2000 | | |

Average trip duration and average time loss are chosen as comparison outputs in this study. Time loss is defined as loss of time because of driving under ideal speed in SUMO. The ideal speed is calculated as multiplying of speedFactor parameter and speed limit. While Level-0 and Level-2 vehicles are controlled by human driver, Level-4 autonomous vehicle is controlled by automated driving system. Therefore, it is assumed that Level-4 autonomous vehicle will obey the speed limit exactly. The speedFactor parameter is taken as its default value which equals to 1 for Level-4 vehicle. For the Level-0 and Level-2 vehicles can pass the speed limit by 10% at most. The speedFactor parameter for these types of vehicles are determined by normal distribution. The results of scenarios are given in Table-5 and Table-6.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Table 5. Average trip duration and standard deviation for each scenario.**

| Traffic Volume (veh/hr) | | Penetration Rates of AVs | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0% | 20% | 40% | 60% | 80% | 100% |
| 500 | Av.Trip Dur. | 158.19 | 157.83 | 156.05 | 154.09 | 152.64 | 150.54 |
| | Std.Dev. | 0.73 | 0.80 | 0.40 | 0.33 | 0.62 | 1.10 |
| 1000 | Av.Trip Dur. | 165.09 | 163.20 | 162.20 | 159.08 | 157.97 | 155.44 |
| | Std.Dev. | 0.64 | 0.39 | 1.23 | 0.55 | 0.47 | 0.50 |
| 2000 | Av.Trip Dur. | 369.28 | 350.59 | 326.80 | 281.71 | 177.88 | 169.37 |
| | Std.Dev. | 1.63 | 3.07 | 3.64 | 3.90 | 1.35 | 0.56 |

**Table 6. Average delay and standard deviation for each scenario.**

| Traffic Volume (veh/hr) | | Penetration Rates of AVs | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0% | 20% | 40% | 60% | 80% | 100% |
| 500 | Av.Delay | 9.74 | 9.53 | 8.16 | 6.71 | 5.52 | 4.03 |
| | Std.Dev. | 0.22 | 0.36 | 0.27 | 0.46 | 0.36 | 0.55 |
| 1000 | Av.Delay | 16.36 | 15.16 | 14.31 | 12.39 | 11.02 | 8.90 |
| | Std.Dev. | 0.09 | 0.28 | 0.70 | 0.30 | 0.50 | 0.33 |
| 2000 | Av.Delay | 220.65 | 202.4 | 179.01 | 134.40 | 30.97 | 22.8 |
| | Std.Dev. | 2.16 | 2.40 | 3.96 | 4.12 | 1.13 | 0.33 |

It can be concluded from results that while the penetration rates of autonomous vehicles increase, the average trip duration and average time loss decreases for each scenario. This improvement is more remarkable when traffic volume increases through Scenario-1(500 veh/hr) to Scenario-3 (2000 veh/hr). Figure-2 and Figure-3 represents the graphical interpretation of results in terms of average trip duration and average time loss respectively.

ISBN: 978-605-71156-5-2

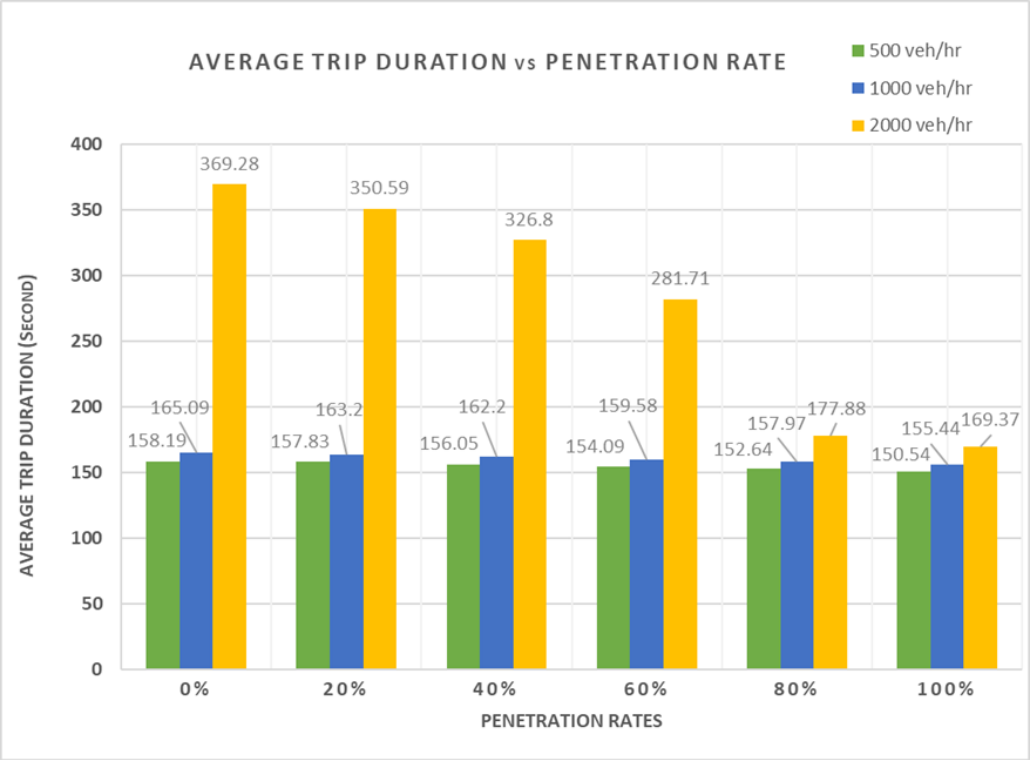



Figure 5. Average trip duration for each scenario.

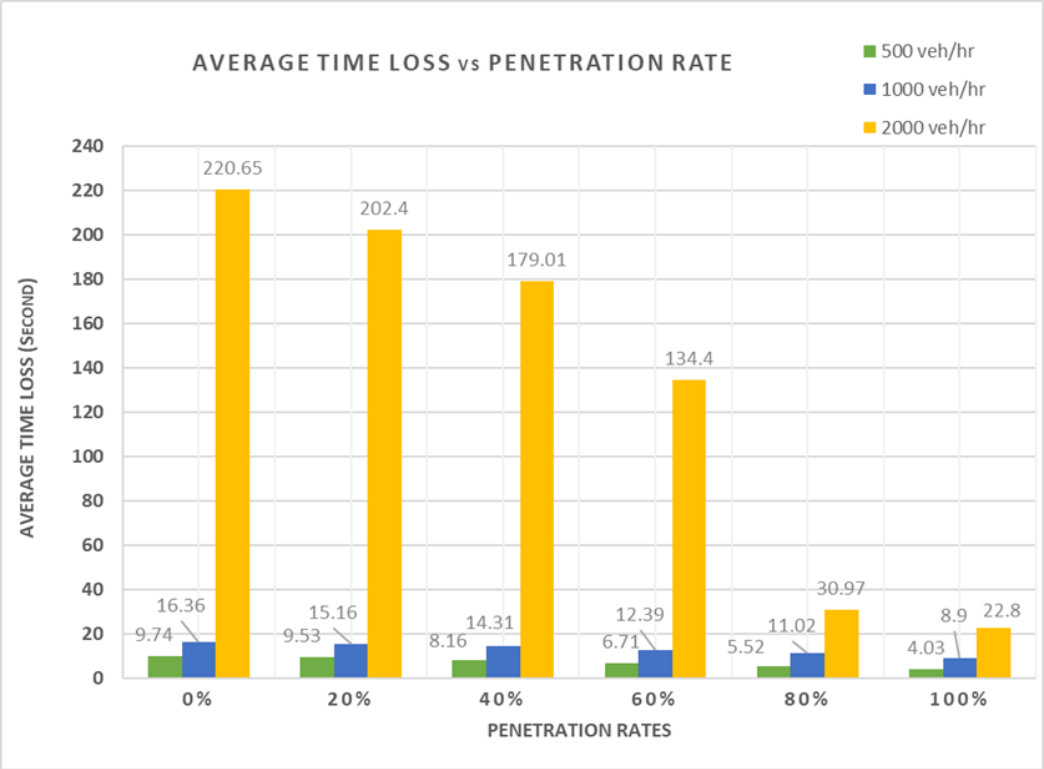



Figure 6. Average time loss for each scenario.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 4.Conclusion

It is anticipated that autonomous vehicles technology will shape future of transportation systems and its patterns in the near future. This technology has ability to improve the traffic safety and efficiency, as well as mobility and its patterns. Numerous studies have been published to examine these improvements on traffic flow and mobility. Because there is a scarcity of data from field tests, most of studies rely on traffic simulation models in the literature. This paper investigates the performance of varying penetration rates of autonomous vehicles on a hypothetical network with a bottleneck considering average trip duration and average delay outputs by using open-source SUMO microsimulation tool. According to results of this study, while penetration rate of autonomous vehicle increases, average trip duration and average delay decrease. Average trip duration reduces 54% by 100% penetration rate of AVs when traffic volume exceeds the capacity of road. This reduction reaches 90% in terms of average delay for the same case. Moreover, total simulation duration decreases through 0% to 100% penetration rate of AVs for each scenario. Autonomous vehicles provide improvement on traffic mobility.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**References**

Alazzawi, S., Hummel, M., Kordt, P., Sickenberger, T., Wieseotte, C., & Wohak, O. (2018). Simulating the impact of shared, autonomous vehicles on urban mobility-a case study of Milan. *EPiC Series in Engineering*, *2*, 94-110.

Asadi, F. E., Anwar, A. K., & Miles, J. C. (2019, November). Investigating the potential transportation impacts of connected and autonomous vehicles. In *2019 IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)* (pp. 1-6). IEEE.

Azlan, N. N. N., & Rohani, M. M. (2018). Overview of application of traffic simulation model. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 150, p. 03006). EDP Sciences.

Carrone, A. P., Rich, J., Vandet, C. A., & An, K. (2021). Autonomous vehicles in mixed motorway traffic: capacity utilisation, impact and policy implications. *Transportation*, *48*(6), 2907-2938.

Cyganski, R., Heinrichs, M., von Schmidt, A., & Krajzewicz, D. (2018). Simulation of automated transport offers for the city of Brunswick. *Procedia computer science*, *130*, 872-879.

Deluka Tibljaš, A., Giuffrè, T., Surdonja, S., & Trubia, S. (2018). Introduction of Autonomous Vehicles: Roundabouts design and safety performance evaluation. *Sustainability*, *10*(4), 1060.

Fakhrmoosavi, F., Saedi, R., Zockaie, A., & Talebpour, A. (2020). Impacts of connected and autonomous vehicles on traffic flow with heterogeneous drivers spatially distributed over large-scale networks. *Transportation research record*, *2674*(10), 817-830.

Kavas-Torris, O., Lackey, N., & Guvenc, L. (2021). Simulating the effect of autonomous vehicles on roadway mobility in a microscopic traffic simulator. *International journal of automotive technology*, *22*(3), 713-733.

Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y. P., Hilbrich, R., ... & Wießner, E. (2018, November). Microscopic traffic simulation using sumo. In *2018 21st international conference on intelligent transportation systems (ITSC)* (pp. 2575-2582). IEEE.

Lu, Q., Tettamanti, T., & Varga, I. (2018). Impacts of autonomous vehicles on the urban fundamental diagram.

Lu, Q., Tettamanti, T., Hörcher, D., & Varga, I. (2020). The impact of autonomous vehicles on urban traffic network capacity: an experimental analysis by microscopic traffic simulation. *Transportation Letters*, *12*(8), 540-549.

Mintsis, E., Koutras, D., Porfyri, K., & Mitsakis, E. (2018). Modelling, simulation and assessment of vehicle automations and automated vehicles' driver behaviour in mixed traffic. *TransAID Deliverable*, *1*.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Morando, M. M., Tian, Q., Truong, L. T., & Vu, H. L. (2018). Studying the safety impact of autonomous vehicles using simulation-based surrogate safety measures. *Journal of advanced transportation*, *2018*.

Mousavi, S. M., Osman, O. A., Lord, D., Dixon, K. K., & Dadashova, B. (2021). Investigating the safety and operational benefits of mixed traffic environments with different automated vehicle market penetration rates in the proximity of a driveway on an urban arterial. *Accident Analysis & Prevention*, *152*, 105982.

Nippold, R., Wagner, P., Banse Bueno, O. A., & Rakow, C. (2021). Investigation of the effect of autonomous vehicles (AV) on the capacity of an urban transport network.

Olstam, J., Johansson, F., Alessandrini, A., Sukennik, P., Lohmiller, J., & Friedrich, M. (2020). An approach for handling uncertainties related to behaviour and vehicle mixes in traffic simulation experiments with automated vehicles. *Journal of advanced transportation*, *2020*.

Papadoulis, A., Quddus, M., & Imprialou, M. (2019). Evaluating the safety impact of connected and autonomous vehicles on motorways. *Accident Analysis &Prevention*, *124*, 12-22.

SAE, T. (2016). Definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. *SAE Standard J*, *3016*, 2016.

Talebpour, A., & Mahmassani, H. S. (2016). Influence of connected and autonomous vehicles on traffic flow stability and throughput. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *71*, 143-163.

Tettamanti, T., Varga, I., & Szalay, Z. (2016). Impacts of autonomous cars from a traffic engineering perspective. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, *44*(4), 244-250.

Xie, H., Tanin, E., Karunasekera, S., Qi, J., Zhang, R., Kulik, L., & Ramamohanarao, K. (2019, November). Quantifying the impact of autonomous vehicles using microscopic simulations. In *Proceedings of the 12th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Transportation Science* (pp. 1-10).

Yu, H., Tak, S., Park, M., & Yeo, H. (2019). Impact of autonomous-vehicle-only lanes in mixed traffic conditions. *Transportation research record*, *2673*(9), 430-439.

Zong, S. (2019). How Connected Autonomous Vehicles Would Affect Our World?——A Literature Review on the Impacts of CAV on Road Capacity, Environment and Public Attitude. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 296, p. 01007). EDP Sciences.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# İmplant Malzemesi Cp-Ti Alttaşlar Üzerine RF Magnetron Sıçratma Yöntemi Kullanılarak NiTi Kaplamalar Uygulanması

*Mehmet POYRAZ*[1]

**Özet**

Bu çalışmanın amacı; tıbbi implantlarda yaygın kullanılmakta olan ve yüksek kararsız sürtünme katsayısına sahip ticari saf titanyumun (Cp-Ti), sürtünme ve aşınma özelliklerinin geliştirilmesidir. Bu nedenle Cp-Ti alttaşlara Radyo Frekans Magnetron Sıçratma Tekniği kullanılarak, farklı alttaş biriktirme sıcaklıklarında NiTi film kaplamalar yapılmıştır. Literatürde incelenen NiTi kaplamaların uygulanan stresi elastik deformasyona dönüştürebildiği, implantların düşük sertlikler verdiği, implant malzemesi olarak yapışkan ve biyouyumlu oldukları görülmüştür. Bu sebeple kaplama malzemesi olarak bu çalışmada NiTi filmlerin kullanılması tercih edilmiştir. Ve yine literatürde incelenmiş çalışmalarda genellikle sürtünme ve aşınma özelliklerini geliştirmek için NiTi kaplamalara değişken oranlarda Ag gibi katkı kaplamalarının ilave edildiği görülmüştür. Bu çalışmada ise NiTi kaplamaya başka bir katkı kaplaması yapılmadan, alttaş biriktirme sıcaklık değişimleriyle kaplama sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarının nasıl etkilendiği, nano tribometre aşınma cihazında 10 mN yük ve 0.3 mm/s hızda test edilmesi neticesinde ortaya konmuştur. Taramalı Elektron Mikroskobunun EDS dedektörü kullanılarak, kaplama sonrası filmlerin yüzeyinden kimyasal kompozisyonlar belirlenmiştir. Kaplama alttaş biriktirme sıcaklıklarının filmlerin yapısal özelliklerindeki değişime etkisini anlamak için XRD cihazı kullanılarak, oda sıcaklığında X-Işınları kırınım ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde; Cp-Ti alttaş üzerinde 300 ºC alttaş biriktirme sıcaklığında biriktirilen NiTi filmlerin, en düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranını verdiği belirlenerek, film yapısının oda sıcaklığında biriktirilmiş kaplamalara göre amorftan kristal hale geldiği belirlenmiştir. Sürtünme özelliklerinin geliştirildiği NiTi filmlere Ag gibi katkı ilavesiyle yapılmış önceki çalışmalara alternatif olabilecek bu çalışma, NiTi kaplamalar sırasında katkı kaplaması kullanılmadan sadece alt taş biriktime sıcaklıklarının artırılmasıyla tribolojik özelliklerin yine geliştirilebileceğini göstermesi açısından önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Triboloji, Sürtünme, Aşınma, NiTi Film Kaplama

[1] Öğr. Gör. Dr. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Orcid: 0000-0002-9469-8037

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

Metaller, kanıtlanmış mekanik stabiliteleri ve biyouyumlulukları nedeniyle tıbbi implantlarda kullanılan en önemli malzemelerdir[1,2]. Ticari olarak saf Ti (Cp-Ti), 316 L, kobalt-krom-molibden ve Ti-6Al-4V alaşımı yaygın olarak kullanılan metal implant malzemelerinden bazılarıdır[3,4]. Bunlar arasında Cp-Ti; dental ve ortopedik uygulamalar için tercih edilen düşük maliyetli, biyouyumlu, korozyona dayanıklı, yüksek mukavemetli, hafif ve dayanıklı bir implant malzemesidir. Cp-Ti'nin biyouyumluluğu ve korozyon direnci, yüzeyinde doğal olarak oluşan titanyum dioksit ($TiO_2$) filmlerinden kaynaklanmakta olup, bu pasif film titanyumu oksidasyondan daha fazla korumaktadır. Ancak, Cp-Ti yüksek kararsız sürtünme katsayılarına sahip olduğundan, diğer metallerle temas ettiğinde şiddetli aşınmaya uğramaktadır. Biyolojik bir ortamda, koruyucu $TiO_2$ filminin çıkarılması, aşırı duyarlılık, alerjik reaksiyon ve enfeksiyon dahil olmak üzere çok sayıda soruna yol açmaktadır[5,6]. Bu nedenle, çeşitli biyolojik ortamlarda Cp-Ti implantların korozyona karşı direncinin geliştirmesine büyük önem verilmiştir[7,8].

Metal implantların korozyona dayanıklı ve biyouyumlu kaplamalarla kaplanması, yukarıda belirtilen sorunların üstesinden gelmek için etkili bir tedavi sonrası olarak önerilmiştir[9]. Fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme yöntemleri kullanılarak çeşitli yüzey modifikasyonları araştırılmıştır. Önerilen yüzey kaplamaları arasında nikel-titanyum bazlı kaplamaların umut verici olduğu bulunmuştur. NiTi kaplamalar; uygulanan stresi elastik deformasyona dönüştürebilir, böylece implantlar düşük sertlik, yüksek mukavemet, yüksek geri kazanılabilir gerilimler ve büyük enerji absorpsiyonuna sahip hale gelmektedir. Buna ek olarak NiTi kaplamalar, metal implant malzemeleri üzerinde yapışkan ve biyouyumlu kaplamalar oluşturmaktadırlar. Bu nedenle, NiTi kaplamaların biyouyumluluğu ve korozyon davranışları ile ilgili çok sayıda çalışma son zamanlarda literatürde yer almaktadır[10,11].

Yuan gözenekli NiTi üzerindeki çeşitli hücre tepkilerini incelemiştir. NiTi tabakalarının gözenekli yapıları, hücre yapışması için iskele ortamını sağlamıştır ve indüklenen kemik büyümesi böylece genel sito-uyumluluğu arttırmıştır[12]. Elangovan vd. çalışmalarında NiTi/Ag kaplı Cp-Ti alttaşları hazırlamışlardır ve kapsamlı bir analize tabi tutmuşlardır. Değişken %Ag içeren NiTi-Ag alaşımı, radyofrekans (RF) sıçratma yöntemi ile Cp-Ti üzerine kaplanmıştır. Ortaya çıkan malzeme, sito-uyumluluk, korozyon davranışı ve aşınma direnci için karakterize edilmiştir. Korozyon direnci, uyarılmış bir biyolojik sıvıda test edilmiştir. Aşınma özellikleri, sürtünme katsayısı (CoF) ve aşınmış yüzeyin elementel bileşimi açısından değerlendirilmiştir[13].

Bu çalışmada tıbbi implantlarda en çok kullanılmakta olan malzemelerden ticari saf (Cp-Ti) alt taşlar üzerine RF magnetron Sıçratma yöntemi kullanılarak, farklı alt taş biriktirme sıcaklıklarında NiTi kaplamalar biriktirilmiştir.

## YÖNTEM

(20x30 mm) boyutlu Cp-Ti alttaşlar; isopropanol, aseton, distile su kullanılarak 15 dakika ultrasonik temizlemeye tabii tutulmuş ve havada kurutulmuştur. NiTi film kaplamalar Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Araştırma Laboratuvarında bulunan (Vaksis PVD-MT/1M4T) film kaplama

ISBN: 978-605-71156-5-2

cihazı kullanılarak üretilmiştir. Kaplamalarda kullanılan NiTi sıçratma hedefleri (%99.9 saflıkta, 2.0" çap x 0.125" kalınlıklı) olacak şekilde tedarik edilmiştir.

Çalışmanın deneysel kısmında Cp-Ti alt taşlara RF magnetron sıçratma yöntemi ile NiTi film kaplamalar yapılmıştır. Kaplamaların ilk grubunda; Cp-Ti alttaş üzerinde, NiTi filmler (1.1 kaplama parametresinde); ikinci grubunda; Cp-Ti alt taş üzerinde NiTi filmler (1.2 kaplama parametresinde) biriktirilmiştir. Her iki gruptaki kaplamalar; 150 W RF sıçratma gücünde biriktirilmiş olup, kaplamalara uygulanan alttaş biriktirme sıcaklıkları sırasıyla oda sıcaklığı ve 300 °C'dir. Kaplama biriktirme odası turbo moleküler ve mekanik pompa vasıtasıyla $5x10^{-5}$ mbar taban basıncına pompalanmıştır. Kaplamalar sırasında yüksek saflıktaki argon (%99.999), 50 sccm'de akışı sağlanmış olup, akış kontrolü bir MKS kütle akış kontrolü ile kontrol edilmiştir. Kaplamaların biriktirildiği kaplama parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kaplamaların RF Magnetron biriktirme parametreleri

| Parametre | Kaplama | RF gücü (W) | Sıcaklık (ºC) | Süre (dk) |
|---|---|---|---|---|
| **1.1.** | NiTi | 150 | Oda | 60 |
| **1.2.** | NiTi | 150 | 300 | 60 |

Kaplamalar sonrası element bileşimini belirlemek için bir enerji dağılımlı X-Işını spektroskopisi (EDX; OXFORD INCA Energy) ile birleştirilmiş Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM; JEOL JSM-7600F) kullanılmıştır. NiTi kaplanmış Cp-Ti alttaşın yüzeyi SEM Elektron Mikroskobunda görüntülenmiş, kompozisyon ve yapısı EDS ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda bileşimlerin spektrumu Şekil 1'de ve bu spektrumun değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Oda sıcaklığı ve 300 ºC alttaş biriktirme sıcaklıklarında RF magnetron biriktirme yöntemiyle kaplanan filmlerin farklı alttaş biriktirme sıcaklıklarının yapısal özelliklere etkisini araştırmak için XRD (Rigaku Smartlab X-Işınları) cihazı kullanılmıştır. Örnek üzerinden kırınıma uğrayan X-ısınları aralıklardan geçerek dedektöre ulaşmakta ve bragg yasasına göre numuneye ait kırınım deseni alınabilmektedir. Kırınım açısına karşılık kırınım yoğunluğunu gösteren bir spektrum elde edilmektedir. Kırınım desenindeki her bir pik bir kristalografik düzleme karşılık gelmektedir. Oda sıcaklığı ve 300 ºC alttaş biriktirme sıcaklığında biriktirilen filmlerin X-Işınları Kırınım ölçümleri oda sıcaklığında $20^{o} \leq 2\theta \leq 80$ aralığında, 1 der/dak tarama hızında yapılmış olup, elde edilen XRD desenleri sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Bu ölçüm koşullarında elde edilen pik listeleri ise Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

NiTi kaplamalı Cp-Ti alttaşların tribolojik özelliklerini belirlemek için; kuru atmosfer ortamında nano-tribometre aşınma test cihazında (Anton Paar Tribometer NTR$^3$), 10 mN yük ve 0.3 mm/s hızda tribolojik testler uygulanmıştır. Toplamda 0.5 metre aşınma mesafesi yol aldırılarak, 25 ºC ortam sıcaklığında ve %30 nemlilikte, toplamda 2500 çevrimde aşınma testleri uygulanmıştır. Kaplamalara uygulanan aşınma deneylerinde aşındırıcı olarak 2 mm çaplı ve HRC 50 sertliğe sahip, AISI420 çeliğinden üretilmiş bilya kullanılmıştır. Herbir örnek için minimum 3 test yapılmıştır. Tribolojik testler neticesinde, Cp-Ti üzerinde NiTi filmlerin karşılaştırmalı

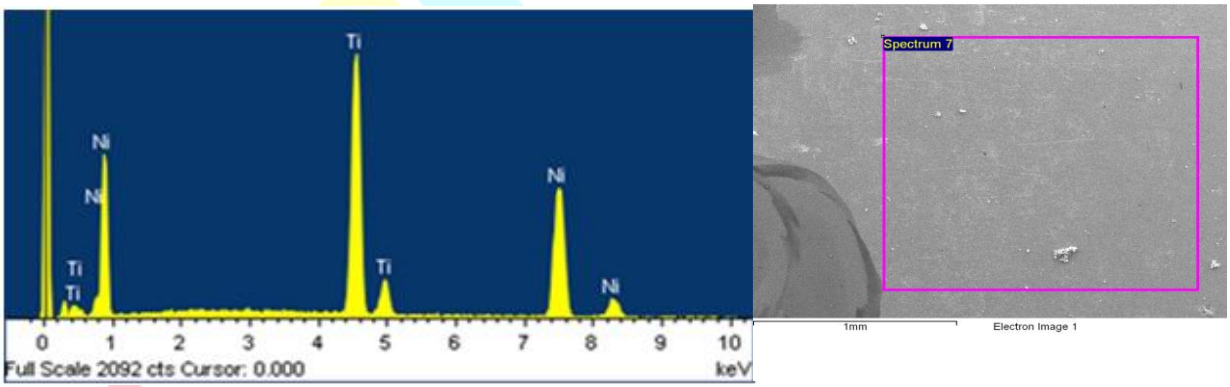
ISBN: 978-605-71156-5-2

sürtünme katsayısı-yol grafiği Şekil 4'te, karşılaştırmalı aşınma oranları grafiği Şekil 5'te ve bu grafiklerden elde edilen kaplamalara ait ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma oranları değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Kaplamaların aşınma oranı bu kaplamalar için gözlemlenen aşınma derinlikleri kullanılarak hesaplanmıştır[14].

## ARAŞTIRMA BULGULARI

### Kaplamalı Matris Malzeme Yüzey EDS Bulguları

NiTi kaplama yapılmış Cp-Ti alt taşın yüzeyinden alınan SEM elektron mikroskop görüntüsü ve bu bölgeden alınan spektrum Şekil 1 ile gösterilmiş olup, malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 2'de verilmiştir.




Şekil 1. NiTi kaplamalı Cp-Ti alt taş yüzey görüntüsü ve EDS spektrumu

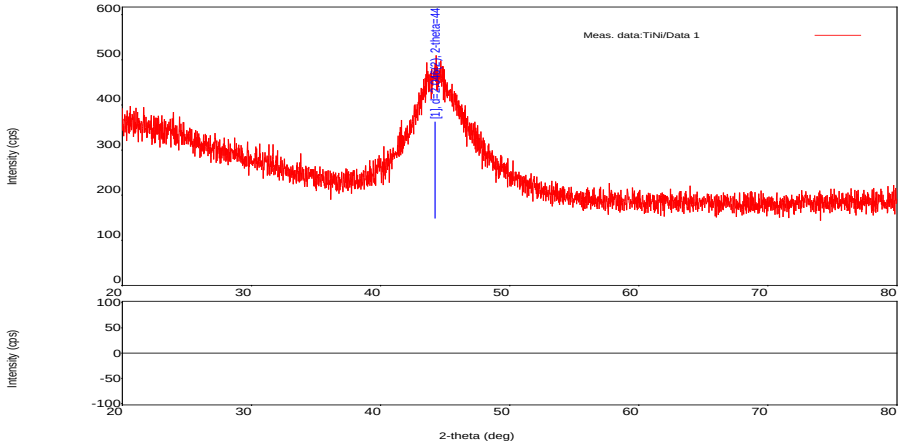
Tablo 2. NiTi kaplamalı Cp-Ti alt taş yüzey EDS spektrum sonuçları

| Element | Ağırlık % | Atomik % |
|---|---|---|
| Ti K | 40.83 | 44.80 |
| Ni K | 59.17 | 55.20 |

Tablo 2'den elde edilen EDS sonuçları incelendiğinde NiTi filmlerinin RF magnetron yöntemi ile üretildiği ve herhangi bir safsızlık elementine rastlanılmadığı görülmüştür.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**X-Işınları Kırınım Analizi Bulguları**

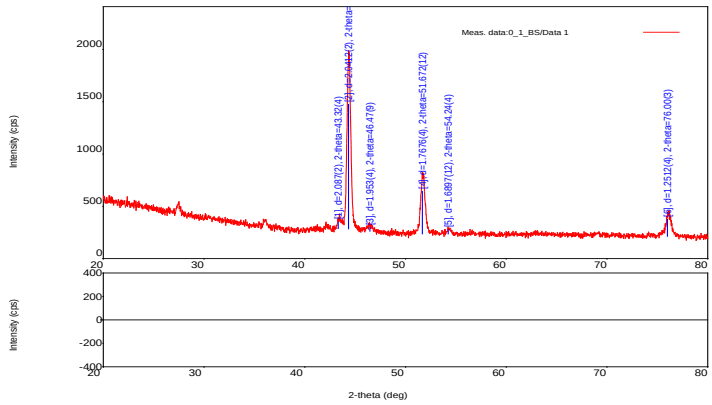



Şekil 2. Oda sıcaklığında biriktirilen NiTi kaplamalı filmin XRD deseni

Tablo 3. Oda sıcaklığında biriktirilen NiTi kaplamalı filmin XRD deseni pik listesi

| 2-theta(deg) | d(A) | Height(cps) | Int. I(cps deg) | FWHM(deg) | Size |
|---|---|---|---|---|---|
| 44.23(5) | 2.046(2) | 213(13) | 2402(123) | 6.51(15) | 13.8(3) |

Şekil 2'den elde edilen XRD sonucu ile oda sıcaklığında biriktirilen NiTi filmlerin yapısının amorf olduğu görülmüştür. Alttaş üzerinde biriken atomik yığınların kristalleşme durumu ortaya çıkmamıştır.




Şekil 3. 300 ºC alttaş biriktirme sıcaklığında biriktirilen NiTi kaplamalı filmin XRD deseni

ISBN: 978-605-71156-5-2

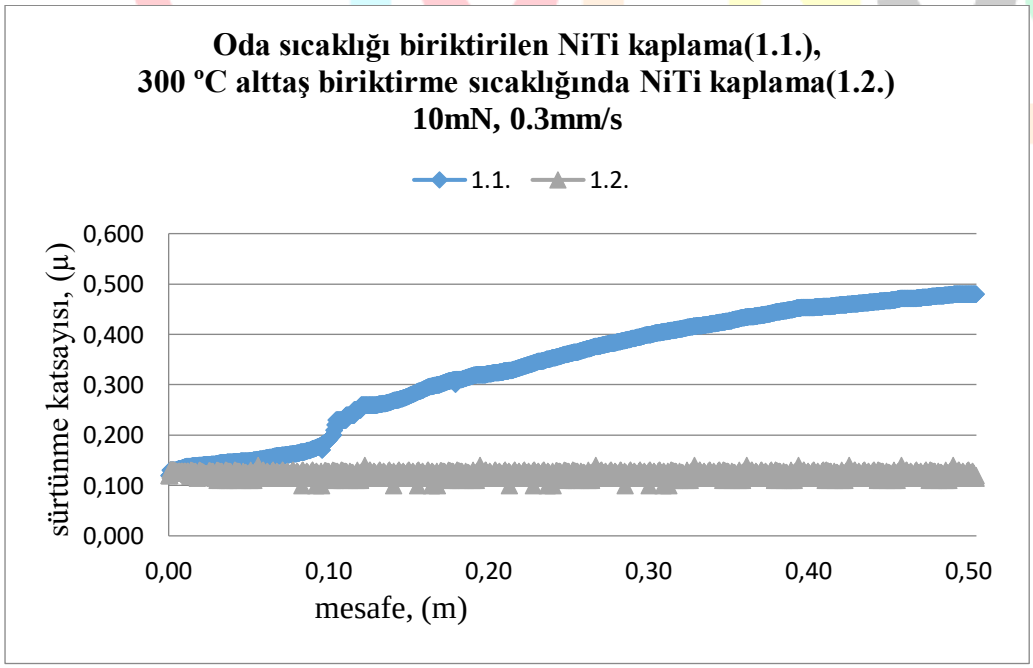
Tablo 4. 300 ºC alttaş biriktirme sıcaklığında biriktirilen NiTi kaplamalı filmin XRD deseni pik listesi

| 2-theta (deg) | d (A) | Height (cps) | Int. I (cps deg) | FWHM (deg) | Size |
|---|---|---|---|---|---|
| 43.32(4) | 2.087(2) | 63(7) | 37(7) | 0.50(9) | 178(32) |
| 44.341(5) | 2.0412(2) | 1191(32) | 522(9) | 0.385(4) | 233(2) |
| 46.47(9) | 1.953(4) | 37(6) | 24(3) | 0.53(8) | 170(26) |
| 51.672(12) | 1.7676(4) | 408(18) | 224(3) | 0.444(9) | 208(4) |
| 54.24(4) | 1.6897(12) | 43(6) | 18(2) | 0.30(6) | 308(61) |
| 76.00(3) | 1.2512(4) | 163(12) | 105(3) | 0.49(3) | 213(14) |

Şekil 3'ten elde edilen XRD sonucu ile 300 ºC attaş biriktirme sıcaklığında biriktirilen NiTi filmlerin yapısının kristal hale geldiği görülmüştür. Daha önce amorf yapıda olan filmlerin B2 austenite kristal yapıya sahip olduğu görülmüştür. Filmlerde yapı içerisine dağılmış $TiNi_3$ ve $Ti_3Ni_4$ çökeltilerinin varlığı XRD desenlerinden görülmektedir.

**NiTi kaplamaların tribolojik bulguları**

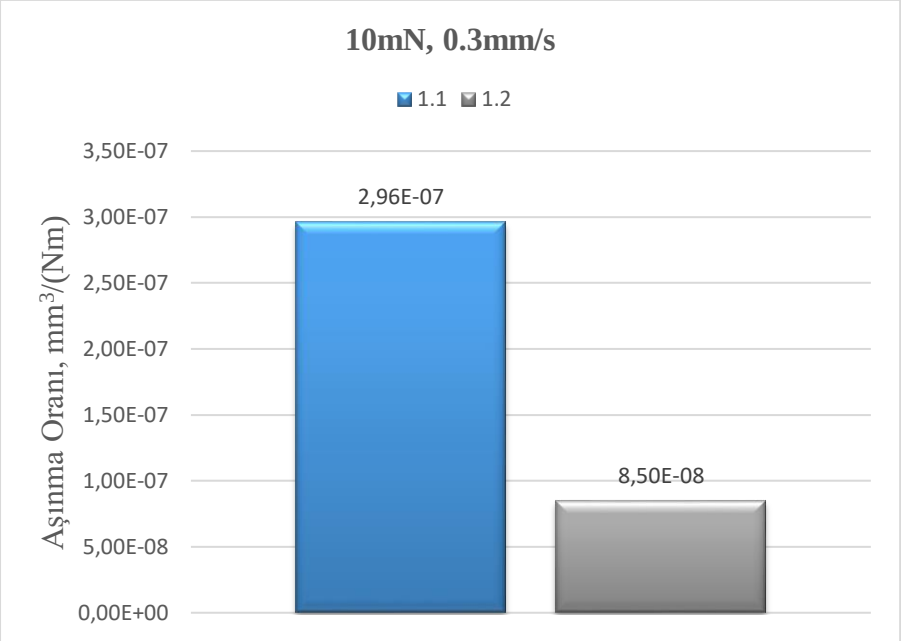
Kaplamalar; Cp-Ti matrisler üzerinde, RF=150 W sıçratma gücünde biriktirilmiştir. Tribolojik teste, 1.1 kaplama parametreli oda sıcaklığında biriktirilen NiTi kaplama ve 1.2 kaplama parametreli 300 ºC alttaş biriktirme sıcaklığında biriktirilen NiTi kaplama tabii tutulmuştur. Kaplamaların 10 mN yük ve 0.3 mm/s hızda, birbirlerine göre kıyaslamalı sürtünme katsayısı-yol ve aşınma oranları grafikleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen veriler doğrultusunda, kaplamaların ortalama sürtünme katsayıları ve aşınma oranları Tablo 5'te verilmiştir.




Şekil 4. Biriktirilen NiTi kaplamaların karşılaştırmalı sürtünme katsayısı-yol grafiği

ISBN: 978-605-71156-5-2

Şekil 4'te 1.1. kaplama parametreli oda sıcaklığında biriktirilmiş NiTi kaplamadan tribolojik testler neticesinde kararsız bir eğri ile yaklaşık 0,34 sürtünme katsayısı elde edilmiştir. 1.2. kaplama parametreli 300 °C alttaş biriktirme sıcaklığında biriktirilmiş NiTi kaplamanın tribolojik testleri neticesinde yaklaşık 0,12 gibi çok düşük ve kararlı bir sürtünme katsayısı elde edildiği grafikten görülmektedir.




Şekil 5. Biriktirilen NiTi kaplamaların karşılaştırmalı aşınma oranları grafiği

Şekil 5'ten 1.1 ve 1.2 kaplama parametreli NiTi kaplamaların ortalama aşınma oranları sırasıyla $2{,}96 \times 10^{-7}$ ve $8{,}5 \times 10^{-8}$ $mm^3/Nm$ elde edilmiştir. NiTi kaplamaların Cp-Ti alttaşlar üzerinde RF magnetron sıçratma biriktirilmesi sırasında, alttaş biriktirilme sıcaklıklarının artmasıyla kaplama sürtünme katsayısı ve aşınma oranının düştüğü grafiklerden belirlenmiştir.

Tablo 5 Kaplamaların Tribolojik Özellikleri

| Parametre | Kaplama | Sürtünme Katsayısı | Aşınma Oranı $mm^3/(Nm)$ |
|---|---|---|---|
| **1.1.** | NiTi (T=Oda) | 0.34 | $2.96 \times 10^{-7}$ |
| **1.2.** | NiTi (T=300 °C) | 0.12 | $8.50 \times 10^{-8}$ |

**Sonuç**

NiTi film kaplanmiş Cp-Ti alttaşların yüzeyinden alınan SEM elektron mikroskobu görüntü ve EDS sonuçlarından, alttaşların film kaplandığı gösterilmiştir. Kaplama sonrası yüzey EDS sonuçlarından yapı içerisine ağırlıkça (%40.83 Ti K, %59.17 Ni K) girdiği görülmüştür.

NiTi filmler; Cp-Ti alttaşlar üzerinde, (RF=150 W sıçratma gücünde, oda sıcaklığı ve T=300 °C alttaş biriktirme sıcaklıklarında) RF magnetron sıçratma yöntemiyle iki farklı

ISBN: 978-605-71156-5-2

parametrede biriktirilmişlerdir. Bu parametrelerde biriktirilmiş kaplamalar; 10 mN yük kademesinde ve 0.3 mm/s kayma hızında tribolojik testlere tabii tutulmuştur. Tribolojik testler neticesinde, en düşük ortalama sürtünme katsayısını (0.12) ve en düşük aşınma oranını ($8.50x10^{-8}$ $mm^3/Nm$) ile 1.2 kaplama parametreli, T=300 °C alt taş biriktirme sıcaklığında biriktirilen filmler göstermiştir. En yüksek ortalama sürtünme katsayısı (0.34) ve en yüksek aşınma oranı ($2.96x10^{-7}$ $mm^3/Nm$) ile 1.1 kaplama parametreli oda sıcaklığında biriktirilmiş NiTi filmler göstermiştir.

Filmlerden elde edilen XRD sonucu ile 300 ºC alttaş biriktirme sıcaklığında biriktirilen NiTi filmlerin yapısının kristal hale geldiği görülmüştür. Daha önce amorf yapıda olan filmlerin B2 austenite kristal yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Literatürde 150 W Rf sıçratma gücünde biriktirilmiş (%0Ag ve %3Ag) katkılı NiTi film kaplamaların 10 mN yüklemeli tribo test cihazında $Al_2O_3$ topa karşı yapılan testleri neticesinde sırasıyla 0.4 ve 0.1 sürtünme katsayıları ve $3.48x10^{-7}$ ve $0.69x10^{-7}$ $mm^{3/}Nm$ aşınma oranları elde edilmiştir. Ag içeriği artmasıyla sürtünme katsayısının ve aşınma oranının düştüğü görülmüştür. Bu çalışmada ise yine 150 W Rf sıçratma gücünde biriktirilmiş katkı ilavesiz NiTi filmler oda sıcaklığında biriktirildiğinde 0.34; T=300 ºC alttaş biriktirme sıcaklığında biriktirildiğinde 0.12 sürtünme katsayısı vererek, literatürle uyum sağlamıştır. NiTi filmlere Ag katkı kaplama ilave edilmesinin yerine, kaplama sırasında alttaş biriktirme sıcaklıklarının artırılmasıyla kristal yapıya dönüşen filmlerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarını azaltıcı etki yaptığı gösterilmiştir. Böylece dental implant kaplamalarında bu çalışma diğer kaplamalara alternatif oluşturmuştur.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Referanslar**

1. Liu, X, Chu, P.K, Ding, C, "Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications," *Mater. Sci. Eng. R.* Reports, 47, 49-121, (2004).

2. Zhao, L, Wang, H, Huo, K, Cui, L, Zhang, W, Ni, H, Zhang, Y, Wu, Z, Chu, P, "Antibacterial nano-structured titania coating incorporated with silver nanoparticles," *Biomaterials*, 32, 5706–5716, (2011).

3. Cortada, M, Giner, L, Costa, S, Gil, F.J, Rodriguez, D, Planell, J.A, "Galvanic corrosion behavior of titanium implants coupled to dental alloys," J. *Materials Science Materials in Medicine,* 11, 287–293, (2000).

4. Deligianni, D.D, Katsala, N, Ladas, S, Sotiropoulou, D, Amedee, J, Missirlis, Y.F, "Effect of surface roughness of the titanium alloy Ti–6Al–4V on human bone marrow cell response and on protein adsorption," *Biomaterials*, 22, 1241–1251, (2001).

5. Agins, H.J, Alcock, N.W, Bansal, M, Salvati, E.A, Wilson, P.D, Pellicci, P.M, Bullough, P.G, "Metallic wear in failed titanium-alloy total hip replacements. A histological and quantitative analysis," J. *Bone Joint Surgery,* 70, 347–356, (1988).

6. Bianco, P.D, Ducheyne, P, Cuckler, J.M, "Local accumulation of titanium released from a titanium implant in the absence of wear," *J. Biomedical Materials Research* 31, 227-234, (1996).

7. Ibriş, N, Mirza Rosca, J.C, "EIS study of Ti and its alloys in biological media," *J. Electroanalytical Chemistry*, 526, 53–62, (2002).

8. Zhou, R, Wei, D, Cao, J, Feng, W, Cheng, S, Du, Q, Li, B, Wang, Y, Jia, D, Zhou, Y, "The effect of NaOH concentration on the steam-hydrothermally treated bioactive microarc oxidation coatings containing Ca, P, Si and Na on pure Ti surface," *Materials Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.*, 49, 669–680, (2015).

9. Lackner, J.M, Waldhauser, W, "Inorganic PVD and CVD coatings in medicine—a review of protein and cell adhesion on coated surfaces," *J. Adhes. Sci. Technol.*, 24, 925–961, (2010).

10. Kassab, E, Neelakantan, L, Frotscher, M, Swaminathan, S, Maaß, B, Rohwerder, M, Gomes, J, Eggeler, G, "Effect of ternary element addition on the corrosion behaviour of Ni Ti shape memory alloys," *Mater. Corros.*, 65,18–22, (2014).

11. Lepule, M.L, Obadele, Andrews, A, Olubambi, P.A, "Corrosion and wear behaviour of ZrO2 modified NiTi coatings on AISI 316 stainless steel," *Surf. Coat. Technol.*, 261, 21–27, (2015).

12. Yuan, B, Li, H, Gao, Y, Chung, C, Zhu, M, "In vitro and in vivo evaluation of porous NiTi alloy modified by sputtering a surface TiO film," *Science China Technol. Sci.*, 55, 437–444, (2012).

13. Thangavel, E, Dhandapani, V.S, Dharmalingam, K, Marimuthu, M, Veerapandian, M, Kim, S, Kim, B, Ramasundaram, S, Kim, D.E, "RF magnetron sputtering mediated NiTi/Ag

ISBN: 978-605-71156-5-2

coating on Ti-alloy substrate with enhanced biocompatibility and durability," *Materials Science*, 99, 304-314, (2019).

14. Archard, J.F, "Single contacts and multiple encounters," *J. Appl. Phys.* 32, 1420–1425, (1961).

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Development of In Cabin Temperature Sensor for Vehicles Taşıtlar için İç Kabin Sıcaklık Sensörü Geliştirmesi

*Şemsetün Melih AKYOL*[1]
*Bahadır BİLEN*[2]
*Murat DİKTAŞ*[3]
*Sercan DEVECİ*[4]

**Özet**

Çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılabilecek, düşük maliyetli bir iç kabin sıcaklık sensörünün tasarımı ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Mevcut sensör, sürücü H noktasında belli bir yükseklikte, torpido üzerine konumlandırılmaktadır. Sürücünün diz veya el çarpma kaynaklı istenmeyen yüklerinden korunması amacıyla, torpido üzerindeki bir ızgara açıklığın arkasındaki bir kanalının içinde bulunmaktadır. Bu çözümde, sensörün ısı algılayıcı termistör elemanı üzerine hava emişi sağlamak için, ilave bir fan, motor ve motor sürücü ile donatılması gereklidir. İlave donatılar sensörün birim maliyetinin önemli oranda arttırmaktadır. Önerilen çözümde, termistör düşük kalınlıklı bir plastik kapak ile çevrelenmiş olarak doğrudan iç kabin yüzeyine açık şekilde konumlandırılmıştır. Konsept fazında, sensörün kabin içi farklı konumlandırma alternatifleri ( tavan halısına montajlı, mevcut ızgara iptal edilerek yerine kullanımı, sigorta kapağından aşağıda fakat H noktasından yüksekte olacak şekilde sigorta kapağı üzerine alınması), Pugh metodu ile karşılaştırılmış, stil, kolay montaj, çevre parçalar ile birlikte düşünülerek minimum araç üzeri entegrasyon yatırımı, minimum otomatik klima yazılımı kalibrasyon değişikliği ve doğrulama ihtiyacı ve ECE21 diz çarpma riski bakımından değerlendirilmiştir. Sigorta kapağı, minimum devreye alma yatırımı gerektirdiğinden en iyi konum çözümü olarak belirledikten sonra, hem soğutma hem de ısıtma için kabin içi sıcaklık değişimleri ölçülmüştür. Sigorta kapağında yeni seçilen konumun, mevcut ızgara bölgesi ile benzer sıcaklık değişim trendine sahip olduğu belirlenmiştir. Özellikle klima fanı düşük hızlarda çalışmada, kabin için düşük seviye hava sirkülasyonu olduğunda, yeni çözüm sensörün cevap hızı/süresi en kritik ve iyileştirilmesi gereken performans parametresi olmaktadır. Tasarım ve geliştirme adımında ise, sensörün geometrisi ve ölçüleri, termistör ve plastik kapak arası dolgu malzemesi, termistör tipi kontrol parametreleri, farklı hava hızlarına sahip ortamdaki gürültü parametreleri ile 6-Sigma yöntemi kullanılarak ısı transferi maksimuma

[1] Yüksek Mühendis, TOFAS Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ARGE,
[2] Mühendis, TOFAS Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ARGE,
[3] Mühendis, EKINLER Endüstri Sanayi ve Ticaret A.Ş., ARGE,
[4] Mühendis, EKINLER Endüstri Sanayi ve Ticaret A.Ş., ARGE,

ISBN: 978-605-71156-5-2

getirilecek şekilde optimize edilmiştir. Oval tasarım yaparak ısı transferi yüzey alanını arttırmak, oval tasarımdaki çapı minimize ederek dolgu malzemesi kullanımını azaltmak en etkili kontrol parametreleri olarak belirlenmiştir. Optimize edilen tasarım ile, ölçüm hassasiyeti %5 oranında iyileştirilmiş, parça birim maliyeti de %60 oranında azaltılmıştır.
**Anahtar Kelimeler:** İç Kabin Sıcaklık Sensörü, 6-Sigma Optimum Tasarım, Sensör Cevap Süresi, Isı Transferi, Maliyet İndirimi

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Giriş**

Günümüzde, artan mobilite trendine bağlı olarak, otomatik kontrollü klima donanımı, A-B sınıfı modellerde de yaygın olarak müşterilere sunulmaya başlamıştır. Otomatik klima donanımı temel fonksiyonu, kullanıcının seçtiği kabin iç ortam sıcaklık değerini, tüm sürüş ve yol dış ortam şartlarında, kullanıcıdan bağımsız olarak garanti etmektir. Bu fonksiyonunu yerine getirebilmesi için, manuel kontrollü donanıma ilave olarak, kabin iç ortamdaki sıcaklık değeri sürekli olarak ölçen bir sensör, aracın maruz kaldığı güneş yükünü ölçen bir sensör ve kabin içine üflenen sıcaklığı sürekli olarak ölçen sensörler ile donatılmıştır. Otomatik klima kontrol donanımı ile gelen ve genellikle kumanda paneli içine gömülü bir yazılım, ilave sensörlerden alınan verilerden araç içindeki mevcut ısıl konfor koşulunu hesaplayıp, sürekli olarak takip etmektedir. Mevcut ısıl konfor koşulu, sürücün talep ettiği konfor sıcaklığı ile karşılaştırılarak, kabinin ısıtma veya soğutma ihtiyacı belirlenir.

Pazardaki rekabet ve kolay ulaşılabilir olmaları için, A-B sınıf araçların en önemli isterlerinden biri de toplam araç maliyetinin düşük olmasıdır. Bu nedenle aynı fonksiyonu, müşteri algısında bir olumsuzluk yaratmadan karşılayacak, düşük maliyetli çözümler sürekli olarak devreye alınmaktadır. Düşük maliyetli yeni çözümlere ulaşmada en etkili yöntemler rakip araçlarda kullanılan veya sektör dışında aynı fonksiyona sahip çözümlerin analiz edilmesidir. Bu çalışmanın başlangıcında yaptığımız rakip araç kıyas analizleri sonucunda, otomatik klima kontrol donanımındaki sensörler arasından, iç kabin sıcaklık sensörü yüksek maliyeti sebebi ile bir fırsat alanı olarak belirlendi.

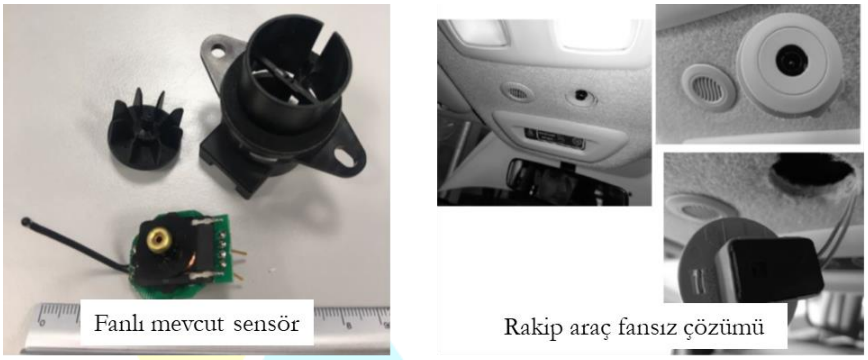
İç kabin sıcaklık sensöründen alınan sıcaklık girdisi, özellikle sıcaklık profilinin hızlı değişim gösterdiği, motor ilk çalıştırma sonrasındaki, hızlı soğutma veya ısıtma beklediğimiz, 30-40 dakikalık sürede, anlık olarak iç ortamdaki ortalama konfor şartının takip edilmesinde en etkili parametredir. Temel fonksiyonu gereği kabin iç ortamını temsil edecek sıcaklığı doğru ve hassasiyeti yüksek olarak ölçmesi gereklidir. Sensörün kabin içi konumunun ortalama sıcaklığı temsil edecek bir bölgede, projelendirilmesi ve sensörün cevap verme hızı parametresinin, iç ortam sıcaklık değişim hızını takip edebilecek seviyede olması tasarım ve parça geliştirme sürecinde dikkate alınan önemli performans isterleridir. Ölçüm doğruluğu tüm çalışma şartlarında (farklı hava yönlendirmelerinde) sağlanabilmesi için de, ölçüm çıktıları otomatik klima yazılımındaki bir kalibrasyondaki katsayı ilaveleri ile de desteklenmektedir.

Sensör konum seçimi ile ilgili firmamız standartlarında, sürücünün diz ve göğüs arası bölgedeki ortam sıcaklık değişimini, hem torpido üzerindeki üfleçlerden hem de ayak üfleçlerinden çıkan şartlanmış hava ile direk temas halinde olmadan ölçebilecek bir konum belirlenmesi istenir ve genellikle torpido üzerinde konumlandırılmaktadır. Mevcut sensör sürücünün diz bölgesinin yakın bir pozisyondadır. Hem diz çarpma hem de sürücünün istenmeyen temaslarından olacak darbelere karşı korunması için sensör torpidonun dış yüzeyinden içerde bir kanal içinde konumlandırılmıştır. İç stil yüzeyi görsel bir bölgede olduğu için ızgara şeklinde hava girişine izin verecek açıklık bırakılmıştır. Bu konumdaki sensörün doğru olarak ölçüm yapabilmesi için ilave bir fan yardımı ile kabin iç havasının kanal içine emilmesi sağlanmalıdır. Bu sebeple mevcut sensör,

ISBN: 978-605-71156-5-2

sıcaklık algılayıcı NTC tip bir termistöre ilave olarak, bir fan, fan motoru ve motoru kontrol eden bir elektronik devreden oluşmaktadır. İlave elektronik parçalar parça maliyetinin %80 'ini oluşturduğu maliyet kırılım analizleri ile belirlenmiştir.

Şekil 1 - Fanlı ve Fansız Tip Kabin Sıcaklık Sensör Örnekleri




Rakip araçlarda, darbe riskinden uzak, aracın tavan bölgesinde konumlandırılmış, termistör ortam havasına açık durumda olduğu için ilave bir fan ve motoru içermeyen ve bu sayede maliyeti düşük iç kabin sıcaklık sensör çözümleri bulunmaktadır. Çalışmanın başlatılma gerekçesi, rakip araçlarda görülen çözümün uygulanabilirliğinin analizi ve donanımsal olarak optimize edilmiş yeni bir ürün geliştirmektir. Yapılan analizlerde eğer sadece termistör, gövde ve konnektörden oluşacak bir parça kullanıldığında maliyetlerin %60 oranında düşeceği belirlenmiştir. Rakip araç çözümün uygulanmasında en önemli kısıt, tavan bölgesinin sıcaklık değişim profilinin, mevcut konumundan çok farklı olması ve sistemde majör kalibrasyon değişiklikleri ve fiziksel doğrulamalar sonucunda devreye alınabilecek olmasıdır. Bu sebeple alternatif bir çözüm olarak, otomobillerde dış ortam sıcaklığını ölçmek için kullanılan sensörler referans alınmıştır. Dış ortam sıcaklık sensörleri, doğrudan dış ortamda, aracın hızı ile hazır bir hava akışına maruz kaldığından, çalışmanın maliyet indirimi hedefine uygun olarak, bir sıcaklık algılayıcı termistör ve onu dış ortamın darbe, yağmur gibi bozucu etkilerinden koruyacak şekilde bir plastik kaplamadan oluşmaktadır. Torpidoda kullanımı içinde kapak arkasında korunan ve yüzeyine temas halindeki termistör çözümü bir alternatif olarak ele alınmıştır.

Yöntem kısmında, dış ortam sıcaklık sensörü çözümü ile tavan bölgesindeki rakip araç çözümü farklı konum alternatifleri ile yatırım, estetik, güvenlik, performans açısından karşılaştırılmış, kabin içinde düşük hava hızları olan bir ortamda, fansız kullanıldığında sensör performansının iyileştirilmesi için gerekli tasarım çözümleri sunulmuştur. Çözümlere ulaşmada, 6-sigma deneysel tasarım yöntemi uygulanmıştır.

## Yöntem ve Bulgular

Çalışmanın konsept geliştirme aşamasında aşağıdaki çalışmalar ile sensör tipi ve konumu belirlenmiştir.

1. Sıcaklık – Direnç eğrisi ve toleransları aynı olacak yeni bir NTC tip termistör seçimi ve temini
2. Farklı dış ortam şartlarında sıcaklık – direnç eğrilerinin doğrulanması

ISBN: 978-605-71156-5-2

3. Sensör konum alternatiflerinin türetilmesi ve alternatif bölgelerdeki ortam sıcaklık değişimlerinin ölçülmesi, mevcut konum ile karşılaştırılması
4. Pugh yöntemi ile alternatifleri avantaj ve dezavantaj yönünden karşılaştırılması

Otomatik klima yazılımında, sensörden gelen direnci ölçerek ortamın sıcaklığını hesaplayan bir algoritma bulunmaktadır. Yazılımın bu alanında değişiklik yapmamak ve geliştirme maliyetlerini düşürmek için, mevcut kullanılan sensördeki termistör ile aynı direnç-sıcaklık eğrisine sahip bir termistör seçimi yapılmıştır. Sıcaklık - direç karakteristiği R(T1) = .. kohm ± ..% ile ifade edilmektedir (Aydın, 2019: 13) . T1 sıcaklığındaki direnç değeri verilir. NTC tip sensörlerin, direnci sıcaklıkla ters orantılıdır. Termistör malzemesinin sıcaklık değişimine karşı koyduğu direnç logaritmik bir eğridir ve eğrinin gradyanı ise B katsayısı ile ifade edilmektedir. B termistör malzemesine ait bir sabittir ve B (T1/T2) = ..K ± ..% olarak tanımlanır. T1 ve T2 sıcaklık aralığındaki gradyan Kelvin sıcaklığı biriminde ifade edilir (Aydın, 2019: 18). Formülü eşitlik 1'deki gibidir.

$$B(T1/T2) = (T2 \times T1) / (T2 - T1) \times Ln(R1/R2) \quad (1)$$

Seçilen termistör, mevcut termistör ile aynı ortam sıcaklıklarında karşılaştırılmış ve Tablo 1'deki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar, termistör seçiminin uygun yapıldığını göstermektedir.

Tablo 1 – Farklı Sıcaklıklarda Termistör Dirençlerinin Karşılaştırılması

| | **R(T1)** | **R(T2)** | **R(T3)** | **R(T4)** | **R(T5)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Mevcut NTC | 159,88 | 95,35 | 36,94 | 23,83 | 15,68 |
| Prototip 1 | 159,9 | 95,6 | 36,99 | 23,95 | 15,85 |
| Prototip 2 | 160,1 | 95,5 | 36,95 | 23,93 | 15,81 |

Çalışmamızda, Şekil 2'deki 3 ayrı sensör konum ve tip konfigürasyonu değerlendirilmiştir.

1. Rakip araçlardaki tavan kaplama bölgesinde, kaplamasız, termistör iç kabin ortamına doğrudan açık sensör kullanımı
2. Mevcut sensör hava emiş ızgarası yerine, kaplamalı tip yeni sensörün kullanımı
3. Görsel bölgeden uzak sigorta kapağı üzerinde kaplamalı tip sensör kullanımı

ISBN: 978-605-71156-5-2

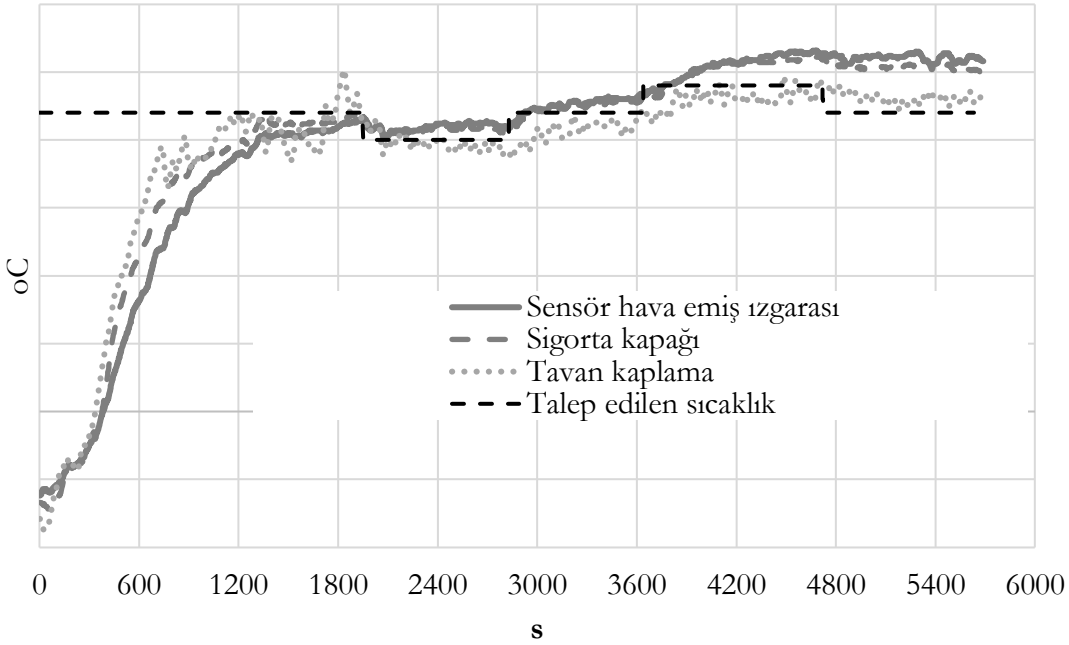
Şekil 2 – Araç İçi Sensör Konum Alternatifleri

Otomatik klima yazılımı, iç kabin sıcaklık sensörünün ölçtüğü değerden bir algoritma ile kabin konfor sıcaklığını tahmin etmektedir. Sensörün konumu değiştiğinde, sıcaklık profili de önemli oranda değişirse, yazılımdaki algoritmada da majör değişiklikler yapılması gereklidir. Algoritmada majör değişiklik yapabilmek için de yaz ve kış doğrulama testlerini de içeren uzun süreli ve maliyetli hem geliştirme hem de performans doğrulama çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç duyulur. Çalışmada alternatif konumlardaki sıcaklık profilleri ölçüldü ve profildeki majör farklılaşma, yeni yazılım geliştirme maliyet değerlendirme kriteri olarak PUGH matrisine eklendi.

Şekil 3'teki sıcaklık profillerinin karşılaştırmasında, sigorta kapağı bölgesinin, mevcut sensör hava emiş ızgarası bölgesi yakın bir profile sahip olduğu, yalnız ilk ısınmada ayak hava çıkışlarına daha yakın bir bölge olduğundan hızlı ısındığı görülmektedir. Tavan bölgesine konumlandırılacak bir sensörün ölçeceği sıcaklık profilinin ise mevcut konumdan farklılaştığı ve majör kalibrasyon ihtiyacı olacağı belirlenmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Şekil 3 – Konum Alternatiflerinin Zaman bağlı Sıcaklık Değişimleri




PUGH matrisi, farklı alternatifleri önemli bazı kriterler bakımından karşılaştırılıp, en iyi konsept çözümün seçiminde kullanılan bir problem çözme aracıdır. Tablo 2'de çalışmamızın PUGH matrisi, Tablo3'te de PUGH matrisindeki kriterlerin + (güçlü), - (zayıf), s (aynı) olarak seçiminde dikkate alınan bilgiler verilmiştir. Kriterler ürün devreye almada karşılaşılacak stil, maliyet ve performans kısıtları dikkate alınarak seçilmiştir.

Tablo 2 – PUGH Yöntemi ile Konum Alternatiflerinin Karşılaştırılması

| **Kriter** | **Sensör hava emiş ızgarası** | **Tavan kaplama** | **Sigorta kapağı** |
|---|---|---|---|
| Stil / Estetik | | S | + |
| Montaj Kolaylığı | | - | S |
| Araç Entegrasyon Yatırımı | D | S | + |
| Kalibrasyon ve Test Gereksinimi | A | - | S |
| Performans (Cevap verme hızı) | T | + | S |
| S+ | U | 1 | 2 |
| S- | M | 2 | 0 |
| Ss | | 2 | 3 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 3 – Konum Alternatiflerinin Güçlü ve Zayıf Yanları

| Konum Alternatifi | Güçlü Yanlar | Zayıf Yanlar |
|---|---|---|
| Sensör hava emiş ızgarası | Sıcaklık Profili Değişmiyor | Estetik parçada değişliklerin devreye alınması zor, stil değerlendirilmeli |
| Tavan kaplama | Darbe risk bölgesinden uzakta, direk ortama açık termistör kullanımı imkanı ile cevap verme hızı yüksek | İlave kablo tesisatları yatırımı ve çevre parçalar ile girişim riskini arttırıyor<br>Sıcaklık değişim profili farklı, major kalibrasyon geliştirme ve doğrulama gerekli |
| Sigorta kapağı | Görsel alandan uzakta, stil kısıtı içermiyor<br>Sıcaklık Profili mevcut konuma yakın | |

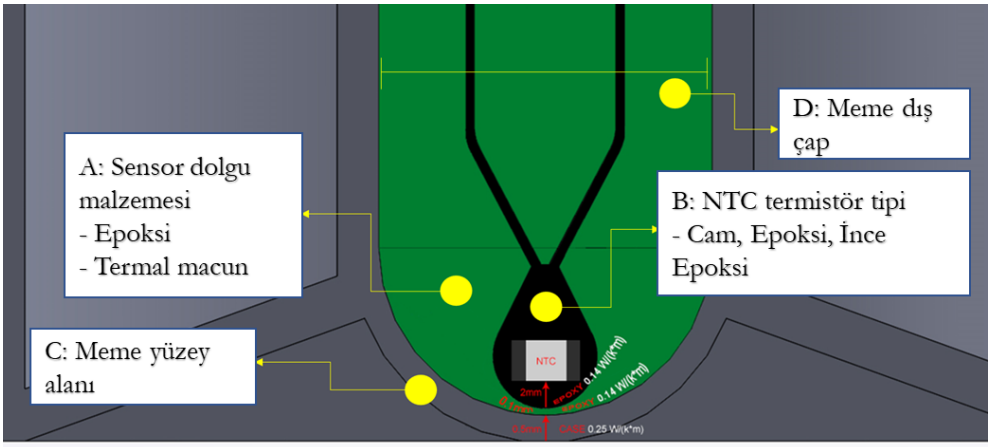
PUGH matrisi sonuçlarına göre, sigorta kapağı üzerinde sensörün bir koruyucu kaplama ile konumlandırılma alternatifi, özellikle yatırım maliyeti avantajları ve stil kısıdı içermemesi sayesinde, tasarım geliştirme sürecindeki konsept olarak dondurulmuştur.

Seçilen çözümde termistörü, dış kuvvetlerden korunması için kullanılan kaplama, kabin iç ortamı ile termistör arasında bir ısıl direnç yaratacağından, ısı transferinde azalma ve sonuç olarak, sensörün cevap verme hızında düşme yaratacaktır. Tasarım iyileştirme çalışmalarındaki hedef, ısıl direnci minimize edecek şekilde tasarımın geliştirilmesi olmuştur. Özellikle kaplama üzerindeki hava hızlarının düşük olduğu ortam şartlarında kaplamanın dış yüzeyi ile kabin ortamı arasındaki taşınım direnci yüksek ve kritik duruma gelecektir. Isının kapak cidarındaki, termistörü kapak içinde sabitleyen dolgu malzemesi üzerindeki ve termistörün kendi kaplamasının malzemesi sonucunda oluşan iletim dirençleri performansı etkileyecektir.

Çalışmanın tasarım geliştirme aşamasında; 6-sigma deney tasarımı yöntemi, optimum çözüm için gerekli tasarım kriterleri belirlenmiştir. Şekil 4'te deneysel optimizasyonda kullanılan tasarım kontrol parametreleri verilmiştir. Kapak malzemesi sigorta kapağına uyumlu seçilmesi zorunlu olduğundan, kapak cidar kalınlığı da üretilebilir olma kısıdı olan minimum kalınlıkta seçildiğinden optimizasyonun dışında bırakılmıştır.

Şekil 4 – Optimize Edilecek Kontrol Parametreleri

ISBN: 978-605-71156-5-2




Kapak ile NTC arasındaki sensör dolgu malzemesi genellikle epoksi kullanılmaktadır. Isı transferi iyileştirme istendiğinde termal macun uygulamaları da görülmektedir. Alternatif NTC termistör tipi olarak, ince epoksi kaplamalı veya cam kaplamalı çözümler, yaygın kullanılan epoksiye göre cevap verme hızı bakımından avantajlıdır. Meme yüzey alanı tasarımın izin verdiği min. ve maksimum değerler arasında optimize edilecektir. Tasarımın izin verdiği ölçüler, çevre komponentler ile olan mesafe kurallarına göre belirlenir. Yüzey alanı arttırmak özellikle taşınım direncini düşürmede etkilidir. Meme dış çapı ise direnç yaratacak dolgu malzemesi ve kapağın toplam ısıl kapasiteni etkileyecektir.

Şekil 5 – P-Diyagramı

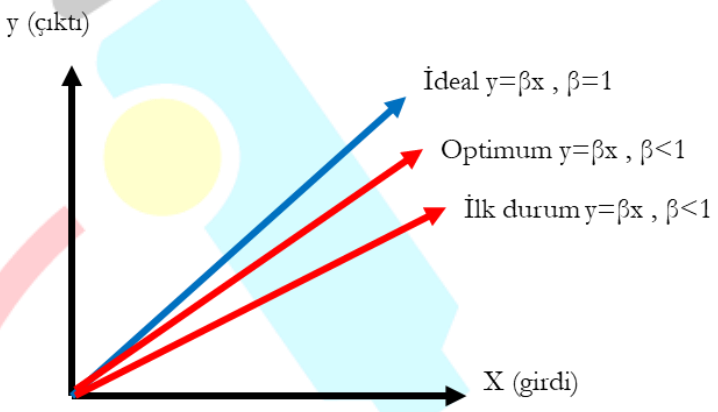
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Kontrol Faktörleri** | | | |
| | **A** | Sensör dolgu malzemesi | | |
| | **B** | NTC Termistör tipi | | |
| | **C** | Meme yüzey alanı | | |
| | **D** | Meme dış çapı | | |
| **Girdi** | | **Fonksiyon** | | **Çıktı** |
| M: Gerçek kabin sıcaklığı | → | Sıcaklığı ölçmek | → | y: Ölçülen kabin sıcaklığı |
| **Gürültü faktörü** | | **N1** | **N2** | **Hata modu** |
| Hava Hızı | | Düşük | Yüksek | Hatalı Ölçüm |

6 Sigma yönteminde P-diyagramı olarak adlandırılan, optimize edilecek fonksiyonu, fonksiyonun girdi ve çıktı sinyallerini, kontrol edebildiğimiz tasarım girdileri olacak kontrol faktörlerini ve çıktıda değişkenliğe neden olacak gürültü faktörlerini içeren tablo Şekil 5'te verilmiştir. Tanımlı fonksiyon başarısı, girdi olan farklı kabin iç ortam sıcaklıkları ile çıktı olan ölçülen sıcaklığın birbirine yakın olmasıdır. Seçilen kontrol parametreleri ile optimum tasarım hem sensör dış cidarı etrafındaki hava hareketlerinin düşük olduğu kullanım şartlarında hem de yüksek hava hareketinin olduğu şartlarda elde edilmesi gereklidir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

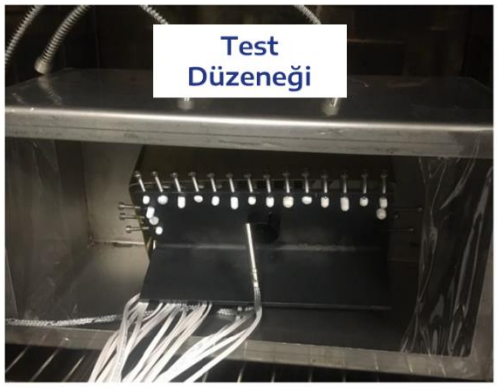
Testler -10 derece ile +45 derece arasında önce ısınıp, sonra soğutulan bir kabin şartlarında yapılmıştır. Girdi olan ortam sıcaklığı değişken olduğundan, fonksiyon tipi de dinamiktir. Dinamik fonksiyonlarda girdi ve çıktı x-y düzleminde gösterilir. İdeal durumda sensör, ortam sıcaklığını hatasız okuduğunda x=y eğrisi oluşacaktır. Optimizasyonun amacı da ideale en yakın eğriyi verecek çıktıların yani ölçülen sıcaklıkların elde edilmesidir. 6-sigma yönteminde ideal eğri şekil 6'daki gibi gösterilmektedir. İdeal durumda Beta = 1'dir. Optimum tasarım da 1'e yaklaşması istenir. (Genichi Taguchi, 2004: 5)

Şekil 6 – Dinamik Fonksiyonların Optimizasyonu ve İdeal Eğri




6-Sigma Taguchi analizinde, 4 kontrol parametreli ve 3 seviyeli faktörler için, 18 adet farklı konfigürasyonun test edildiği bir deney tasarımı istemektedir. Kontrol faktörlerini L18 ortogonal matrise sistematik olarak dağıtmaktadır. Dinamik şartlarda -10 ile 50 derece arasında, her iki gürültü faktöründe 18 adet konfigürasyon testinde tekrarlanan testlerde Şekil 7'deki test düzeneği kullanılmıştır.

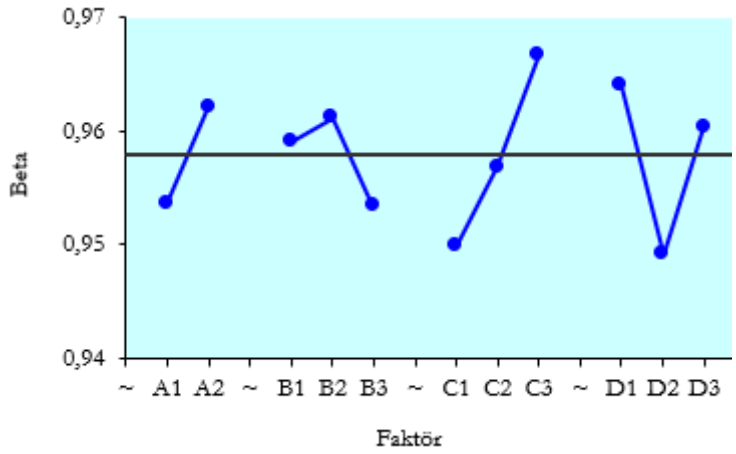
Şekil 7 – Çalışmada Kullanılan Test Düzeneği




Şekil 8'deki Beta sonuçlarına göre, sırası ile meme yüzey alanını artırmak ve dış çapı minimumda tutmak en etkili kontrol faktörleri olarak belirlenmiştir. Sonuçlar başlangıç konfigürasyonuna göre dış yüzey alanı 2 katına arttırıldığında, meme çapı 2 mm azaltıldığında ve termal macun uygulandığında Beta 0.94'ten 0.99'a iyileşmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Şekil 8 – Kontrol faktörlerinin Beta etkisi



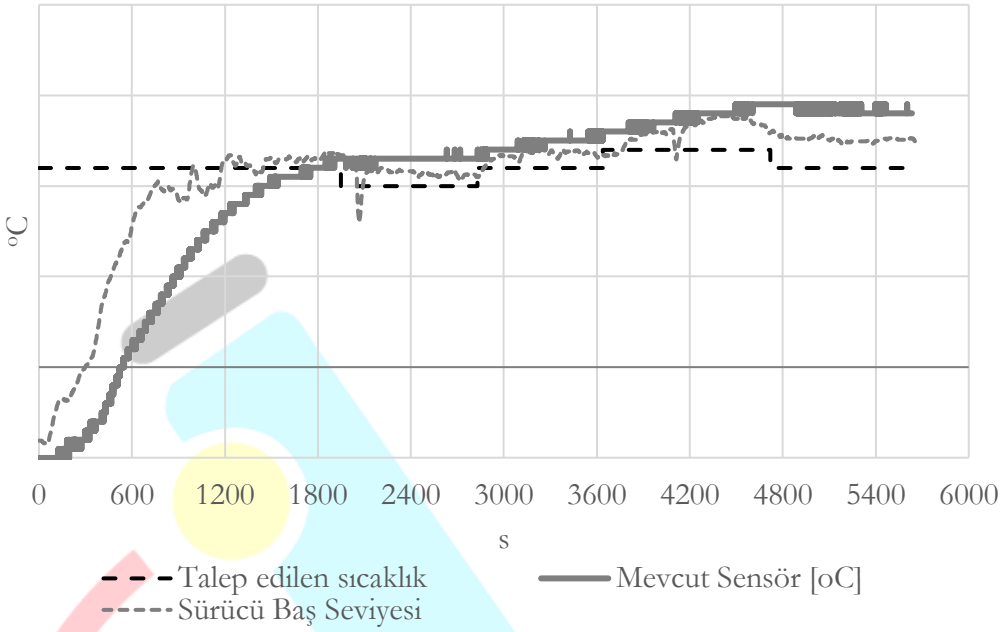

Çalışmanın doğrulama sürecinde ise optimum tasarımda prototip parçalar üretilerek araç üzeri denemeler yapılmıştır. Test -10 derecede klimatik bir odada, roller üzerinde yol sürüş şartlarının simule edildiği bir araç ile gerçekleştirilmiştir. Test 4 aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Otomatik modunda 22°C klima sıcaklık ayarında 30 dakikalık araç ısınması
2. Kullanıcı 22°C 'den 20°C'ye düşürmesi sonrası 15 dakikalık soğuma ve süreklilik
3. Kullanıcı 20°C'den sırasıyla her 15 dakika bir 22°C ve 24°C'ye yükseltmesi sonrası ısınma ve süreklilik
4. Kullanıcı 24°C'den 22°C'ye düşürmesi sonrası 15 dakikalık soğuma ve süreklilik

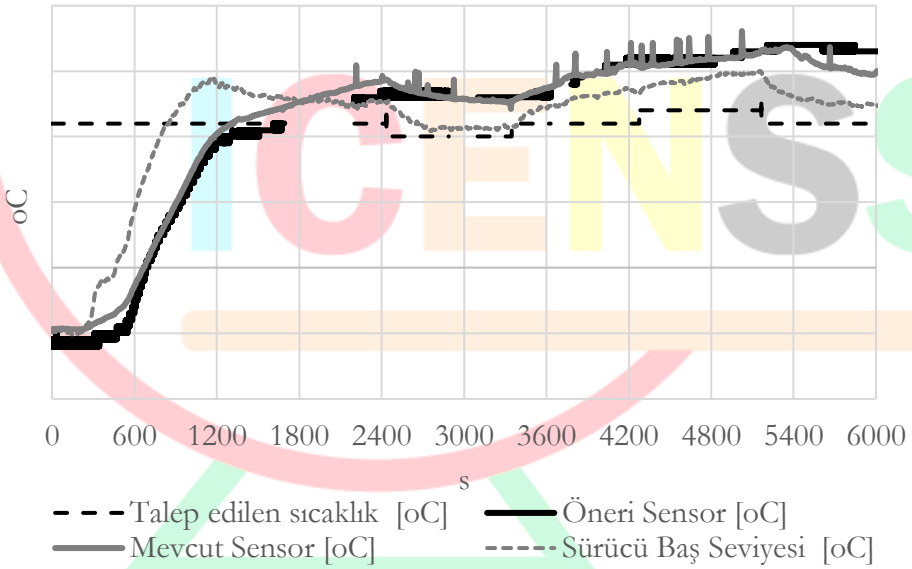
Karşılaştırmalı olarak yapılan testlerde ilk olarak mevcut sensör ile otomatik klima kontrolü sağlanan araç test edilmiştir. Sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 10'da ise prototip üretilmiş yeni sensör tarafından otomatik klima kontrolü sağlanan bir aracın sıcaklık profilleri verilmiştir. Karşılaştırma sonunda, yeni sensörün cevap hızının fanlı sensörden belli oranda yavaş kalması sebebi ile hızlı ısınma sürecinde sürücü baş bölgesinin 2 derece daha hızlı ısındığı soğuma talepleri süreçlerinde ise 2 derece daha fazla soğuduğu belirlenmiştir. Şekil 10'daki grafik, yeni sensörün sıcaklık profilinin fanlı sensör sıcaklık profiline benzer olduğunu da göstermektedir.

Şekil 9 – Mevcut Sensör Kontrollü Otomatik Klima ile Kabin Isıtma Testi

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 10 – Yeni Sensör Kontrollü Otomatik Klima ile Kabin Isıtma Testi




**Sonuçlar**

ISBN: 978-605-71156-5-2

Çalışma sonucunda, fan, fan motoru ve fan sürücü devreleri olmayan bir iç kabin sıcaklık sensörü geliştirilmiştir. PUGH matrisi ile konumu sigorta kapağında ve tipi darbelere karşı koruması için termistör üzeri plastik kapaklı olarak belirlenen çözümün kapak ve malzeme tasarımı 6-sigma deney tasarımı ile ısıl dirençleri minimize edecek şekilde optimize edilmiştir. Optimum ürünün hassasiyeti %99 oranında ideal eğri sonuçlarına ulaşmıştır. Araç üzeri denemelerde ise 2 °C'lik bir sapma ile mevcut sensör ile benzer sıcaklık profilinin ölçüldüğü görülmüştür. Minor kalibrasyon değişiklikleri sonrasında devreye alınabilmesi beklenmektedir.

Bu çalışma, TEYDEB 3215024 no'lu, Siparişe Dayalı ARGE programı kapsamında "Taşıtlar için iç kabin sıcaklık sensör geliştirme projesi " başlığındaki proje kapsamında yapılmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynakça**

Aydın, M. (2019, 6 10). *Termistör Nedir & Nasıl Çalışır*. Derstagram: http://www.derstagram.com/termistor-nedir-nasil-calisir/ adresinden alındı

Genichi Taguchi, S. C. (2004). *Taguchi's Quality Engineering Handbook 1st Edition*. Wiley-Interscience.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# On Catalan Transformations of the Gaussian Fibonacci Sequence

*Mine UYSAL*[1]
*Engin ÖZKAN*[2]

**Abstract**

In this study, we examined the Catalan transformations of the Gaussian Fibonacci numbers. We investigated the properties of this series. Then we gave some terms of the sequence and represented it with a matrix. We have obtained some sequences defined from the terms of the Catalan transformations of the Gaussian Fibonacci numbers. At the same time, we give the generating function of the Catalan transformations of the Gaussian Fibonacci numbers. We then applied Hankel transformations to these sequences. Finally, we calculated the determinants of these Hankel transformations for some $n$ values.

**Keywords:** Fibonacci numbers, Gaussian Fibonacci numbers, Catalan transformation, Hankel transformation, Generating function.

[1] Arş. Gör. , Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Matematik Bölümü, Orcıd: 0000-0002-2362-3097
[2] Prof. Dr. , Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Matematik Bölümü, Orcıd: 0000-0002-4188-7248

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1.INTRODUCTION

Number sequences have been studied by many scientists until today. Number sequences, especially Fibonacci sequences, have found applications in many areas of mathematics and are still being studied.

(Deveci 2021, Falcon 2007, Koshy 1998, Özkan and Taştan 2020, Özkan, Aydın and Dikici 2003, Özkan, Altun and Göcer 2017, Ramirez 2015). Fibonacci sequences have been analyzed and many generalizations have been made and associated with other number sequences Çelik,Durukan, and Özkan 2021, El-Mikkawy and Sogabe 2010, Falcon 2013, Özkan, Taştan, and Güngör 2020, Özkan, Uysal and Kuloğlu 2021, Tastan, Özkan and Shannon 2021, Catarino and Morgado 2016 ) . One of these generalizations is the Gaussian Fibonacci numbers (Jiang, Xin and Lu 2014, Özkan and Taştan 2020, Petre and Horadam 1986, Özkan and Taştan 2021).

Gaussian numbers were given by Gauss in 1832. A Gaussian number is a complex number

$$z = a + ib,$$

where $a$ and $b$ are integers.

**Definition 1.1.** The Gaussian Fibonacci numbers $GF_n$ are given by

$$GF_n = GF_{n-1} + GF_{n-2}, \ n \geq 2$$

where $GF_0 = i, \ GF_1 = 1$.(Koshy, 2014: 518-519)

Now, let's define Catalan numbers which are important in combinatorial mathematics and often appear in various counting problems.

**Definition 1.2.** The Catalan numbers with $C(n)$ are given as follows

$$C(n) = \frac{1}{n+1}\binom{2n}{n}.$$

**Definition 1.3.** The Generating functions of the Catalan numbers $C(n)$ are defined by

$$c(x) = \frac{1-\sqrt{1-4x}}{2x}.$$

**Definition 1.4.** The elements of the Catalan matrix $C$ containing the Catalan numbers are calculated by

$$C_{i,j} = \sum_{r=j-1}^{i-1} C_{i-1,r}.$$

Note that the first and second column elements of the Catalan matrix give the Catalan numbers for $i > 1$.

Catalan transformations of number sequences have been studied by some authors and their properties have been examined (Falcon 2013, Özkan, Taştan and Güngör 2020, Özkan, Uysal and Kuloğlu 2021, Taştan and Özkan 2020, Taştan and Özkan 2021).

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 2.METHOD

### 2.1.Catalan Transformations of the Gaussian Fibonacci Sequence

**Definition 2.1.** The Catalan transformation of the Gaussian Fibonacci sequence is defined as follow

$$CG\mathcal{F}_n = \sum_{k=0}^{n} \frac{k}{2n-k}\binom{2n-k}{n-k} G\mathcal{F}_k \,, n \geq 1 \qquad (1)$$

where $CG\mathcal{F}_0 = 0$ and $G\mathcal{F}_k$ is $kth$ Gaussian Fibonacci number.

We give some terms of the Catalan transformation of the Gaussian Fibonacci sequence as follow

$$* \; CG\mathcal{F}_1 = \sum_{k=0}^{1} \frac{k}{2-k}\binom{2-k}{1-k}\mathcal{F}_k = 1$$

$$* \; CG\mathcal{F}_2 = \sum_{k=0}^{2} \frac{k}{4-k}\binom{4-k}{2-k}\mathcal{F}_k = 2 + i$$

$$* \; CG\mathcal{F}_3 = \sum_{k=0}^{3} \frac{k}{6-k}\binom{6-k}{3-k}\mathcal{F}_k = 6 + 3i$$

$$* \; CG\mathcal{F}_4 = \sum_{k=0}^{4} \frac{k}{8-k}\binom{8-k}{4-k}\mathcal{F}_k = 19 + 10i$$

$$* \; CG\mathcal{F}_5 = \sum_{k=0}^{5} \frac{k}{10-k}\binom{10-k}{5-k}\mathcal{F}_k = 63 + 34i$$

$$* \; CG\mathcal{F}_6 = \sum_{k=0}^{6} \frac{k}{12-k}\binom{12-k}{6-k}\mathcal{F}_k = 215 + 118i$$

Thus, we obtain a sequence formed from real parts of the Catalan transformation of the Gaussian Fibonacci sequence. This sequence is Catalan transformation of the Fibonacci numbers and denoted by $a_n$.
$a_n = \{1,2,6,19,63,215,\dots\}$ indexed in OEIS as A109262.
Thus, we obtain a sequence formed from the coefficients of $i$.
This sequence is denoted by $b_n$.
$b_n = \{0,1,3,10,34,118,\dots\}$ indexed in OEIS as A109263.
From the sum of the real and imaginary parts of the Catalan transformation of the Gaussian Fibonacci sequence, we obtain the following sequence, and this sequence is indexed in OEIS as A081696.
$b_n = \{1,3,9,29,97,333,\dots\}$.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Now, Let's write matrix $CG\mathcal{F}_n$ as the product of the lower triangular matrix $C$ and the $G\mathcal{F}_k$ matrix.

$$CG\mathcal{F}_k = C.G\mathcal{F}_k$$

$$\begin{bmatrix} CG\mathcal{F}_1 \\ CG\mathcal{F}_2 \\ CG\mathcal{F}_3 \\ CG\mathcal{F}_4 \\ CG\mathcal{F}_5 \\ CG\mathcal{F}_6 \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ 1 & 1 & & & & \\ 2 & 2 & 1 & & & \\ 5 & 5 & 3 & 1 & & \\ 14 & 14 & 9 & 4 & 1 & \\ 42 & 42 & 28 & 14 & 5 & 1 \\ & & \vdots & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G\mathcal{F}_1 \\ G\mathcal{F}_2 \\ G\mathcal{F}_3 \\ G\mathcal{F}_4 \\ G\mathcal{F}_5 \\ G\mathcal{F}_6 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Let $c(x)$ and $A(x)$ denote the generating functions of the Catalan numbers and the sequence $\{a_n\}$, respectively.

**Theorem 1.2.** The generating function of the Catalan form of the Gaussian Fibonacci numbers is

$$G(x) = \frac{1 + i + (-1 + i)\sqrt{1 - 4x}}{2(\sqrt{1 - 4x} + 2x)}$$

**Proof.** We know that $A((x * c(x))$ is the generating function of the Catalan transform of the sequence $\{a_n\}$, (Barry 2015). So, we find the generating function of the Catalan transform of the Gaussian Fibonacci numbers as follows

$$G(x) = G\big(x * C(x)\big) = G\left(\frac{1 - \sqrt{1 - 4x}}{2}\right) = \frac{1 + i + (-1 + i)\sqrt{1 - 4x}}{2(\sqrt{1 - 4x} + 2x)}.$$

### 2.1. 2.2.Hankel Transformation of the Gaussian Fibonacci Sequence

**Definition 2.2.** Let $A = \{a_0, a_1, a_2, \dots\}$ be a sequence of real numbers.
The Hankel matrix of A is denoted by $H$ and defined by the infinite matrix as follows

$$H = \begin{vmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & \dots \\ a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & \dots \\ a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & \dots \\ a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & \dots \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \end{vmatrix}.$$

with elements $h_{i,j} = a_{i+j-2}$.
The Hankel transformation of the given sequence $A$ is the sequence $H_n = Det[a_{i+j-2}]$ determinants.
The sub determinants of the $n \times n$ type matrices of $H_n$ are also called the Hankel determinant of order $n$ of the $A$ series.

ISBN: 978-605-71156-5-2

The Hankel matrix of the Gaussian Fibonacci sequence is

$$H = \begin{vmatrix} CG\mathcal{F}_1 & CG\mathcal{F}_2 & CG\mathcal{F}_3 & CG\mathcal{F}_4 & \dots \\ CG\mathcal{F}_2 & CG\mathcal{F}_3 & CG\mathcal{F}_4 & CG\mathcal{F}_5 & \dots \\ CG\mathcal{F}_3 & CG\mathcal{F}_4 & CG\mathcal{F}_5 & CG\mathcal{F}_6 & \dots \\ CG\mathcal{F}_4 & CG\mathcal{F}_5 & CG\mathcal{F}_6 & CG\mathcal{F}_7 & \dots \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \end{vmatrix}.$$

The Hankel transformation of the Gaussian Fibonacci sequence is

$$HC\mathcal{F}_1 = |CG\mathcal{F}_1| = 1.$$

$$HC\mathcal{F}_2 = \begin{vmatrix} CG\mathcal{F}_1 & CG\mathcal{F}_2 \\ CG\mathcal{F}_2 & CG\mathcal{F}_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 2+i \\ 2+i & 6+3i \end{vmatrix} = 3 - i.$$

$$HC\mathcal{F}_3 = \begin{vmatrix} CG\mathcal{F}_1 & CG\mathcal{F}_2 & CG\mathcal{F}_3 \\ CG\mathcal{F}_2 & CG\mathcal{F}_3 & CG\mathcal{F}_4 \\ CG\mathcal{F}_3 & CG\mathcal{F}_6 & CG\mathcal{F}_5 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 2+i & 6+3i \\ 2+i & 6+3i & 19+10i \\ 6+3i & 19+10i & 63+34i \end{vmatrix} = 10 - 2i.$$

$$HC\mathcal{F}_4 = \begin{vmatrix} CG\mathcal{F}_1 & CG\mathcal{F}_2 & CG\mathcal{F}_3 & CG\mathcal{F}_4 \\ CG\mathcal{F}_2 & CG\mathcal{F}_3 & CG\mathcal{F}_4 & CG\mathcal{F}_5 \\ CG\mathcal{F}_3 & CG\mathcal{F}_4 & CG\mathcal{F}_5 & CG\mathcal{F}_6 \\ CG\mathcal{F}_4 & CG\mathcal{F}_5 & CG\mathcal{F}_6 & CG\mathcal{F}_7 \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} 1 & 2+i & 6+3i & 19+10i \\ 2+i & 6+3i & 19+10i & 63+34i \\ 6+3i & 19+10i & 63+34i & 215+115i \\ 19+10i & 63+34i & 195+118i & 746+416i \end{vmatrix} = 1080 - 156i$$

We can continue in this form $5 \times 5$ ,…, $n \times n$ determinants.

## 3.CONCLUSION

In this study, we calculated the Catalan transformation of Gaussian Fibonacci sequence. We then obtained the generating functions of these Catalan transformation. We also applied Hankel transformation to Catalan transformation of Gaussian Fibonacci sequence. We calculated the Hankel determinants of these Hankel transformation.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## REFERENCES


1. Barry P. (2005). A Catalan transform and related transformations on integer sequences. *J. Integer Seq., 8*(4), 1-24.
2. Catarino P. and Morgado M. L. (2016). On Generalized Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas polynomials, *Analele Universitatii Ovidius Constanta-Seria Matematica, 24*(3), 61-78.
3. Çelik, S., Durukan, İ. and Özkan, E. (2021). New recurrences on Pell numbers, Pell-Lucas numbers, Jacobsthal numbers, and Jacobsthal-Lucas numbers. *Chaos, Solitons & Fractals*, *150*, 111173. Doi: 10.1016/j.chaos.2021.111173
4. Deveci, Ö. and Shannon, A. G. (2021). The complex-type k-Fibonacci sequences and their applications. *Communications in Algebra, 49*(3),1352-1367. Doi: 10.1080/00927872.2020.1834573
5. El-Mikkawy, M. and Sogabe, T. (2010). A new family of k-Fibonacci numbers, Applied Mathematics and Computation, *215*(12), 4456-4461.
6. Falcon S. (2013). Catalan Transform of the k-Fibonacci sequence. *Communications of the Korean Mathematical Society, 28*(4), 827–832.
7. Falcon, S. and Plaza, Á. (2007). The k-Fibonacci sequence and the Pascal 2-triangle. *Chaos, Solitons & Fractals, 33*(1), 38-49.
8. Filipponi P. (1996). Incomplete Fibonacci and Lucas numbers. *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo, 45*(1), 37-56.
9. Jiang, Z., Xin, H. and Lu, F. (2014). Gaussian Fibonacci circulant type matrices. *In Abstract and Applied Analysis,* (2014). https://doi.org/10.1155/2014/592782
10. Koshy T. (1998). New Fibonacci and Lucas identities. *The Mathematical Gazette 82* 481-184.
11. Koshy T. (2001). *Fibonacci and Lucas numbers with applications*. Canada.: Wiley-Interscience Publishing.
12. Özkan E. and Taştan M. (2020). On Gauss Fibonacci polynomials, Gauss Lucas polynomials and their applications. *Communications in Algebra, 48*(3), 952-960. Doi : 10.1080/00927872.2019.1670193
13. Özkan E., Aydın H. and Dikici R. (2003). Applications of Fibonacci Sequences in a Finite Nilpotent Group. *Applied Mathematics and Computation, 141*(2-3), 565-578.
14. Özkan, E., Altun, İ., and Göçer, A. (2017). On relationship among a new family of k-Fibonacci, k-Lucas numbers, Fibonacci and Lucas numbers. *Chiang Mai Journal of Science, 44*(4), 1744-1750.
15. Özkan, E., Taştan, M. and Güngör, O. (2020). Catalan transform of the k-lucas numbers. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13*(ÖZEL SAYI I), 145-149.
16. Özkan, E., Uysal, M. and Kuloğlu, B. (2021). Catalan transform of the incomplete Jacobsthal numbers and incomplete generalized Jacobsthal polynomials. *Asian-European Journal of Mathematics,* 2250119. Doi : 10.1142/S1793557122501194
17. Pethe, S. and Horadam, A. F. (1986). Generalised Gaussian Fibonacci numbers. *Bulletin of the Australian Mathematical Society*, *33*(1), 37-48.
18. Rajkovi'c P. M., Petkovi'c M. D. and Barry P. (2007). The Hankel transform of the sum of consecutive generalized Catalan numbers. *Integral Transform Spec. Funt., 18*(4), 285-296.

ISBN: 978-605-71156-5-2

19. Ramírez J. L. (2015). Incomplete generalized Fibonacci and Lucas polynomials. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 44*(2), 363-373.
20. Taştan M. and Özkan E.(2020). Catalan Transform of the k-Jacobsthal Sequence, Electronic *Journal of Mathematical Analysis and Applications*,.*8*(2), 70-74.
21. Taştan M. and Özkan E. (2021). Catalan transform of the k-Pell, k-Pell–Lucas and modified k-Pell sequence. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics,* 27(1), 198-207. Doi: 10.7546/nntdm.2021.27.1.198-207
22. Taştan, M. and Özkan, E. (2021). On The Gauss k− Fibonacci Polynomials. *Electronic Journal of Mathematical Analysis and Applications*, *9*(1), 124-130.
23. Tastan, M., Özkan, E., & Shannon, A. (2021). The generalized k-Fibonacci polynomials and generalized k-Lucas polynomials. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics, 27*(2), 148-158. Doi: 10.7546/nntdm.2021.27.2.148-158

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Eskişehir Kuru Koşullarında Bazı Makarnalık Buğday (Triticum durum L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Karşılaştırılması

*Zekiye BUDAK BAŞÇİFTÇİ*[1]
*Nazife Gözde AYTER ARPACIOĞLU*[2]

**Özet**

Eskişehir kuru tarım koşullarında yürütülen bu çalışmada sekiz farklı makarnalık buğday (Triticum durum L.) çeşidinin (Amanos-97, Ceylan-95, Dumlupınar, Sarıbaşak, Altıntaş-95, Meram-2002, Fuatbey-2000, Yılmaz-98) verim ve verim unsurları incelenmiştir. Çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü araştırma ve uygulama tarlasında, 2014-2015 ve 2015-2016 üretim sezonlarında iki yıl süre ile yürütülmüştür. Çalışmada bitki boyu, başak boyu, başakçık sayısı, başakta tane sayısı, başakta tane ağırlığı ve tane verimi parametreleri incelenmiştir. İncelenen tüm özelliklerde yıllar, çeşitler ve bunların etkileşimi olan yılxçeşit interaksiyonları önemli bulunmuştur.

İki yıllık ortalama sonuçlara göre makarnalık buğday çeşitlerinin bitki boyu 69,33-90,92 cm, başak boyu 6,04-9,67 cm, başakcık sayısı 7,30-12,27 adet, başakta tane sayısı 24,17-36,25 adet, başakta tane ağırlığı 1,00-1,99 g, tane verimi 246,33-327,50 kg/da arasında değişmiştir. İncelenen tüm verim ve verim unsurlarında ilk yıl elde edilen sonuçlar ikinci yıla oranla yüksek bulunmuştur.

Araştırma sonucunda en fazla tane verimi her iki yılda da Fuatbey-2000 çeşidinden elde edilmiştir. Benzer şekilde en yüksek başakcık sayısı, başakta tane sayısı ve başakta tane ağırlığı değerini de Fuatbey-2000 çeşidi vermiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, Fuatbey-2000 ve çeşidi diğer çeşitlere göre daha üstün performans sergilemiş ve Eskişehir koşullarına daha uygun bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Makarnalık buğday, verim, verim unsurları

[1] Dr. Öğr. Üyesi , Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Orcid: 0000-0002-4034-2537
[2] Araş. Gör. Dr.,Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Orcid: 0000-0002-5121-4303

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

Ülkemizde ve birçok ülkede temel gıda maddesi buğdaydır. Buğdaylar genel olarak kromozom sayılarına ve genom formüllerine göre diploid, kaplıca (AA), tetraploid, makarnalık (AABB) ve hekzaploid, ekmeklik (AABBDD) olarak 3 grup altında sınıflandırılmaktadır (Yürür, 1998). Makarnalık buğday grubu (Triticum durum L.) irmik ve makarna gibi ürünler ile bulgur ile kuskus gibi granüle gıda ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır (Morris, 2004). Makarnalık yani diğer adı ile durum buğdayları protein miktarı ve gluten oranı yönünden ekmeklik buğdaylardan daha üstün durumdadır. Mamul madde haline getirilmesinde daha kapsamlı sanayiye ihtiyaç olması sebebi ile de daha yüksek fiyatlarla piyasaya sunulmaktadır ( Sade, 1999). Ülkemiz tarımında en geniş üretim alanına sahip buğday tarımında makarnalık buğday üretimi 2020 verilerine göre %11,29'luk bir paya sahiptir. Türkiye bazında makarnalık buğday verim ortalaması ise 318 kg/da'dır. (TUİK, 2021).

Ülkemiz yetiştirme şartları bakımından makarnalık buğday üretiminde diğer ülkelere göre daha avantajlı konumda yer almaktadır (Turhan ve Çetin, 2002). Eskişehir ve Orta Anadolu bölgesinin tarımında buğday yetiştiriciliği önemli bir yere sahiptir. Eskişehir ekolojik şartları kışlık makarnalık buğday (Triticum durum L) yetiştiriciliğine uygun olmasına rağmen, çiftçilerin bölgedeki diğer ürünleri yetiştirme alışkanlıkları, düşük verim ve kalite gibi etkenler nedeniyle makarnalık buğday üretimini arka planda kalmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de ekim alanı sınırlı olan makarnalık buğdaylar verim ve kalite açısından genetik ve çevre koşullarından önemli derecede etkilenmektedir (Sade vd. 1999). Bu nedenle herhangi bölgede tarımsal araştırmalar yapılırken, öncelikle bölgeye uygun çeşitlerin tespit edilmesi ve bu çeşitlere uygun yetiştirme yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Eskişehir koşullarında yürütülen bu çalışmada bazı makarnalık buğday çeşitlerinin tane verimi ve verime etki eden başak özelliklerinin değişimi incelenerek, bölge koşullarına adaptasyonu bakımından uygun ve yüksek verimli çeşitlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## YÖNTEM

Çalışma 2014-2015 ve 2015-2016- üretim yıllarında, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi araştırma tarlalarında yürütülmüştür. Çalışmada materyal olarak kışlık olarak üretilmek üzere geliştirilen Amanos-97, Ceylan-95, Dumlupınar, Sarıbaşak, Altıntaş-95, Meram-2002, Fuatbey-2000 ve Yılmaz-98 makarnalık buğday çeşitleri kullanılmıştır. Ekim, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak, metrekareye 500 tohum gelecek şekilde (20 kg/da), 1,2 metre x 4 metre (4,8 m2), boyutlarındaki parsellere 20 cm sıra aralığında, 6 sıralı olacak şekilde deneme mibzeri yapılmıştır. Kuru koşullarda yürütülen denemede dekara saf olarak 6 kg/da P2O5 ile 6 kg/da N hesabıyla gübreleme yapılmıştır. Yabancı ot kontrolü mekanik yollarla yapılmıştır. Deneme arazisinin toprak yapısına ait veriler Tablo 1.'de, araştırmanın yapıldığı yıllara (2014-2015 ve 2015-2016) ve uzun yıllara ait (1970-2016) iklim verileri Tablo 2.'de verilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 1 – Deneme yerine ait bazı fiziksel özellikler

| Derinlik | Bünye | pH | Kireç (%$CaCO_3$) | Tuz (%) | | $P_2O_5$ (kg/da) | $K_2O$ (kg/da) | Toplam Azot (%) | Organik Madde (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-30 cm | Killi-Tınlı | 7,81 | 5,32 | 0,064 | | 3,65 | 215 | 0,075 | 1,11 |

Tablo 2 – Eskişehir ilinde vejetasyon dönemi içerisinde uzun yıllar (1970-2016) ile 2014-2015 ve 2015-2016 yıllarına ait meteorolojik veriler

| | Yıl (2014-2015) | | Yıl (2015-2016) | | Uzun Yıllar (1970-2016) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Toplam Yağış (mm) | Ortalama Sıcaklık (°C) | Toplam Yağış (mm) | Ortalama Sıcaklık (°C) | Toplam Yağış (mm) | Ortalama Sıcaklık (°C) |
| Ekim | 42,9 | 12,2 | 33,8 | 13 | 36,9 | 11,7 |
| Kasım | 15,6 | 6,3 | 8,4 | 7,7 | 32,2 | 5,6 |
| Aralık | 65 | 5 | 6,6 | -0,8 | 41,9 | 1,7 |
| Ocak | 18,6 | -0,8 | 81,4 | 0 | 31,5 | -0,2 |
| Şubat | 44 | 2,7 | 32,8 | 6,6 | 27,6 | 0,9 |
| Mart | 38,6 | 5,6 | 40,6 | 7,5 | 30,1 | 4,9 |
| Nisan | 27,4 | 7,9 | 30,6 | 12,9 | 42,3 | 9,6 |
| Mayıs | 47,8 | 15,5 | 44,4 | 14,1 | 40,7 | 14,9 |
| Haziran | 151,1 | 17,1 | 7 | 21 | 26,5 | 19,1 |
| Toplam | 451 | | 279,6 | | 309,7 | |
| Ortalama | | 7,9 | | 9,11 | | 9 |

Araştırmada bitki boyu, başak boyu, başakçık sayısı, başakta tane sayısı, başakta tane ağırlığı ve tane verimi özellikleri incelenmiştir. Gözlemler ve ölçümler parsellerin ortasından tesadüfen seçilen 10 bitkide yapılmıştır.

Tüm unsurlara ait hesaplamalar tesadüf bloklarında bölünen bölünmüş parseller deneme desenine göre TARIST paket programında yapılmıştır. Etkili farkların görülebilmesi için 'F' testi kullanılmış ve değişim katsayıları hesaplanmıştır. Ortalama değerler arasındaki karşılaştırmalar ise 'AÖF' testi kullanılarak verilmiştir (Düzgüneş vd., 1987; Açıkgöz, 1998).

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Verim ve verim unsurlarıyla ilgili elde edilen sonuçlara ait varyans analiz tablosu incelendiğinde (Tablo 3.) yılların bitki boyu, başak boyu, başakta tane sayısı ve ağırlığı ile tane veriminde çok önemli olduğu ($p<0,01$), başakcık sayısında önemli olduğu ($p<0,05$); çeşitlerin tüm özelliklerde çok önemli ($p<0,01$) olduğu ve yılxçeşit interaksiyonunun başak boyunda önemsiz, bitki boyu ve başakcık sayısında önemli ($p<0,05$), başakta tane sayısı, başakta tane ağırlığı ve tane veriminde ise çok önemli olduğu ($p<0,01$) belirlenmiştir. Yapılan farklı çalışmalarda da yıllar, çeşitler ve yılxçeşit interaksiyonlarının etkisinin önemli olduğu belirtilmiştir (Aydoğan vd., 2010; Doğan ve Çetiz, 2015; Çığ ve Karaman, 2019).

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 3 – Denemede incelenen özelliklere ait varyans analiz sonuçları

| Varyasyon Kaynağı | S.D. | Bitki Boyu | Başak Boyu | Başakcık Sayısı |
|---|---|---|---|---|
| Yıl | 1 | 166,88** | 3,85** | 9,19* |
| Hata | 2 | 0,72 | 0,03 | 0,19 |
| Çeşit | 7 | 387,51** | 8,18** | 19,91** |
| YılxÇeşit | 7 | 2,01* | 0,06ns | 0,45* |
| Hata | 28 | 0,73 | 0,10 | 0,18 |
| Genel | 47 | 62,10 | 1,37 | 3,37 |
| D.K. (%) | | 10,05 | 15,36 | 19,48 |
| Varyasyon Kaynağı | S.D. | Başakta Tane Sayısı | Başakta Tane Ağırlığı | Tane Verimi |
| Yıl | 1 | 554,68** | 2,56** | 48768,75** |
| Hata | 2 | 0,52 | 0,01 | 1,00 |
| Çeşit | 7 | 112,46** | 0,52** | 6244,67** |
| YılxÇeşit | 7 | 3,80** | 0,21** | 114,80** |
| Hata | 28 | 0,97 | 0,002 | 10,41 |
| Genel | 47 | 29,76 | 0,14 | 1991,61 |
| D.K. (%) | | 17,54 | 23,50 | 15,97 |

Çeşitlere ait bitki boyu ortalamaları 2014-2015 üretim yılında 80,29 cm olurken, 2015-2016 üretim sezonunda 76,56 cm olmuştur. 2014-2015 yılı makarnalık buğday üretimi açısından daha uygun geçmiş ve bu farklılıklar çeşitlere de yansımıştır. En yüksek bitki boyu değeri 90,92 cm ile Yılmaz-98 çeşidinden elde edilirken en düşük bitki boyu değeri 69,33 cm ile Fuatbey-2000 çeşidinden elde edilmiştir. Bitki boyu buğdayda verim açısından önemli bir özellik olup uzun boylu çeşitlerde başak boyu da uzun olmaktadır. Bazı araştırmacılar kısa boylu makarnalık buğday çeşitlerinin uzun boylu çeşitlere göre daha fazla tane verimine ve kardeş sayısına sahip olduğunu bildirmişlerdir (Blade ve Baker, 1991; Doğan ve Yürür, 1992). Benzer şekilde çalışmamızda da kısa boylu çeşitlerden elde edilen tane verimi daha yüksek olmuştur.

Tablo 4 – Makarnalık buğday çeşitlerinde incelenen özelliklerin yıllara göre ortalama değerleri

| Yıllar | Bitki Boyu | Başak Boyu | Başakcık Sayısı | Başakta Tane Sayısı | Başakta Tane Ağırlığı | Tane Verimi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2014-2015 | 80,29A | 7,91A | 9,85A | 34,51A | 1,81A | 311,29A |
| 2015-2016 | 76,56B | 7,34B | 8,98B | 27,71B | 1,34B | 247,54B |
| Ortalama | 78,43 | 7,62 | 9,42 | 31,11 | 1,58 | 279,42 |
| AÖF Yıl | 2,45 | 0,50 | 0,54 | 2,07 | 0,22 | 2,87 |

Çeşitlere ait başak boyu ortalamaları 2014-2015 üretim yılında 7,91 cm olurken, 2015-2016 üretim sezonunda 7,34 cm olmuştur. İlk yıl toplam yağış miktarının ikinci yıla oranla ciddi oranda fazla olması ilk yılın tüm özellikler bakımından üstün olmasına sebep olmuştur. En yüksek başak boyu değeri 9,67 cm ile Yılmaz-98 çeşidinden elde edilirken en düşük başak boyu değeri 6,04 cm ile Amanos-97 çeşidinden elde edilmiştir. Gülmezoğlu ve Tolay (2016) Eskişehir'de 7.08-7.93 cm, aralığında değişen başak boyu değerleri bildirmişlerdir. Çalışmada elde ettiğimiz bulgular bu sonuçlar ile desteklenmektedir. Başak boyu bakımından çeşitler arasında meydana gelen varyasyonun en önemli sebebi ise denemede kullanılan materyallerin genetik yapılarının farklı olmasıdır (Akman vd. 1999).

ISBN: 978-605-71156-5-2

Başakcık sayısına ait ortalama tablosuna bakıldığında en yüksek başakcık sayısının bitki boyu ve başak boyunda olduğu gibi Yılmaz-98 (12,75 adet) çeşidinden elde edildiği görülmektedir. En düşük değer ise 7,33 adet ile Ceylan-95 çeşidinden elde edilmiştir. İki yıllık ortalama değerlere bakıldığında ise ilk yılın yağış miktarından dolayı ikinci yıla oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. İkinci yılda Mart ayı ve Nisan ayında meydana gelen kuraklık başakçık sayısı üzerine olumsuz etki etmiştir. Çiçekler ve tanelerin oluştuğu organlar başakcık üzerinde bulunduğundan başakçık sayısı verimi doğrudan etkilemektedir (Çobanoğlu 2019).

Tablo 5 – Makarnalık buğday çeşitlerinde incelenen özelliklerin iki yıllık ortalama değerleri

| Çeşitler | Bitki Boyu | Başak Boyu | Başakcık Sayısı |
|---|---|---|---|
| Amanos-97 | 72,00f | 6,04f | 8,17c |
| Ceylan-95 | 76,42e | 8,04c | 7,33d |
| Dumlupınar | 81,83c | 7,08de | 10,25b |
| Sarıbaşak | 70,58g | 6,58e | 7,92cd |
| Altıntaş-95 | 88,17b | 7,38d | 8,25c |
| Meram-2002 | 78,17d | 8,73b | 10,67b |
| Fuatbey-2000 | 69,33g | 7,46d | 10,00b |
| Yılmaz-98 | 90,92a | 9,67a | 12,75a |
| Ortalama | 78,43 | 7,62 | 9,42 |
| AÖF Çeşit | 1,37 | 0,50 | 0,68 |
| AÖF YılxÇeşit | 1,43 | 0,53 | 0,71 |
| Çeşitler | Başakta Tane Sayısı | Başakta Tane Ağırlığı | Tane Verimi |
| Amanos-97 | 24,17f | 1,40d | 281,83c |
| Ceylan-95 | 30,58cd | 1,54c | 291,50b |
| Dumlupınar | 34,48b | 1,72b | 257,83d |
| Sarıbaşak | 29,75d | 1,69b | 259,17d |
| Altıntaş-95 | 31,35c | 1,52c | 322,83a |
| Meram-2002 | 35,78ab | 1,75b | 246,33e |
| Fuatbey-2000 | 36,25a | 1,99a | 327,50a |
| Yılmaz-98 | 26,50e | 1,00e | 248,33e |
| Ortalama | 31,11 | 1,58 | 279,42 |
| AÖF Çeşit | 1,57 | 0,08 | 5,15 |
| AÖF YılxÇeşit | 2,23 | 0,11 | 7,28 |

Tablo 4. incelendiğinde, çeşitlerin ortalama başakta tane sayıları 2014-2015 yılında 34,51 adet 2015-2016 yılında ise 27,71 adet olarak belirlenmiştir. Tablo 4'te görüldüğü gibi başak tane sayısı ve başakta tane ağırlığı 2014-2015 üretim sezonunda belirgin bir biçimde daha fazladır. Çiçeklenme döneminde meydana gelen yüksek sıcaklıklar ile düşük nem oranı döllenmeyi olumsuz etkilemekte ve başak üzerinde tane bağlayan çiçeklerin sayısını, dolayısı ile de başakta tane sayısını ve başak ağırlığını azaltmaktadır. Bu nedenle, ikinci üretim yılının daha kurak geçmesi, bu yılda başak tane sayısının ve başak tane ağırlığının düşmesine dolayısı ile de verimin düşmesine sebep olmuştur. Çeşitlerin ayrı ayrı incelendiği tablo 5.'e göre en yüksek başakta tane sayısı 36,25 adet ile Fuatbey-2000 çeşidinden elde edilirken en düşük başakta tane sayısı değeri 24,17 ile Amanos-97 çeşidinden elde edilmiştir. Aynı şekilde Fuatbey-2000 çeşidi hem başakta tane ağırlığı yönünden (1,99 g) hem de verim yönünden (327,50 kg/da) en yüksek değerleri vermiştir. Başakta tane sayısı

ISBN: 978-605-71156-5-2

ve ağırlığının artması ile buğdayda verimde artmaktadır. Tane verimindeki artışların bin tane ağırlığından ziyade başakta tane sayısı ve başakta tane ağırlığının artmasından kaynaklandığı bildirilmektedir (Ayoub vd., 1994). Ayrıca başaktaki tane sayısının tane verimini arttırabilmesi için tanelerin dolgun olması gerektiği bilinmektedir (Doğan ve Cetiz, 2015).

Buğday yetiştiriciliğinde en önemli kriter olan tane verimi değerlerine bakıldığında en yüksek değerin başakta tane sayısı ve başakta tane ağırlığı ile paralel olarak Fuatbey-2000 çeşidinden elde edildiği bunu sırası ile Ceylan-95 ve Amanos-97 çeşitlerinin izlediği görülmektedir. Ayçiçek ve Yıldırım (2006), yapmış olduğu çalışmada tane veriminin 206-308 kg/da arasında değiştiğini bildirmiştir. Araştırmacının elde etmiş olduğu veriler ile bulgularımız uyum içerisinde olmuştur. Tane verimi açısından ilk yıl elde edilen veriler (311,29 kg/da) ikinci yıla oranla (247,54) oldukça yüksektir. Bu durum ilk yıl meteoroloji verilerinin ikinci yıla göre makarnalık buğday yetiştiriciliği açısından çok daha uygun olması ile açıklanabilir. Çeşitler ve yıllar arasında tane verimi bakımından oluşan farklılıkların çeşit özelliklerine ve çevre faktörlerine bağlı olarak değiştiği birçok araştırıcı tarafından da ortaya konulmuştur (Kılıç vd., 2010; Akçura vd., 2011; Doğan ve Çetiz, 2015; Çığ ve Karaman, 2019).

## SONUÇ

Eskişehir ekolojik koşullarında, 2014-2015 ve 2015-2016 üretim sezonunda 2 yıl süreyle yürütülen bu çalışmada 8 adet makarnalık buğday çeşidinden elde edilen bulgulara göre verim ve bazı verim unsurları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çeşitler, yıllar ve bunların etkileşimi olan yıl x çeşit interaksiyonları açısından önemli farklar tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda en fazla tane verimi her iki yılda da Fuatbey-2000 çeşidinden elde edilmiştir. Benzer şekilde en yüksek başakcık sayısı, başakta tane sayısı ve başakta tane ağırlığı değerini de Fuatbey-2000 çeşidi vermiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, Fuatbey-2000 ve çeşidi diğer çeşitlere göre daha üstün performans sergilemiş ve Eskişehir koşullarına daha uygun bulunmuştur.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Açıkgöz N (1998). Tarımda araştırma ve deneme metodarı, Ege Üniv. Ziraat Fak., yayın no:478, Ders Kitabı, İzmir.

Akçura M, Partigoç F, Kaya Y (2011). Evaluating of drought stres stolerance based on selection indices in Turkish bread wheatland races. The Journal of Animal and Plant Sciences, 21(4): 700-709.

Akman Z, Yılmaz F, Karadoğan T, Çarkçı K (1999). Isparta ekolojik koşullarına uygun yüksek verimli buğday çeşit ve hatlarının belirlenmesi. Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi, 15-20 Kasım, 366-371. Adana

Ayçiçek M, Yildirim T (2006). Bazı makarnalık buğday (Triticum durum L) çeşitlerinin Erzurum koşullarındaki verim yetenekleri. Fırat Ü. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (2): 151-157.

Aydoğan S, Şahin M, Göçmen Akçacık A, Türköz, M (2010). İleri makarnalık buğday hatla-rının farklı çevrelerde verim ve kalite özellik-leri yönünden değerlendirilmesi. HRÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 14(4):23-31.

Ayoub M, Guertin S, Lussier S, Smith D (1994) Timing and level of nitrogen fertility effects on spring wheat yield in eastern canada. Crop Sci. 34: 748-756.

Blade SF, Baker RJ (1991). Kernel weight response to source-sink changes in spring wheat. Crop Sci. 31: 1117-1120.

Çığı F, Karaman M (2019). Güneydoğu Anadolu Orijinli Yerel Makarnalık Buğday (Triticum durum Desf.) Genotiplerinin Bazı Tarımsal Karakterler Bakımından Değerlendirilmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 6(1): 10-19.

Çobanoğlu MY (2019). Kırşehir koşullarında bazı ekmeklik buğday (Triticum aestium L.) çeşitlerinde tane verimi, verim unsurları ve kalite üzerine azot uygulama zaman ve miktarlarının etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir

Doğan R, Yürür N (1992). Bursa yöresinde yetiştirilen buğday çeşitlerinin verim komponentleri yönünden değerlendirilmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fa-kültesi Dergisi 9: 37-46.

Doğan Y, Cetiz MB (2015). Türkiye'de Tescil Edilmiş Bazı Makarnalık Buğday (Triticum durum L.) Çeşitlerinin Mardin - Kızıltepe Koşullarında Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 25(3): 304-311

Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz F (1987). Araştırma Deneme Metotları (İstatistik Metodları II). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1021, Ders Kitabı; 295, Ankara.

Gülmezoğlu N, Tolay İ (2016). Eskişehir Kuru Koşullarında Ekmeklik ve Makarnalık Buğday Çeşitlerinin Bazı Verim Unsurları, Verim ve Kalite Özelliklerinin Karşılaştırılması, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 9 (1): 05-08.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Kılıç H, Akçura M, Aktaş H (2010). Assessment of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in multienvironments. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca; Cluj-Napoca, 38(3):271-279.

Morris SR (2004). Grain: Quality attributes. In: Encyclopedia of Grain Science, Eds.: Wrigley, C. et al., Elsevier Ltd., Amsterdam, 238-254.

Sade B, Topal A, Soylu S (1999). Konya sulu şartlarında yetiştirilebilecek makarnalık buğday çeşitlerinin belirlenmesi. Türkiye 3. Tarla bitkileri kongresi, 15-18 Kasım, 1999, Adana, Cilt 1, 91-96.

TUİK (2021). Türkiye İstatistik Kurumu, Tahıllar https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori? p=tarim-111&dil=1 Erişim Tarihi:06.09.2021.

Turhan Ş, Çetin B (2002) Türkiye'de Makarna Sektöründeki Gelişmeler ve Dış Satıma Yansımalar. Hububat 2002, Hububat Ürünleri Teknoloji Kongre ve Sergisi, 3-4 Ekim, 2002, Gaziantep, s. 243-251.

Yürür N (1998). Serin İklim Tahılları (Tahıllar-I). Güncelleştirilmiş 2. Basım, Uludağ Üniversitesi Yayınları Yayın No: 7-035-0295, 250 s.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Assessment of the Environmental Impacts of Municipal Waste Management Activities in the Thrace Region of Turkey

*Nesli AYDIN*

**Abstract**

This study provides a life-cycle assessment of municipal waste management system in the Thrace Region of Turkey by using the WRATE (Waste and Resources Assessment Tool for the Environment) software academic version in terms of global warming (GWP–kg $CO_{2\text{-eq}}$), acidification, aquatic ecotoxicology, eutrophication, human toxicity potential and depletion of abiotic resources. The municipal waste management system in the project region was assessed according to two scenarios based on small-scale provincial landfilling [Scenario 1 (Sc1): current case] and regional landfilling [Scenario 2 (Sc2)]. The results show a high contribution to eutrophication and global warming potential in both scenarios because of the generation of leachate and air pollutants from landfilling. Leachate could cause eutrophication, or a lack of oxygen leading to increased growth of plants in aquatic sources. The global warming contribution of the scenarios corresponds to 88 738 and 82 360 t $CO_{2\text{-eq}}$. for Sc1 and Sc2, respectively (6 866 Eur. person eq. for Sc1 and 6373 Eur. person eq. for Sc2). Although Sc2 performs better compared to Sc1 in terms of global warming potential, Sc1 outperforms Sc2 when only transport-related global warming effect is taken into consideration due to long distance transport of wastes in Sc2 compared to Sc1. This study could be further developed by using more comprehensive and environmentally-friendly scenarios as landfilling is abandoned and recycling is actively implemented in Turkish cities. The main advantage of the research is to introduce a life-cycle approach in developing regions where this methodology is not known and/or implemented. The results could be obtained for similar regions with the cooperation of the universities, which can receive academic license and deliver technical expertise on how life-cycle tools are applied, and the municipal authorities, which can explain the benefits and limitations of the life-cycle approach to local stakeholders.

**Keywords:** Environmental impact, global warming potential, life-cycle approach, waste management, WRATE software

ISBN: 978-605-71156-5-2

## Introduction

Life-cycle assessment provides a useful approach for designing municipal solid waste management systems. This assessment is usually applied to identify alternative scenarios to optimize solutions (Tunesi et al., 2016) and to make comparison of the potential impacts caused by different waste management and recycling schemes (Ferronato et al., 2021). It was applied to evaluate the municipal waste management system in La Paz, Bolivia, for the comparative assessment of seven scenarios by highlighting the significance of collaboration between academia and local authorities (Ferronato et al., 2020). It was also applied to analyze which factors increase environmental performance in the City of Bologna, Italy and found that optimized integration of materials and energy recovery could provide a reduction in global warming potential from almost 22 000 to -11 000 t $CO_{2\text{-eq}}$ yearly (Tunesi et al., 2016).

The application of this approach is mainly conducted in developed countries as it necessitates technical expertise, awareness regarding this approach and availability of the life cycle assessment softwares (Ferronato et al., 2020). While the application of this assessment in developed countries is widespread, models built in developing countries rely on the availability, accuracy and consistency of input data that have an effect on the results of life cycle assessment on waste (Zhao et al., 2021). However, life cycle approach should be encouraged in developing regions where the application of sustainable waste management practices is urgently required for diminishing environmental impacts (Ferronato et al., 2021).

Therefore, this study aims to develop alternative scenarios for the management of municipal waste in the Thrace Region and to compare their performances by using a life cycle assessment tool, WRATE academic version, particularly focusing on the effects of global warming, acidification, aquatic ecotoxicology, eutrophication, human toxicity, and resource depletion.

## Methodology

### Research Area and Data Collection

The project covers three provinces in the Thrace Region (Figure 1). These are Tekirdağ (population: 1 219 386 people), Edirne (411 323 people) and Kırklareli (374 715 people) (Turkstat, 2022). Approximately 452 109 tons of municipal waste is collected yearly in Tekirdağ (Turkstat, 2020). These wastes are disposed of at the sanitary landfill site of Tekirdağ Metropolitan Municipality. Leachate generated from the site is drawn with vacuum trucks and taken to the Provincial Urban Wastewater Treatment Facility (Tekirdağ Provincial Directorate of Environment and Urbanization, 2019).

In the province of Edirne, approximately 155 209 tons/year of waste is produced (Turkstat, 2020). There are 3 solid waste associations in this province. These are Edikab (Edirne Solid Waste Association), Günekab (South Edirne Solid Waste Association) and Orekab (Middle Edirne Solid Waste Association). Edikab includes Merkez, Havsa, Lalapaşa and Süloğlu districts and Edirne Special Provincial Administration and provides regular storage services to these regions (Edirne Provincial Directorate of Environment and Urbanization, 2019). In this context,

ISBN: 978-605-71156-5-2

contaminated areas due to irregular and unsanitary waste disposal in the province are in the rehabilitation planning stage. Günekab includes Keşan, İpsala and Enez districts and Edirne Special Provincial Administration and operates the waste disposal site of this association. Moreover, the construction of a waste disposal site belonging to Orekab (including Uzunköprü, Meriç and Edirne Special Provincial Administration) was completed and the project tender phase process was started (Orekab, 2021). Irregular and unsanitary waste disposal takes place in this area. Pollution originating from this region, located in this central part of Edirne, could, therefore, have direct and indirect damage to the Meriç River and its tributaries feeding with the Ergene River.

Municipal wastes produced in Kırklareli where approximately 127 440 tons of municipal waste is collected per year, are disposed of in a sanitary landfill (Turkstat, 2020). There is no wastewater treatment plant on this landfill site; however, the leachate collected from the site is taken from the collection pool with a vacuum truck and sent to the Waste Water Treatment Plant of Kırklareli Municipality (Kırklareli Provincial Directorate of Environment and Urbanization, 2019). A second lot is planned to be built in the site, as the first lot is about to fill its capacity. To make use of the methane gas and to contribute to the economy, an electrical power generation facility with a power of 1 200$MW_{eq}$ and an annual electrical energy production amount of 8 294 400 kWh is operated in the site (Kırklareli Provincial Directorate of Environment and Urbanization, 2019).

Although there is a small-scale recycling activity for packaging waste produced in the project area, there is no inclusive program for separate collection of recyclables throughout the region.

Figure 1 - Project Region

ISBN: 978-605-71156-5-2

Table 1 - Compositional Distribution in the Region (Edirne, Tekirdağ, Kırklareli Provincial Directorate of Environment and Urbanization, 2019)

| | Municipal Waste Distribution (%) | | | Project Region Municipal Waste Generation*(tons/year) |
|---|---|---|---|---|
| | Tekirdağ | Kırklareli | Edirne | |
| Kitchen Waste | 34 | 39 | 61 | 298 096 |
| Paper | 11 | 3 | 4 | 59 763 |
| Cardboard | 5 | 6 | 14 | 51 981 |
| Plastics | 2 | 14 | 1 | 28 436 |
| Glass | 6 | 8 | 5 | 45 082 |
| Metals | 1 | 1 | 1 | 7 348 |
| Residual | 41 | 29 | 14 | 244 052 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 734 758 |
| *Municipal waste generation is 452 109 tons/year, 127 440 tones/year and 155 209 tons/year in Tekirdağ, Kırklareli and Edirne, respectively (Turkstat, 2020). | | | | |

## Description of the WRATE Model

WRATE is a tool to calculate life-cycle impact of alternative municipal waste management systems. WRATE software academic version provided by Golder Associates (2014) was used for this research to assess environmental impacts, such as potential of global warming (GWP–kg $CO_{2\text{-eq}}$), eutrophication, acidification, aquatic ecotoxicology, human toxicity and reduction of abiotic resources.

## Results and Discussion

Two scenarios were considered for the analysis. The schematic view of these scenarios is shown in Figure 2. While a baseline case where the municipal wastes are landfilled in a provincial landfill site(s) is represented in Scenario 1 (Sc1), Scenario 2 (Sc2) represents the case where all municipal waste is collected and transferred to a transfer station to be disposed of to a regional landfill site. Figure 3a, 3b and 3c show the details of collection vehicles for step 1 and 2 collection in Figure 2, and landfill site properties respectively.

ISBN: 978-605-71156-5-2

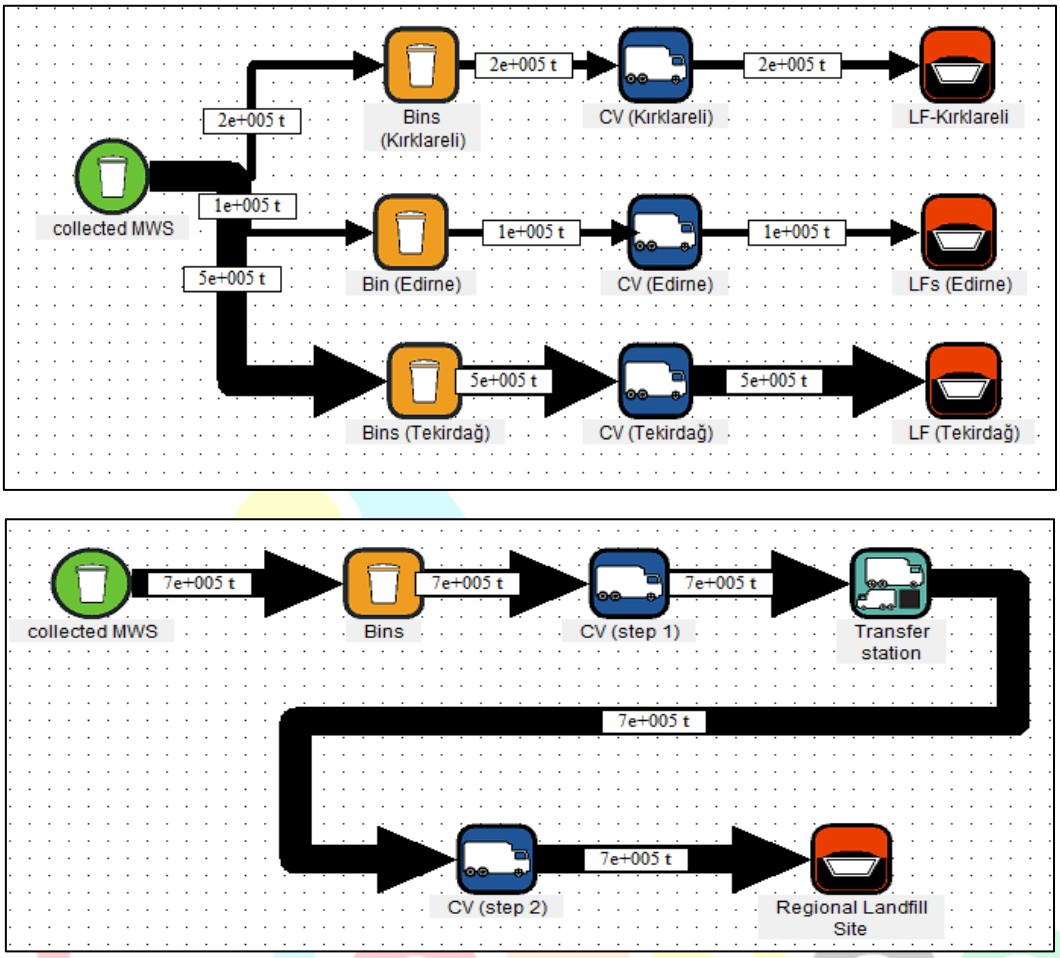
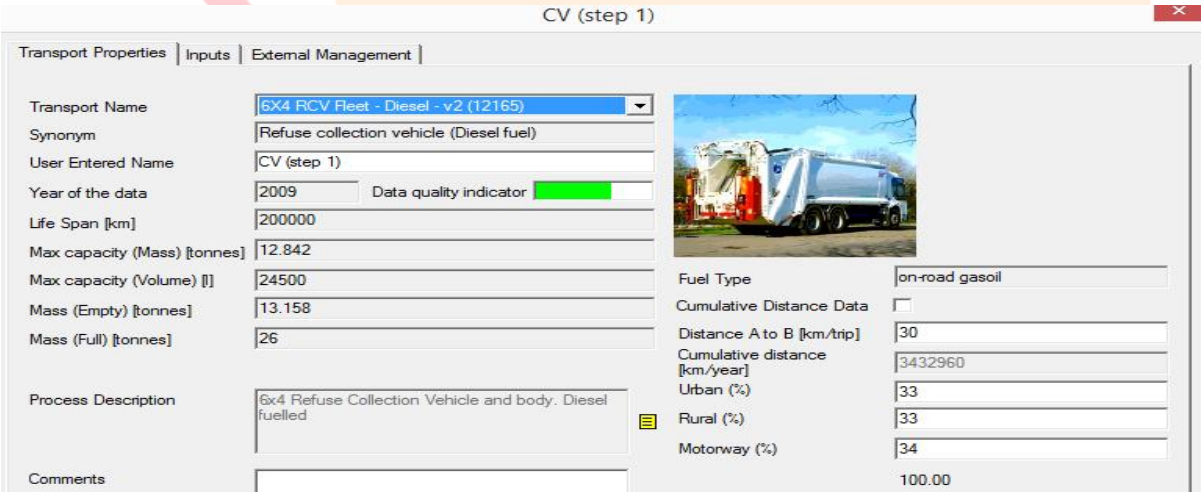



Figure 2 – Schematic View of Sc1 (at the top) and Sc2 (at the bottom) [MSW (Municipal Solid Waste), LF (landfill), CV (Collection Vehicles)]



ISBN: 978-605-71156-5-2

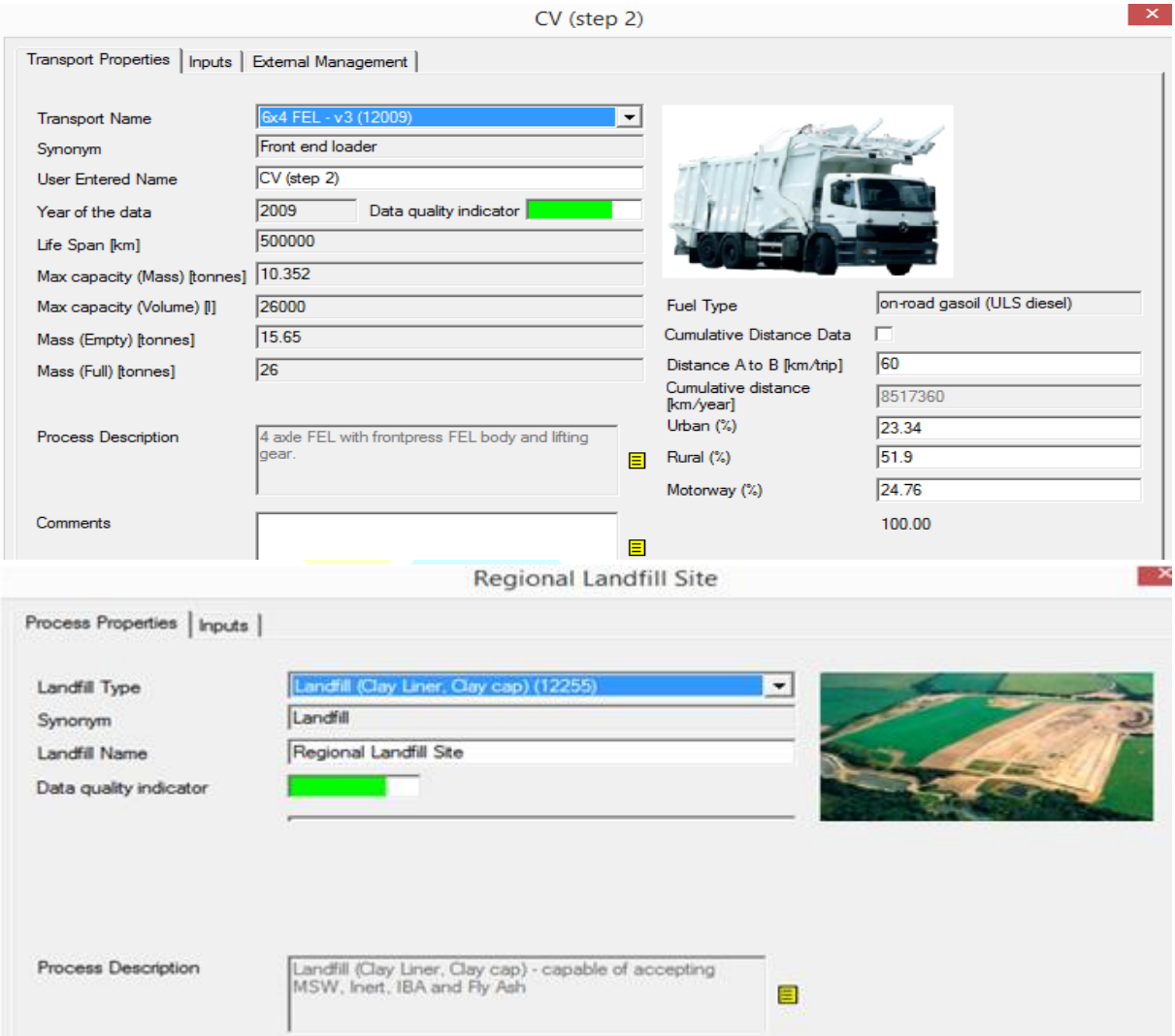



Figure 3 - Details of the Processes in the WRATE Model

Figure 4 depicts the major contribution of municipal waste practices to the environmental impacts comparatively for Sc1 and Sc2. It is seen that there is no alarmingly high effect of Sc1 and Sc2 on acidification, aquatic ecotoxicology, human toxicity (health) and depletion of abiotic resources. However, a high contribution to eutrophication and global warming potential is observed in both scenarios because of the generation of leachate and air pollutants from landfilling. As known, leachate could include high level of ammonia, which transforms to nitrate under suitable conditions and cause eutrophication, or a lack of oxygen leading to increased growth of plants in aquatic sources. The global warming contribution of the scenarios corresponds to 88 738 and 82 360 t $CO_{2\text{-eq}}$. for Sc1 and Sc2, respectively, (6 866 Eur. person eq. for Sc1 and 6 373 Eur. person eq. for Sc2). This shows similarity with the results of the study which reported 122 000 t $CO_{2\text{-eq}}$ generation from La Paz, Bolivia, by noting that most of this generation is caused by the collection of wastes (Ferronato et al., 2021).

ISBN: 978-605-71156-5-2

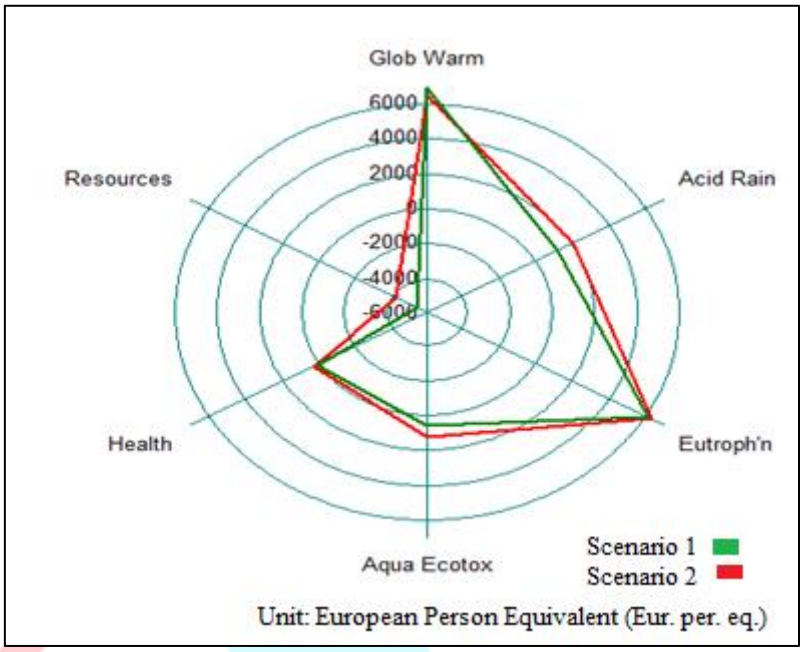



Figure 4 - Multiple Impact Assessments Scenario Comparison [The European person equivalent (Eur. person. eq) is a quantification of the environmental impact generated yearly by the activities of an average European. It includes contributions to environmental impacts from global to local and consumption of resources (Golder Associates, 2014)]

Figure 5 shows environmental impacts caused by the transport of municipal wastes only. As it is seen, Sc1 performs better than Sc2 in all categories including global warming potential, when only transport-related environmental impacts are taken into account. This could be related to the high dependence on longer-distance transport of wastes in Sc2 compared to Sc1.

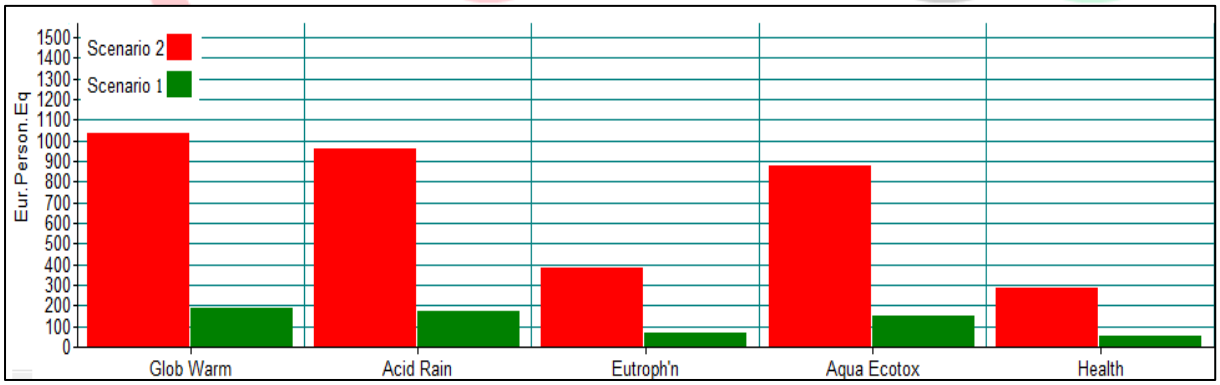



Figure 5 - Multiple Impact Assessments Scenario Comparison (Transport-only)

ISBN: 978-605-71156-5-2

## Conclusion

This study provides a life-cycle approach to municipal waste management system in the Thrace Region of Turkey by using the software-WRATE. In conclusion, the results obtained in this study are only indications of the potential environmental impacts of municipal waste management scenarios. Therefore, they should only be used for the comparison of alternatives to identify an optimum scenario. This study should be developed by using more comprehensive and environmentally-friendly scenarios as landfilling is abandoned and recycling is actively implemented in Turkish cities.

The main advantage of the research is to introduce a life-cycle approach in developing regions where this methodology is not known and/or implemented. The results could be obtained for similar regions with the cooperation of the universities, which can receive an academic license and distribute technical expertise on how life cycle tools are applied, and the municipal authorities, which can explain the benefits and limitations of the life-cycle approach to local stakeholders.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**References**

Ferronato, N., Portillo, M.A.G., Lizarazu, G.E.G., Torretta, V., (2020). Application of a life cycle assessment for assessing municipal solid waste management systems in Bolivia in an international cooperative framework, *Waste Management & Research*, 38,1. https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0734242X20906250

Ferronato, N., Moresco, L., Lizarazu, G.E.G., Portillo, M.A.G., Conti, F., Torretta, V., (2021). Comparison of environmental impacts related to municipal solid waste and construction and demolition waste management and recycling in a Latin American developing city, *Environmental Science and Pollution Research*, https://doi.org/10.1007/s11356-021-16968-8

Golder Associates, (2022). WRATE user manual, Academic License. Access Date: 10.02.2022., http://www.wrate.co.uk/

Orekab, (2021). Orta Edirne Kati Atik Yönetim Birliği Kati Atik Düzenli Depolama Sahasinin Işletilmesi ve Oluşan Metan Gazindan Elektrik Enerjisi Üretilmesi 25 Yilliğina Sinirli Ayni Hak Tesis Edilmesi ile Kiraya Verilmesi İşi. Access Date: 10.02.2022. http://orekab.org/

Provincial Directorate of Environment and Urbanization (2019). Edirne Province, Environmental Status Report. Access Date: Available: https://webdosya.csb.gov.tr/db/edirne/icerikler/2019-yili-ed-rne-il--cevre-durum-raporu-n-ha--20201216122442.pdf

Provincial Directorate of Environment and Urbanization (2019). Kırklareli Province, Environmental Status Report. Access Date: 10.02.2022. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kirklarel-_-cdr2019-20200708151830.pdf

Provincial Directorate of Environment and Urbanization (2019). Tekirdag Province, Environmental Status Report. Access Date: 19.02.2022 https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/tek-rdag_2019_cdr-20201006172441.pdf

Tunesi, S., Baroni, S., Boarini, S., (2016). Waste flow analysis and life cycle assessment of integrated waste management systems as planning tools: Application to optimise the system of the City of Bologna, *Waste Management & Research*, 34, 9. https://doi.org/10.1177/0734242X16644520

Turkish Statistical Institute (Turkstat) (2020). Municipal Waste Database. Access Date: 21.02.2022. https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=119&locale=tr

Turkish Statistical Institute (Turkstat) (2022). Population Database. Access Date: 21.02.2022. https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109&dil=1

Zhao, B., Shuai, C., Hou, P., Qu, S., Xu, M., (2021). Estimation of Unit Process Data for Life Cycle Assessment Using a Decision Tree-Based Approach, *ACS Publications*, https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07484

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Fabrication of hBN-PEO based Electrohromic Devices Using Sol-Gel Process

*Özge AKPINAR SARIHAN*[1]
*İbrahim İNANÇ*[1,2]

**Abstract**

In this study, electrochromic device (ECD) based on tungten oxide ($WO_3$) and polymer electrolyte was fabricated. The device consists of $WO_3$ film as electrochromic layer, polymer electrolyte as the Li+ ion conductor layer. Indium tin oxide (ITO) coated polyethylene terephthalate (PET) film was used as substrate and ITO films act as the transparent conductive electrodes. The $WO_3$ films were deposited on ITO coated PET substrates (0.3 Ω) by sol-gel spin coating process. Polymer electrolyte films were deposited on ITO coated PET substrates by sol-gel dip coating process. Polymer electrolyte consists of Lithium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide (LiTFSI), Polietilen oxide (PEO), and hexagonal boron nitride (hBN) nanoparticles. We obtained optimization of thickness and homogeneity of ECD for better performance. Morphological properties of $WO_3$ and polymer electrolyte thin films were examined by Scaning Electron Microscopy (SEM). We sandwiched $WO_3$ and polymer electrolyte thin films sealing with glue. We obtained colored and bleached state by giving -3V and +3V voltage. The color of the device changes from transparent (bleached state) to deep blue (colored state). The optical transmission spectrum was measured over the range from 200 to 800 nm with a ultraviolet-visible (UV-Vis) spectrophotometer. This study presents practical and economical way of developing high performance electrochromic devices.

**Keywords:** electrochromic devices, polymer electrolyte, tungsten oxide, sol-gel process, nanoparticle

[1]PhD Student, Ondokuz Mayıs University, Nanoscience and Nanotechnology Program

[1,2] Ondokuz Mayıs University, Metallurgy and Materials Engineering Department

ISBN: 978-605-71156-5-2

## INTRODUCTION

Many energy sources are going to run out but world's energy consumption and demand are increasing. Moreover current energy consumption is dependent of traditional fossil fuels which lead to environmental problems (Wen, 2015: 15).

Enormous research is now focusing on reducing energy consumption in buildings which are account 30-40 % of total energy consumption in modern society. Windows cause the energy loss in buildings allowing heat transfer from the inside to the outside or vice versa. Living without windows can't be a solution to prevent energy consumption because people need day lighting. Building energy saving can be achieved by using windows that control incoming visible light and solar energy. It can be possible allow solar energy to pass into a building if heating is required and it can be possible not allow solar energy to pass into a building if cooling is required. In addition allowing inflow of visible light into a building reduces the use of lighting. On the other hand reducing the inflow of visible light into a building reduces glare. Chromogenic materials that have variable optical properties are used to control incoming light and solar energy. There are several types of chromic materials such as thermochromic, photochromic and electrochromic Photochromism is defined as reversible coloration by light. Thermochromism is defined as reversible coloration by temperature. Optical properties of thermochromic and photochromic materials aren't optionally controlled different from electrochromic materials (Pehlivan, 2013: 19).

Among various technologies for saving energy, electrochromic smart windows are considered as a highly promising one. Electrochromic materials consume lower energy than other chromogenic materials. They consume between 1-5V just switching time, their transmittance %50-70 bleached state, %10-15 in colored state. By using Smart Windows less energy is consumed for air conditioning in summer and heating in winter. We can have more than %30 energy saving by using electrochromic smart window (Shchegolkov, 2021: 3). Except for the application in saving energy, electrochromism has also attracted extensive attention in many other fields, such as, rear-view mirror, information displays and goggles and sunglasses (Fernandes, 2017: 484), reflective blinds, sensors (Shchegolkov, 2021: 2).

Transition metal oxides ($WO_3$, $TiO_2$), metal complexes (Prussian blue), organic molecular dyes (viologen), organic conducting polymers ( poly(3,4-ethylenedioxythiophene, PEDOT) are electrochromic materials. Organic EC materials exhibit good coloration, cost effective, easy to process (Chua, 2019: paragraph 2), faster response, low UV protection (Shchegolkov, 2021: 6). On the other hand, inorganic materials exhibit good electrochemical and chemical stability. Also they can work at wide range of temperature. Hybrid materials have been developed in order to combine the good properties of two materials. (Chua, 2019: paragraph 2).

There two types of electrochromic devices as cathodic and anodic. While cathodic materials are colored by charge insertion like $WO_3$, $TiO_2$, anodic materials are colored by charge extraction like NiO. (Wen, 2015: 19).

A typical electrochromic device usually consists of two transparent conductive layers, an electrochromic layer, an ion transport layer (electrolyte), and an ion storage layer. When

ISBN: 978-605-71156-5-2

a voltage is applied to an electrochromic material its lattice structures are changed by inserting electrolyte ions, and thus its color changes. When an opposite voltage is applied, ions return to the ion storage layer and the material recovers its original color (Huang, 2022: 2).

Polymer electrolyte is used as ion transport layer in electrochromic devices (ECD). Polymer electrolyte consist of polymer as a host and salt. Fundamentals requirements for polymer electrolyte in ECDs are that they should have high ionic conductivity and high transparency. Lilithium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide is used mostly because of its favorable effect on ionic conductivity (Pehlivan, 2013: 39-56). Polyethylene oxide (PEO) presents various advantages such as excellent interfacial stability with lithium and a low glass transition temperature (Lim, 2018: 1). For electrochromic layer $WO_3$ is the most used material because of its good coloration, high optical modulation. Nanostructured and nanocomposite organic/inorganic nanostructure materials have been very popular for electrochromic devices in last decade (Shchegolkov, 2021: 13 ). Nanostructures have large surface area, so they have high coloration efficiency, fast respond speed, high optical density (Jittiarporn, 2017: 289).

## METHOD

### Preparation of WO3 Solution

To prepare the $WO_3$ solution, 0.5 g WO3 nanoparticles, 0.5 ml isopropanol (IPA), 0.5 ml deionized (DI) water were mixed for 4 h at room temperature which is adapted from the study of Rakibuddin et all, 2020.

### Preparation of Polymer Electrolyte

To prepare polymer electrolyte, 7 mg LiTFSI, 2 ml Acetonitrile (ACN), 6 mg hexagonal boron nitride (hBN) nanoparticles were mixed for 1 h at room temperature. Then, 63 mg PEO was added. The mixture was stirred for 5 h. This procedure is adapted from the studies of Patil, 2014 and Zhang, 2015.

### Fabrication of Electrochromic Devices

Indium tin oxide coated polyethylene terephthalate film (PET-ITO) were cut into 2x1 cm2 and 1x1 cm2 pieces and cleaned with IPA, distilled (DI) water and ethanol in ultrasonic cleaner for 1 min in sequence before use. WO3 solution was spin coated on PET-ITO at 2000 rpm for 20 s. Polymer electrolyte film was obtained dip coating on PET-ITO with repeating three times. Then, WO3 and composite polymer electrolyte films were annealed at 100°C, 80 °C, 70 °C for 15 minutes. WO3 and polymer electrolyte thin films were sealed with glue. Figure 2, 3, 4 show images of ECDs that annealed at different temperature (100°C, 80 °C, 70 °C) respectively. For these ECDs, when a cathodic potential of -3V was applied, the WO3 film can be reduced to blue color with insertion of $Li^{+1}$ ion into electrochromic film. It can be oxidized back to transparent color with a positive potential applied. By applying between -3V and +3V the color switches from dark blue to yellow respectively.

ISBN: 978-605-71156-5-2

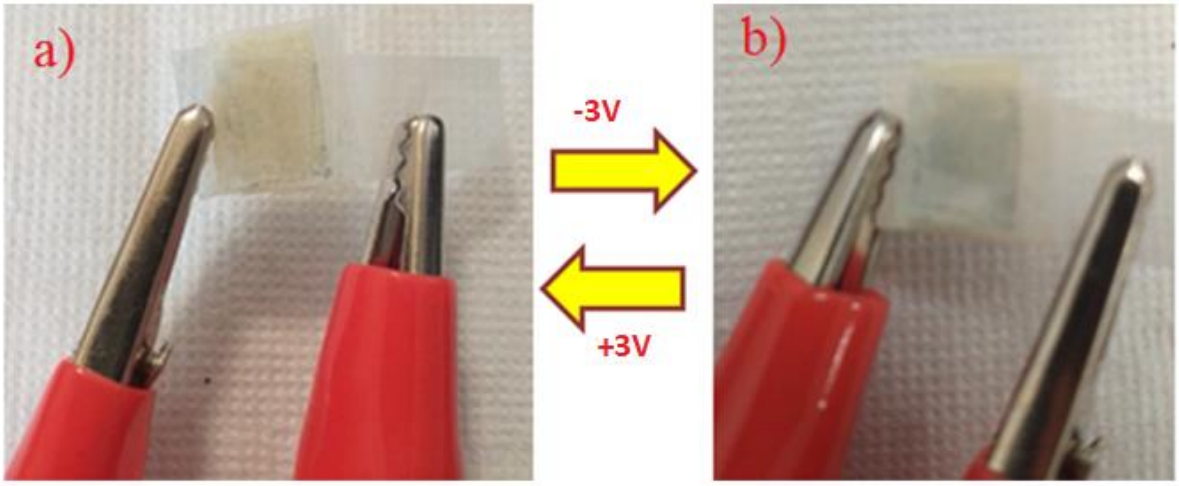



Figure 2. Images of the WO3/ Polymer electrolyte annealed at 70°C in two extreme states (a) in its bleached state at +3V b) in its colored state at -3V

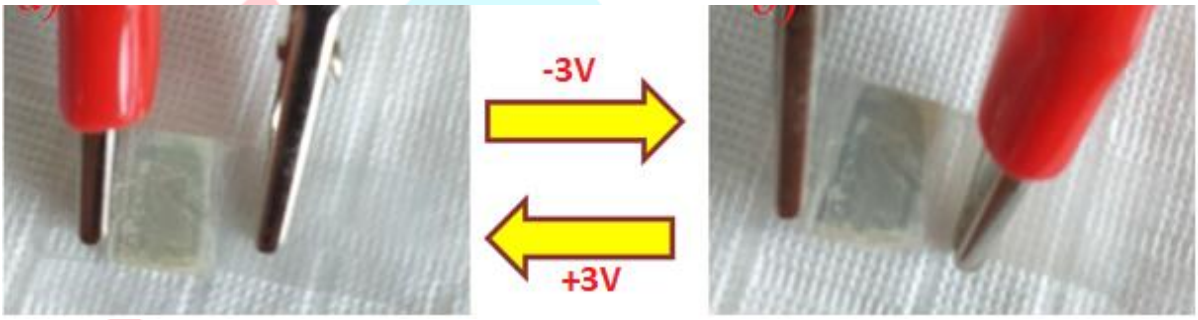



Figure 3. Images of the WO3/ Polymer electrolyte annealed at 80°C based ECD in two extreme states (a) in its bleached state at +3V b) in its colored state at -3V

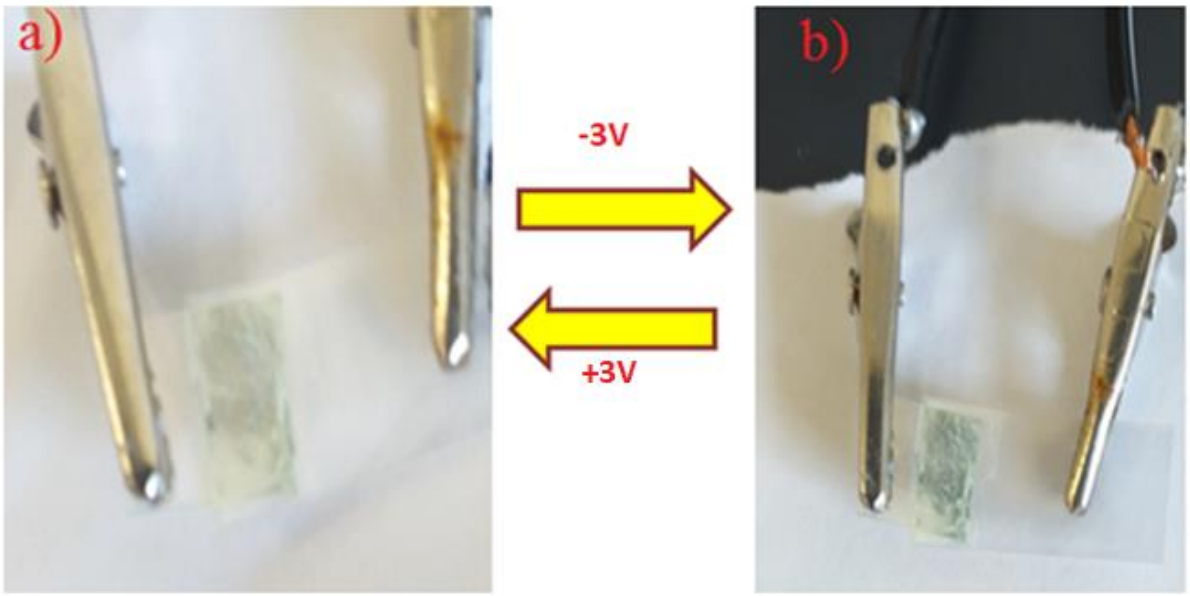



Figure 4. Images of the WO3/Polymer electrolyte annealed at 100°C in two extreme states (a) in its bleached state at +3V b) in its colored state at -3V

ISBN: 978-605-71156-5-2

## CHARACTERIZATION

Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-ray Diffraction (XRD), Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectroscopy are used for characterization of WO3 and polymer electrolyte thin films. SEM was used for imaging the microstructure and morphology of the films. FTIR spectroscopy was used for obtaining information about the chemical structure polymer electrolyte films. UV-Vis spectroscopy was used for imaging transmittance of WO3 and polymer electrolyte thin films. XRD was used for obtaining the crystal structure of WO3 layer.

### Scanning Electron Microscopy (SEM)

WO3 solution was spin coated on PET-ITO at 3000 rpm for 30 s. Then, it was annealed at 100°C for 5 min. Figure 5 shows that WO3 thin film has smooth and homogeneous surface in the sub-mm size scale.

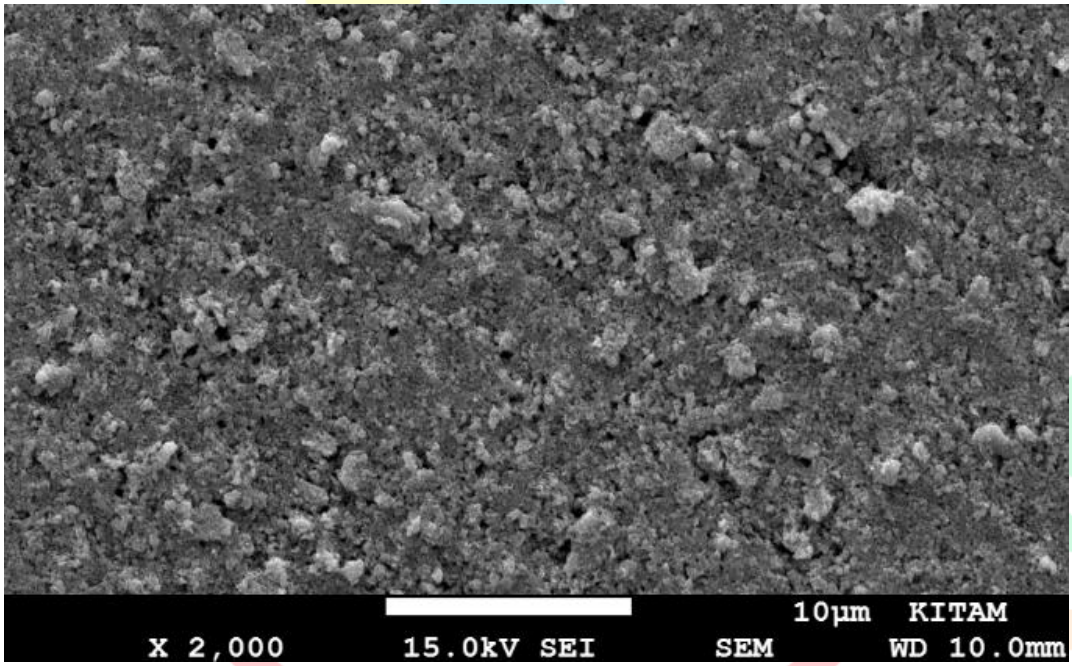



Figure 5. SEM Image of WO3 thin film at 2 kX magnification

In Figure 6, It is clearly evident that this film is highly porous with large active surface area at the nanoscale and WO3 nanoparticles at different sizes. This large surface area results in very significant improvements in the EC properties.

ISBN: 978-605-71156-5-2

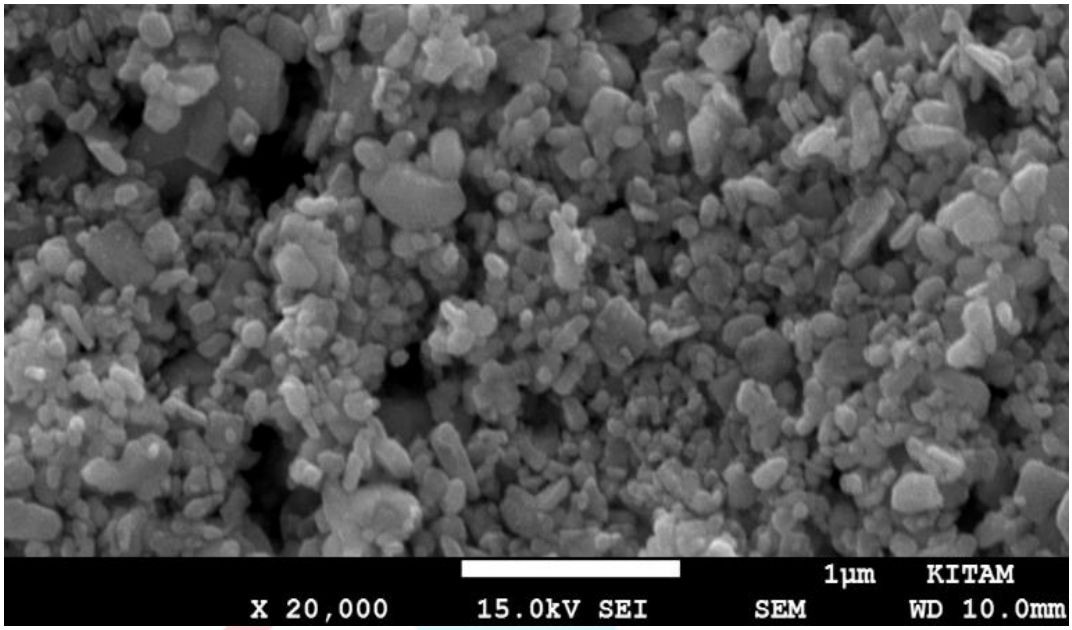



Figure 6. SEM Image of WO3 thin film at 20 kX magnification

The EDX spectra shown in Figure 7 provide evidence for the chemical quality of WO3 thin film. The EDX spectrum exhibits the characteristic peaks of Oxygen, Tungsten, Indium, Tin present in the film. Tungsten and Oxygen peaks from Tungsten oxide phase and Indium and Tin that are peaks are from the ITO phase. However, the absence of any other peaks except these elements is evidence for chemical quality of grown films without any elemental impurities.

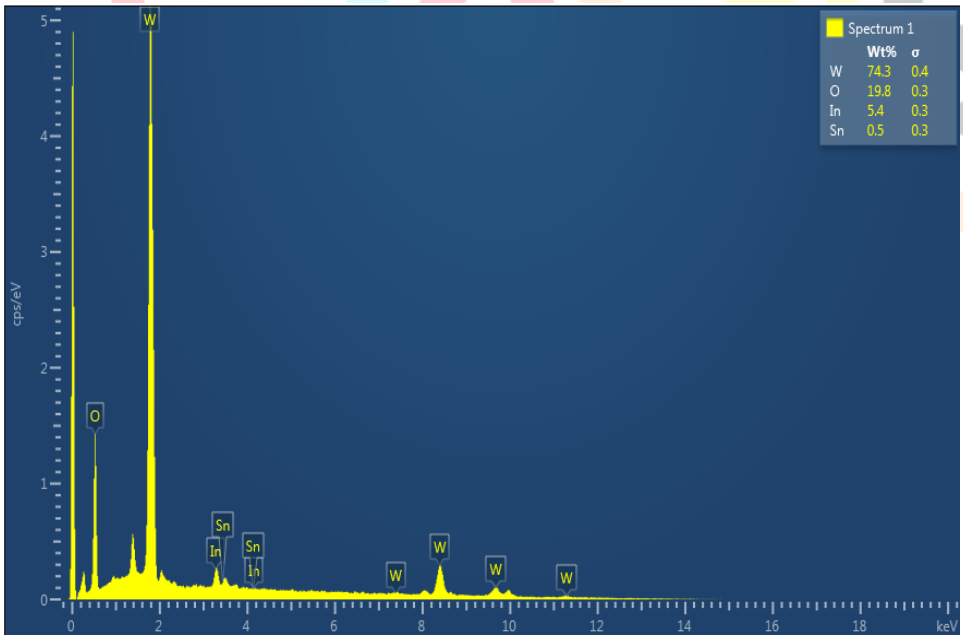



Figure 7. Edx spectrum of WO3 thin film

ISBN: 978-605-71156-5-2

Polymer electrolyte was dip-coated and annealed at 100°C for 10 min. In Figure 8, we can see smooth surface and clumps of boron nitride. Amorphous phase of clumps of boron nitrid accelerates ion transport.

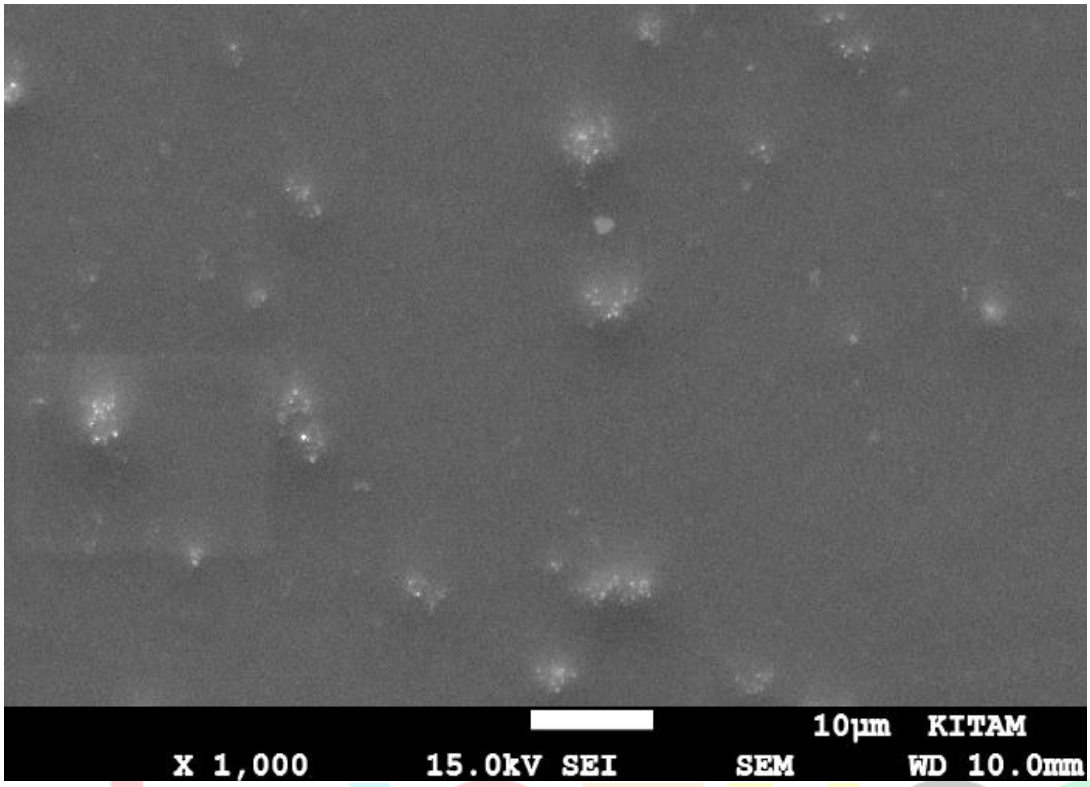



Figure 8. SEM Image of polymer electrolyte at 1 kX magnification

Figure 9a shows cross-section of polymer electrolyte thin film. EDX mapping of polymer electrolyte thin film, shown in Figure 9b and Figure 9c, demonstrates that polymer electrolyte is uniformly dispersed on PET-ITO. In Figure 8d Indium coating can be seen as a green line.

ISBN: 978-605-71156-5-2

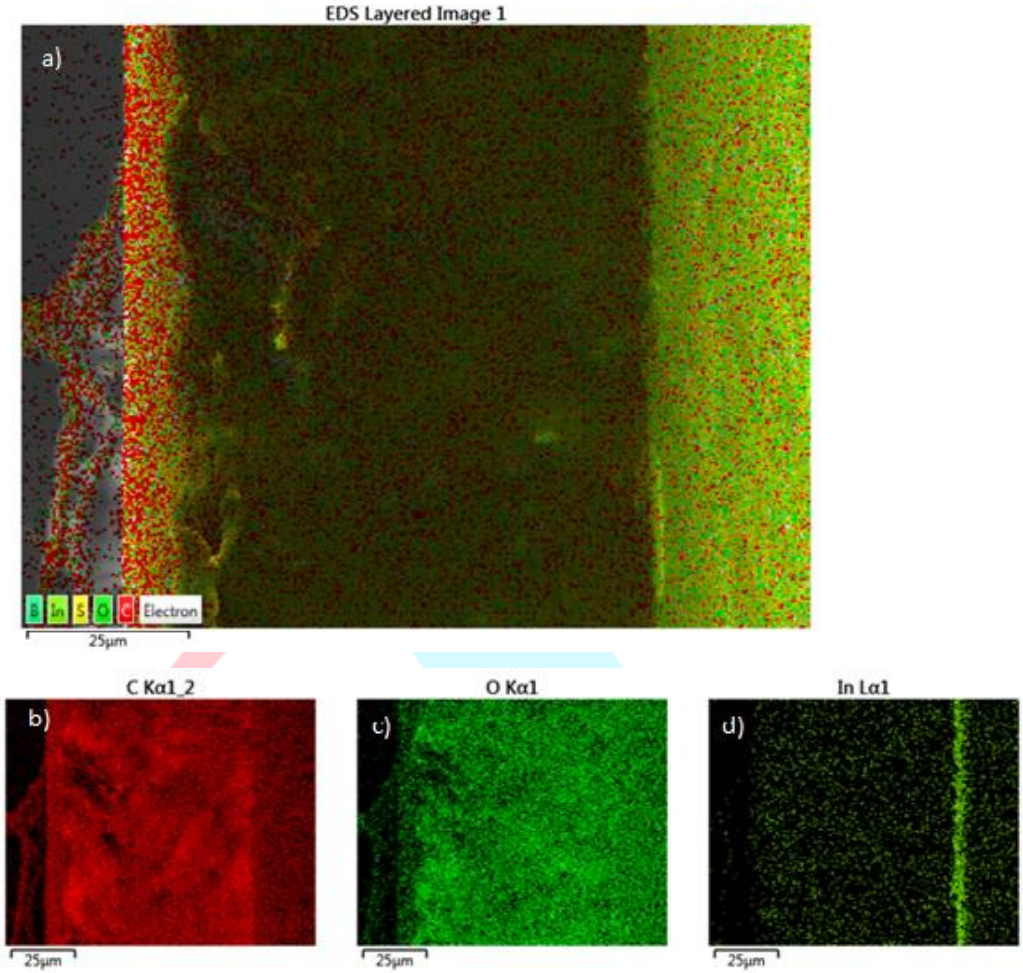



Figure 9. Elemental mapping of polymer electrolyte thin film

Figure 10 shows the EDX elemental analysis of polymer electrolyte. Au peaks are observed. Au coating of samples was required in the SEM to enable the imaging of samples. Carbon and Oxygen are obtained from the PEO phase, Fluorine, Sulfur elements are obtained from the LiTFSI, at the same time relatively smaller amounts of Pd and Cu exists as impurity.

ISBN: 978-605-71156-5-2

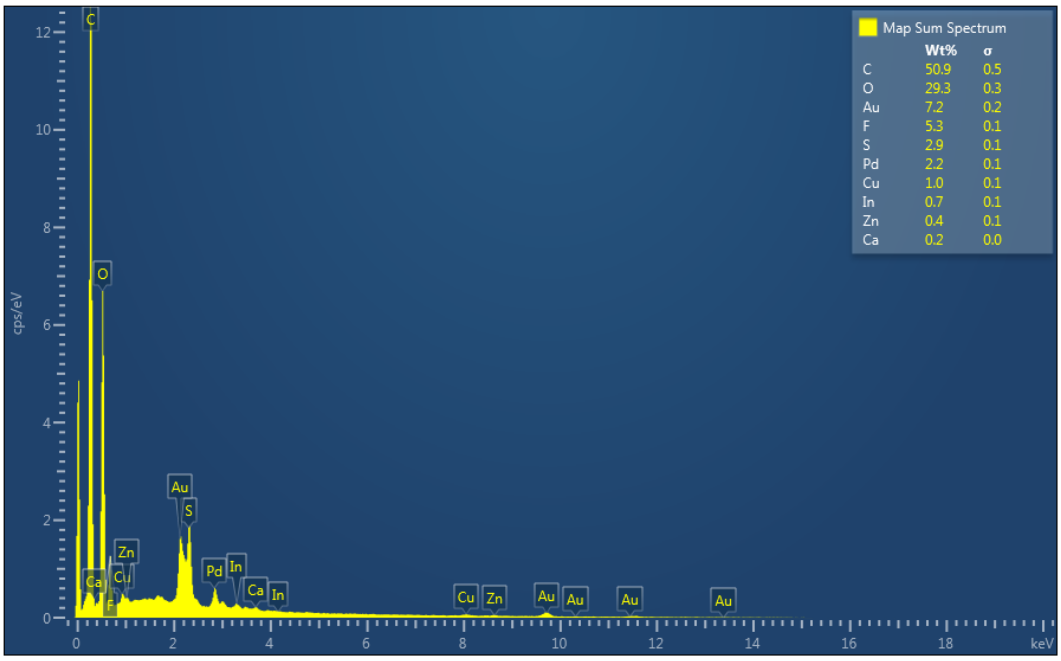



Figure 10. EDX spectra of polymer electrolyte thin film

**Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)**

Figure 11 shows FTIR spectrum result of polymer electrolyte thin film layer. FTIR results show us the bands appeared around 3500-3600 $cm^{-1}$ assigned for O-H group and intermolecular bonding. The vibrational frequency corresponding $CH_2$ rocking mode is appearing 700-800 $cm^{-1}$. Asymettric $SO_2$ stretchting mode, S-$CF_3$ bonding mode, wavenumbers are 1447, 2250 $cm^{-1}$. C-$SO_2$-N bonding mode of LiTFSI wavenumber is 1377 $cm^{-1}$. N-S bonding is obtained at 3170 $cm^{-1}$. C-H bonding exist between 2900-3000 cm-1 wavenumber. (Kam, 2014).

FTIR results some new peaks are appeared in the spectra. The appearance of new peaks along with changes in existing peaks and/or their disappearance in the IR spectra directly indicates the complexiation of LiTFSI with PEO. (Zhang,2014).

ISBN: 978-605-71156-5-2

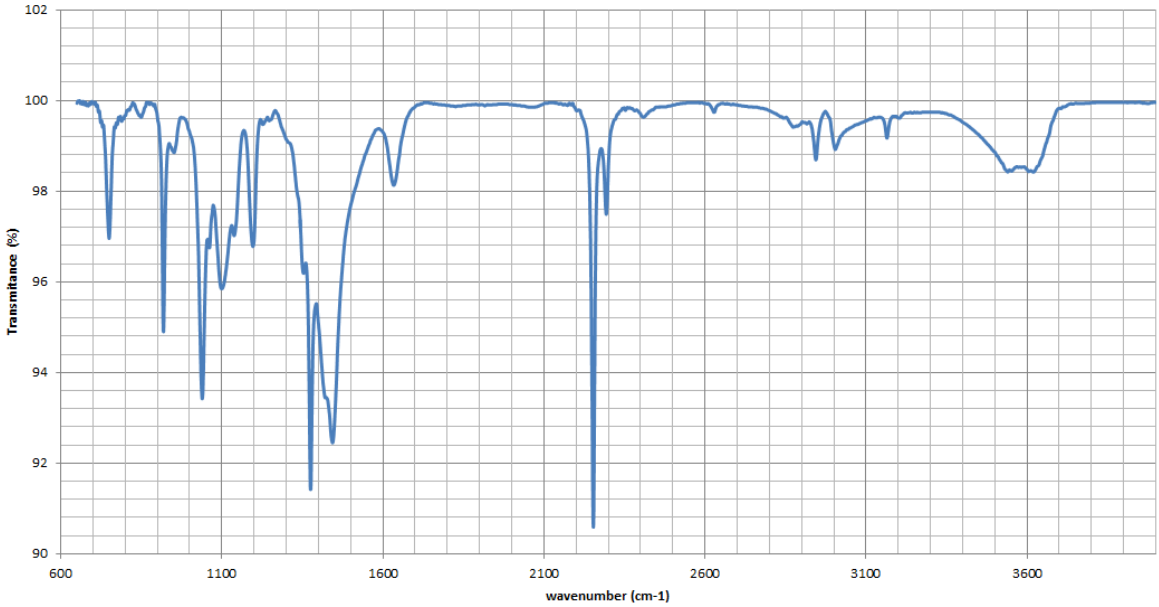



Figure 11. FTIR spectrum of Polymer electrolyte thin film

**UV-Vis Spectroscopy**

Figure 12 shows UV-Vis spectrum of polymer electrolyte thin film for a wavelength range of 300 and 800 nm. From the transmission spectrum it is clear that transparency of the film increases with increasing wavelength. Transparency ranges between % 80-90 which ideal for electrochromic devices.

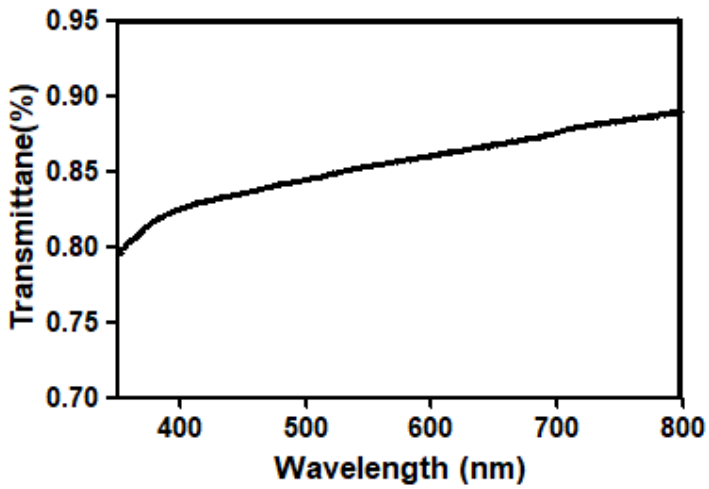



Figure 12.UV-Vis spectrum of Polymer electrolyte thin film

Figure 13 shows UV-Vis spectrum of WO3 thin film for a wavelength range of 300 and 800 nm. Transmittance of WO3 coated on PET-ITO increases with increasing wavelength. From the transmission spectrum it is clear that transparency of the film increases with increasing wavelength. Transparency of the film is good for electrochromic devices and similar Zhen et al.(2020) reported.

ISBN: 978-605-71156-5-2

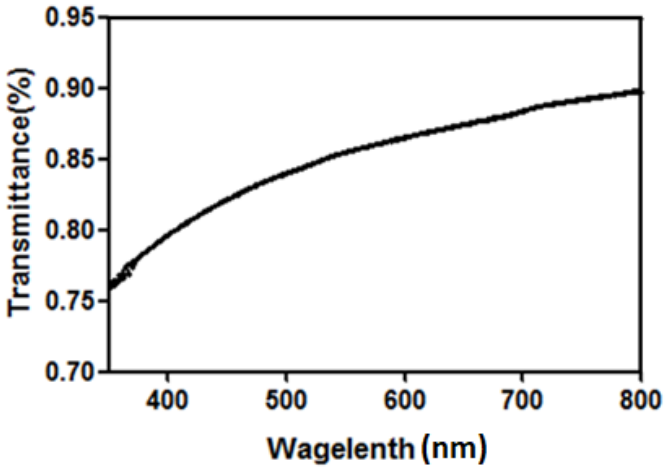



Figure13. UV-Vis spectrum of WO3 thin film

**X-ray diffraction (XRD)**

X-ray diffraction analysis (XRD) technique was used to obtain the crystallographic structure of WO3 coated on PET-ITO. WO3 nanoparticles that were purchased from Nanografi company, are high purity: 99.99% in orthorhombic phase and with the size between 20-60 nm. In Fig 14, strong and sharp diffraction peaks are observed at 2θ = 23.130°,23.611°, 24.387°, 26.554°, 28.850°, 33.34°,34.181°, 41.74°, 33.9°, 53.54°, 55.90°, which are associated to the (002), (020), (200), (120), (112), (022), (202), (222), (400) and (420) crystalline planes of the orthorhombic phase of WO3 with a good crystallization is important for stability.

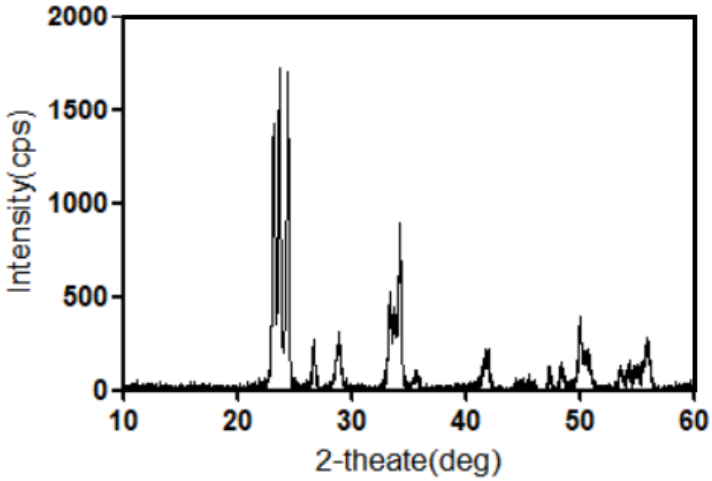



Figure 14. XRD spectrum of WO3 thin film

**RESULTS**

Polymer electrolyte and WO3 solutions were prepared successfully. WO3 solution and polymer electrolyte were spin and dip coated respectively on conductive and transparent PET-ITO substrate. For characterization of WO3 and polymer electrolyte thin film SEM, EDX, UV,

ISBN: 978-605-71156-5-2

FTIR and XRD characterization techniques were used. SEM results show smooth and homogenous thin films are obtained. EDX results give evidence for chemical quality of grown films without any elemental impurities. UV-Vis results show that between 300-800 nm range thin films have enough transmittance for electrochromic devices.

Coloration time of the electrochromic device is 3 s, and bleaching time nearly is 30 s at a voltage of ±3 V. Quite good response times are obtained compared to the coloration and bleaching times obtained in other studies in the literature.

## REFERENCES

[1] Wen, R.T. (2015). *Electrochromism in metal oxide thin films* (Unpublished Ph.D. thesis). Uppsala University, Sweden.

[2] Rakibuddin M., Shinde M.A., Kim H., (2020). Sol-gel fabrication of NiO and NiO/WO3 based electrochromic device on ITO and flexible substrate, *Ceramics International* 46*(7)*, 8631–8639. doi: 10.1016/j.ceramint.2019.12.096

[3] Pehlivan, İ.B (2013). *Functionalization of polymer electrolytes for electrochromic windows*, Unpublished Ph.D. thesis, Uppsala University, Sweden.

[4] Patil S.U.,Yawale S.S., Yawale S.P. (2014). Conductivity study of PEO–LiClO4 polymer electrolyte doped with ZnO nanocomposite ceramic filler, *Bull. Mater. Sci.*, 37*(6)*. 1403–1409. doi: 10.1007/s12034-014-0089-z

[5] Zhang Y., Zhao Y., Gosselink D., Chen P, (2015). Synthesis of poly(ethylene-oxide)/nanoclay solid polymer electrolyte for all solid-state lithium/sulfur battery. *Ionics*. 21*(2)*. 381–385. doi: 10.1007/s11581-014-1176-2

[6] Jittiarpon P., Badilescu S., Sawafta M.N.A., Sikong L.,Truang V. (2017). Electrochromic properties of sol-gel prepared hybrid transition metal oxides, a short review, *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 2*(3),* 286-300. doi: 10.1016/j.jsamd.2017.08.005

[7] Fernandes M.Leones R., Pereira S., Costa A.M.S., Mano J.F., Silva M.M., Fortunato E., Bermudez V.Z., Rego R. (2017). Eco-friendly sol-gel derived sodium-based ormolytes for electrochromic devices. *Electrochimica Acta*, 232, 484-494. doi: 10.1016/j.electacta.2017.02.098

[8] Shchegolkov A.V., Jang S.H., Shchegolkov A.V. ,Rodionov Y.V., Sukhova A.O., Lipkin M.S., (2021). A Brief Overview of Electrochromic Materials and Related Devices: A Nanostructured Materials Perspective, *Nanomaterials,*11*(9)*, doi: 10.3390/nano11092376

[9] Huang Y., Wang B., Chen F., Han Y., Zhang W., Wu X., Li R., Jiang Q., Jia X., Zhang R., (2022). Electrochromic Materials Based on Ions Insertion and Extraction. *Adv. Optical Mater.*,10(4). doi: 10.1002/adom.202101783

[10] Lim Y.S., Jung H.A., Hwang H. (2018). Fabrication of PEO-PMMA-LiClO4-Based Solid Polymer Electrolytes Containing Silica Aerogel Particles for All-Solid-State Lithium Batteries. *Energies*, 11(10), doi: 10.3390/en11102559

[11] Chua M.H., Tang T., Ong K.H., Neo W.T. , Xu J.W., (2019). *Chapter 1: introduction to electrochromism , in electrochromic smart materials: fabrication and applications*, 1-21.

[12] Kam W., Liew C.W., Lim J.Y., Ramesh S., (2014). Electrical, structural, and thermal studies of antimony trioxide-doped poly(acrylic acid)-based composite polymer electrolytes, *Ionics*, 20, 665–674.

[13] ZhenY., Jelle B.P., Gao T., (2020). Electrochromic properties of WO3 thin films: The role of film thickness, *Analytical Science Advances*,1, 124-131.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Mikrodalga Yöntemiyle Kurutulan Çarkıfelek Meyvesinin Matematiksel Modellemesi

*Pınar ATA*[1]
*Zehra Özden ÖZYALÇIN*[2]
*Azmi Seyhun KIPÇAK*[3]

**Özet**

Meyveler, yüksek vitamin ve mineral içeren bir besin grubudur. Bu nedenle meyve tüketimi insan sağlığı için oldukça önemlidir. Öte yandan, yüksek miktarda su içeren meyveler, yüksek enzimatik mikrobiyolojik aktiviteleri nedeniyle bozulmaya en yatkın gıda ürünlerinden biridir. Meyvelerin raf ömürlerinin arttırılması bu mikrobiyolojik aktivitenin durdurulması ile mümkündür. Bu çalışmada, farklı güç seviyelerinin çarkıfelek meyvesinin kurutulması üzerindeki etkilerini incelemek için mikrodalga kurutma yöntemi seçilmiştir. Deneyler için mikrodalga güç seviyeleri 140 W, 210 W ve 350 W olarak seçilmiştir. Mikrodalga kurutmadan önce çarkıfelek meyvesinin nem içeriği etüv kullanılarak %74,28 olarak hesaplanmıştır. Deneyler, kontrollü güç seviyesi ile kapalı bir sistemde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kurutma verileri, en uyumlu modeli belirlemek için Statistica isimli bilgisayar programı kullanılarak literatürde yaygın olarak kullanılan Henderson & Pabis, Lewis, Parabolik, İki Terimli Üstel ve Wang & Singh modellerine uygulanmıştır. R2, HKOK ve $\chi 2$ değerleri göz önüne alındığında, mikrodalgada kurutulmuş çarkıfelek meyvesi için en uyumlu model, R2 değerleri 0,9985 ile 0,9980 arasında, HKOK değerleri 0,013 ile 0,015 arasında ve $\chi 2$ değerleri 0,0002 ile 0,0004 arasında olmak üzere İki Terimli Üstel olmuştur. Ortalama uyumlu modeller Henderson & Pabis, Parabolik ve Wang & Singh olup, R2 değerleri 0,9928 ile 0,9746 arasında, HKOK değerleri 0,0298 ile 0,0565 arasında ve $\chi 2$ değerleri 0,0013 ile 0,0048 arasında değişmiştir. R2 değerleri 0,9784 ile 0,9675 arasında, HKOK değerleri 0,0520 ile 0,0606 arasında ve $\chi 2$ değerleri 0,0032 ile 0,0042 arasında değişerek en az uyum sağlayan model ise Lewis olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler**: Kurutma, Mikrodalga, Matematiksel Modelleme, Çarkıfelek Meyvesi, Nem

[1] Master of Science Student, Yildiz Technical University, Chemical Engineering Department,, Orcıd: 0000-0002-0264-4745
[2] Research Assistant, Yildiz Technical University, Chemical Engineering Department, Orcıd: 0000-0002-6662-5885
[3] Associate Professor Doctor, Yildiz Technical University, Chemical Engineering Department, Orcıd: 0000-0003-2068-6065

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

Meyve ve sebze ürünleri genellikle yüksek su içeriğine sahiptir ve bu da onları bozulabilir hale getirir. Bu sorunun üstesinden gelmenin bir yolu onları kurutmaktır. Gıda ürünleri için kurutma işlemi onlarca yıldır kullanılan bir yöntemdir. Bu uygulama, nihai ürünün uzun zaman için korunmasını sağlar. Çarkıfelek meyvesi, gıda endüstrisinde tüketiciler tarafından sıklıkla tercih edilen bir besin türüdür. Kurutma, maddelerin içindeki suyun veya diğer sıvıların buharlaştırma işlemi ile uzaklaştırılmasıdır. Kurutmanın amacı, mikroorganizmaların biyokimyasal reaksiyonlarını ve büyümesini durdurmak ve su oranını mikroorganizmaların çoğalamayacakları seviyeye indirmektir. Bu uygulama gıda ürünlerinin küflenmeden daha uzun süre dayanmasını sağlar. Uzun kuruma süresi besin değerlerini düşüreceği, kalite ve ekonomik değeri olumsuz yönde etkileyeceğinden dolayı yapılan kurutma işlemi tekniği dikkatli seçilmeli, gıda ürünlerine özgü olmalıdır. Kullanılan kurutma işlemleri kuruma süresini kısaltmalı, raf ömrünü uzatmalı, kaliteli ve yüksek besin değerine sahip gıda ürünleri elde edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda su içerikleri uzaklaştırılmış gıda ürünlerinin nakliyesi ve taşınması için gerekli maliyetler de kurutma sayesinde düşürülmektedir. Gıdaları kurutmak için endüstride kullanılan farklı yöntemler vardır. Bunlardan bazıları etüvde kurutma, mikrodalga kurutma, kızılötesi kurutma, dondurarak kurutma, sıcak havayla kurutma, güneşte kurutma, akışkan yataklı kurutma, sprey kurutma ve ozmotik dehidrasyondur (Dilip, 2014).

Ürün içindeki suyun uzaklaştırılmasının ana mekanizmasının ve yönetim direncinin belirtilmesi bir kurutma modeli geliştirmek için önemli ve gereklidir. Kurutma işleminde kütle ve ısı transferi aynı anda gerçekleşir. Hem iç hem de yüzeydeki suyun buharlaşması, nemin aktarılması sürecinde gerçekleşir. Difüzyon ile nem, ürünün içinden yüzeye ve konveksiyon ile yüzeyden çevreleyen ortama taşınır (Beigi, 2016).

Çarkıfelek meyvesi zengin, güçlü ve hoş bir aromaya sahiptir. Etrafındaki meyve suyu keseleri olan tohumlar genellikle Avustralya'da meyve salatalarına eklenir. Mor çarkıfelek meyvesinin meyvesi (sarıdan daha tatlı ve daha az asitli) tek başına, çekirdekleri ve hepsi yenilebilir (Knight ve Sauls, 1994). Kökeni Güney Amerika olan çarkıfelek meyvesi dünya çapında gıda endüstrisi için yenilebilir bir meyve olarak yetiştirilmektedir. Güney Amerika'da halk hekimliğinde anksiyete, uykusuzluk, astım, bronşit ve idrar enfeksiyonlarını tedavi etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Zibadi ve Watson, 2012).

Literatürde günlük hayatta sıkça tüketilen meyveler için kurutma çalışmaları bulunsa da egzotik meyveler için yapılan çalışmalar yetersizdir. Çarkıfelek meyvesi için literatürde mikrodalga kurutucu ile yapılmış çalışma oldukça azdır.

Bu çalışmada; çarkıfelek meyvesi mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan çarkıfelek meyvesinin matematiksel modellemeleri yapılmıştır. Deneysel mikrodalga kurutma eğrilerinin literatüre dayalı olarak 5 farklı ince tabaka kurutma modeline uygunluğunu incelenmiştir. Yapılan matematiksel modellemeler sonucu çarkıfelek meyvesinin ince tabaka kurutmadaki davranışı incelenmiştir. Çarkıfelek meyvesinin kurutma özellikleri üzerindeki güç seviyesi etkisi araştırılmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## YÖNTEM

Menşei Kolombiya olan çarkıfelek meyveleri 06.10.2021 tarihinde Antalya'da sebze-meyve halinden temin edilmiştir. Numuneler deneylere başlanmadan önce buzdolabında 4 °C'de muhafaza edilmiştir. Deneyler gerçekleştirilmeden önce numuneler buzdolabından çıkartılmış ve oda sıcaklığına gelmeleri için 1 saat boyunca dışarıda bekletilmişlerdir.

Çarkıfelek meyveleri tohumlu ve sulu yapıları sebebi ile 6±0,1 gram olacak şekilde saat camı üzerinde tartılmış ve yaklaşık 5 cm çapında bir alana yayılarak işleme hazırlanmışlardır.

Kurutma işlemlerine başlamadan önce numunenin içerisinde bulunan nem miktarını ölçmek amacıyla ikişer adet numune 0,001 g hassasiyete sahip Radwag AS 220.R2 dijital terazide (Radwag, Radom, Polonya) ilk tartımları alınıp ardından etüvde 105 °C'de yaklaşık 3 saat kurutulmuş, ardından etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına gelene dek desikatör içerisinde bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelen numunelerin son tartımları alınarak içeriğindeki nem miktarı (N), aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Bu tayinin sonucunda çarkıfelek meyvesinin yaş bazda nem miktarının %74,28, kuru bazda 5,0875 kg su/kg kuru madde olduğu gözlemlenmiştir.

$$N = \frac{m_{su}}{m_{km}}$$

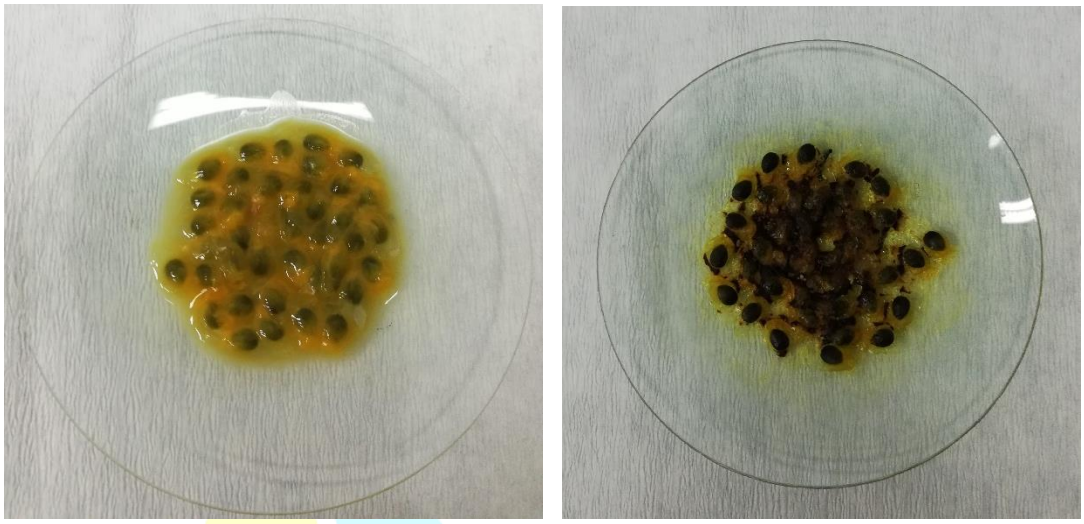
Burada N, nem miktarını (kg su/kg kuru madde), $m_{su}$ numunenin içerisindeki su miktarını (kg), $m_{km}$ ise kuru madde miktarını (kg) göstermektedir. (Doymaz vd., 2015; İsmail vd., 2017; Doymaz ve Kipcak, 2019; Doymaz vd., 2002; Doymaz vd., 2006).

Hazırlanan çarkıfelek meyvesi numuneleri önceden 0,001 g hassasiyete sahip Radwag AS 220.R2 dijital terazi (Radwag, Radom, Polonya) kullanılarak darası alınmış saat camları üzerinde tartılmıştır. Ardından numuneler 140 W, 210 W ve 350 W güç değerlerinde, maksimum 1080 W güçte çalışan DeLonghi Compact Wave MW 205.S 21 litre iç kapasiteli mikrodalga kurutucu ile kurutulmuşlardır.

Çarkıfelek meyvelerinin önceden tayin edilen kuru madde miktarına %5-%10 arası su miktarı eklenmiş ve kurutma işlemine numuneler bu hesaba denk gelen 0,13 kg su / kg kuru madde olana dek devam edilmiştir. Kurutma işlemi sırasında numuneler 140 W ve 210 W güç değerlerinde dakikada bir, 350 W güç değeri içinse 30 saniyede bir mikrodalga kurutucu içerisinden çıkartılarak hassas terazide tartılmış ve tüm ağırlıklar daha sonra kullanılmak üzere dijital ekrandan değer okunarak kaydedilmiştir. Bu işlem numunelerin kendi ısısıyla nem kaybetmesini engellemek amacı ile oldukça hızlı gerçekleştirilmiştir.

Mikrodalga kurutucudan çıkartılan kurutulmuş çarkıfelek meyvesi numuneleri desikatör içerisinde oda sıcaklığına soğutulmalarının ardından polietilen torbalar yerleştirilerek desikatör içerisinde muhafaza edilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2



Şekil 8 Mikrodalga ile kurutma öncesi (solda) ve kurutma sonrası çarkıfelek meyvesi (sağda)

Kurutma sırasında kaydedilen her bir ölçüm için kurutma hızı (KH) ve nem oranı (NO) değerleri aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. Ardından elde edilen sonuçlara göre gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

$$KH = \frac{N_{t+dt} - N_t}{dt}$$

$$NO = \frac{N_t - N_e}{N_i - N_e}$$

Burada KH kuruma hızını (kg su/kg kuru madde × dk), t kuruma süresini (dakika), $N_{t+dt}$, belirtilen süredeki nem miktarını (kg su/kg kuru madde) göstermektedir. NO, nem oranını, $N_t$, $N_i$ ve $N_e$ sırası ile herhangi bir zamandaki, başlangıç ve denge nem miktarını göstermektedir. (Doymaz vd., 2015; İsmail vd., 2017; Doymaz ve Kipcak, 2019; Doymaz vd., 2002; Doymaz vd., 2006).

Çarkıfelek meyvesi için en uygun kurutma modelini bulmak amacıyla elde edilen deneysel veriler içerisinden zaman ve nem oranları Statistica 8.0 (StatSoft, Tulsa, ABD) isimli bir bilgisayar programı kullanılarak literatürde bulunan 5 farklı ince tabaka kurutma modeline yerleştirilmiştir. Modellerin parametreleri, doğrusal olmayan bir regresyon analizi kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 5 Kurutma Modellerinin Matematiksel İfadeleri

| **Model İsmi** | **Matematiksel Denklemi** | **Referans** |
|---|---|---|
| Henderson ve Pabis | NO = a*exp(-kt) | Henderson & Pabis, 1961 |
| Lewis | NO = exp(-kt) | Kaleta & Górnicki, 2010 |
| Parabolik | NO = a + bt + ct$^2$ | Sharma & Prasad, 2004 |
| İki Terimli Üstel | NO = a*exp(-$k_0$t) + b*exp(-$k_1$t) | Henderson, 1974 |
| Wang ve Singh | NO = 1 + at + bt$^2$ | Wang & Singh, 1978 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Bu çalışmada en yüksek $R^2$ ve en düşük $\chi^2$ ve HKOK değerlerine sahip modeller en iyi modeller olarak kabul edilmiştir. $R^2$, $\chi^2$ ve HKOK değerleri sırası ile aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(NO_{deneysel,i} - NO_{hesaplanan,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(NO_{deneysel,i} - \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{i=1}^{N} NO_{hesaplanan,i}\right)}$$

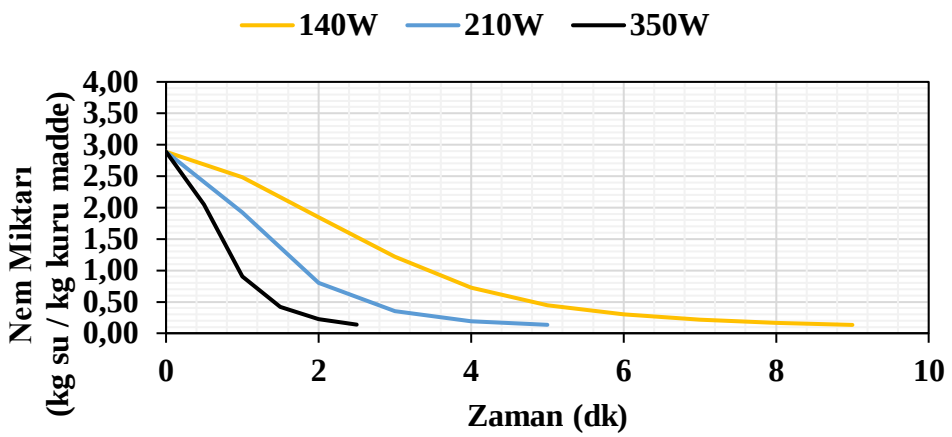
$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(NO_{deneysel,i} - NO_{hesaplanan,i}\right)^2}{N - z}$$

$$HKOK = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(NO_{hesaplanan,i} - NO_{deneysel,i}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

Burada toplam deney sayısı N, karşılaştırılan modeldeki sabit parametre sayısı ise z ile gösterilir.

**Deneysel Sonuçlar ve Tartışma**

Başlangıçta 2,8877 kg $H_2O$/kg kuru madde içeren çarkıfelek meyvesi numuneleri için mikrodalga kurutucuda 140, 210 ve 350 W'ta kurutma işlemleri sırasıyla 9, 5 ve 2,5 dakikada tamamlanmıştır ve her bir sıcaklık için sırası ile kurutulmuş numunelerde kalan nem miktarları sırası ile 0,1326; 0,1343 ve 0,1371 kg $H_2O$/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Şekil 2'de görüldüğü üzere mikrodalga gücündeki artış sonucu numunelerin nem miktarlarında daha hızlı bir düşüş yaşanmıştır.




Şekil 9 Çarkıfelek meyvesi numunelerinin zamana karşı nem miktarları

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 6 Farklı Güç Değerlerinde Matematiksel Model Sabitleri ve İstatistiksel Parametreler

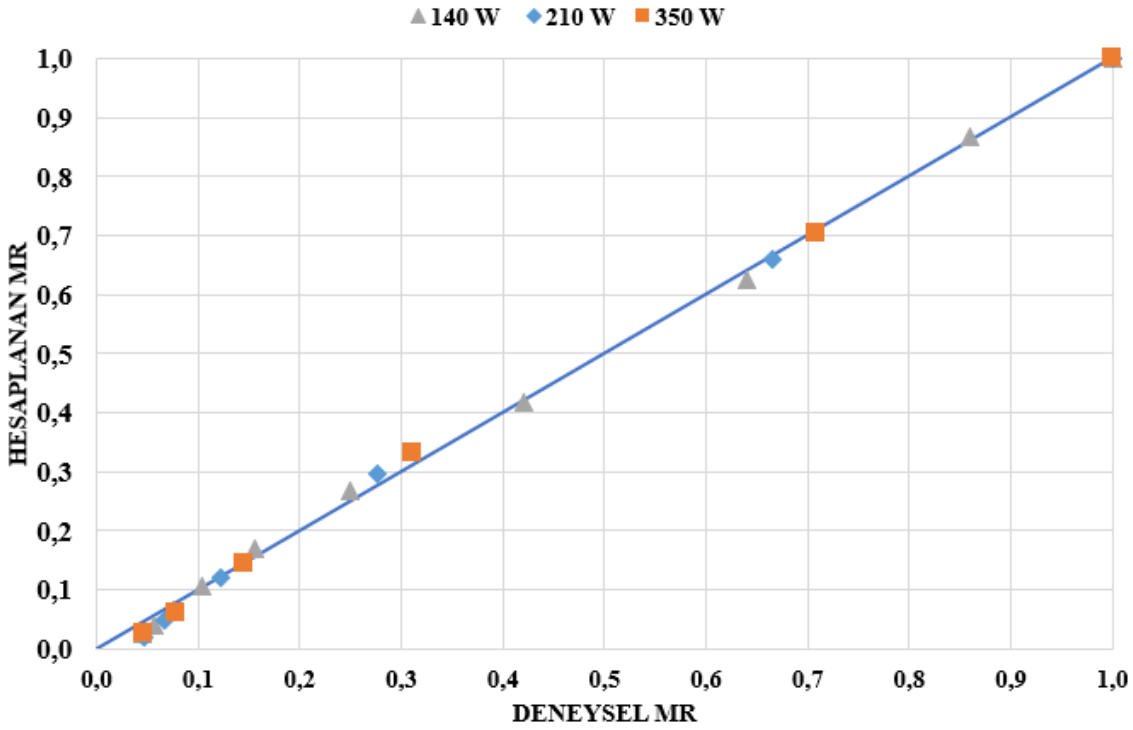
| Model | Parametre | Güç (Watt) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 350 | 210 | 140 |
| Henderson & Pabis | a | 1,041992 | 1,033663 | 1,078282 |
| | k | 1,118700 | 0,601517 | 0,329676 |
| | $R^2$ | 0,974565 | 0,980047 | 0,975243 |
| | $\chi^2$ | 0,004793 | 0,003742 | 0,003503 |
| | HKOK | 0,056530 | 0,049943 | 0,052938 |
| Lewis | k | 1,079718 | 0,584885 | 0,307633 |
| | $R^2$ | 0,971883 | 0,978350 | 0,967535 |
| | $\chi^2$ | 0,004239 | 0,003248 | 0,004083 |
| | HKOK | 0,059436 | 0,052023 | 0,060622 |
| Parabolik | a | 1,025228 | 1,015532 | 1,044302 |
| | b | -0,857394 | -0,451037 | -0,252586 |
| | c | 0,187029 | 0,051829 | 0,015895 |
| | $R^2$ | 0,990212 | 0,992840 | 0,992165 |
| | $\chi^2$ | 0,002459 | 0,001790 | 0,001267 |
| | HKOK | 0,035067 | 0,029917 | 0,029781 |
| İki Terimli Üstel | a | 2,127084 | 2,081620 | 2,040214 |
| | k | 1,784599 | 0,941758 | 0,490232 |
| | $R^2$ | 0,998253 | 0,997986 | 0,998544 |
| | $\chi^2$ | 0,000329 | 0,000378 | 0,000206 |
| | HKOK | 0,014814 | 0,015868 | 0,012840 |
| Wang & Singh | a | -0,821198 | -0,439894 | -0,234018 |
| | b | 0,176060 | 0,050141 | 0,014267 |
| | $R^2$ | 0,989185 | 0,992449 | 0,989360 |
| | $\chi^2$ | 0,002038 | 0,001416 | 0,001505 |
| | HKOK | 0,036862 | 0,030724 | 0,034704 |

En iyi model en yüksek $R^2$ ile en düşük $\chi^2$ ve HKOK değerlerine göre seçilmiştir. Genel olarak elde edilen deneysel veriler incelenen tüm matematiksel modeller ile uyum göstermektedir. En iyi model Tablo 2'de görüldüğü üzere İki Terimli Üstel olarak belirlenmiştir. İki Terimli Üstel modelinde en yüksek $R^2$ değeri 0,998544 ile 140 W'da, en düşük $R^2$ değeri 0,997986 ile 210 W'da elde edilmiştir. Aynı zamanda İki Terimli Üstel modeli incelendiğinde, kurutma hız sabiti "k" değerinin artan güç değeri ile birlikte azaldığı görülmüştür. $R^2$ değerleri 0,992840 ile 0,974565 arasında değişen Henderson & Pabis, Parabolik ve Wang & Singh modelleri ortalama uyumlu modeller olarak seçilmiştir. Henderson & Pabis ve Lewis modellerinde de "k" değerinde artan güç

ISBN: 978-605-71156-5-2

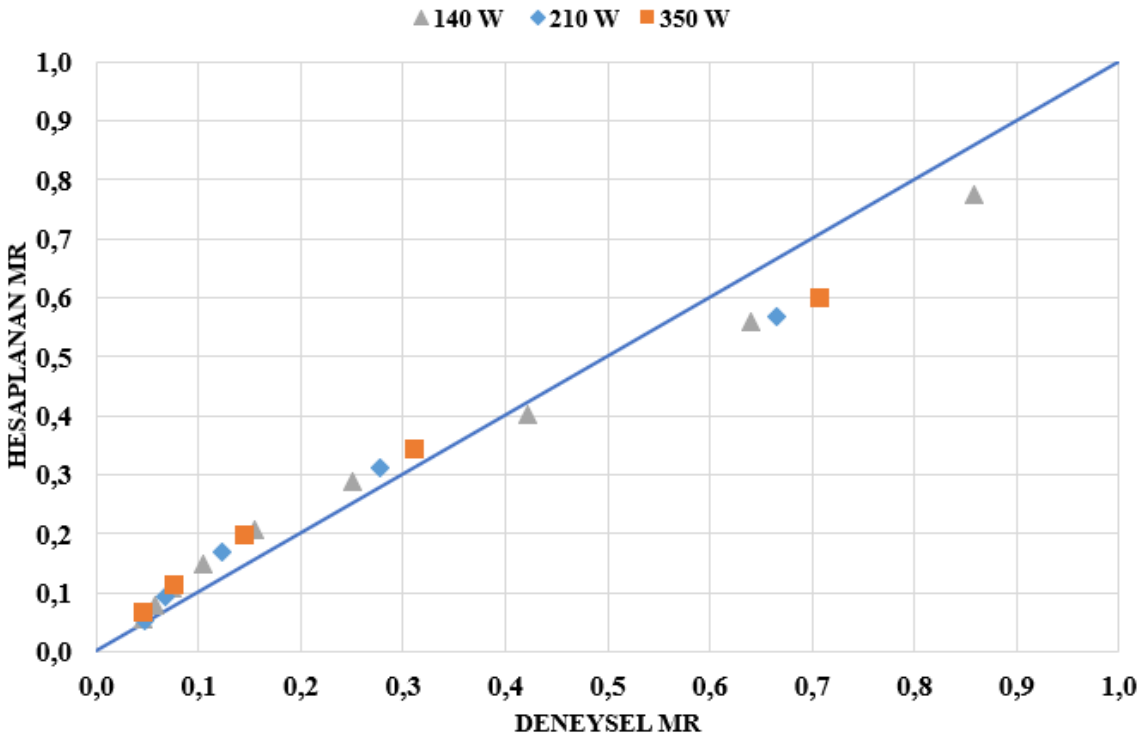
ile birlikte azalma görülmüştür. Tüm modeller arasında genel olarak en düşük $R^2$ değeri 0,967535 ile 140 W'da Lewis modelinde elde edilmiştir. 0,967535 ve 0,978350 arasında değişen $R^2$ değerleri ile Lewis modeli genel anlamda da en az uyumlu model olarak seçilmiştir.

Şekil 3, 4, 5, 6 ve 7; mikrodalgada kurutulmuş çarkıfelek meyvesinin farklı güç değerlerinde farklı matematiksel modeller için deneysel – hesaplanan kurutma hızı grafiklerini göstermektedir. Elde edilen veriler grafikte bir doğru üzerinde toplanmış ve kesiştirilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü üzere İki Terimli Üstel modelinde deneysel ve hesaplanan veriler bir uyum içerisindedir. Şekil 5'te ise Lewis modelinde kesiştirilen verilerin dağınık bir şekilde yerleştiği ve doğru üzerinde İki Terimli Üstel modelinde olduğu kadar düzgün bir şekilde kesişmedikleri görülmektedir.

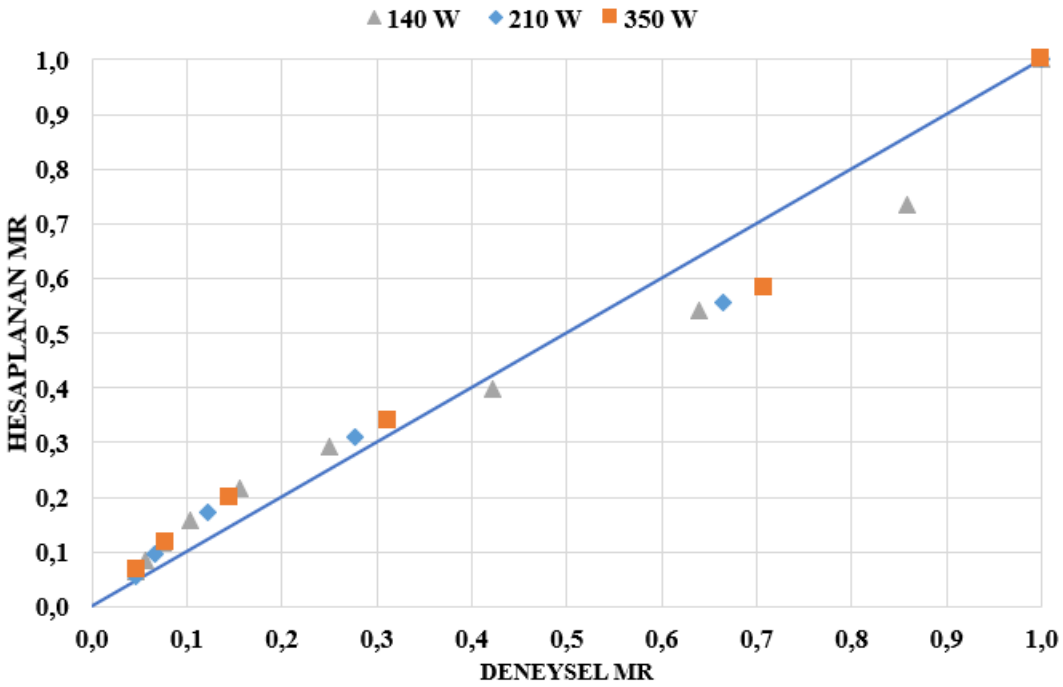



Şekil 3 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli için deneysel ve teorik verilerinin karşılaştırması

ISBN: 978-605-71156-5-2

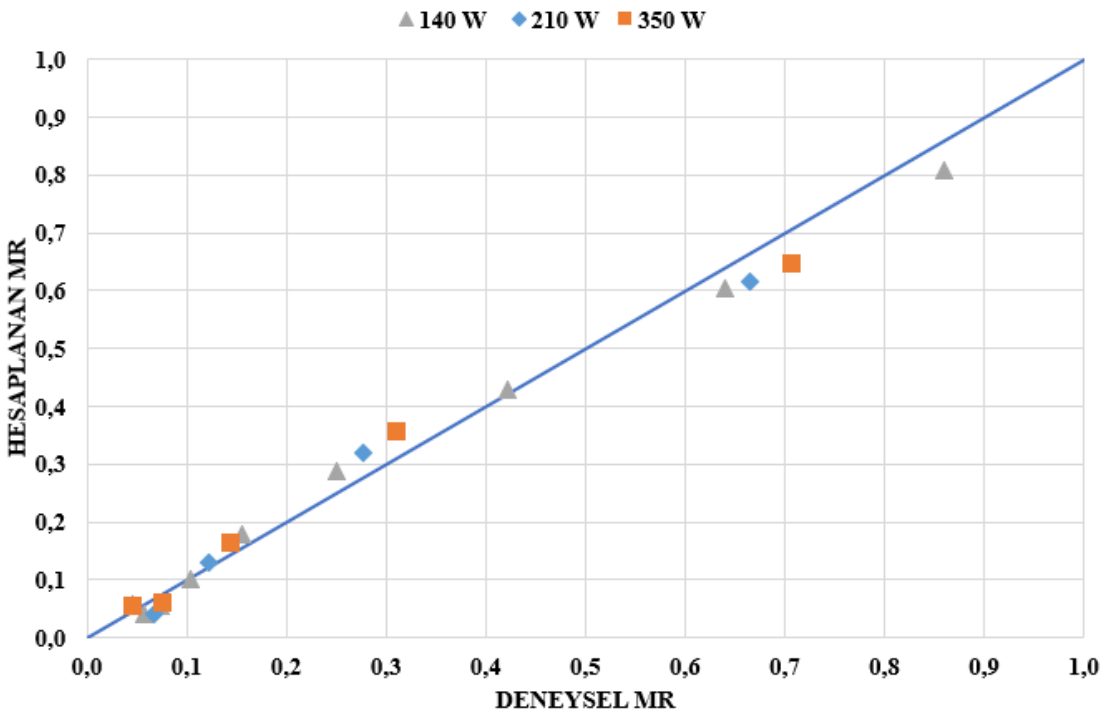



Şekil 4 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Henderson & Pabis modeli için deneysel ve teorik verilerinin karşılaştırması

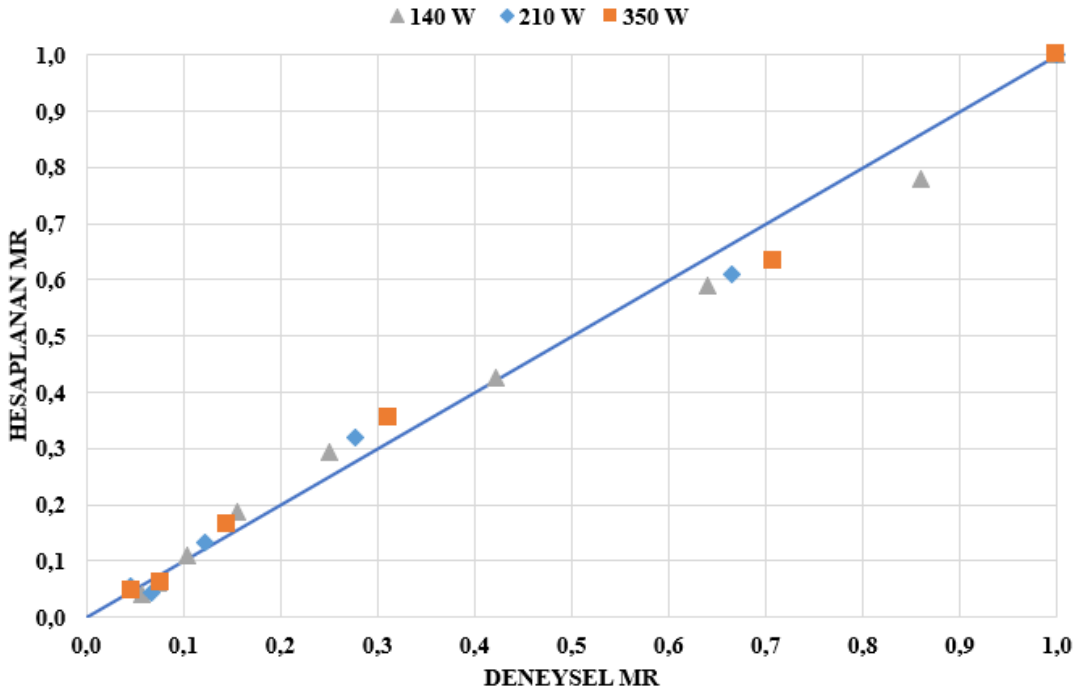



Şekil 5 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Lewis modeli için deneysel ve teorik verilerinin karşılaştırması

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 6 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Parabolik modeli için deneysel ve teorik verilerinin karşılaştırması




Şekil 7 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Wang & Singh modeli için deneysel ve teorik verilerinin karşılaştırması

ISBN: 978-605-71156-5-2

## Sonuç

Bu çalışmada çarkıfelek meyvesinin kurutma karakteristiği incelenmiş ve matematiksel modellemesi gerçekleştirilmiştir. Numuneler 140 W, 210 W ve 350 W güç değerinde mikrodalga kurutucuda kurutulmuş ve tüm deneysel veriler toplanarak kurutma eğrilerinin literatürde bulunan 5 farklı ince tabaka kurutma modeline uygunluğu incelenmiştir. $R^2$, HKOK ve $\chi^2$ değerleri göz önüne alındığında, mikrodalgada kurutulmuş çarkıfelek meyvesi için en uygun model İki Terimli Üstel olarak belirlenmiştir. Ortalama uyumlu modeller Henderson & Pabis, Parabolik ve Wang & Singh olup, en az uyum sağlayan model ise Lewis olarak seçilmiştir. Aynı zamanda artan mikrodalga güç değerlerinin çarkıfelek meyvesinin kuruma hızını kısalttığı görülmüştür.

## Teşekkür Notu

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2021-4349.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Babio vd., Adherence to the Mediterranean Diet and Risk of Metabolic Syndrome and its Components, Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases, 19(8), 563-570, 2009.

Beigi, M., Energy Efficiency and Moisture Diffusivity of Apple Slices During Convective Drying, Food and Science Technology, (36), 2016.

Bernacci, L. vd., Passiflora Edulis Sims: The Correct Taxonomic Way to Cite the Yellow Passion Fruit (and of others colors), Revista Brasileira de Fruticultura, 30(2), 566-576, 2008.

Cheng, W., vd., A Comparative Study of Mango Solar Drying Methods by Visible and Near-Infrared Spectroscopy Coupled with ANOVA, 2019.

Dilip, P., Solids Drying: Basics and Applications, Chemical Engineering -New York-Mcgraw Hill Incorporated then Chemical Week Publishing Llc, 121(4), 2014

Doymaz I, Kipcak A.S., Drying Characteristics Investigation of Black Mulberry Dried via Infrared Method, Journal of Thermal Engineering, 5(2): Special Issue 9, 13-21, 2019

Doymaz I, Kipcak, A.S., Piskin S. Microwave Drying of Green Bean Slices: Drying Kinetics and Physical Quality. Czech J Food Sci, 33(4): 367-376., 2015

Doymaz I. Kipcak A.S Piskin S. Characteristics of Thinlayer Infrared Drying of Green Bean. Czech J Food Sci, 33(1): 83-90, 2015

Doymaz I. Pala M. The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes. Journal of Food Engineering, 52(4): 413-417, 2002.

Doymaz I., Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. Journal of Food Engineering, 76(2): 212-217, 2006

Henderson, S.M. ve Pabis, S., Grain Drying Theory I. Temperature Effects on Drying Coefficient. Journal of Agricultural Engineering Research, 6, 169-174, 1961.

Henderson, S.M., Progress in Developing the Thin Layer Drying Equation, 1974

Joy, P. P., Passion Fruit – Passiflora Edulis Sims – Passifloraceae, Pineapple Research Station (Kerala Agricultural University), 2010

Joy, P.P., Passion Fruit (Passiflora edulis Sims): Passifloraceae. Pineapple Research Station, Affiliation: Kerala Agricultural University, 1-8, 2010.

Kaleta, A., Górnicki, K., Evaluation of Drying Models of Apple (Var. Mcıntosh) Dried in a Convective Dryer, International Journal of Food Science & Technology, 45(5), 891 – 898, 2010.

Knight, R.J., Sauls, J.W., The Passion Fruit Fact Sheet, University of Florida, 1994.

Malik, N. S., Bradford, J.M., Changes in Oleuropein Olives During Differentiation and Development of Floral Buds in Arbequina Olives, Scientia Horticulturae, 110(3), 274-278, 2006.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Mujumdar, A. S., Drying Technology in Agriculture and Food Sciences, Drying Technology, 19(6), 1217-1218, 2007.

Patel, S. S. Morphology and Pharmacology of Passiflora Edulis: A Review, Journal of Herbal Medicine and Toxicology, 3(1), 1-6, 2009

Patel, S.S., Morphology and Pharmacology of Passiflora Edulis: A Review, Journal of Herbal Medicine and Toxicology, 3(1), 1-6, 2009.

Spencer, K.C., Seigler, D.S., Cyanogenesis of Passiflora Edulis, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 31(4), 794-796, 1983

Wang C. Y., Singh R. P., A Single Layer Drying Equation for Rough Rice, 1978.

Yagcioglu A., Degirmencioglu A. & Cagatay F., Drying Characteristics of Laurel Leaves Under Different Drying Conditions, Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, 565–569, 26–27 May, Adana, Turkey, 1999.

Zibadi, S., Watson, R.R., Passion Fruit (Passiflora edulis), Evidence Based Integrative Medicine, (1), 183-187, 2004.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Radyal Fan Çarkında Kullanılan Kanat Yapısının ve Pozisyonunun Sonuca Olan Etkisi

*Muhsin KILIÇ* [1]
*Sultan FİDAN* [2]

**Özet**

Fanlar, farklı endüstriyel uygulamalarda, iklimlendirme ve konut ısıtma-soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Fanların enerji tüketimi ve gürültü düzeylerinin düşük, verimlerinin ve aynı debi değerleri için elde edilen basınç farkı değerinin yüksek olması istenir. Bu çalışmada, kanat yapıları ve çark içindeki konumları kullanılarak fan performansı üzerine sayısal bir inceleme yapılmıştır. Analizlerde kullanılacak aerodinamik kanat yapısına karar vermek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi ile dört farklı aerodinamik kanat profili sayısal olarak çözümlenmiştir. Her bir kanat yapısının hız ve basınç dağılımları HAD hesaplamaları kullanılarak elde edilmiştir. Her kanat profili için kaldırma katsayısı da hesaplanmıştır. Seçilen kanat yapıları firar kenarı yönüne göre iki farklı şekilde yerleştirilmiştir. Böylece aerodinamik kanat yapıları ve düz radyal kanat yapısı kullanılarak beş farklı fan tasarımı CAD modeli oluşturulmuştur. Tüm tasarımlar için aynı sayısal modelleme yapılmış ve aynı kanat yapısı kullanılsa dahi kanat yapısı ve konumunun sonuca etkisi incelenmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, kanat yapısı ve konumu değiştirilerek aynı debiler için daha yüksek basınç değerlerinin elde edilebileceği, böylece enerji tüketimi ve gürültü seviyesinin azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Radyal Fan, Kanat Profili, Firar Kenarı, Enerji Verimliliği, HAD

[1] Prof. Dr., Bursa Uludağ University, Department of Mechanical Engineering, mkilic@uludag.edu.tr, Orcıd: 0000-0003-2113-4510

[2] MSc. Student, Bursa Uludağ University, Department of Mechanical Engineering, fidan.sultan@outlook.com, Orcıd: 0000-0002-8550-478X

ISBN: 978-605-71156-5-2

**1.Giriş**

Fanlar, sistemde kullanılan akışkan üzerinde basınç farkı oluşturarak akış yolu içerisinde hareket etmesini sağlayan turbo makinelerdir. Fan sisteminde hareketli eleman olan çark, hava üzerinde iş yapar ve havaya statik ve kinetik enerji kazandırır. İyi bir fan sisteminde istenilen performansın yerine getirilmesinin yanı sıra enerji tüketiminin ve gürültü seviyesinin az, veriminin ise yüksek olması istenir. (Akköse, 2010) Fanlar akışkanın çarktan çıkış yönüne göre üç ana gruba ayrılır. Bunlar eksenel fan, radyal fan ve karışık akışlı fandır.

Eksenel fanlarda hava akışı pervanenin dönüş eksenine paraleldir. Eksenel fanlarda hava, fan çarkı ile yön değiştirmeden aynı eksen etrafında hareket eder. Yüksek hava debi değerleri ve düşük basınç sistemleri için uygun fanlardır. Eksenel fanlar uygulamada üç tip olarak bulunmaktadır. Bunlar; pervane kanat tip eksenel fan, borulu kanal tip eksenel fan, kılavuz kanatlı eksenel fandır. Pervane kanat tipi eksenel fanlar küçük bir göbek çevresine takılı iki veya daha fazla sabit kalınlıklı kanattan oluşmaktadır. Verimleri, debileri ve basınç değerleri düşüktür. (Uralcan, 2003). Tek çarklı eksenel akış fanı kullanılarak bir kanal içerisindeki akışı hareket ettirmek için kullanılan fanlara borulu kanal veya kovanlı tip fan denir. Bu tip fanlarda akışkana bir dönme hareketi aktarılarak çıkış kesitinde helisel bir akış oluşturulur. Yüksek debiler için verimlidir. Kılavuz kanatsız borulu tip fanlar pervane çark tasarımına göre daha verimlidir. Dört ile sekiz arasında kanat kullanılır. Kullanılan kanatların yapıları aerodinamik ya da tek kalınlık kesitli olabilir. Düşük ve orta basınçtaki sistemlerde kullanılırlar. (Canbazoğlu, 2020)

Radyal fanlar; salyangoz gövde, döner çark ve elektrik motoru olmak üzere üç ana elemandan oluşmaktadır. Çarkın merkezinden emilen hava dik bir açı yaparak dönen kanatlar arasından geçerek fandan çıkış yapmaktadır. Kanatların arasında, akışkanın dönmesi ile oluşan merkezkaç etki difüzörden emişi, statik basıncı arttırmayı ve salyangoz çıkışından akışkanı atmayı sağlar. Akışkan kanatları terk ederken akışkanın kinetik enerjisinin önemli bölümü çark ile salyangoz gövde arasındaki genişleme etkisiyle basınca dönüşür (Kuru, 2013). Radyal fanlarda hava, fan çarkını giriş kesitine göre dik bir açı ile kanatlara teğet olarak terk etmektedir (Bulgurcu, 2015). Radyal fanlarda akışkana merkezkaç kuvveti uygulanarak akışkan yönü eksenelden radyal yöne çevrilir ve eksenel fana göre daha fazla basınç artışı sağlanır. Radyal fanlarda daha yüksek basınç artışı oluşturulabildiğinden dolayı daha yüksek verim elde edilebilir. Daha çok endüstriyel fan olarak sanayide tercih edilir. Hava, dik açı ile fan miline gönderilir. Radyal fan çarkı genellikle salyangoz veya fan gövdesi adı verilen bir kabuk yapısı ile çevrelenmiştir. Çarktan gönderilen hava, salyangozun çıkış ağzından geçerek dışarıya yönlendirilir. Radyal tip fanlar temelde dört gruba ayrılır. Bunlar radyal, öne eğimli, geriye eğimli ve aerodinamik radyal fan çeşitleridir. Öne eğik kanatlı radyal fanlarda kanatların şekli fan dönüş yönü ile aynı yöndedir. Yüksek debi, yüksek basınç ve düşük hız şartlarında çalışabilirler. Uygulama alanları alçak basınçlı havalandırma sistemleridir. Radyal kanatlı fanların çark yapısı basittir ve nispeten dar kanatlardan oluşur. Genellikle öne eğik ve geriye eğik kanatlı radyal fanlara göre daha gürültülü çalışırlar. Geriye eğik kanatlı radyal fanlarda kanadın uçları dönme yönü ile ters olarak hareket eder. Kararlı hava debisi gerektiren sistemlerde tercih edilirler.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Öne eğik kanatlı radyal fanlara göre verimleri yüksektir ancak çalışma hızları daha fazla olduğundan öne eğimli radyal fanlar kadar sessiz çalıştırılamazlar. Aerodinamik kanatlı fan en yüksek verime sahiptir. İşletme maliyetleri düşük olsa da ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Yüksek devirlerde çalışmalarına rağmen gürültü seviyeleri diğer fan tiplerine göre nispeten düşüktür (Canbazoğlu, 2020).

Bir fan sisteminden yüksek statik basınç elde edilmesi, sessiz çalışması ve az enerji harcaması istenmektedir. Fanların tahrik sistemleri için genellikle elektrik motorları kullanılır. Günümüzde sanayide ya da binalarda kullanılan fanların çoğu verimleri yüksek olmayan, fazla enerji tüketen eski teknoloji ürünleridir. Enerji tüketiminin azaltılması için verimin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada radyal fanlarda kullanılan kanat yapısı ve pozisyonu ile ilgili olarak aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır:

- Fan sistemlerinde çark içerisinde kullanılan kanat profili performansı nasıl etkilemektedir?
- Çark içerisinde kullanılan kanat yapısının pozisyonu performansı nasıl etkilemektedir?

Yapılan çalışmada ilk olarak farklı dört aerodinamik kanat yapısı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi ile sayısal olarak çözümlenmiştir. Seçilen iki aerodinamik kanat profili fırar kenarlarının yönüne göre farklı olarak yerleştirilmiş böylece ikişer adet fan tasarımı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda gürültü seviyesi daha az ve statik basınç değeri daha yüksek olan fan seçimi yapılarak uygulamada en çok kullanılan düz radyal kanat fan ile kıyaslanmıştır.

## 2.Matematiksel Model

Sayısal modellemede tanımlanan korunum denklemleri aşağıdaki gibidir:

Kütlenin korunumu

$$\frac{\partial(\rho u_{k)}}{\partial x_k} = 0 \tag{1}$$

Burada $\rho$ akışkanın yoğunluğudur (kg/$m^3$), $u_k$ (m/s) $x_k$ yönünde hız bileşenidir.

Momentumun korunumu

$$\frac{\partial(\rho u_i u_k)}{\partial x_k} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + (\mu + \mu_t)\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2{}_k} + \mathrm{Si} \tag{2}$$

Burada p (Pa) statik basınç, μ dinamik viskozite, $\mu_t$ türbülans ya da diğer bir deyişle eddy viskozitesini, Si birim hacim başına cisim kuvvetlerini temsil eden kaynak terimidir. Eddy viskozitesi eşitliği denklem 5'de verilmiştir:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{3}$$

Burada $\rho$ yoğunluk (kg/$m^3$), $C_\mu$ katsayı ve değeri 0,09'dir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Enerjinin korunumu

$$\frac{\partial(\rho u_k c_p T)}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} + (\lambda \frac{\partial T}{\partial x_k}) + S_k \tag{4}$$

Burada $c_p$ (J/kgK) havanın sabit basınçta özgül ısısı, λ (W/mK) havanın ısı iletim katsayısı, T (K) sıcaklık ve $S_k$ hacimsel kaynak terimidir.

Standart k-ε türbülans modeli iki denklemli türbülans modelleri arasında ekonomikliği ve pek çok akış olayında kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesi açısından yaygın olarak kullanılan yarı ampirik bir modeldir. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve dissipasyon oranı (ε) için yazılan iki adet transport denkleminin çözümünü ve türbülans viskozitesinin hesabını içerir.

$$\rho \frac{D_k}{D_t} = \frac{\partial}{\partial x_i} (\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_i}) + G_k - \rho\varepsilon \tag{5}$$

$$\rho \frac{D_\varepsilon}{D_t} = \frac{\partial}{\partial x_i} (\Gamma_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon}\rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R \tag{6}$$

şeklinde yazılabilir. Bu modelde difüzivite terimleri

$$\Gamma_k = \mu + \mu_t / \sigma_k \text{ ve } \Gamma_\varepsilon = \mu + \mu_t / \sigma_\varepsilon \tag{7}$$

hız gradyentinden kaynaklanan türbülans kinetik enerjisi üretimini ifade eden terim

$$G_k = \mu_t (\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \tag{8}$$

Burada, $G_k$ ortalama hız gradyanlarına bağlı olarak türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu temsil etmektedir.μ dinamik viskozite, $\mu_t$ türbülans viskozitesi, k türbülansın kinetik enerjisi ve ε türbülans sönümlemesi olarak ifade edilmektedir. Bu modelde R= 0 olup diğer ampirik sabitleri: $C_{1\varepsilon}$=1.44, $C_{2\varepsilon}$=1.92, $C_\mu$=0.09, k ve ε için tanımlanan türbülans Prandtl sayıları $\sigma_\varepsilon$ = 1.3 olarak alınmıştır (Karagöz, 2007).

## 3.Geometri, Ağ Yapısı ve Çözüm Parametreleri

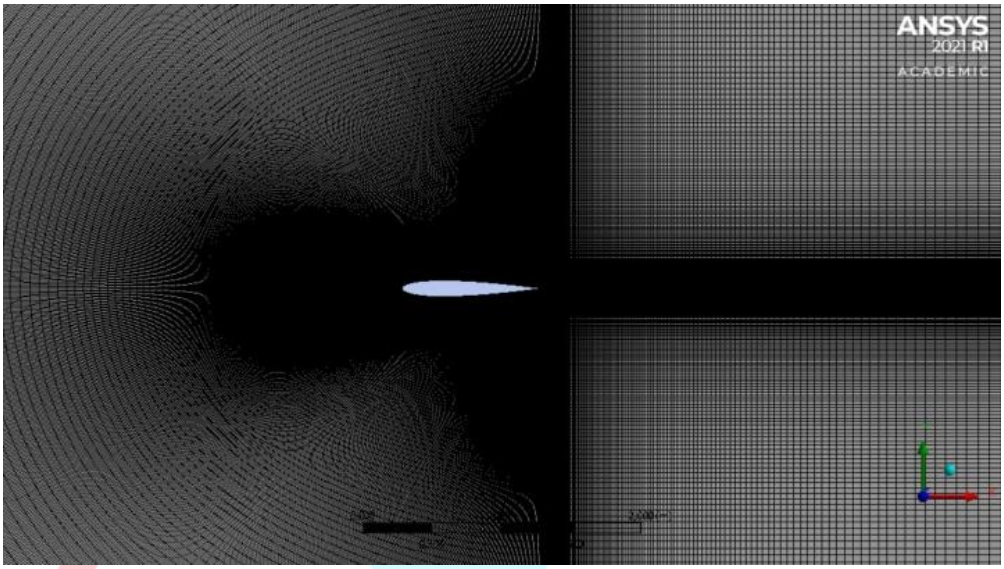
Aerodinamik kanatlı radyal fan tasarımında kullanılmak üzere aerodinamik kanat profilinin belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla farklı kamburluk yapılarına sahip 4 aerodinamik kanat yapısı analiz edilmiştir. Analiz edilmiş olan kanatlar Naca 0006, E 387, Eppler 421 ve SG 6043 kanat yapılarıdır (Şekil 1).

a) b) c) d)

Şekil 1. Analiz edilen kanat yapıları; a) Naca 0006, b) E 387, c) Eppler 421, d) SG 6043

ISBN: 978-605-71156-5-2

Eleman ağı oluşturulurken dörtgen (quadrilateral) elemanlar kullanılmıştır (Şekil 2). Oluşturulan yapılandırılmış ağ yapısı ile yaklaşık olarak her bir analizde oluşan eleman sayısı 240 000, düğüm sayısı ise 241 000'dir.




Şekil 2. Kanat analizlerinde kullanılan ağ yapısı

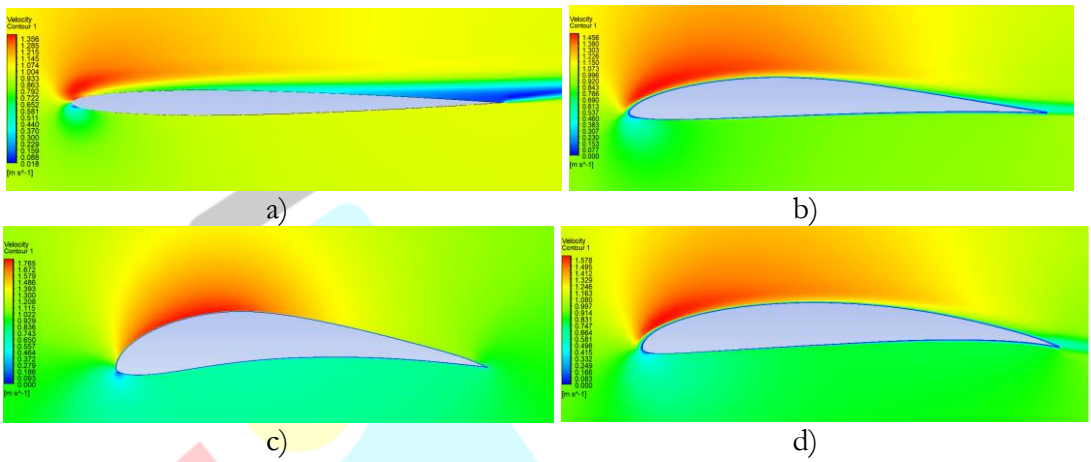
Her bir kanat için kaldırma katsayının değeri kıyaslanarak kanat seçimi yapılacağı için kanatların hücum açısı 6° olarak belirlenmiştir. Kanadın 6° yukarı baktığı kabul edilmektedir. Bunun için kanadı 6° eğimli çizmeye gerek yoktur. Hız bileşenleri 6°'ye göre girildiğinde çözüm de ona göre olacaktır. Havanın başlangıç hızı 1 m/s olarak alınmıştır. Havanın yoğunluğu ve hızı için sayısal verilerin 1 birim olarak alınması ile her bir kanat profili için kaldırma katsayısı değerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu durumda sınır koşulları olarak $V_x$=0.9945 m/s, $V_y$=0.1045 m/s olarak girilmiştir.

Her bir kanat yapısı için hız, basınç ve akış çizgileri dağılımları incelenmiş ve ardından her bir kanat profili için kaldırma katsayıları elde edilmiştir.

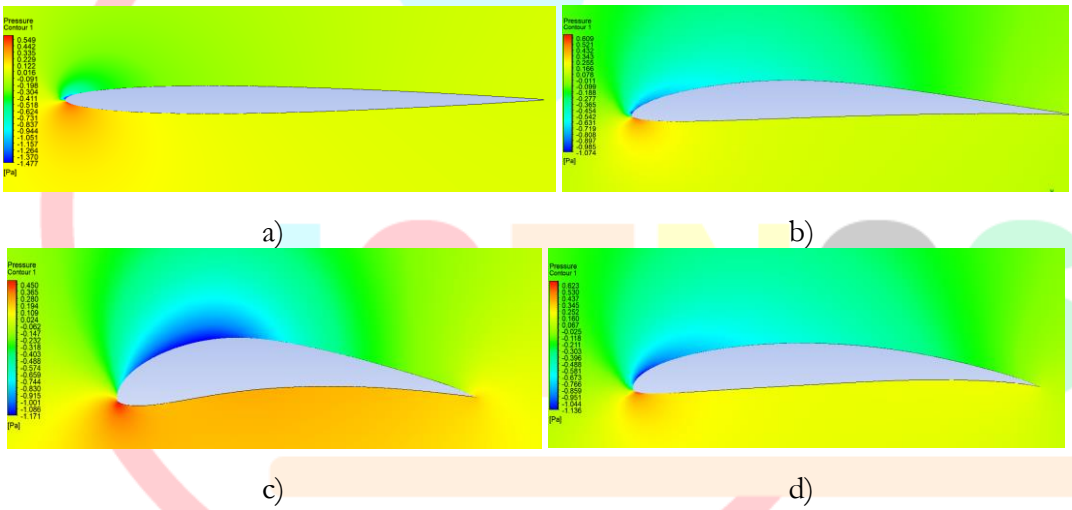
Naca 0006 için hız değerleri incelendiğinde $V_{min}$ = 0.018 m/s, $V_{max}$ = 1.35 m/s elde edildiği görülmektedir (Şekil 3a). Elde edilen sonuç incelendiğinde hız değerinin kanat profilinin üst yüzeyinde alt yüzeyine göre daha fazla değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Hız, kanadın üst yüzeyinin ön kısmından arka kısmına doğru giderek azalan bir değişim sergilemektedir. Kanat profili simetrik olmasına rağmen kanadın alt ve üst yüzeyi arasında bu şekilde bir farklılık yaşanmasının sebebi ise kanat profillerinin 6° hücum açısı altında analiz edilmesidir. E 387 için hız değerleri incelendiğinde $V_{min}$ = 0 m/s, $V_{max}$ = 1.456 m/s elde edildiği görülmektedir (Şekil 3b). E 387 kanat profilinde Naca tip kanat profiline göre kuyruk bölgesinde hızın daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Eppler 421 için hız değerleri incelendiğinde $V_{min}$ = 0 m/s, $V_{max}$ = 1.765 m/s elde edildiği Şekil 3c'de görülmektedir. Tüm kanat profilleri içerisinde en yüksek kamburluk değerine sahip olan bu kanat profilinde en yüksek hız değeri elde edilmiştir. Yüksek hız değeri elde edilen bölge ise kamburluğun sivrildiği bölgededir. SG 6043 için hız değerleri incelendiğinde

ISBN: 978-605-71156-5-2

$V_{min}$ = 0 m/s, $V_{max}$ = 1.578 m/s elde edildiği Şekil 3d'de görülmektedir. Hız, kanadın üst yüzeyinin ön kısmında en yüksek değerini alıp kuyruk tarafına doğru azalmaktadır.




Şekil 3. Hız Analizi; a) Naca 0006, b) E 387, c) Eppler 421, d) SG 6043




Şekil 4. Basınç Analizi; a) Naca 0006, b) E 387, c) Eppler 421, d) SG 6043

Naca 0006 için basınç değerleri incelendiğinde $P_{min}$ = -1.477 Pa, $P_{max}$ = 0.55 Pa elde edildiği Şekil 4a'da görülmektedir. En yüksek basınç değeri alt yüzeyin ön kısmında oluşmuştur. Kanat profili için üst yüzeyinin ön kısmında negatif basınç alanı oluşmuş olup kuyruk tarafına doğru basınç değerinin artmış olduğu görülmektedir. E 387 için basınç değerleri incelendiğinde $P_{min}$ = -1.074 Pa, $P_{max}$ = 0.61 Pa elde edildiği Şekil 4b'de, Eppler 421 için basınç değerleri incelendiğinde $P_{min}$ = - 1.171 Pa, $P_{max}$ = 0.45 Pa elde edildiği Şekil 4c'de görülmektedir. Kanadın üst yüzeyinde negatif basınç alanı oluşmuştur. Basınç, en düşük değerini ise kamburluğun olduğu bölgede almıştır ve o bölgede yayılım göstermiştir. Alt yüzeyde ise pozitif basınç oluşmuştur ve kuyruk bölümüne kadar fazla değişiklik göstermeden devam etmiştir. SG 6043 için basınç değerleri incelendiğinde $P_{min}$ = -1.136 Pa, $P_{max}$ = 0.623 Pa elde edildiği Şekil 4d'de görülmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Üst yüzeyin ön kısmında oluşan negatif basınç alanı kuyruk bölümüne doğru giderek artış göstermiştir. Alt yüzeyde ise ön kısımda oluşan pozitif basınç alanı kuyruk bölümüne doğru azalmıştır. Genel olarak incelendiğinde ise üst yüzeyde negatif, alt yüzeyde pozitif basınç alanı oluşmaktadır.

Her bir kanat profili için hız ve basınç dağılımları değerlendirildikten sonra kaldırma katsayısı elde edilmiştir. Kaldırma katsayısı fan tasarımında kullanılmak üzere seçilecek kanat yapısı için önemli bir veri oluşturacaktır. Kaldırma katsayısının sayısal değeri için çözüm modülü içerisinden kuvvetler bölümü seçilerek X yön vektörüne $V_y$ değeri olan 0.1045 ve Y yön vektörüne $V_x$ değeri olan 0.9945 değeri yazılarak kaldırma katsayısının değeri elde edilmiş olur. Aerodinamik kanat yapıları için elde edilen kaldırma katsayısı, hız ve basıncın en yüksek ve en düşük değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Kanat profillerine ait elde edilen veriler

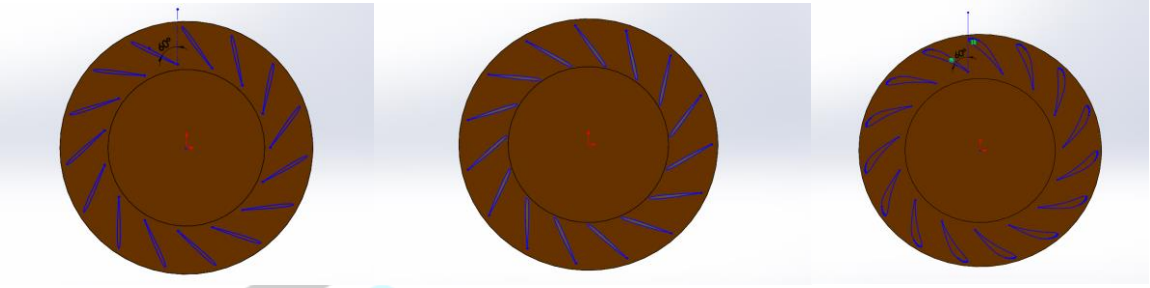
| Kanat Profili | $C_L$ | $V_{min}$ (m/s) | $V_{max}$ (m/s) | $P_{min}$ (Pa) | $P_{max}$ (Pa) |
|---|---|---|---|---|---|
| Naca 0006 | 0.467 | 0.018 | 1.356 | -1.477 | 0.549 |
| E 387 | 1.012 | 0 | 1.456 | -1.074 | 0.61 |
| Eppler 421 | 1.737 | 0 | 1.765 | -1.171 | 0.45 |
| SG 6043 | 1.445 | 0 | 1.578 | -1.136 | 0.623 |

Tablo 1'den de görüldüğü üzere kaldırma katsayısı en yüksek değerini 1,737 ile Eppler 421 kanat profilinde, en düşük değerini ise 0,467 ile Naca 0006 kanat profilinde almıştır. Kanat üzerinde oluşan hız değerine bakıldığında ise en düşük $V_{max}$ değeri 1,356 m/s ile Naca 0006 profilinde, en yüksek $V_{max}$ değeri ise 1,765 m/s ile Eppler 421 kanat profilinde oluştuğu görülmektedir. Kanatlar üzerinde oluşan basınç değeri üzerinden tüm kanat yapılarını kıyaslarsak en düşük $P_{min}$ değerinin -1,477 Pa ile Naca 0006 kanat profilinde, en yüksek $P_{min}$ değerinin -1.074 Pa ile E 387 kanat profilinde oluştuğu görülmektedir. Analizler sonrası fan tasarımında kullanılmak üzere birbirinden oldukça farklı sonuçlar vermiş olan Naca 0006 ile Eppler 421 kanat yapılarının çark tasarımında kullanılmasına karar verilmiştir.

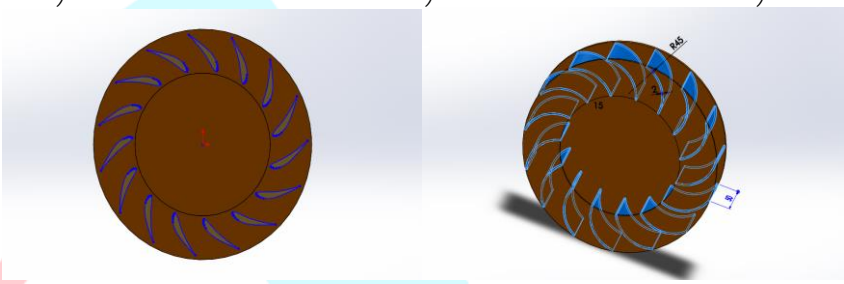
Fan çarkı tasarımında Naca 0006 ve Eppler 421 kanat yapıları firar kenarlarına göre iki farklı şekilde konumlandırılmıştır. Aerodinamik kanat yapısı kullanılan fan tasarımları yapıldıktan sonra düz radyal kanatlı fan tasarımı da yapılarak her bir fan için sayısal modelleme yapılmıştır.

Fan tasarımında salyangoz gövde yapısı, motor, flanş ve çark kullanılmıştır. Salyangoz gövde için yükseklik 300 mm, çarkın yerden yüksekliği 130 mm, fan genişliği 375 mm, çark merkezinin fan çıkışına olan uzaklığı 160 mm ve çıkışın yükseklik değeri 93 mm olarak belirlenmiştir. 230 V, 50 Hz fan motoru kullanılmıştır. Çark ve motor arasında uygun ölçülerde flanş tasarımı yapılmıştır. Çark çapı 250 mm, kanat yükseklikleri 50 mm olarak belirlenmiştir. Çark içerisinde Naca 0006 kanat yapısı firar kenarı çark yönüne gelecek şekilde yerleştirilmişir (Şekil 5a). Naca 0006 kanat yapısı firar kenarı çark dışına doğru gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5b). Eppler 421 kanat yapısı firar kenarına göre iki farklı yönde yerleştirilmiştir (Şekil 5c ve Şekil 5d). R145, kalınlık değeri 2 mm olan düz radyal kanat yapısı tasarlanmıştır (Şekil 5e). Tüm tasarımlarda 15 adet kanat sayısı kullanılmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2



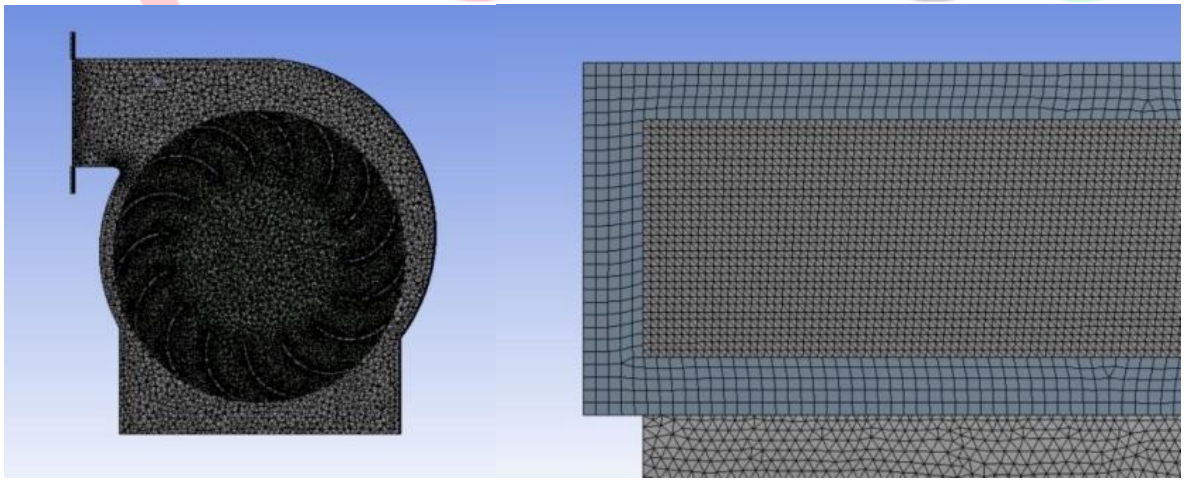
a) b) c)



d) e)

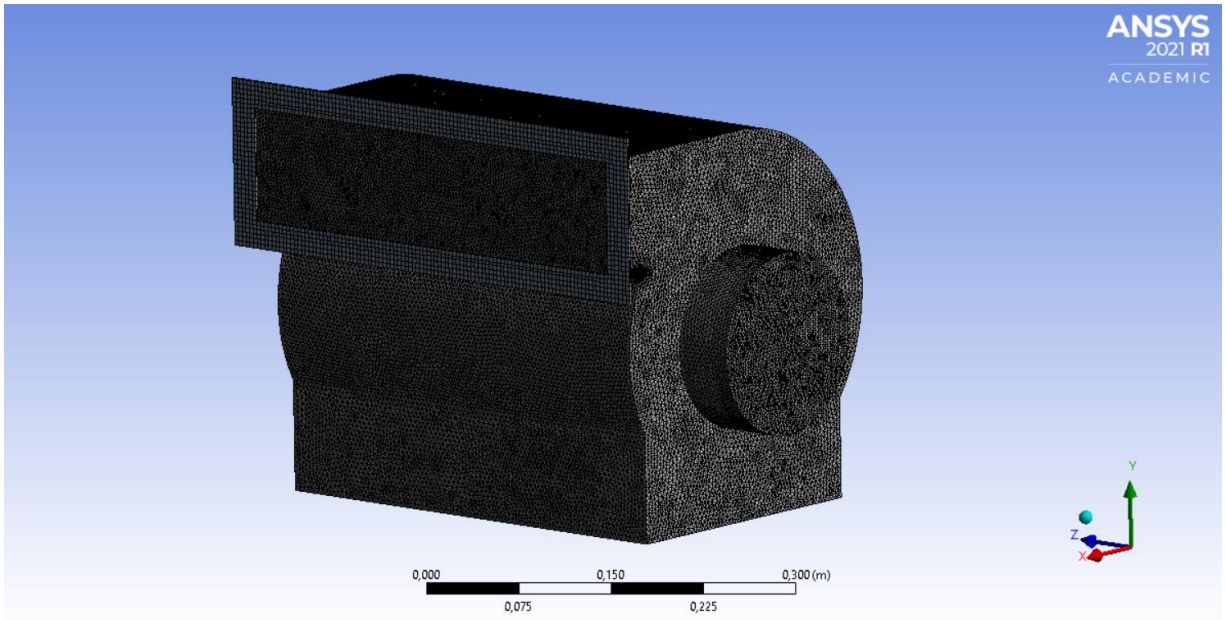
Şekil 5. Çark tasarımları; a) Naca 0006 kanat yapısı kullanılan çark b) Naca 0006 kanat yapısı ters kullanılan çark c) Eppler 421 kanat yapısı kullanılan çark d) Eppler 421 kanat yapısı ters kullanılan çark e) Radyal kanat yapısı kullanılan çark

Eleman ağı oluşturulurken tetrahedron ve hexahedron elemanlar kullanılmıştır. Fan ve çark üzerinde bulunan radyal kısımlardan dolayı bu bölgelerde tetrahedron elemanlar oluşturulmuştur. Ağ yapısının görünümü Şekil 6'da gösterilmiştir. Toplam eleman sayısı 14 952 808 ve düğüm sayısı 2 610 000 olarak elde edilmiştir.



a) b)

ISBN: 978-605-71156-5-2




c)

Şekil 6. Radyal Fanlarda Kullanılan Ağ Yapısı; (a) kanatlar üzerinde oluşturulan ağ (b) ilk çıkış üzerinde oluşturulan ağ (c) ağ yapısının genel görüntüsü

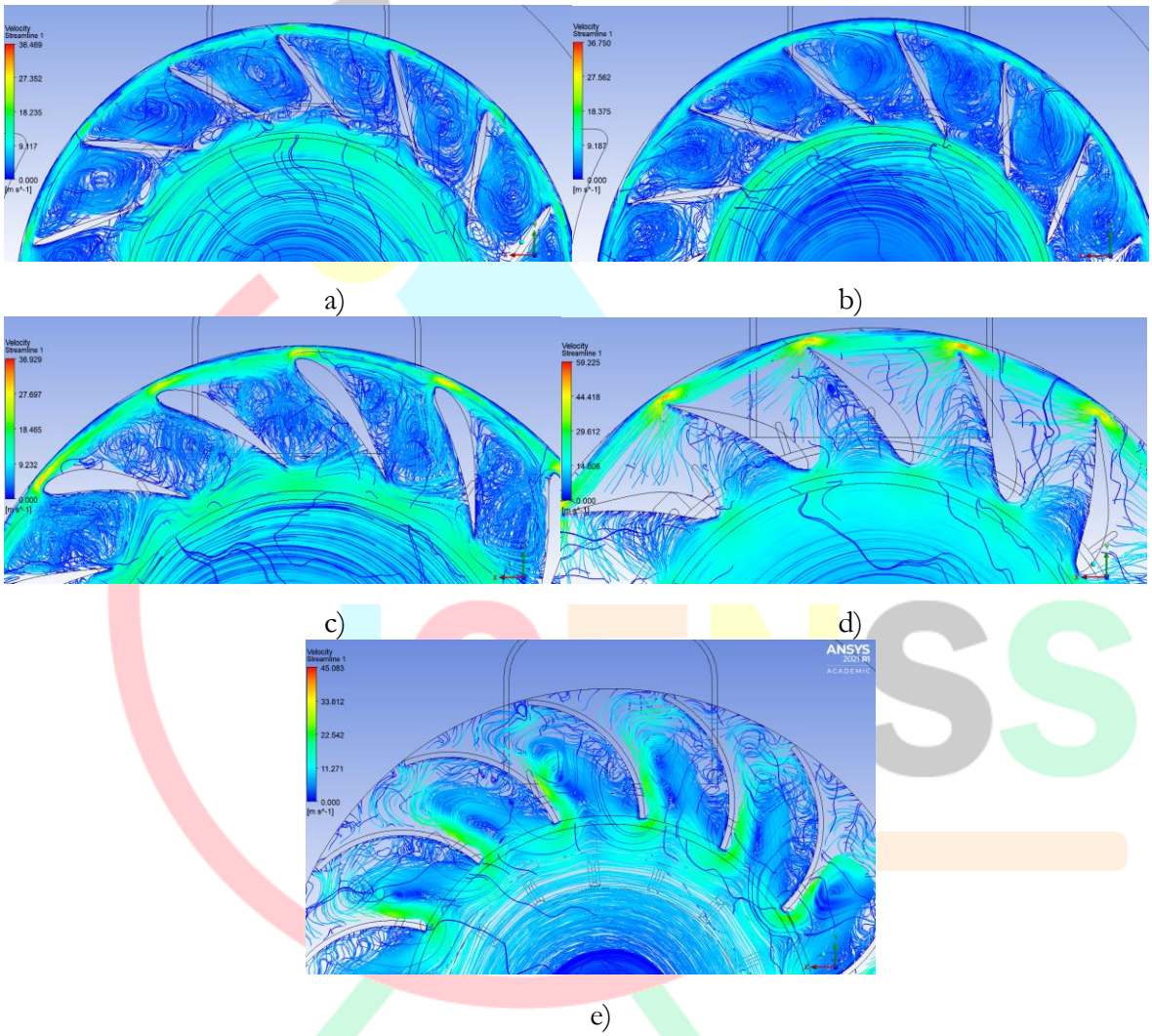
Hareketli ağ yöntemi kullanılarak uygulanan geçici rejim çözümlemelerinde çarkın dönme hızı 2500 dev/dakika olarak alınmıştır. Sınır şartları için havanın giriş hızı 25 m/s belirlenmiştir. Referans değerleri ise giriş yüzeyinden itibaren hesaplanmak üzere belirlenmiştir. Çözüm ayarları için SIMPLE algoritması seçilmiştir.

## 4.Bulgular ve Tartışma

Naca 0006 kanat yapısının fırar kenarı çark yönüne olan fan analizi için kanatlar etrafında oluşan akış çizgileri Şekil 7a'da gösterilmektedir. Radyal kanat yapısı kullanılan fan ile kıyaslandığında kanatlar arasında daha az akış ayrılmaları olduğu görülmektedir (Şekil 7e). Analiz sonucu Naca 0006 kanadın fırar kenarı çark dışına doğru olduğu analiz ile benzerlik gösterse de kanatlar arasında daha fazla türbülans oluştuğu görülmektedir. Naca 0006 kanadın fırar kenarı çark dışına doğru olan fan için kanatlar etrafında oluşan akış çizgileri Şekil 7b'de gösterilmektedir. Kanatların fırar kenarlarında türbülans oluştuğu görülmektedir. Eppler 421 kanadın fırar kenarı çark yönüne olan fan için kanatlar etrafında oluşan akış çizgileri Şekil 7c'de gösterilmektedir. Radyal kanat yapısı kullanılan fan ile kıyaslandığında kanatların arasında daha az akış ayrılmaları olduğu görülmektedir. Radyal kanat yapısı kullanılan fan tasarımında hava, kanatların orta noktasına gelemeden ayrılmalara uğrarken Eppler 421 kanat yapısı kullanılan fanda hava, kanat yüzeylerinden daha az ayrılmalara uğramıştır. Kanatlar arasında türbülanslı akış oluşmaktadır. Kanat uçlarında hava hızı artış göstermektedir. Eppler 421 kanadın fırar kenarı çark dışına doğru olan fan için kanatlar etrafında oluşan akış çizgileri Şekil 7d'de gösterilmektedir. Fırar kenarı çark yönüne doğru olan analiz ile kıyaslandığında sonuçlar farklılık göstermektedir. Elde edilen sonuca göre hava, kanatlar arasında varlık gösterememiş ve kanat yüzeyinde ayrılmalara uğramıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Düz radyal kanat yapısının kullanıldığı fan için kanatlar etrafında oluşan akış çizgileri Şekil 7e'de görülmektedir. Havanın kanatlar etrafında oluşturduğu akış çizgileri incelendiğinde kanadın üst ve alt bölgesinde farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Kanatların üst bölgesi için akış, kanat ucuna doğru azalma gösterirken kanadın alt bölgesinde daha fazla tutunmuştur. Hava hızı kanadın üst bölgesinde çark merkezine yakın olan bölgede daha yüksektir. Bu bölgede yaklaşık olarak hava hızı 25 m/s değerindedir. Ayrıca hava, kanadın merkez bölgesine gelmeden kanat yüzeyinden ayrılmış ve türbülanslı akış haline gelmiştir.



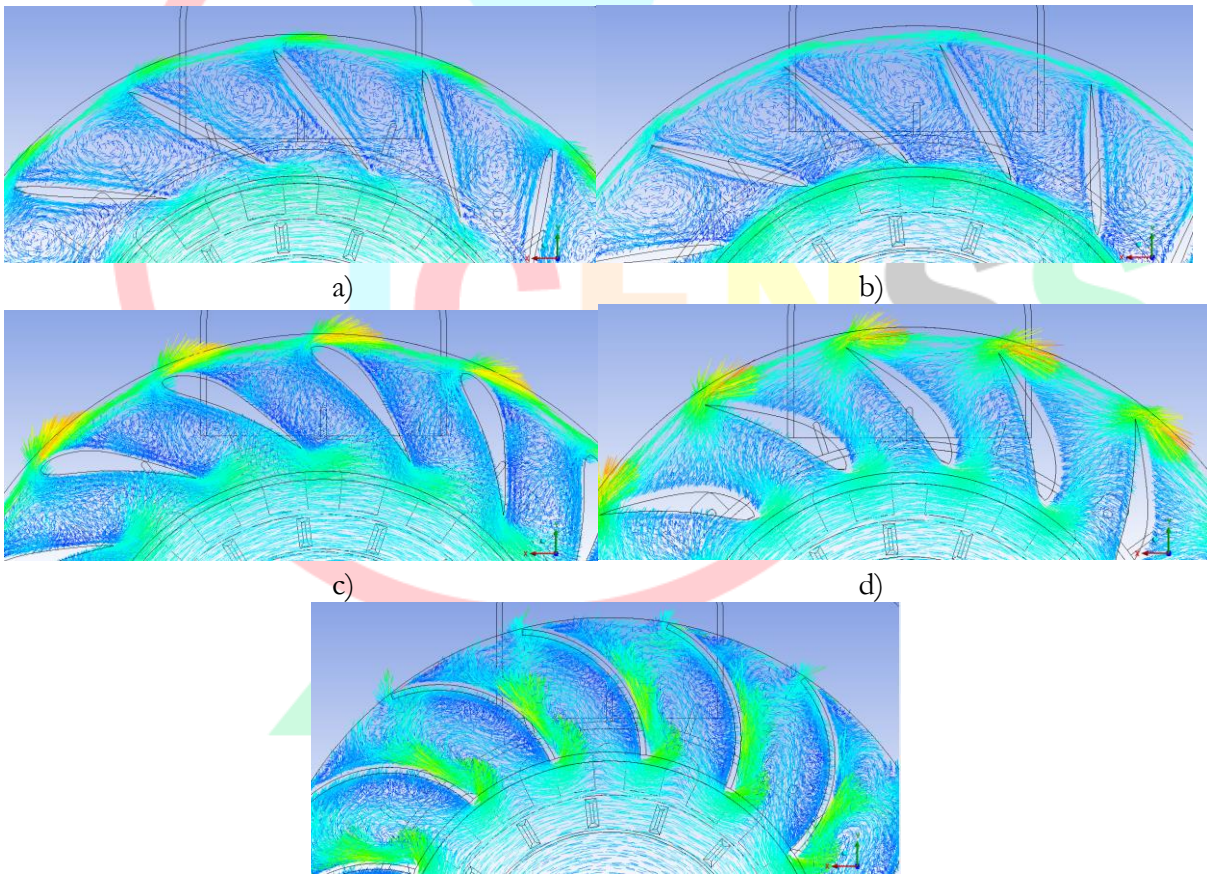

Şekil 7. Kanatlar etrafında oluşan akış çizgileri a) Naca 0006 kanat yapısı kullanılan çark b) Naca 0006 kanat yapısı ters kullanılan çark c) Eppler 421 kanat yapısı kullanılan çark d) Eppler 421 kanat yapısı ters kullanılan çark e) Radyal kanat yapısı kullanılan çark

Kanatlar üzerinde oluşan hız değerleri incelendiğinde Naca 0006 kanadın firar kenarı çark yönüne olan fanda kanatlar arasında oluşan hız değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir (Şekil 8a). Kanat uçlarında oluşan hız değeri Eppler 421 kanat profili kullanılan fan tasarımlarına kıyasla daha düşüktür. Kanat ucunda hız yaklaşık 18 m/s'dir. Naca 0006 kanadın firar kenarının çark dışına doğru konumlandırıldığı fan için havanın çark üzerinde oluşturduğu hız değerini incelediğinde kanatlar arasında benzer değerlerin elde edildiği görülmektedir (Şekil 8b).

ISBN: 978-605-71156-5-2

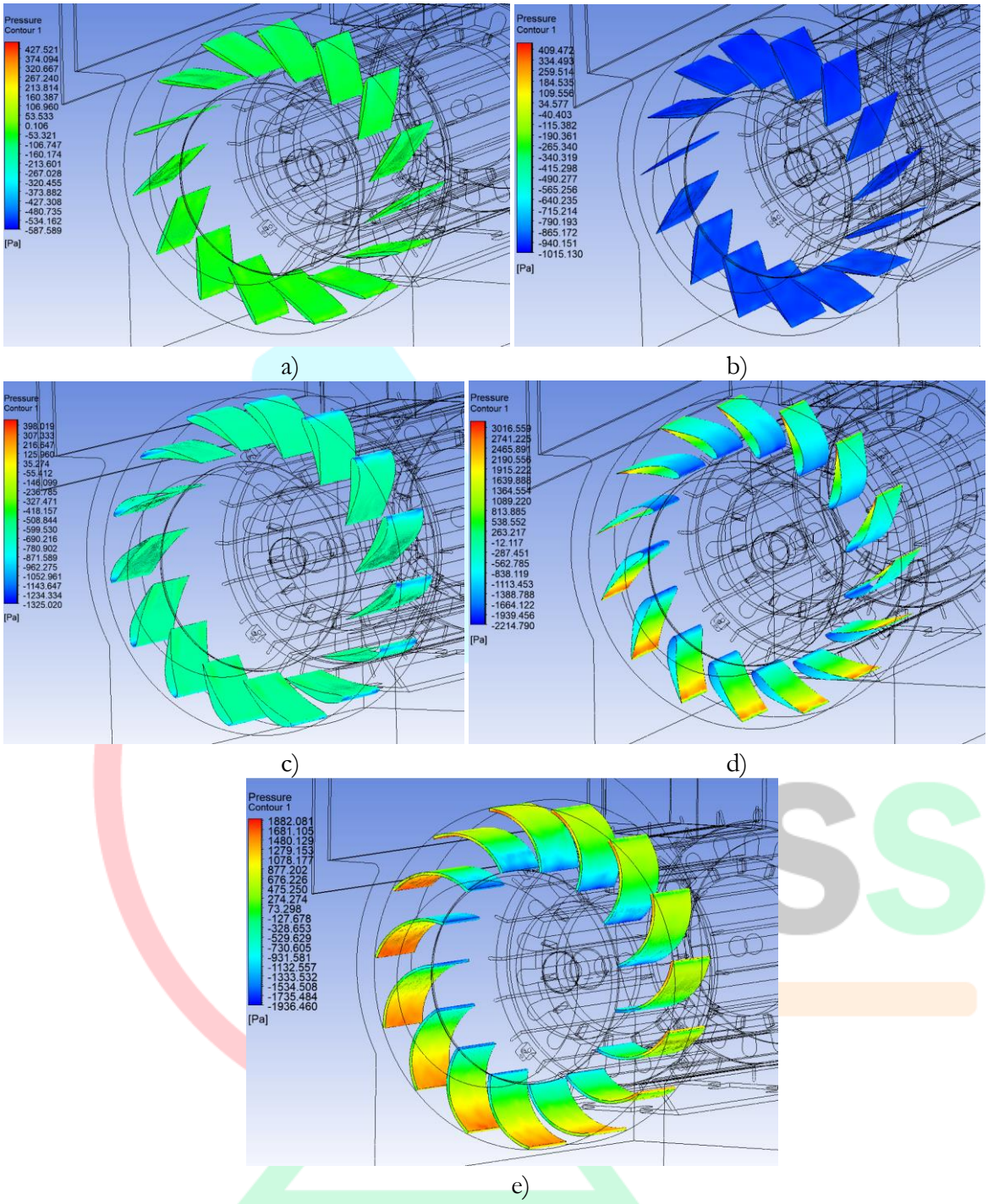
Şekil 8c'de Eppler 421 kanadın fırar kenarı çark yönüne doğru olduğu fan için çark üzerinde oluşan hız vektörleri incelendiğinde hız vektörünün en yüksek değerini kanatların uç kısımlarında aldığı görülmektedir. Hava, fana 25 m/s ile girmiş olsa da çark içerisinde kullanılan kanat yapıları sebebiyle kanat uçlarında havanın hızı 30 – 36 m/s değerlerine ulaşabilmektedir. Eppler 421 kanat yapısının alt ve üst yüzeyi incelendiğinde hız değişiminin kanadın dip ve uç kısmında daha fazla değişkenlik gösterdiği, alt ve üst yüzeyi arasında hızın yaklaşık olarak aynı değerleri aldığı görülmektedir. Eppler 421 kanadın fırar kenarı çark dışına doğru yerleştirildiği fan için çark üzerinde oluşan hız incelendiğinde en yüksek değerini yine kanatların uç kısmında aldığı görülmektedir. Ancak, diğer analize kıyasla kanatların uç kısmında oluşan hız değeri 36 m/s değerinden 59 m/s değerine kadar artış göstermiştir (Şekil 8d).

Düz radyal kanat yapısının kullanıldığı fan için çark üzerinde oluşan hız vektörleri Şekil 8e'de gösterilmektedir. Kanatlar etrafında oluşan akış çizgileri incelendiğinde kanadın üst tarafında dip bölgesi için hız değerinin yaklaşık 25 m/s olduğu sonucuna ulaşılmıştı, burada da aynı sonuç görülmekle beraber kanat uçlarına doğru hız değerinin azaldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Kanatların alt bölgesinde özellikle dip bölgesinde hızın en düşük değerini aldığı görülmektedir. Alt bölge için ise kanat ucuna doğru hızın artış gösterdiği sonucuna da ulaşılmaktadır.




Şekil 8. Çark üzerinde oluşan vektör çizgileri a) Naca 0006 kanat yapısı kullanılan çark b) Naca 0006 kanat yapısı ters kullanılan çark c) Eppler 421 kanat yapısı kullanılan çark d) Eppler 421 kanat yapısı ters kullanılan çark e) Radyal kanat yapısı kullanılan çark

ISBN: 978-605-71156-5-2



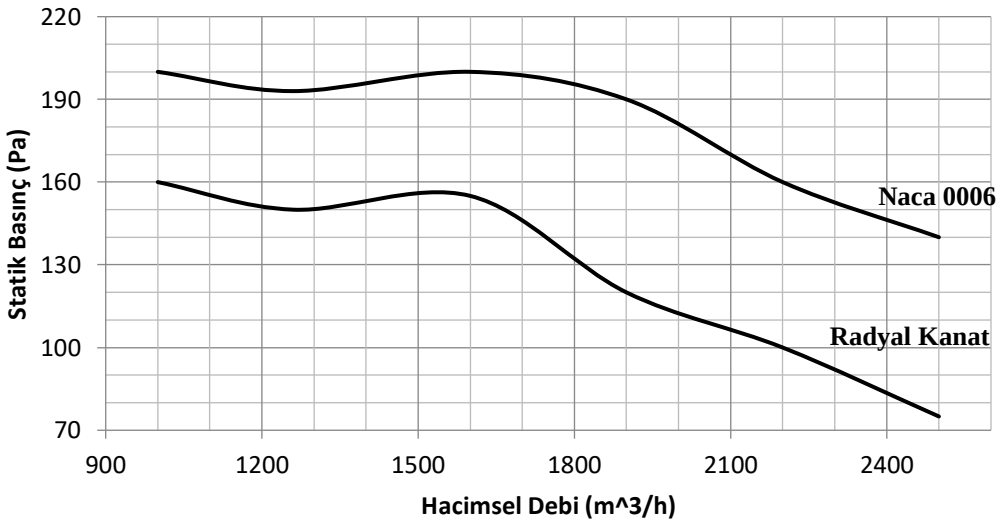

Şekil 9. Kanat yüzeyi üzerindeki basınç değişimi a) Naca 0006 kanat yapısı kullanılan çark b) Naca 0006 kanat yapısı ters kullanılan çark c) Eppler 421 kanat yapısı kullanılan çark d) Eppler 421 kanat yapısı ters kullanılan çark e) Radyal kanat yapısı kullanılan çark

Şekil 9'da kanatlar üzerindeki basınç değişimi incelendiğinde radyal kanat yapısının kullanıldığı fanda kanat yüzeyleri arasında farklı, Eppler 421 kanadın fırar kenarı çarka doğru kullanıldığı fanda kanat yüzeylerinin genel olarak aynı basınçta ancak uç kısımda basıncın azaldığı ve Naca 0006 kanadın fırar kenarının çarka doğru olduğu fanda kanadın tüm yüzeylerinde aynı

ISBN: 978-605-71156-5-2

basınç değerinin elde edildiği görülmektedir. Naca 0006 kanadın firar kenarının çark dışına doğru konumlandırıldığı fan tasarımının sonucunda kanat yüzeyleri arasında aynı basınç değerinin elde edilmiştir. Ancak, burada elde edilen basınç değeri - 940 Pa olarak görülmektedir. Düz radyal kanat yapısının kullanıldığı fanda kanatlar üzerindeki basınç değeri Şekil 9e'den de görüldüğü üzere -1936 Pa ile 1882 Pa arasında değişkenlik göstermektedir. Genel olarak kanadın iç yüzeyinde oluşan basınç değeri daha yüksektir. Kanadın iç yüzeyinde oluşan basınç dağılımında kanat uçlarına doğru basıncın arttığı görülmektedir. Basınç en yüksek değerini kanatların iç yüzeyinde ve kanat ucunda almıştır. Kanadın iç yüzeyi için basıncın kanat diplerinde -931 Pa değerinden kanat ucuna doğru 1882 Pa değerine kadar artış gösterdiği görülmektedir. Kanatların dış yüzeyi incelendiğinde ise basıncın yine kanat dibinden ucuna doğru artış gösterdiği görülmektedir. Ancak, burada basınç her ne kadar giderek artış gösterse de kanadın iç yüzeyinde oluşan basınç değeri kadar artış göstermemektedir. Kanadın üst yüzeyi için kanat diplerinde basınç değeri yaklaşık olarak -1735 Pa değerini alırken kanat uçlarında bu değer 475 Pa değerine ulaşmaktadır.

Çark içerisinde kullanılan kanat yapıları arasında oluşan akış çizgileri, kanatlar üzerinde oluşan hız ve basınç dağılımları incelendikten sonra analiz edilen debi değerinde elde edilen statik basınç değerleri de göz önüne alınarak düz radyal kanatlı fan ile kıyaslanmak üzere fan seçimi yapılmıştır. Fanlar Q=1200 $m^3$/h debi değerinde analiz edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Naca 0006 kanadın firar kenarının çark yönüne doğru yerleştirildiği fanda statik basınç 185 Pa, çark dışına doğru yerleştirildiği fanda 193 Pa olduğu; Eppler 421 kanadın firar kenarının çark yönüne doğru olduğu fanda 200 Pa ve çark dışına doğru yerleştirldiği fanda 188 Pa elde edilmiştir.




Şekil 10. Fanlara ait karakteristik eğriler

Sonuçlar doğrultusunda kanatlar üzerinde basınç farklılığı oluşmaması, türbülanslı akışın diğerlerine kıyasla az oluşması, kanat uçlarında yine diğerlerine kıyasla daha düşük hız değeri elde edildiği ve aynı debi değerinde diğer fanlara kıyasla daha yüksek statik basınç değeri elde edilebildiği için Naca 0006 kanadın firar kenarının çark dışına doğru kullanıldığı fan tasarımı tercih edilmiş ve radyal kanat yapısı kullanılan fan ile performans eğrileri kıyaslanmıştır. Fanların karakteristik eğrilerini elde edebilmek için düz radyal kanat ve Naca 0006 kanat yapısı kullanılan fanların farklı

ISBN: 978-605-71156-5-2

debi değerleri altındaki sonuçlarını incelendiğinde Şekil 10'dan görülebileceği üzere fan sisteminde Naca 0006 aerodinamik kanat kullanılması ile aynı debi değerleri için daha yüksek statik basınç değerleri elde edilebilmektedir.

**5.Sonuçlar**

Bu çalışmada beş farklı radyal fan tasarımı oluşturularak çark içerisinde kullanılan kanat yapılarının ve pozisyonlarının sonuca olan etkisi incelenmiştir. Teorik hesaplamalarda çark çıkışındaki akışkan hızının yüksek olmasının iyi olduğu ancak akışkanın bu yüksek hız sebebiyle sahip olduğu kinetik enerji kanatlar arasında tekrar potansiyel enerjiye dönüştürüleceği zaman yani statik basınç elde edilirken bu hızın önemli kayıplara sebep olduğu açıklanmıştır. Bu da fan veriminin düşmesine sebep olacaktır. Mevcut çark çıkışındaki hız değerinin küçültülmesi kayıpların azalmasını sağlayacağından seçilecek olan fanın kanat çıkışlarındaki hızının düşük olması verim üzerinde olumlu bir etki yaratacaktır. Ayrıca kanat uçlarında yüksek hız değerinin oluşması fanda meydana gelen gürültü seviyesini artıracak bir durumdur. Bu sebepten giriş hava hız değerinin fan içerisinde artış göstermesi istenmez. Bu bilgiler doğrultusunda fan analizlerinden elde edilen sonuçları yorumlanmış ve uygun fan seçimi yapılmıştır.

Sonuçlar göstermiştir ki Naca 0006 kanat yapısı için firar kenarının çark dışına doğru yerleştirilmesi ile elde edilen statik basınç değeri yaklaşık olarak %5 artış göstermiştir. Naca 0006 kanat profili için firar kenarının çark dışına doğru yerleştirilmesi statik basınç değerinde artışa sebep olmuşken Eppler 421 kanat profilinde firar kenarının çark dışına doğru yerleştirilmesi statik basıncın %6 azalmasına neden olmuştur. Aerodinamik kanat profillerinin firar kenarı yönlerine göre farklı şekillerde yerleştirilmesinin sonuca olan etkisi incelendikten sonra ayrıca görülmüştür ki çark içerisinde Naca 0006 aerodinamik kanat profilinin kullanılması ile fan sisteminden elde edilebilecek statik basınç değerinde yaklaşık %29 artış sağlanabilmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Aironn Havalandırma, 2018, "Ürün Katalogları"

Akköse K.Ş., 2010, "Biomimetrik Fan Tasarımı", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Bulgurcu H., 2015, Havalandırma Tekniği, Bölüm 4: Fanlar, Bölüm 4 sy: 94-141

Canbazoğlu S., 2020, Fan Mühendisliği I, Aıronn Teknik Yayınlar, no:1, ISBN:978-975-6263-41-9 Temmuz

Karagöz İ., Kaya F., 2007, Girdaplı Akışlarda Türbülans Modellerinin Uygunluğunun İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi, Cilt: 12, Sayı:1

Kuru F., Kumlutaş d., Özer Ö., Karadeniz Z., 2013, Bir santrifüj fanın çıkış ağzı üfleme karakteristiğinin sayısal olarak incelenmesi, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, sy: 495-503

Uralcan İ. Y., Bilge M., 2003. Klima Tesisatı. TMMOB, Yayın No:MMO/2003/296-3, İstanbul

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Epoksi Reçinenin Kuruma Durumunun Bej Doğal Taşın Eğilme Dayanımına Etkisi

*Taner ÇELİK*[1]
*Servet DEMİRDAĞ*[2]

**Özet**

Doğal taşlar, inşaat sektöründe ve sanatta eski dönemlerden bu yana kullanılan en önemli doğal yapı ve kaplama malzemeleridir. Fakat oluşumundan kaynaklanan çatlaklı yapıdaki doğal taşların ocaktan blok olarak üretilip fabrikalarda levha ve plaka haline getirilmeleri esnasında önemli miktarlarda üretim kayıpları oluşmaktadır. Çatlak tamir işlemleri, bej doğal taş üretiminin en önemli aşamalarından biridir. Çünkü kesilip ticari boyutlarda levha ve/veya plaka haline getirilecek olan bej doğal taşa, epoksi ile tamir işlemleri yapılmadığı takdirde; plaka veya levha haline getirilmeye çalışılan doğal taş tamamıyla parçalanmaktadır. Bu çalışmada, çatlak sistemleri epoksi ile tamir edilen bej doğal taş numuneleri ile epoksi uygulanmamış bej numunelerin teknik özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında aynı bloktan yapısal özellikleri hemen hemen aynı olan numuneler (kırık çatlak sistemleri ve doku özellikleri) alınarak 4 gruba ayrılmıştır. 1. gruba ait numuneler hiçbir işleme tabii tutulmayan (ham), 2. grup numuneler epoksi uygulanmış ve atmosfer şartlarında kurumaya bırakılmıştır. 3 ve 4. gruptaki numunelerde epoksi uygulaması yapılarak tünel ve katlı fırınlarda kurutulmuştur. Epoksi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin farklı kurutma koşullarında 3 nokta eğilme dayanımı ve atmosfer basıncında su emme testleri yapılarak bej doğal taş örneklerindeki değişimler tespit edilmiştir. 3 nokta eğilme dayanımı deney sonuçları değerlendirildiğinde en düşük değerler epoksi uygulanmamış ham numunelerde, en yüksek değerler ise epoksi uygulanmış numunelerde elde edilmiştir. 3 nokta eğilme dayanım sonuçlarına kurutma tekniğinin etkisi incelendiğinde ise doğal kuruma (DK) ve katlı fırın (KF) yöntemlerinin daha etkili olduğu görülmüştür. Atmosfer basıncında su emme değerleri incelendiğinde ise, epoksinin kayda değer oranda kırık-çatlakları doldurduğunu ve su emme oranlarında önemli derecede azalma olduğu belirlenmiş olup kurutma tekniğinin etkisi incelendiğinde ise doğal kuruma (DK) yönteminin daha iyi olduğu görülmüştür

**Anahtar Kelimeler:** Doğal Taşlar, Bej, Çatlak, Epoksi, Kurutma Hatları, Eğilme Dayanımı

[1] Maden Mühendisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü
[2] Prof. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-7838-388X

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Giriş**

Doğal taşlar, eski çağlardan günümüze tarihi yapılarda ve anıtlarda albenisi, dayanıklılığı nedeniyle kullanılan en önemli yapı malzemeleri olmuştur. Gün geçtikçe farklı inşaat projelerinde aranan bir yapı malzemesi olan doğal taşlar özellikle iç ve dış mekân kaplama ve döşemelerde, heykelcilik, mezar taşı ve süs eşyası yapımında önemli miktarlarda kullanılmaktadır. Doğal taş madenciliği, son 20 yıldır ivme kazanan, farklı yapı, renk ve dokuda çeşitliliğin arttığı hemen hemen her projeye uygun özelliklerde üretimin yapıldığı, ülkemiz ve dünya ticareti için önemli bir sektör haline gelmiştir (Demirdağ vd., 2018; İGM, 2021).

Dünyada özellikle yapı sektöründe doğal taş kullanımında artış görülmektedir. Çünkü doğal taşların; sağlıklı, farklı renk ve dokuya sahip olmaları, çevre ile uyumlu, atmosfer şartlarına dayanıklılığı ve geri dönüşümlü bir ürün olması, başlıca özelliklerindendir. Artıklarının da çeşitli alanlarda kullanılmasıyla önemli bir çevresel problemin önüne geçilerek doğal taşların kullanımının, önümüzdeki yıllarda dünya genelinde daha da artması beklenmektedir (Aydın ve Karakurt, 2020; Demirdağ vd., 2018).

Dünya doğal taş rezervinin yaklaşık %30'na sahip ülkemizde doğal taş ihracatı, 80'li yıllarda yaklaşık 4 milyon $ iken, 90'lı yıllarda 40 milyon $, 2000 yılında 189 milyon $ ve 2006 yılında ise 1 milyar $ olarak gerçekleşmiştir. 2008 yılında Çin'de inşaat sektörü yatırımlarının yoğunlaşması ile 2006 yılında Çin'e yapılan doğal taş blok ihracatını önemli derecede arttırmıştır. 2010 yılında ise 1,5 milyar $ olan doğal taş ihracatı ilk defa 2013 yılında 2,2 milyar $ olarak gerçekleşmiştir. 2020 yılında doğal taş ihracatımız 2019 yılına göre hem miktarda, hem de değerde azalış kaydederek, 1,74 milyar $, 2021 yılı doğal taş ihracatı ise 7,779 milyon ton karşılığı 2,092 milyar $ olarak gerçekleşmiştir.

Mermer ve doğal taş ocaklarında farklı boyutlarda üretilen blok taşların piyasanın istediği ebat ve özelliklerde işlendiği, parlatıldığı yerler doğal taş fabrikalarıdır. Ocaklardan getirilen düzgün ve/veya düzgün geometriye sahip olmayan bloklar kırık-çatlak yapıları, renk homojenliğine ve piyasanın istediği ebatlara bağlı olarak levha ve plaka hattı olarak tanımlanan ST (dairesel testerelerle plakadan blok kesimi) ve katrak makinelerinde kesim işlemleri gerçekleştirilmektedir. ST ve katrak makinelerinde uygun ebatlara getirilen levha ve/veya plakalar, kenar düzeltmeleri yapılarak sağlam, yüzeylerinin pürüzsüz ve parlak olması için tamir-dolgu-cila hatlarına gönderilirler (Şekil 1). Yüzeyleri parlatılan ve kullanıma hazır gelen ürünler kasalanarak müşteriye sunulur.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Şekil 1. ST ve katraklarda farklı ebatlarda kesilmiş plakalar/levhalar

Fakat oluşumundan kaynaklanan çatlaklı yapıdaki doğal taşlar ocaktan blok olarak üretilip fabrikalarda levha ve/veya plaka üretimleri esnasında önemli miktarlarda üretim kayıpları oluşmaktadır (Şekil 2). Üretim kayıplarının oluşması ile birim maliyetler artmakta ve en önemlisi de doğal kaynakların israfına neden olmaktadır (Acar, 2003; Zontur, 2012).

Şekil 2. Kırık-çatlak sistemlerinin genel görünümü

Ülkemiz doğal taş ihracatında son 20 yıldır en önemli ihraç malzemesi olan bej doğal taşların tamamına yakınında kırık-çatlak probleminden dolayı önemli kayıplar oluşmaktadır (Haber Teknik, 2016). Özellikle bej doğal taş üretiminde bu özellikteki çatlaklı ve kırılgan taşlarda kayıp ve

ISBN: 978-605-71156-5-2

fire oranları oldukça yüksektir. Fire oranını düşürerek ekonomikliliği artırmak için çatlak tamirinde kullanılan en önemli malzemeler epoksi esaslı reçinelerdir. Epoksi, çatlakların içerisine nüfuz edebilen kuvvetli ve akışkan bir malzemedir. Epoksi, doğal taşın çatlak yapısına göre yüzeyin tamamına veya sadece belli bir bölgeye yapılabilir (Haber Teknik, 2016; Cevheroğlu, 2005). Çatlak tamir hatlarında en önemli aşama, epoksi uygulanacak taşın yüzeyinin ve kırık-çatlak gibi süreksizliklerin içinin de temiz ve kuru olması gerekmektedir. Kurutma işlemleri doğal atmosfer şartlarında yapıldğı durumlarda doğal taş plaka/levhaların yeterli seviyede kuruması zaman almaktadır. Bu nedenle kurumanın daha hızlı olması için fırın sistemleri geliştirilmiştir. Doğal taş işleme tesislerinde epoksi ile çatlak tamir hatlarında kurutma işlemlerinde gazlı ve elektrik rezistanslı fırınlar kullanılmaktadır. Kurutma hat boyunu biraz kısaltmak için bazen IR ısıtıcılar tercih edilmektedir (MEGEB, 2008).

Doğal taş bloklarından ST'lerde veya katraklarda istenilen boyutlara ayrılan plakalar/levhalar öncellikle bünyelerindeki nemi atmak için ön kurutma işlemine tabi tutulurlar. Ön kurutmadan çıkan plakalar, işçiler tarafından fırça yardımıyla fileli veya filesiz olarak epoksi uygulaması yapılır (Şekil 3). Daha sonra 2. kurutma için fırına gönderilir. Doğal taş plakasının üretim hattında kalış süresi istenildiği şekilde ayarlanabilir. Doğal taşlarda epoksi manipülasyon süresi doğal ortamda 4 saattir. Fırınlar kullanılarak bu süre 1-1,5 saate kadar indirilmektedir. Böylelikle hem zamandan hem de alandan tasarruf sağlanmış olmaktadır. İkinci kurutmadan sonra plakalar/levhalar epoksinin tamamen polimerize olması için ortam şartlarına göre 12–24 saat süreyle doğal kurumaya bırakılır ve sonra cilalama işlemiyle birlikte nihai ürün elde edilir (Sarıışık ve Şentürk, 2003; Acar, 2003; Cevheroğlu, 2005).

Şekil 3. Ön kurutma sonrası epoksi uygulaması

Çetin (2001) çalışmasında, doğal taşların oluşumundan kaynaklanan gözenek, boşluk ve çatlaklardan dolayı doğal taşın ekonomiye kazandırılamadan kullanılamaz hale geldiğini bu nedenle hangi malzeme ve yöntemle bu problemlerin çözülebileceğini belirtmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Acar (2003) yaptığı çalışmada taşlardaki iyileşme sonucunda; pazar bulma şansının çok daha yüksek olduğunu, daha ince boyutlarda işlenebildiğini, firelerde azalma olduğunu, işlemdeki tıkanıkların giderildiğini, standart ürün, kaliteli üretim, nakliye problemlerinin azaldığını ve müşteri memnuniyetinin arttığını belirtmiştir.

Öztekin (2007) tez çalışmasında, doğal taşlara uygulanan tamir malzemelerinin maliyetlerini ve uygulanan bu malzemelerin hangi doğal taşlarda kullanılması gerektiğini ve birbirlerine göre avantajlarını irdelemiştir.

Gökdemir (2010) tez çalışmasında, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde üretilen farklı ticari isimlere sahip doğal taşlardan elde edilen blok, plaka ve levhalara uygulanan tamir yöntemlerinin kesme-işleme verimliliğine etkisini ve işletmeye sağladığı ekonomik katkıyı belirlemiştir.

Zontur (2012) Burdur ve Isparta yöresinde üretimi yapılan kireçtaşlarının bulundurduğu çatlakları epoksi ile tamir ettikten sonra verim artışını ve kayacın yapısal özelliklerindeki değişimleri incelemiştir.

Özkahraman (2017) epoksi uygulanmış bej doğal taş plakalarının daha sağlam ve dayanıklı olduğunu ve epoksi ile tamir edilmiş doğal taş plakaların, yorulma ve mikro çatlamaya karşı daha iyi direnç gösterdiğini ve su girişinden kaynaklanan bozulmaları azalttığını vurgulamıştır.

Bu çalışma kapsamında aynı bloktan yapısal özellikleri hemen hemen aynı olan numuneler (kırık çatlak sistemleri ve doku özellikleri) alınarak kırık çatlak sitemlerine epoksi uygulaması yapılmıştır. Referans numunelerde epoksi uygulanmamış olup (Ham), diğer epoksi uygulanmış numuneler atmosfer şartlarında (DK), tünel (IR) ve katlı (KF) fırınlarda kurutulmuştur. Epoksi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin farklı kurutma koşullarında 3 nokta eğilme dayanımı ve atmosfer basıncında su emme tetleri yapılarak bej doğal taş örneklerindeki değişimler tespit edilmiştir. Ayrıca bej doğal taşa ait sağlam (S) numuler (kırık çatlak içermeyen) hazırlanarak epoksinin etkisinin kayacın yapısal özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir.

**Yöntem**

Bu çalışmada Burdur bölgesinde üretimi yapılan sedimanter kökenli, mikritik dokulu bej doğal taşı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bej doğal taşların oluşumundan kaynaklanan oldukça sık çatlaklı olması ve epoksi kullanılmadan ekonomiye kazandırılması zor olduğundan bu kayaç türü seçilmiştir. Çalışma kapsamında aynı bloktan ST ile kesilmiş 5,2x63x63 cm boyutlarında plakalar kullanılmıştır (Şekil 2). Plaka seçiminde kırık-çatlak sistemlerinin yoğunluğu homojen ve birbirine çok yakın olan numunelerin seçilmesine dikkat edilmiştir. Doğal taş fabrikalarında kurutma işlemlerinde yaygın olarak tünel, katlı ve mikro dalga fırınlar kullanılmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan yöntemler ise tünel ve katlı fırınlardır (Şekil 4). Epoksi kurutmada da önemli noktalardan biri, plakaların uygun bir sıcaklıkta, enerji maliyetlerini gözönünde bulundurarak homojen bir şekilde ısıtılarak, nemin doğal taştan atılmasıdır. Diğer bir önemli kriter ise havalandırmadır. İyi bir havalandırma, doğal taş plakala/levhaların kurutulmasında ve nemin

ISBN: 978-605-71156-5-2

atılmasında, fırın ortamının ve doğal taş plaka/levha yüzey sıcaklığının aynı ve homojen dağılmasında oldukça önemlidir (İnframak, 2022).

Şekil 4. Tünel ve katlı fırınlar

İnfrared kurutma tünel fırınları teknolojisi, ışınımla ısıma yaptığından dolayı havayı hiçbir şekilde kurutmamaktadır. Fırın içindeki ısıtma grubunun düzenli ve simetrik bir şekilde dizayn edilmesi sonucunda maksimum verimle ve homojenlikle kurutma imkanı sağlanmaktadır (İnframak, 2022). Hat üzerinde sabit hızla hareket eden konveyör doğal taşın kuruması veya reçine uygulanmış yüzeyin kürlenmesi için belirli hızla hareket etmektedir. İşletmeler kendi ürünleri için optimum süreyi uygulamakta olup genellikle maksimum 3 m/dak'dır. Hava sirkülasyonunu sağlamak için kullanılan fan, ısı sirkülasyonu oluşturarak daha dengeli bir ısıtma sağlar. Doğal taş işletmelerinde üretim yöntemleri ve kapasitelerine göre birden fazla tünel fırınlar bulunmaktadır (Akras Makine, 2020). Genellikle 2 fırınlı hatlar daha çok kullanılmaktadır. Bu hatlar temel olarak yükleme ünitesi, ön kurutma fırını, reçine veya epoksi uygulama hattı, polimerizasyon için 2. fırın ve boşaltma ünitesi bulunmaktadır (Acar, 2003; Sarıışık ve Şentürk, 2003). Bu çalışmada numunelerin kurutma işlemleri 1200 cm uzunlukta, 140 cm eninde ve 64 adet IR lamba (230 v, 4000 Watt) bulunan tünel fırında gerçekleştirilmiştir.

Katlı fırın hatlar ise, tünel fırınların çok yer kaplaması ve üretim kapasitelerinin düşük olması sebebiyle tasarlanmıştır. Üretim kapasiteleri daha yüksek olup günümüzde doğal taş tamir hatlarında, özellikle levha epoksi tamir sistemlerinde daha çok tercih edilmektedirler. Çünkü, uygun sıcaklık ve enerji maliyetleri ile ısıtmanın etkinliği ve kalitesinin sağlanması önemlidir (Mermerepoksi, 2020). Bu çalışma kapsamında kullanılan numunelerin kurutma işlemleri toplam boy uzunluğu 96 m, LNG ile çalışan 40 katlı fırınlarda yapılmıştır.

Çalışmada, aynı doğal taş bloğundan alınan 5,2x63x63 cm boyutlarındaki plakaların heriki yüzü doğal taş fabrikasında rutin uygulanan epoksi ile kırık-çatlaklar tamir edilerek, ham (epoksi uygulanmamış), epoksili havada kurumuş (fırınlanmamış), tünel ve katlı fırınlarında kurutulmuş plakalar hazırlanmıştır. Doğal ortam şartlarında kuruyan numuneler 48 saat boyunca ortalama 14.5 °C sıcaklıkta ve % 55 nem ortamında bekletilmiştir. Tünel ve katlı fırınlarda ise 45°C sıcaklıkta 15 dakika boyunca kurumaları sağlanmış daha sonra fabrika ortamında 12-24 saat bekletilmiştir. Bu plakalardan standartlara uygun geometriye getirilen numuneler üzerinde laboratuvarda Yoğun yük altında bükülme dayanımı tayini (3 nokta eğilme dayanımı (3NED)) yapılmıştır (Şekil 5). Kayaçların

ISBN: 978-605-71156-5-2

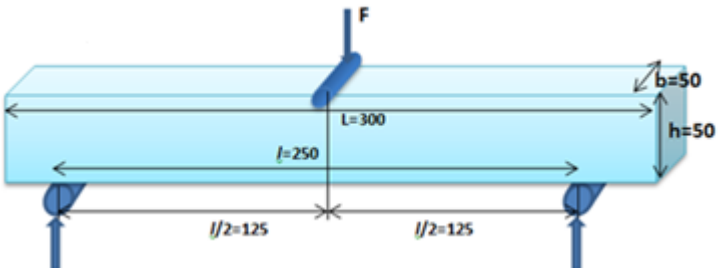
atmosfer basıncında su emme (ASE) deneyleri ise TS EN 13755 standardına göre yapılmıştır. 3NED deneylerinde kullanılan cihaza ve numune geometrisine ait görünümler Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Ayıca tamamen sağlam numuneler (kırık çatlak içermeyen) üzerinde deneyler yapılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Şekil 5. Deney numunelerinin genel görünümü

Kayaçların 3NED deneyleri TS EN 12372 standardına göre 50x50x300 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde 66 N/s yükleme hızında, UTEST marka 100 kN kapasiteli ve bilgisayar kontrollü "Elektromekanik Üniversal Test Cihazı" kullanılarak yapılmıştır (Şekil 6 ve Şekil 7).

Şekil 6. Kayaçların 3NED değerlerinin belirlenmesi

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 7. 3NED deneylerinde kullanılan numune geometri ve boyutları

TSEN standartlarına göre kayaçların 3NED değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{3NED} = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

$\sigma_{3NED}$ = Eğilme dayanımı, MPa
F = Yenilme yük değeri, N
l = Mesnetler arası mesafe, mm
b = Numunenin genişliği, mm
h = Numunenin kalınlığı, mm

**Sağlam (Kırık-Çatlak içermeyen) Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri**

Üretimi yapılan doğal taşa ait fiziksel ve mekanik özellikler ilgili standartlara göre SDÜ Maden Mühendisliği Bölümü Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında yapılmış ve Çizelge 1'de verilmiştir. Bu özellikler sağlam numuneler üzerinde belirlenmiş olup herhangi bir kırık-çatlak içermemektedirler.

Çizelge 1. Sağlam (kırık-çatlak çermeyen) bej doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri

| 3NED (MPa) | | ASE (%) | |
|---|---|---|---|
| Ort. | SS | Ort. | SS |
| 12,9 | 3,0 | 0.122 | 0.014 |

**Kırık-Çatlak İçeren ve Farklı Ortamlarda Kurutulmuş Numunelerin ASE ve 3NED sonuçları**

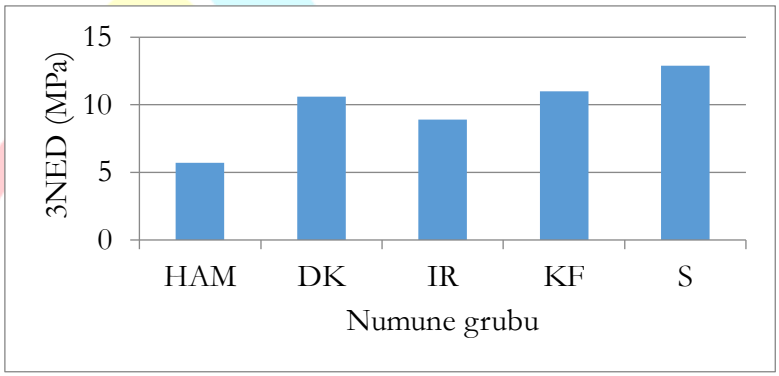
Numunelerin ASE deneyleri TS EN 13755 standardına göre minimum 8 adet kenar uzunluğu 50 mm olan küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Su emme deneyleri belirli bir geometriye sahip ve/veya olmayan numunelerin ağırlıklarına oranla, boşluklarının alabileceği su miktarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. 3NED deneyleri, TS EN 12372 standardına göre 50x50x300 mm boyutlarında 66 N/s yükleme hızında minimum 8 adet prizmatik numuneler üzerinde yapılmıştır (Çizelge 2).

ISBN: 978-605-71156-5-2

Çizelge 2. Numunelerin 3NED ve ASE sonuçları

| Kurutma Türü | 3NED (MPa) | | ASE (%) | |
|---|---|---|---|---|
| | Ort. | SS | Ort. | SS |
| Ham | 5.7 | 0.5 | 0.228 | 0.053 |
| DK | 10.6 | 2.0 | 0.056 | 0.014 |
| IR | 8.9 | 0.4 | 0.062 | 0.011 |
| KF | 11.0 | 2.5 | 0.076 | 0.010 |

3NED deney sonuçları incelendiğinde en düşük değerler epoksi uygulanmamış ham numunelerde, en yüksek değerler ise epoksi uygulanmış numunelerde elde edilmiştir. 3NED sonuçlarına kurutma tekniğinin etkisi incelendiğinde ise, DK ve KF yönteminin daha iyi olduğu görülmüştür (Şekil 8).

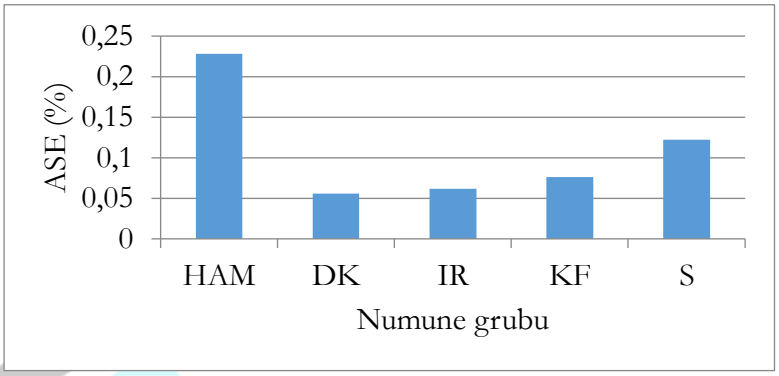



Şekil 8. Numunelerdeki 3NED değişimleri

Kırık çatlaklı plakalara epoksi uygulaması yapıldıktan sonra kayaç özellikleri sağlam (herhangi bir kırık-çatlak içermeyen) numunelerin 3NED dayanım değerlerine oldukça yaklaştığı görülmüştür. Epoksi sayesinde kullanılamayacak durumda kırık-çatlak içeren bej doğal taşlar sağlam kaya özelliklerine kavuşmuştur. Epoksi uygulaması ile, bej doğal taşların 3NED değerlerinde IR kurutmada %56, DK kurutmada %86, KF kurutmada ise % 93 oranlarında dayanım artışı olduğu tespit edilmiştir. Böylece epoksi uygulanmış bej doğal taşların daha sağlam ve dayanaklı olduğu belirlenmiştir.

ASE değerleri incelendiğinde ise ham numunelerle epoksi uygulanmış numuneler kıyaslandığında epoksinin kayda değer oranda kırık-çatlakları doldurduğunu ve su emme oranlarında önemli derecede azalma olduğu görülmekte olup sağlam numuneden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 9). Bu durum şu şekilde açıklanabilir; her ne kadar sağlam numune olarak tanımlansa da mikro boyutta gözenek ve fisürlerin olduğu, bu kusurların bir kısmına epoksinin ulaştığı bir kısmına da epoksinin ulaşamadığı ve/veya yüzeylerin epoksi ile kaplanmasından dolayı su emme oranının azaldığı şeklinde yorumlanabilir. ASE sonuçlarına kurutma tekniğinin etkisi incelendiğinde ise DK yönteminin daha iyi olduğu görülmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 9. Numunelerdeki ASE değişimleri

**Sonuç**

Bu çalışmada Burdur bölgesinde üretimi yapılan bej doğal taşlarının epoksi ile çatlak tamiri yapıldıktan sonra uygulanan 3 farklı kurutma yöntemi; doğal, katlı ve tünel fırınlarda yapılan kurutma işlemlerinden sonra kayacın 3NED ve ASE özelliklerinin nasıl değiştiği konularında deneyler yapılmıştır. Doğal taş fabrikalarında kurutma süresinin ve verimliliğinin iyileştirilmesi, fire oranlarını ve maliyetleri düşürerek işletmelerin karlılığını arttırmaktadır. Bej doğal taşın tamirinde kullanılan kurutma türlerine göre elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Kırık çatlaklı bej doğal taş plakalarına epoksi uygulaması yapıldıktan sonra kayaç özellikleri sağlam (herhangi bir kırık-çatlak içermeyen) numunelerin 3NED dayanım değerlerine oldukça yaklaştığı görülmüştür. Epoksi uygulaması ile, bej doğal taşların 3NED değerlerinde IR kurutmada %56, DK kurutmada %86, KF kurutmada ise % 93 oranlarında dayanım artışı olduğu tespit edilmiş olup kurutma tekniğinin etkisi incelendiğinde ise DK ve KF yönteminin daha iyi olduğu görülmüştür.

Bej doğal taşların ASE değerleri incelendiğinde ise, epoksinin kayda değer oranda kırık-çatlakları doldurduğunu ve su emme oranlarında önemli derecede azalma olduğu görülmekte olup sağlam numuneden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. ASE sonuçlarına kurutma tekniğinin etkisi incelendiğinde ise, DK yönteminin daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynakça**

Acar, H., 2003. Doğal Taşlarda Çatlak Tamir ve Gözenek Dolgu Sistemleri. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, 18–19 Aralık 2003, Afyonkarahisar, 415-434.

Akras Makine, 2020. Erişim Tarihi: 17.01.2020. www.akrasmakina.com/urunler/tunel-kurutma-firini-epoksi-tunel-mermer-kurutma-firini.

Aydın, G., Karakurt, İ. 2020. Doğaltaş Üretim ve İşleme Tesisi Atıklarının Değerlendirilmesi. *ALKU Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 62-77.

Çetin, F., 2001. Gözenek ve Çatlak Uygulama Örnekleri ve Bu Uygulamaların Getirdiği Kazançlar. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, 3–5 Mayıs 2001, Afyonkarahisar, 445-449.

Demirdağ, S., Altındağ, R., Şengün, N., Akbay, D., 2018. Isparta Yerel Ekonomik Kalkinma Vizyonu 2018 Isparta İli Mermercilik ve Doğal Taş Sektörü Analizi. *Adım Matbaacılık*, ISBN: 978-605-9454-27-8, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta-Aralık 2018, 85.

Cevheroğlu, S., 2005. Diyarbakır Yöresindeki Bazı Mermer Türlerine Uygulanan Dolgu Yöntemlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 49s, Adana.

Gökdemir, F., 2010. Doğal Taş Blok, Plaka ve Striplerine Uygulanan Kimyasal Dolgu-Güçlendirme Yöntemlerinin Verimliliklerinin Araştırılması. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 89s, Diyarbakır.

Haber Teknik, 2016. Erişim Tarihi:03.04.2022. https://www.haberteknik.com.tr/katli-firinlarda-epoksi-uygulamalari/

İGM 2021. Doğal Taşlar Sektör Raporu. *Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, İhracat Genel Müdürlüğü, Maden, Metal ve Orman Ürünleri Dairesi*, 10s.

İnframak, 2022. Erişim Tarihi:20.02.2022. https://inframak.com/UrunListesi/292/10/

MEGEB 2008. Makine Teknolojisi, Mermer Plaka Cilalama ve Dolgu. *Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi*, s:45, Ankara.

Mermerepoksi, 2020. Erişim Tarihi:10.01.2020. http://www.mermerepoksikatlifirin.com/?pnum=5&pt=Mermer+Epoksi+Tamirat

Özkahraman, H.T., 2017. The Advantages of Epoxy Resin in Marble Surface Treatment. *9th International Marble and Natural Stones Congress and Exhibition of Turkey, MERSEM 2017*, 13-15 Aralık - December 2017 Antalya-TURKEY, 115-119.

Öztekin, L., 2007. Doğal Taşlarda Uygulanan Kimyasallar Epoksi ve Polyester Uygulanmış Doğal Taşlarda Çekme ve Eğilme Dayanımı Sıcaklık İlişkisi. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 69s, İstanbul.

Sarıışık, A., Şentürk, A., 2003. Doğaltaş Tamirinde Epoxy, Polyester, Mastik Dolgulu ve Çimentolu Dolguların Uygulanma Kriterleri. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Mersem 2003*, 18-19 Aralık 2003, Afyonkarahisar, 553-565.

TS EN 12372, 2007. Doğal taşlar-Deney Metotları-Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanımı Tayini. *TSE*, Ankara.

ISBN: 978-605-71156-5-2

TS EN 13755, 2014. Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini. *TSE*, Ankara.

Zontur, Ö., 2012. Zayıf Kireçtaşı Plakalarının Kimyasal Yöntemle İyileştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 113s, Afyonkarahisar.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Lise Öğrencilerinin Alan Seçimlerinin Eğitsel Veri Madenciliği Yöntemleri ile Tahmini

*Uğur Ataseven*[1]
*Pınar Yıldırım*[2]

**Özet**

Eğitsel Veri Madenciliği (EVM), eğitim alanından elde edilen veri türlerini araştırmak, öğrencileri ve öğrenim ortamlarını daha iyi tanıyabilmek amacıyla yöntemler geliştiren bir araştırma alanıdır. Eğitimde büyük verinin analiz edilerek anlamlı bilgilere ulaşılabilmesi, örüntü ve eğilimlerin ortaya çıkarılması, tahmin ve karar verme uygulamaları, öneri sistemlerinin geliştirilmesi gibi konularda EVM yöntemleri ve teknikleri kullanılabilir. EVM, birçok alanın bir araya gelmesiyle meydana çıkmıştır. Bu alanlar; bilişsel bilim, eğitim, istatistik ve psikometri alanlarının birleşimi olarak düşünülebilir. EVM öğrenenleri ve öğrenme ortamlarını daha iyi anlamayı hedeflemektedir. Bu çalışmanın amacı, öğrencilere uygulanan çeşitli envanter sonuçlarından yola çıkarak lise alan seçimine olan etkilerini veri madenciliği yöntemleri ile analiz etmektir. Sınıflandırıcı algoritmaların uygulanması sonucunda alan seçimlerin başarımında Random Forest en iyi tahmini gerçekleştirmiştir. Araştırma sonuçlarının gelecekte bu konuda çalışma yapacak araştırmacılara kılavuz olması beklenmektedir. Bu nedenle araştırmacılar tarafından farklı değişkenler üzerinden farklı bakış açıları geliştirilerek yeni çalışmaların yapılması önerilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Eğitsel veri madenciliği, Sınıflandırma algoritmaları, Veri analitiği, Alan seçimi

[1] Öğrenci, İstanbul Okan Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği,
[2] Bölüm Başkanı, İstanbul Okan Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği,

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

İş dünyasında yaygın olarak kullanılan veri madenciliği eğitim alanında çeşitli uygulama alanlarına sahiptir (Yükseltürk vd., 2014). Eğitim alanında, veri madenciliği ve analizleri de büyük bir dönüşüm potansiyeline sahiptir: insanların öğrenmesini keşfetmek, öğrenmeyi tahmin etmek ve gerçek öğrenme davranışını anlamak için kullanılabilir. Böylelikle eğitim sistemi çıktılarında önemli bir kalite düzeyi yakalanabilir. Eğitimsel veri madenciliği, bu hedeflere ulaşarak daha iyi ve daha akıllı öğrenme teknolojisi tasarlamak ve öğrenenleri ve eğitimcileri daha iyi bilgilendirmek için kullanılabilir (Baker, 2014).

Eğitim alanında yapılan çalışmalara bakıldığında veri madenciliğinin sınıflandırma, kümeleme, birliktelik kuralları gibi yöntem ve tekniklerinin öğrencilerin başarılarına, ilgilerine göre kümelenmesi, ilgi alanlarının ve eğilimlerinin tespit edilmesi görülmektedir. Lise kademesinde alan seçimi meslek hayatımızın üzerinde önemli bir role sahiptir. Lise dönemi alan seçiminde öğrenciler ilgi alanlarına ve seçmek istedikleri mesleklere yönelik Türkçe-Sosyal ağırlıklı, Matematik-Fen ağırlıklı, Türkçe-Matematik ağırlıklı derslerinden oluşan eğitim programlarından sadece birini tercih edebilmektedir.

### Veri madenciliği ve eğitsel veri madenciliği

Veri madenciliği, hem yararlı hem de anlaşılabilir verilerle, alışılmamış yollarla, verileri özetleyen ve gizli ilişkileri ortaya koyan bir analiz yöntemidir (Larose, 2006). Bu yöntem, öncelikle bilinmeyen desenlerin ortaya konması amacıyla bilimsel ve teknik veri araştıran, veri tabanındaki bilgi keşfi süreçlerinden biridir (Rokach ve Maimon, 2008:2).

Disiplinler arası nitelik taşıyan veri madenciliğini en yaygın kullanan bilim dalları; veritabanı sistemleri, istatistik, matematik, makine öğrenmesi, görselleme ve bilişim bilimleridir (Han ve Kamber, 2006: 29).

Veri madenciliği, verinin bütününü kullanması bakımından diğer istatistiksel verilerden ayrılmaktadır. Bu yöntemle, geleneksel yollarla elde edilmiş küçük verilerle çalışma yerine daha kolay değerlendirme yapabilecek, yeni bağımsız veriler tercih edilebilmektedir (Weiss ve Zhang, 2003: 426).

Sınıflandırma, günlük yaşamda çok sıklıkla başvurulan bir işlemdir. Sınıflandırma ile nesneler bölünerek ayrıştırılır, yani karşılıklı olarak özel ya da genel kategorilerden her biri bir sınıf olarak atanabilir. Pek çok pratik karar verme işlemi, bir sınıflandırma problemi olarak formüle edilebilir. Örneğin kişiler ya da nesneler birçok kategoriden biri olabilir (Bramer, 2007: 23).

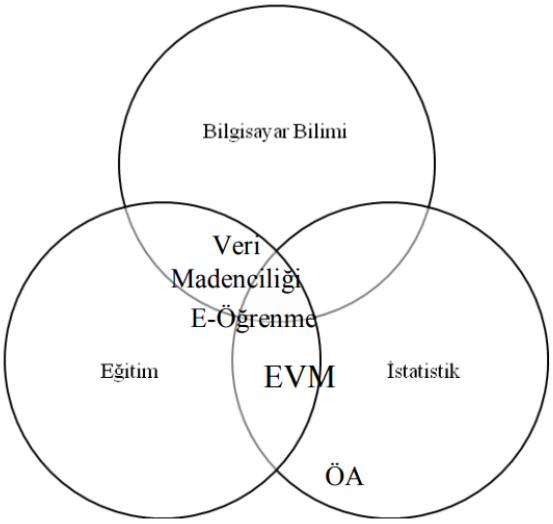
### Eğitsel veri madenciliğinin teorik arkaplanı ve tarihsel gelişimi

Eğitim alanında yapılan çalışmalara bakıldığında veri madenciliğinin sınıflandırma, kümeleme, birliktelik kuralları gibi yöntem ve tekniklerinin öğrencilerin başarılarına, ilgilerine göre kümelenmesi, ilgi alanlarının ve eğilimlerinin tespit edilmesi, öğrenme içeriklerinin otomatik olarak sunulması, kavram yanılgıların ortaya çıkarılması gibi amaçlar için kullanıldığı görülmektedir. Veri

ISBN: 978-605-71156-5-2

madenciliğinin eğitim alanında kullanımı EVM adıyla yeni bir çalışma alanının doğmasına sebep olmuştur. Bu açıdan bakıldığında EVM, veri madenciliğinin eğitim alanına yönelik bir alt kümesi olarak düşünülebilir. Alan yazına bakıldığında EVM konusu ile ilgili çok sayıda bilim insanı tarafından pek çok tanımın yapıldığını görmekteyiz. Calders ve Pechenizkiy (2012)'ye göre EVM, eğitim içerisinde kullanılan çeşitli bilgi sistemlerinden elde edilen verileri keşfetmeye yönelik yöntem ve teknikler geliştiren çok disiplinli bir araştırma alanıdır. EVM, öğrencilerin öğrenme biçimlerinin anlaşılmasına katkıda bulunur ayrıca mevcut eğitim uygulamaları ve öğrenme materyali geliştirmeye yönelik veri odaklı karar vermeyi sağlar. Diğer bir tanıma göre ise EVM, veri madenciliği yöntem ve tekniklerinin, eğitsel sorulara cevap bulabilmek için eğitim ortamlarından gelen belirli veri kümesine uygulanmasıdır (Romero & Ventura, 2010).

EVM eğitimdeki diğer bir araştırma alanı olan öğrenme analitikleri (ÖA) ile de yakından ilişkilidir ve çoğunlukla bu iki alan birbirine karıştırılır. Gerçekten de öğrenme analitikleri araştırma alanı kapsamında; EVM'nin amaçları arasında da yer alan öğrencilerin nasıl öğrendiklerini anlamak için ilgili verilerin ölçülmesi, toplanması, analizi ve raporlanması gibi çalışmalar yer almaktadır. Dolayısıyla EVM ile öğrenme analitikleri arasındaki çizginin çok da katı olmadığı söylenebilir. Öğrenme analitikleri ile EVM arasındaki ayrım daha çok araştırma öykülerinin farklılığı ve gelişim süreci ile ilgilidir (Pe a-Ayala, 2014). EVM, veri madenciliğinin ilişkili olduğu temel alanlara ilave olarak e-öğrenme, öğrenme analitikleri gibi eğitim konularıyla da yakından ilişkilidir. EVM'in ilişkisinin bulunduğu alanlar Şekil 1 ile gösterilmiştir.




**Şekil 1.** EVM diğer disiplinlerle olan ilişkisi (Romero & Ventura, 2010)

EVM çalışmaları eğitim içerisinde yer alan aktörlere sunabileceği katkıları şu şekilde sıralayabiliriz:

**Öğrenciler:** EVM çalışmaları öğrencilerin ihtiyaçlarına cevap vermede, öneriler sunmada, performanslarını ve motivasyonlarını arttırmada, düşüncelerini ve öğrenmelerini desteklemede katkı sunabilmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Öğreticiler:** EVM çalışmalarının öğreticilere sunduğu katkı ise; öğreticinin öğrencilerin öğrenme sürecini daha iyi anlaması, yeni öğretim yöntem ve tekniklerinin geliştirmesi, öğretim performanslarının arttırılması, öğrencilerin ilgi ve yeteneklerinin ortaya çıkarılması, veri odaklı karar verme ve gruplama yapabilme olanağı sağlaması şeklinde sıralanabilir.

**Eğitim Yöneticileri:** EVM çalışmaları sonucunda elde edilen bulgulara göre eğitim yöneticileri görev yaptıkları organizasyonların içerisinde kaynakların daha etkili kullanımı, veri odaklı karar alma olanağına sahip olabilmektedir.

**Araştırmacılar:** EVM çalışmaları sonucundaki bulgulara dayalı yeni yöntem tekniklerin geliştirilmesi öğrenmenin nasıl gerçekleştiğinin daha iyi anlaşılması, öğrencilerin ilgi, yetenek ve tutumların ortaya çıkarılması gibi eğitimle ilgili önemli soruların cevaplanmasında eğitim araştırmacılarına katkı sunabilmektedir.

## YÖNTEM

Bu çalışmada öğrenci verilerinden Yüksek Öğretim Sınavı (YKS) sınavına girmeden önce seçtikleri alan seçimini tahmin etmek amacıyla veri madenciliği yöntemlerinden sınıflandırma teknikleri ve algoritmaları kullanılmıştır. Öğrencilerden elde edilen verilere dayanarak, bir öğrencinin öğrenme çıktılarını tahmin etmek için en sık kullanılan teknikler sınıflandırma, kümeleme ve ilişkisel kural madenciliğidir. Çalışmada öğrencilere en uygun alan seçimi tahmininde "SMO (Sıralı Minimum Optimizasyon), Linear SVM (Doğrusal Destek Vektör Makineleri), Decision Tree (Karar Ağaçı), NaiveBayes (Naif Bayes), K-nearest neigborhood (K-En Yakın Komşu), Random Forest (Rastgele Orman)" sınıflayıcıları olmak üzere çeşitli sınıflandırma teknikleri denenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Dengesiz veri setleriyle öğrenmenin, makine öğrenmesinde problem olduğu açıktır. Bu problemi ortadan kaldırmak için dengesizliğin azaltılması veya etkisinin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Literatürde bunun için çok fazlaca çözüm önerisi sunulmuştur (Guo ve ark., 2017). Dengesiz veri setleri problemini ortadan kaldırmak için sıklıkla kullanılmakta olan "yeniden örnekleme" yöntemlerinden üç tanesi aşağıdadır;

- Kolerasyona Dayalı
- SpreadSubsample
- Resample
- SMOTE

Bu çalışma 2015 – 2021 yılları arasında Okan Kolejinden mezun olmuş öğrencilerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu bağlamda, bu çalışmada Okan Koleji öğrencileri örneklem olarak seçilmiştir. Örneklem tabakları saptandıktan sonra, her tabaka içinde birbirine denk kümeler (alan seçimi yapan öğrenciler) saptanmış belirli sayıda öğrenci çekilerek, 254 örnek seçilmiştir. Öğrencilerin kimlik bilgileri gizli tutularak bu çalışmada öğrencilerin alan seçimine karar vermede etkili olduğu düşünülen Akademik Benlik Kavram Ölçeğinde 170 bağımsız değişkenden 22 adet

ISBN: 978-605-71156-5-2

soru, Çoklu Zeka Öleçeğinde 80 bağımsız değişken 7 adet soru, Öğrenme Stilleri ölçeğinde 33 bağımsız değişken 5 adet soru seçilmiştir.

**Naive bayes algoritması**

Naive Bayes algoritması EVM uygulamalarında sınıflandırma yönteminde kullanılan oldukça etkin bir algoritmadır ve olasılık teorisi içerisinde yer alan Bayes teoremini temel alır. Dolayısıyla bu algoritma olasılık temelli bir algoritmadır. Naive Bayes algoritmasına göre, X={x1,x2,...,xn} veri seti içerisindeki xi özelliklerinden meydana gelen ve sınıfı bilinmeyen veri örneği, C1,C2,..,Cn ise sınıf etiketleri olmak üzere, hangi sınıfa ait olduğu belirlenmesi istenen örnek için (1) formülü yardımıyla olasılık değerleri hesaplanır.

$$\boldsymbol{P(C \perp i \dashv\mid X) = (P(X \dashv\mid C \perp i)P(C \perp i))/P(X)} \qquad \textbf{(1)}$$

Algoritma formülündeki X örneğinin her bir xi özelliği birbirinden bağımsız olduğu ve diğerini etkilemediği kabul edilir. Veri örneğinin her bir özelliğinin olasılık değerleri çarpılarak P(X|Ci) formülüne (2) ulaşılır.

$$\boldsymbol{P(X \mid C_i = \prod_{k=1}^{n}[(P(x_k \mid C_i)]\ )} \qquad \textbf{(2)}$$

P(X) değeri tüm sınıflar için sabit bir değerdir. Bundan dolayı, veri örneğin hangi sınıfa ait olacağına karar vermede formülün payında yer alan $\boldsymbol{P(X \dashv\ \mid C \perp i)P(C \perp i)}$ değeri kullanılır ve bu değeri en yüksek olan sınıf söz konusu veri örneğinin sınıfı olarak kabul edilir.

**En yakın k-Komşu algoritması**

En Yakın k-Komşu algoritmasında ise, veri seti içerisinde sınıfları belli olan tüm veri örnekleri bir vektör uzayında temsil edilir. Bu veri örneklerinin vektör uzayındaki konumları kullanılarak yeni veri örneğinin sınıfı belirlenmeye çalışılır. Bu amaçla, vektör uzayında temsil edilen ve sınıfı belirlenmek istenen veri örneğinin, sınıfı belli olan diğer tüm veri örneklerine olan uzaklıkları Öklit formülüne göre hesaplanır (3). Bu uzaklıklardan en yakın k tanesi seçilerek bu örneklerden çoğunluğu hangi sınıfa ait ise sınıfı belirlenmek istenen veri örneğinin sınıfı bu sınıf olarak kabul edilir. Sınıf belirlenirken en yakındaki veri örneklerinin sınıflarının çoğunluğu söz konusudur. Bundan dolayı, eşit çıkma olasılığını ortadan kaldırmak için algoritmada k değeri için genellikle 1, 3, 5 gibi tek sayılardan seçilir.

$$\boldsymbol{d(i,j) = \sqrt{\sum_{k=1}^{p}(x_{ik} - x_{jk})^2}} \qquad \textbf{(3)}$$

ISBN: 978-605-71156-5-2

**J48 Algoritması**

J48, J. Ross Quinlan tarafından geliştirilen çok popüler C4.5 algoritması temeline dayanan bir karar ağacı algoritmasıdır. Karar ağaçları bir makine öğrenmesi algoritmasından bilgi temsil etmede klasik bir yoldur ve veri yapılarını ifade etmekte güçlü ve hızlı bir yol sunar. Bu algoritma verileri özyinelemeli olarak sınıflandırır. Bu işlem eğitim verilerinin maksimum doğruluğunu sağlar ama verilerin sadece belirli davranış özelliklerini tanımlayan aşırı kurallar oluşturabilir (Nizam ve Akın, 2014).

J48 Algoritması; Enformasyon Kazancı Teorisine (Information Gain Theory) dayanarak, verilerden ilgili özellikleri seçmek için otomatik işlem yeteneğine sahiptir. Enformasyon kazancının en iyi olduğu noktadan örnekleri bölen yinelemeli algoritmadır. IF-THEN kurallarına dayalı bir karar ağacı ve —üyelik fonksiyon kümeleri –membership functionsetsçıktısı verir. Ağaç yapısı, denekleri bölme ve ağacın en iyi kök değişkeninin seçilmesi süreci ile başlayıp yukarıdan aşağıya doğru inşası gerçekleştirilmektedir. J48, anlamlı olmayan diğer bir deyişle zayıf dalları kesmek için etkin bir budama işlemi yapabilmektedir. Bunun nedenlerinden biri, karar ağaçlarının amacının veri keşfetmek değil, veriler üzerinde basit bir sınıflandırma modeli oluşturmak olmasındandır (Daş ve Varol, 2013).

**SMO (Sequential minimal optimization)**

SMO (Sequential Minimal Optimization), herhangi bir ekstra matris depolaması olmaksızın ve sayısal QP optimizasyon adımlarını kullanmadan SVM QP problemini hızlıca çözebilen basit bir algoritmadır. SMO, her adımda mümkün olan en küçük optimizasyon problemini çözmeyi seçer. Standart SVM QP problemi için mümkün olan en küçük optimizasyon problemi iki Lagrange çarpanını içerir, çünkü Lagrange çarpanları lineer bir eşitlik kısıtlamasına uymalıdır. Her adımda, SMO, ortaklaşa optimize etmek için iki Lagrange çarpanını seçer, bu çarpanlar için en uygun değerleri bulur ve SVM'yi yeni optimal değerleri yansıtacak şekilde günceller. (Platt, 1998).

**Random forest**

Rastgele Orman (Random Forest) karar ağacı, veri setinde bulunan en iyi niteliklerden seçilmiş düğümleri dallara ayırmayı değil, düğümlerin her birinden rastgele alınmış niteliklerin en iyisini seçerek bütün düğümleri dallara ayırma işlemini yapar. Veri kümesinin hepsi gerçek veri setinden yer değiştirme yapılarak oluşturulur. Ağaçların geliştirilmesinde rastgele özellik tercihi kullanılmaktadır ve budama işlemi yoktur. Diğer algoritmalara göre bu algoritmanın daha hızlı ve doğru olması bu sebeptendir (Breiman, 2001).

**BULGULAR**

Veri seti üzerinde önce örnekleme algoritmaları kullanılmamıştır ve daha sonra kullanılarak, bu algoritmaları değerlendirmek için sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır. Örnekleme algoritmaları olarak Kolerasyona dayalı seçilen nitelikler, SpreadSubsample, Resample, SMOTE kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi için SMO, J48, IBK, Naive Bayes, RandomForest sınıflandırma algoritmaları tercih edilmiştir. Aynı işlem beş sınıflandırıcı algoritma için tekrarlanmıştır. Tablo 9'da

ISBN: 978-605-71156-5-2

örnekleme algoritmalarının doğruluk oranlarını götermektedir. Çalışmada, WEKA 3.9.5 yazılımı kullanılmıştır. WEKA, veri madenciliği çalışmaları için bir makine öğrenme algoritmalarını barındıran açık kaynaklı bir programdır. Yazılım, veri ön işleme, özellik seçimi, sınıflandırma, kümeleme, birliktelik kuralları ve görselleştirme için araçlar barındırmaktadır (WEKA,2022).

Sınıflandırma sonuçlarının değerlendirmesi için bir çok performans ölçütü vardır. Recall, pozitif olarak tahmin edilen değerin gerçek pozitiflere oranı (TP/(TP+FN)) şeklinde ifade edilmektedir. En iyi performansa sahip algoritmayı bulmak için precision ve recall ölçütlerinden yararlanılmaktadır. Bunun yanında en iyi algoritmaya karar vermek zordur. Bu nedenle, sonuçları analiz etmek için bir başka ölçüt olan F-Measure bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır. F-Measure, precision ve recall değerlerinin harmonik ortalamasıdır ve formülü (2TP/(2TP+FN+FP)) şeklinde ifade edilmektedir. Root Mean Squared Error (RMSE)'ye göre karşılaştırma analizi de yapılmıştır ve Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8'de bütün sınıflandırma algoritmalarının sonuçlarına yer verilmiştir. n'nin veri örüntülerinin sayısı olduğu, $y_{p,m}$ tahmin edileni gösterdiği, $t_{m,m}$ bir veri noktasının ölçülen değeri olduğu m ve $t_{m,m}$ ise tüm ölçü veri noktalarının ortalama değeri şeklinde formüle edilmiştir (Küçüksille vd., 2011). Root Mean Squared Error (RMSE) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{RMSE}=\sqrt{\frac{\left(\sum_{m=1}^{n} y_{p,m}-t_{m,m}\right)^2}{n}}$$

Doğruluk oranı; sınıflandırma modellerini değerlendirmek için de bir metrik yöntemdir. Doğruluk oranı testi ile yapılan sınıflandırma modelinin ne kadar verimli olduğunun da tespiti yapılmış olur. Doğruluk oranı yüzde olarak ne kadar yüksek çıkarsa sınıflandırma modelinin de o kadar iyi çalıştığı anlaşılır.

$$\text{Doğruluk (Accuracy)} = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FN}$$

Tablo 4. Örnekleme olmadan sınıflandırıcı algoritmaların tahmin sonuçları ve süreleri

| Sınıflandırma Algoritması | Precision | Recall | F-Measure | RMSE | Seconds | Doğruluk (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SMO | 0,875 | 0,873 | 0,3562 | 0,873 | 0,21s | 87,31 |
| Decision Tree | 0,673 | 0,672 | 0,4634 | 0,672 | 0,05s | 67,16 |
| Naïve Bayes | 0,918 | 0,918 | 0,918 | 0,2497 | 0,01s | 91,79 |
| (k-NN) (k=10) | 0,822 | 0,821 | 0,821 | 0,4198 | <1s | 82,08 |
| Random Forest | 0,927 | 0,925 | 0,925 | 0,3674 | 0.08s | 92,53 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 5. Korelasyona dayalı göre sınıflandırıcı algoritmaların tahmin sonuçları ve süreleri

| Sınıflandırma Algoritması | Precision | Recall | F-Measure | RMSE | Seconds | Doğruluk (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SMO | 0,844 | 0,843 | 0,843 | 0,3959 | 0,5s | 84,32 |
| Decision Tree | 0,709 | 0,709 | 0,709 | 0,4363 | <1s | 70,89 |
| Naïve Bayes | 0,859 | 0,858 | 0,858 | 0,3091 | 0,01s | 85,52 |
| (k-NN) (k=10) | 0,801 | 0,799 | 0,797 | 0,4086 | <1s | 79,85 |
| Random Forest | 0,808 | 0,799 | 0,795 | 0,4084 | 0.11s | 79,85 |

Tablo 6. SpreadSubsample ile yapılan sınıflandırıcı algoritmaların tahmin sonuçları ve süreleri

| Sınıflandırma Algoritması | Precision | Recall | F-Measure | RMSE | Seconds | Doğruluk (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SMO | 0,836 | 0,836 | 0,836 | 0,4052 | 0,3s | 83,58 |
| Decision Tree | 0,730 | 0,716 | 0,715 | 0,4424 | <1s | 71,64 |
| Naïve Bayes | 0,910 | 0,910 | 0,910 | 0,2574 | 0,01s | 91,04 |
| (k-NN) (k=10) | 0,829 | 0,828 | 0,828 | 0,411 | <1s | 82,83 |
| Random Forest | 0,913 | 0,910 | 0,910 | 0,3685 | 0.2s | 91,04 |

Tablo 7. Resample ile yapılan sınıflandırıcı algoritmaların tahmin sonuçları ve süreleri

| Sınıflandırma Algoritması | Precision | Recall | F-Measure | RMSE | Seconds | Doğruluk (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SMO | 0,902 | 0,896 | 0,895 | 0,3232 | 0,02s | 89,55 |
| Decision Tree | 0,807 | 0,731 | 0,708 | 0,4082 | <1s | 73,13 |
| Naïve Bayes | 0,948 | 0,948 | 0,948 | 0,2164 | 0,01s | 94,77 |
| (k-NN) (k=10) | 0,948 | 0,948 | 0,948 | 0,2273 | <1s | 94,77 |
| Random Forest | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 0,2535 | 0.02s | 98,50 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 8. SMOTE ile yapılan sınıflandırıcı algoritmaların tahmin sonuçları ve süreleri

| Sınıflandırma Algoritması | Precision | Recall | F-Measure | RMSE | Seconds | Doğruluk (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SMO | 0,850 | 0,850 | 0,850 | 0,3873 | 0,17s | 85 |
| Decision Tree | 0,4634 | 0,4634 | 0,4634 | 0,4634 | <1s | 67,16 |
| Naïve Bayes | 0,2497 | 0,2497 | 0,2497 | 0,2497 | 0,01s | 91,79 |
| (k-NN) (k=10) | 0,4198 | 0,4198 | 0,4198 | 0,4198 | <1s | 82,08 |
| Random Forest | 0,3674 | 0,3674 | 0,3674 | 0,3674 | 0.15s | 92,53 |

Tablo 9. Veriler üzerinde yapılan sınıflandırıcı algoritmaların tahmin doğrulukları

| Sınıflandırma Algoritması | No Sampling Doğruluk | | Kolerasyona Dayalı Doğruluk | | Spread Sub Sample | | Resample | | SMOTE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Doğruluk (%) | Süre | Doğruluk (%) | Süre | Doğruluk (%) | Süre | Doğruluk (%) | Süre | Doğruluk (%) | Süre |
| SMO | 87,31 | 0,21s | 84,32 | 0,5s | 83,58 | 0,3s | 89,55 | 0,02s | 85 | 0,17s |
| Decision Tree | 67,16 | 0,05s | 70,89 | <1s | 71,64 | <1s | 73,13 | <1s | 67,16 | <1s |
| Naïve Bayes | 91,79 | 0,01s | 85,52 | 0,01s | 91,04 | 0,01s | 94,77 | 0,01s | 91,79 | 0,01s |
| (k-NN) (k=10) | 82,08 | <1s | 79,85 | <1s | 82,83 | <1s | 94,77 | **<1s** | 82,08 | <1s |
| Random Forest | 92,53 | 0.08s | 79,85 | 0.11s | 91,04 | 0.2s | **98,50** | 0.02s | 92,53 | 0.15s |

Örnekleme algoritmalı sınıflandırıcıların performans değerlendirmesi yapılmıştır ve çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir. Tablo 9'da Resample örnekleme algoritmalı Random Forest algoritması en yüksek doğruluk oranını vermiştir ve bu nedenle bu algoritmanın performansının diğerlerinden daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Süre bakımından ise gene Resample örnekleme algoritmalı IBK algoritmasının örnekleri sınıflandırması 1sn'den kısa sürmüştür.

## SONUÇ

EVM, veri madenciliği çalışmalarında önemli bir araştırma alanıdır ve eğitim alanında yapılan çalışmalara bakıldığında veri madenciliğinin sınıflandırma, kümele, birliktelik kuralları gibi yöntemlerle öğrencilerin ilgi alanlarının ve eğilimlerinin tespit edilmesi gibi amaçlar için kullanıldığı

ISBN: 978-605-71156-5-2

görülmektedir. Böylece örnekleme algoritmaları birçok çalışma için gereklilik haline gelmiştir. Bu çalışmada, öğrencilere uygulanan envanterlerden "alan seçimi" sonuçlarını tahmin etmek için örnekleme algoritmaları ile karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Veri setinin analiz etmek için dört örnekleme algoritması kullanılmıştır. Performansları ve doğrululuk oranları beş sınıflandırıcı algoritma kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme, doğrululuk oranları ve uygulama süresi esas alınarak yapılmıştır. Algoritmalardan resample örnekleme algoritması ile Random Forest sınıflandırma algoritmasının daha yüksek doğruluk oranına ulaştığı görülmüştür. Çalışma süresi bakımından ise IBK algoritması daha kısa süreye ulaşmasına rağmen Random Forest algoritması ile arasında çalışma süresi farkı göz ardı edilebilecek seviyededir. Bu nedenle Resample örnekleme algoritması ile Random Forest daha iyi performansa ulaştığı söylenebilir. Örnekleme yöntemlerinin sınıflandırma algoritmalarının performansını arttırdığı söylenebilir. Bu çalışmada Resample örnekleme algoritmasının diğer algoritmalardan daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları bu alanda çalışan kişiler için yeni varsayımlar geliştirilmesine katkı sunabilir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynakça**

Yukselturk, E. Ozekes, S. ve Türel, Y.K., (2014). "Predicting Dropout Student: An Application of Data Mining Methods in an Online Education Program", European Journal of Open, Distance and e-Learning, 17 / No. 1.

Baker, R.S., (2014). "Educational Data Mining: An Advance for Intelligent Systems in Education", IEEE Intelligent Systems, 29, 3.

Larose, D. T. (2006). Data Mining Methods and Models, A John Wiley & Sons,

Rokach, L. and Maimon, O.(2008), Data Mining with Decision Trees, World Scientific, New Jersey Second Edition, Morgan Kaufmann Publications, San Francisco

Han, J. and Kamber, M. (2006). Data Mining: Concepts and Techniques

Weiss, S. M. ve Zhang, T. (2003). Performance Analysis and Evaluation, The handbook of Data Mining, Edited by. Nong Ye, Lawrence Erlbaum Associates Publishers. London, 436-439.

Bramer, Max (2007). Principles of Data Mining, Springer, London.

Romero, C., & Ventura, S. (2010). Educational data mining: A review of the state of the art. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, 40(X), 601–618. https://doi.org/10.1109/TSMCC.2010.2053532

Pe a-Ayala, A. (2014). Educational data mining: Applications and trends. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02738-8

Nizam, H., Akın, S.,S.,(2014). Sosyal Medyada Makine Öğrenmesi ile Duygu Analizinde Dengeli ve Dengesiz Veri Setlerinin Performanslarının Karşılaştırılması, XIX Türkiye'de İnternet Konferansı, Yaşar Üniversitesi, İzmir.

Daş, B. ve Varol, A. (2013).2D:4D Sayısal Parmak Oranına Göre Bireylerin Kişilik Durumlarının Sınıflandırılması, International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS'13)

Platt, J. C. (1998). Sequential Minimal Optimization: A Fast Algorithm for Training Support Vector Machines, Technical Report MSR-TR-98-14

Breiman L., (2001), Random forests,machine learning, 2001 Kluwer Academic Publishers, 45(1), 5-32.

Küçüksille EU, Selbas R, Şencan A., 2011, Prediction of thermodynamic properties of refrigerants using data mining. Energy conversion and management, 52: 836-848.

WEKA (2021). Weka 3: Data Mining Software in Java. http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka.

Guo, H., Li, Y., Shang, J., Gu, M., Huang, Y. ve Gong, B., 2017, Learning from class-imbalanced data: review of methods and applications, *Expert Systems with Application*, 73, 220–239.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Bir İşletmenin İnsan Kaynakları Bölümünde Çalışan Seçim Sürecinin Eniyilenmesi

*Ayşenur BATI*[1]
*Gültekin ÖZDEMİR*[2]

**Abstract**

It consists of many parts due to its hierarchical structure in the existence order of an enterprise. The structure of the sections considered as a whole is divided into sections integrated with today's technology. The various departments are strategically united in a single headquarters. The department in the main center is considered to be big companies and it has been obtained as a result of researches revealed as "Human Resources". In order for the operation of a business of this scale to be optimal, it must be able to provide sufficient and correct personnel power. All these requirements bring the technology to support an enterprise's optimization effort in the stochastic process. In today's era, there are many algorithms at macro level that each business uses in its own personnel-job pair. The main purpose of the algorithm is to create a function that is an objective function and set it as a key. In all this direction; the aim of the thesis is to make optimization studies in the general structure of an enterprise by using the classification methods of data mining in the human resources department. While performing the optimization work, support is taken from the programming language Python. After developing the candidate infrastructure required for the job, the answers given to the questions presented to the candidates are considered, and a character analysis is performed by assigning meaning to the words in the answers in the program language. Therefore, it was tried to be ensured in a short time that the suitability of all personel-work couple.

**Keywords:** Human Resources, Optimal, Python, Assigning Meaning, Developing Data

[1] Yüksek Lisans Öğrencisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü Orcıd: 0000-0001-9663-0119
[2] Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orcıd: W-2514-2017

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

Dünya varoluşunun ilk anından şu ana kadar gelişen ve dönüşen yaşamda iş hayatı denen olgunun ortaya çıkışı yadsınamaz ölçüde belirleyici olmaktadır. Dolayısıyla çalışmanın, insan ihtiyaçlarından kaynaklandığı ve medeni bir varlık olarak toplumsal ilişkileri ortaya çıkardığı düşünülmektedir. Çünkü çalışma olgusu, çalışmanın yapıldığı şarta, zamana ve kültüre ve mekana göre değişebilmektedir. Küreselleşen dünya üzerinde çok farklı boyutlar kazanan çalışma M.Ö. 5000'li yıllardan 2001'li yıllar da meydana gelen olaylar ile günümüze kadar değişerek gelmektedir. Süreç aşağıda bulunan çizelge 1'deki gibidir (Ören & Yüksel, 2012: 36).

Çizelge 1. Çalışma Hayatı Süreci

| | | |
|---|---|---|
| - | **M.Ö. 5000'ler** | **: "Yerleşik Düzene Geçiş"-"Takas Ekonomisi"** |
| - | **M.Ö. 3000'ler** | **: "Fiyata Dayalı Mübadele Sistemi"** |
| - | **M.Ö. 2000'ler** | **: "Bimetalizm"** |
| - | **15,-16. Yy.da** | **: "Keşifler Dönemi"** |
| - | **17. Yy.da** | **: "Merkantilizim ve Fizyokrasi Akımları"** |
| - | **20. Yy.da** | **: "Neo-Klasik Okul Kurulması"** |
| - | **1973 yılında** | **: "1.Petrol Krizi" (5. Km Taşı)** |
| - | **1980 yılında** | **: "Dışa Açık Büyüme" (6. Km Taşı)** |
| - | **11 Eylül 2001.2de** | **: "Neo Liberal Model (Laissez Faire)** |

Sanayi Devrimi, insan ve hayvan gücüne dayalı üretim anlayışından, makine gücünün hayatı ele aldığı üretim anlayışına geçişi temsil etmektedir. İlk zamanlarda 18.yüyzyılda İngiltere'de, dokuma sektöründe ortaya çıkan bu devir, daha sonrasında hızla yayılmıştır (Tutar, 2013: 67).

Sanayi Devrimi ile birlikte, insanlık tarihinde bir dönüm noktası şeklinde meydana gelmiştir. Batılı insanlarının hayat standartları değişmekte ve nüfus artışını beraberinde getirmektedir (Küçükkalay, 1997: 52). Hızlı bir şekilde Sanayi Devriminde insanların çalışma düzenine ayak uydurabilmek, iş stresini daha az, iş tatminini daha yüksek tutabilmek için Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisini ele almak gerekmektedir. Şekil 1.1'deki piramide göre; bireyin gelişimi ve buna bağlı olarak yaşam doyumunun insan gelişimini anlatan bir piramittir (Kula & Çakar, 2015: 196).

ISBN: 978-605-71156-5-2

Şekil 1. Maslow İhtiyaç Piramidi

İş hayatı içinde hiyerarşi oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu yapı oluşturulurken dikey ögrgüt modeli gibi iki yönlü büyümeyi içinde barındıran modeldir. Model içinde yatay ve dikey olmak üzere iki çeşit durum bulunmaktadır. İlki olan yatay modelde iş bölümü ve uzmanlaşma, ikinci dikey tipte ise daha çok yöneticinin sadece bir yönetici tarafından yönetilme ve disiplini sağlamanın daha kolay olduğu bir modeldir (Aksay, 2015: 112).

Sanayi Devriminden bu yana tüm durumlar ele alındığında tek bir departman tarafından işyerinin, çalışanlarının yönetilmesi gerekliliği oldukça önemlidir. Dolayısyla böyle bir durumda işeyinde çalışan tüm işçiler için işe alım sürecinden, eğitime kadar tüm detayların tek bir çatı altına toplanması işi kolaylaştıracaktır.

Günümüzde İnsan Kaynakları işe alım yaparken birçok yöntemden yararlanmaktadır. Bu yöntemlerde ilk başta doldurulması hedeflenen pozisyon için aday havuzu oluşturmak olacaktır. Bı aday havuzunu bazı iş ilanı verilecek sitelerden temin edilmektedir. Temin edilen adaylar gerekli filtrelerden geçip mülakatları çağırılacaktır. Bu mülakat teknikleri türlere ayrılmaktır ve bir kısmı aşağıdaki gibidir.

- Tekniklerine Göre Mülakat Türleri :
    - Yapılandırılmış Mülakat
    - Yapılandırılmamış Mülakat
    - Karma Mülakat
    - Davranışsal-Yetkinlik Bazlı Mülakat
    - Durumsal-Sorun Çözme Mülakatı
    - Stres Mülakatı
- Görüşülen (Katılımcı) Sayısına Göre Mülakatlar Türleri
    - Birebir Mülakat
    - Sıralı Mülakat
    - Panel Mülakat
    - Toplu (Grup) Mülakat
- Diğer Mülakat Türleri (Tarhan, 2006: 46).

Uygun mülakat tekniği, eleme sonrası geriye kalna adaylara yapıldıktan sonra aday seçim sürecine girilmektedir. Ancak bu durum yeterli kalmayabilmektedir. Araştırma süresince gerçek

ISBN: 978-605-71156-5-2

verilere dayandırılması hedeflenen bu tip olayda, bu şekilde işe alınan kişilerin işyerinde kalması ya da başka deyişle işyerinde uzun yıllar çalışması olumlu sonuçlanmamıştır. Bu noktada teknolojiye ayak uydurup programlama dilleri araştırılmış ve uygun olan program dili yöntemi ile kullanılabilir boyuta getirilmektedir. Bu çalışmada amaç; işe alım sürecinde iş-personel uyumunu kısaltmak ve net bir yola doğru yol almasını sağlamaktır. Çalışmanın kullanılabilirliği gerçek hayatta deneyimlendiği için bilinmektedir ki sürekli geliştirilebilir olması sebebiyle de büyük dikkat çekecektir.

Çalışma içerisinde, insan kaynakları sürecinin yalnızca kısaltılması değil aynı zamanda kullanımdaki adalet duygusunun oluşturulması hedeflenmektedir. Temelde var olan personel-iş uyum sürecindeki tüm varyasyonları ele alıp, eniyileme çalışması yapılmıştır.

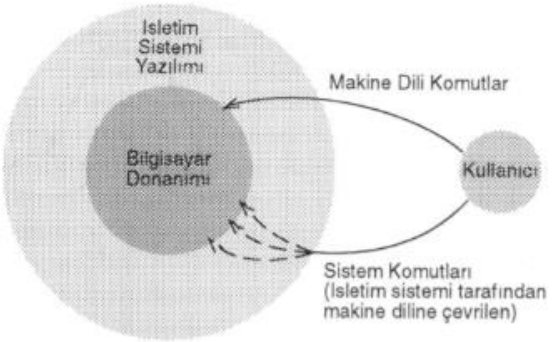
İlk olarak manuel bir işe alım sürecinden bahsedilmektedir. Adaylar ilana başvurur, ardından bir filtreden geçer. Örneğin, ikametgâh yeri, tecrübe yılı gibi. Elde kalan adaylara yukarıdaki mülakat teknikleri uygulanıp işe alım sürecine girilmektedir. Ancak çalışmada bu son aşamaya bir ekleme yapılmaktadır. Python programlama dili ile Karar Ağacı kullanırak seçim süreci. Python ve karar ağacı diğer başlıklar altında anlatılacaktır.

Mülakat aşamasına geçmeden önce Python programlama dili ve veri madenciliği sınıflama algoritmalarından Karar Ağacı ile yeni temin edilmesi gereken personelin seçilmesi sürecinden bahsedilecektir.

**İşe Alım Sürecinde Programların Yeri**

Günümüzün koşuşturması, maliyette optimum düzeyde tutma isteğini zorunda bırakmaktadır. Gelişen tekonlojiler ile işe alım sürecini bilgisayar üzerinden sağlamakta ve işe alım süreçlerinde tüm süreçler ışığında yapay zeka, genetik algoritmalar devreye girdiğinde sıfır hataya yakın, işe alım yapılabileceği araştırmalarla desteklenmektedir.

Aşağıda şekil 2'de görüldüğü gibi bilgisayar sisteminin katmanları kullanıcı ile bilgisayar donamımı arasındaki bilgi akışını göstermektedir. İşte tam bu noktada personel-iş uyumu ve programlama dillerinin birlikte hareket etmesi ile süreç kısaltılacak, daha doğru bir sonuç elde edilecektir (Eldeniz, 1994).




Şekil 2. Bilgisayar Sisteminin Katmanları (Gear, 1985: 7).

ISBN: 978-605-71156-5-2

Programlama dillerinden hangisi kullanılırsa kullanılsın mantık aynı olmaktadır. Program oluşturulurken, var olan problem ve bu problemin çözümüne yönelik geliştirilen algoritamarın takibi neticesinde kodların yazıldığı bilinmektedir. Algoritmadan kasıt, basitçe tanımlamak gerekirse, sıralı adımlardır. Buradaki sıralı adımların oluşturulması ve takip sürecindeki temel hedefi prosesi kolaylaştırmak ve sonuca ulaşmayı basitleştirmektir (Abdüsselam vd. 2021: 31).Dolayısıyla programa dili işe alım sürecinde oldukça önemli bir yere sahiptir.

**Python Programlama Dili**

Python programlama dili henüz hayatımıza girmiş bir dil değildir. Ancak ülkemizde yeni yeni popülerliğini kazanmaktadır. Dünya çapında büyük birçok firma Python programlama dilini kullanmaktadır. 1991 yılında Guido van Rossum tarafından oluşturulmuş bir dildir. Web geliştirme, matematik, komut dosyaları ve ağlar ile ilgili kullanım sağlamaktadır (Harwani, 2012: 88). Ayrıca Python programlama dili söz diziliminin basit olmasından dolayı hem program yazmanın hem de yazılan bu programı okumasının diğer dillere kıyasla daha kolay olduğu belirtilmektedir (Özgül, 2013: 6).

Python dili nesne yönelimli bir programala dilidir. NYP/OPP olarak bilinmektedir. Her işlev nesneler olarak soyutlanır ve yüksek seviyeli diller olarak adlandırılırlar. Sınıflarında meydana gelen her bir değişkene nesne adı verilip, sınıf nesnelerin özelliklerini saklamaktadırlar (Kayademir, 2020: 2). Python dilinin öne çıkan yönleri şekil 3'deki gibidir. (Saralıoğlu, 2014: 13);

Şekil 3. Python Dilinin Öne Çıkan Yönleri

Python söz dizimi denilen syntax adlı bir yapıya sahiptir. Syntax demek program dilinin kuralları demektir. Tüm program dillerinin kendine has kuralları bulunmaktadır. Python'da bu durum İngilizce anahtar kelimelerle anlatılmaktadır (Bilgin vd., 2021: 420). Anahtar kelimeler aşağıda bulunan çizelge 2'deki gibidir (Kargın, 2020: 4)

ISBN: 978-605-71156-5-2

Çizelge 2. Python Anahtar Kelimeler

| PYTHON ANAHTAR KELİMELER | | | | |
|---|---|---|---|---|
| and | in | true | false | if |
| as | is | try | finally | ımport |
| assert | Lamda | While | for | elif |
| async | None | With | from | Else |
| await | Nonlocal | yield | global | Except |
| break | Not | class | Or | Continue |
| Pass | def | del | raise | Return |

Python anahtar kelimelere ek olarak nesne tabanlı olması sebebiyle çizelge 3'deki gibi veri tipleri kullanılmaktadır. Ancak Python'un güzel bir yanı bulunmaktadır. Değişkenin oluşturulduğu sırada tipini belirtmemize gerek olmamasıdır. Atanan değere göre değişken tipi otomatik olarak belirlenmektedir. Ayrıca C dillerinden farklıolarak parantez yerine girinti mekanizmasından yararlanılmaktadır. (Kargın, 2020: 13).

Çizelge 3. Python Veri Tipleri

| **Veri Tipi İsmi** | **Türü** | **Kısaltması** |
|---|---|---|
| String Veri Tipleri | Metin | str |
| Numerik Veri Tipleri | Sayısal | int, float, complex |
| Sequence Veri Tipleri | Sıralama | list, tuple, range |
| Mapping Veri Tipleri | Haritalama | dict |
| Set Veri Tipleri | - | set,frozenset |
| Boolean Veri Tipleri | - | bool |
| Binary Veri Tipleri | - | bytes, bytearray, memoryview |

Pyhton'da değişkenler bulunmaktadır. Bu değişkenler geçici olarak veri saklamak için oluşturulan alanlardır. Örneğin şekil 4'de görüldüğü gibi a,b ve c değişkenleri geçici alanlarda tanımlanmıştır. Bu üç değişkene atama yapılmış ve sonuç vermiştir. Ancak tanımlanmayan geçici "l" değerine atama yapılmadığı için hata alınmaktadır (Ardahanlı, 2021:2).

ISBN: 978-605-71156-5-2

```
a = 10
b = 20
c = a + b
l
print(a)  # 10
print(b)  # 20
print(c)  # 30
print(l)  # NameError: name 'k' is not defined
```

Şekil 4. Örnek Değişken Tanımlama

Python'da bir diğer anlatılması gereken ise operatörler, semboller ve özel sözcüklerdir. Aritmetik, mantıksal işlemler ve ilişkileri karşılaştırmak için kullanılmaktadırlar. Çizelge 4'de bazıları görülmektedir.

Çizelge 4. Operatörler, Semboller ve Özel Sözcükler

| **Operatör Şekli** | **İsmi** |
|---|---|
| + | Toplama |
| - | Çıkarma |
| * | Çarpma |
| / | Bölme |
| ** | Kuvvet |
| // | Tam Sayı Bölme |
| % | Mod |
| == | Eşit mi? |
| != | Farklı mı? |
| > | Büyüktür? |
| < | Küçüktür? |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Çizelge 4. Operatörler, Semboller ve Özel Sözcükler (Devamı)

| | |
|---|---|
| >= | Büyük veya eşittir? |
| <= | Küçük veya eşittir? |
| is | Değerler eşit mi? |
| is not | Değerler farklı mı? |
| in | İçeriyor mu? |
| not in | İçermiyor mu? |

Atama operatörleri ise verileri bir değişkene depolamak ya da sağ taraftaki değerin sol taraftaki değere ataması için kullanılmaktadır. Bunlar çizelge 5'deki gibidir (Çelen, 2021: 7).

Çizelge 5. Python Atama Operatörleri

| Şekil | İsmi |
|---|---|
| += | Artırarak Atama |
| -= | Eksilterek atama |
| *= | Çarparak atama |
| /= | Bölerek atama |
| **= | Kuvvet alarak atama |
| //= | Tam sayı bölerek atama |
| %= | Mod alarak atama |

Python ile ilgili olarak aşağıdaki çizelgede verildiği gibi birçok konu bulunmaktadır. Ancak yukadrı genel olarak Python işleyişinden bahsedilmektedir. Çok fazla detaya girilmemiş, kısıtlı ölçüde ön bilgi verilmiştir. Yöntem kısmında yeterli bilgi verilecektir.

## KARAR AĞAÇLARI(Desicion Tree)

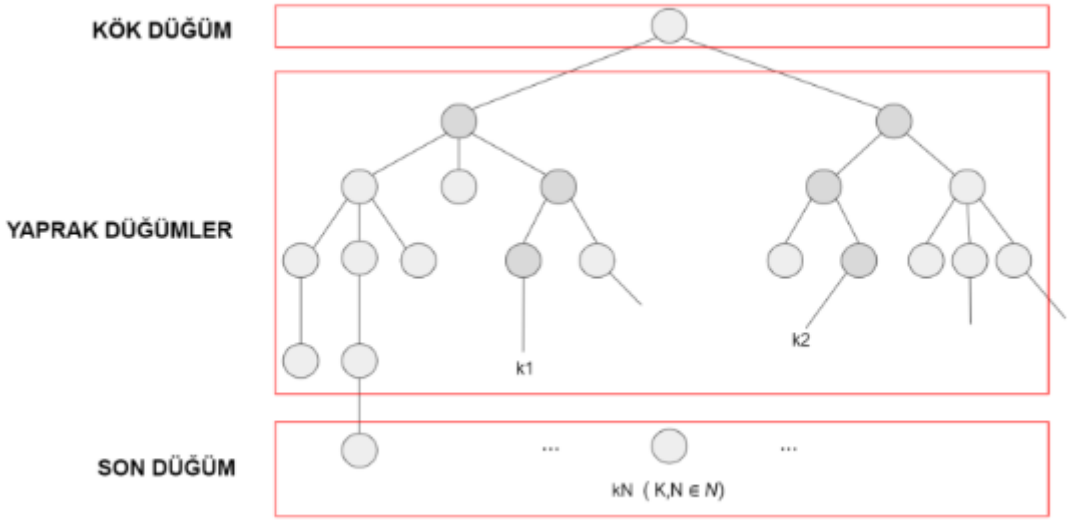
Veri madenciliği ile tahmin örneği oluşturulması sürecinde en ideal olarak kullanılan yöntemlerden biri Karar Ağacıdır. Karar Ağaçları, örnek veriden, tümevarım yöntemiyle öğrenilmiş olan bir türdür. Basit karar verme ünüyle, büyük parçaları, verileri çok daha küçük veri gruplarına bölerek kullanılan bir karar yapısıdır. Diğer istatistik analizlere göre daha detaylı bilgiye sahip olunması sağlamaktadır. Karar ağacını kurmak, sonucunu yorumlamak açısından oldukça önemlidir. Ayrıca sistemlere oldukça hızlı entegre olmaktadır (Ersöz vd., 2016: 219).

ISBN: 978-605-71156-5-2

Karar ağaçları yaygın olarak aşağıdaki alanlarda kullanılmaktadır:

- Belli sınıfın elemanlarının belirlenmesinde
- Belirli bir grubu kategoriye ayrılmasında
- Çok sayıda değişken arasından en önemlisinin seçilmesinde
- Gelecek olayların tahmininde,
- Sürekli değişkenlerin kesikli değişkenlere dönüştürülmesinde kullanılmaktadır (Albayrak, 2009: 40).

Karar ağacının kullanıldığı algoritmalarda, verilerin üzerinde uygulanan çeşitli regrasyon modelleri için alternatif örüntü modeli keşfi gerçekleştirilir (Öztürk, 2020: 6). Şekil 5'de görüldüğü gibi çalışmamızda hedeflenen pozisyonun doldurulması için kök düğümü, sonrasında adayları temsil eden yaprak düğümü ve uygun olarak seçilen personeli temsiz eden son düğümü anlatmaktadır




Şekil 5. Karar Ağacı Modeli

Karar Ağacının çalışma içerisindeki yerinden bahsedilirse; karar verme yapıları oluşturulurken akış diyagramları kullanılır. Karar ağaçları bu anlamda gerekli akış diyagramı ile işlem yaparak veri setini parçalamaya çalışır. Çalışma içinde de Python programlama dilini kullanılarak sınıflama yapmakta ve makine öğrenmesi ile işe alım sürecinde veri tabanında yer alan bilgileri kullanıp, kurulan sistemi eğitmektedir. Python programlama dili, karar ağacı ile kullanırken en başından bir kod yazmaya gerek kalmadan sklearn adı verilen bir kütüphaneden veri çekerek küçük parçalara bölüp, istenen adayı bizlere sunmaktadır. Python ile karar ağacı ikilisi kullanılarak işlem daha hızlı, verimli ve az maliyetli olacaktır. İlerleyen süreçlerde uygulaması yapılıp, kullanılma sunulabilmesi oldukça olasıdır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## YÖNTEM

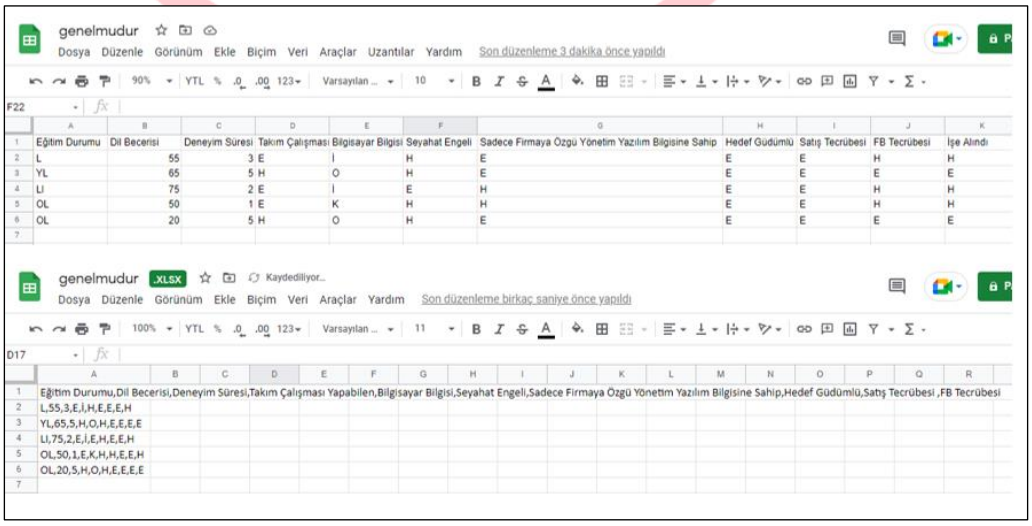
Araştırma içerisinde, turizm sektöründe (firma ismi gizli tutularak) insan kaynakları departmanının seçim sürecini; personel-iş uygunluğunu, veri sınıfı madenciliği sınıflandırma algoritmalarından Karar Ağacı algoritması ile uygulama yapılmaktadır.

İlk olarak makine öğrenme ile farklı beş ayrı departman ele alınmakta, belirli başlı sorular sorulmaktadır. Bu sorular excel formatına dönüştürülüp, Python'a aktarılmaktadır. Ardından Python'da metinsel ifadeleri matematiksel ifadelere dönüştürülmesinin ardından karar ağacı ile eğitilme yapılmaktadır. Bu departmanların metinsel ve matematiksel ifadelerinin dönüşü çizelge 6'daki gibidir.

Çizelge 6. Metinsel İfadelerden Matemariksel İfadelere Dönüşümü

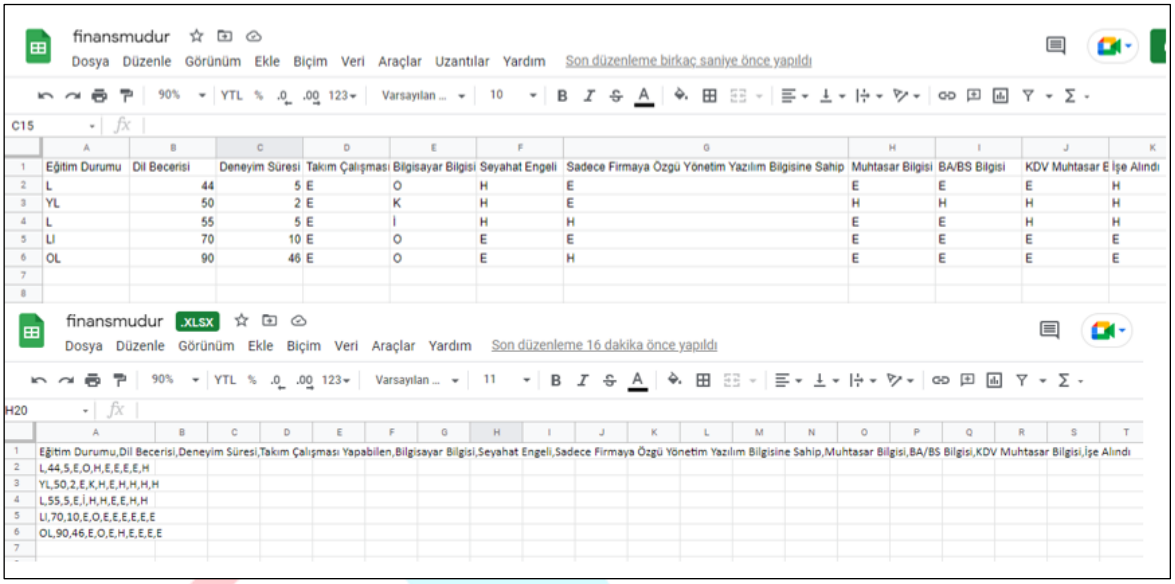
| Metinsel Öğeler | Matematiksel Karşılığı |
|---|---|
| L (lisans) | 1 |
| YL (Yüksek Lisans) | 2 |
| L (Lise) | 3 |
| OL (Ön Lisans) | 0 |
| İ (İyi) | 1 |
| O (Orta) | 2 |
| K (Kötü) | 0 |
| E (Evet) | 1 |
| H (Hayır) | 0 |

Cevapların excelleri ise şekil 6. Genel Müdür, şekil 7. Finans Müdürü, şekil 8. İnsan Kaynakları, şekil 9. Operasyon Müdür ve şekil 10. Satış Müdürü excellerindeki gibidir.



ISBN: 978-605-71156-5-2

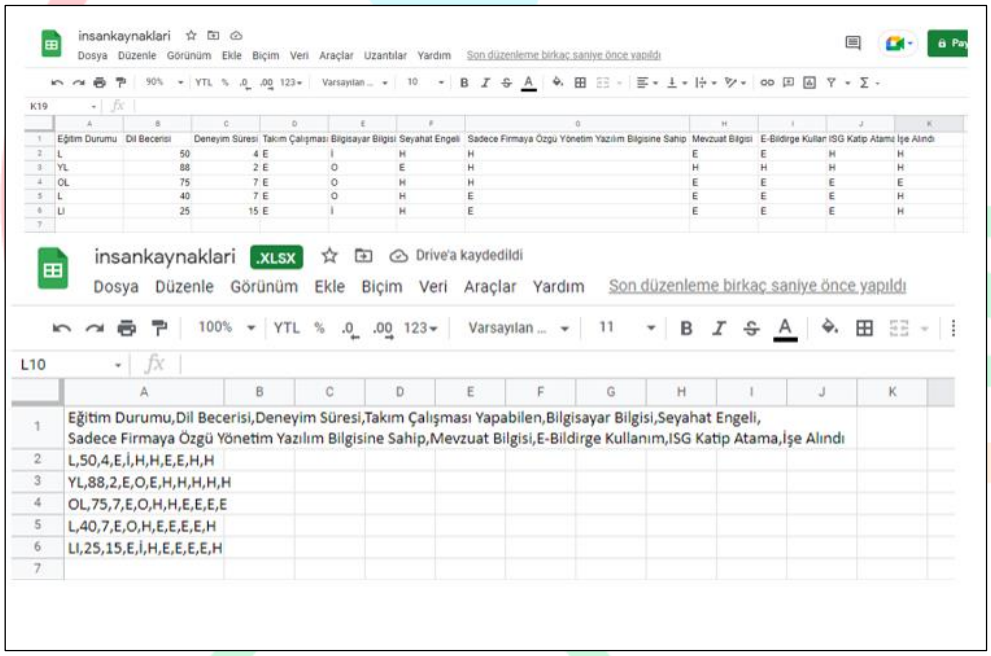
Şekil 6. Makine Öğrenme Excel-Genel Müdür



| Eğitim Durumu | Dil Becerisi | Deneyim Süresi | Takım Çalışması | Bilgisayar Bilgisi | Seyahat Engeli | Sadece Firmaya Özgü Yönetim Yazılım Bilgisine Sahip | Muhtasar Bilgisi | BA/BS Bilgisi | KDV Muhtasar E | İşe Alındı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L | 44 | 5 | E | O | H | E | E | E | E | H |
| YL | 50 | 2 | E | K | H | E | H | H | H | H |
| L | 55 | 5 | E | İ | H | H | E | E | H | H |
| LI | 70 | 10 | E | O | E | E | E | E | E | E |
| OL | 90 | 46 | E | O | E | H | E | E | E | E |

Eğitim Durumu,Dil Becerisi,Deneyim Süresi,Takım Çalışması Yapabilen,Bilgisayar Bilgisi,Seyahat Engeli,Sadece Firmaya Özgü Yönetim Yazılım Bilgisine Sahip,Muhtasar Bilgisi,BA/BS Bilgisi,KDV Muhtasar Bilgisi,İşe Alındı
L,44,5,E,O,H,E,E,E,E,H
YL,50,2,E,K,H,E,H,H,H,H
L,55,5,E,İ,H,H,E,E,H,H
LI,70,10,E,O,E,E,E,E,E,E
OL,90,46,E,O,E,H,E,E,E,E

Şekil 7. Makine Öğrenme Excel-Finans Müdürü

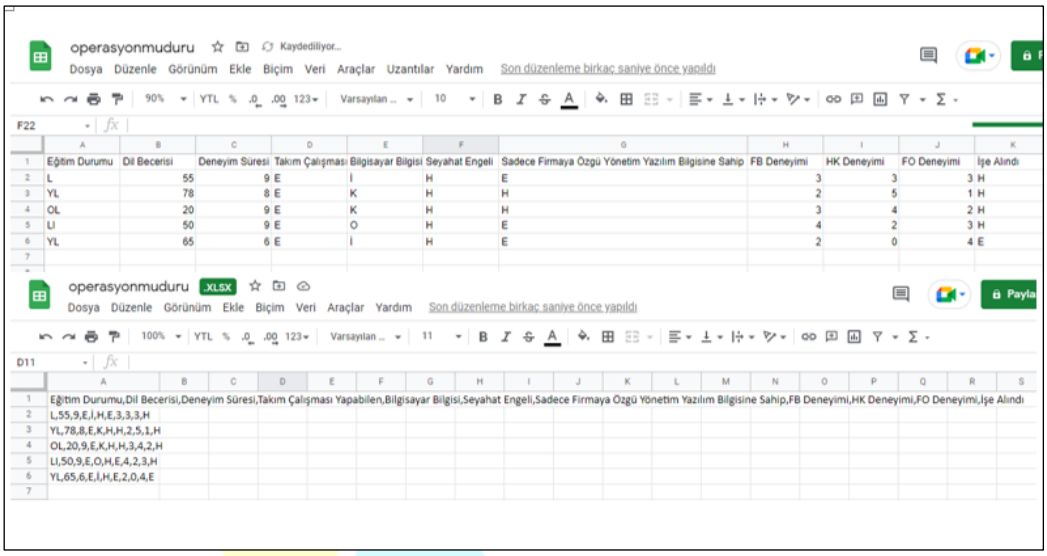


| Eğitim Durumu | Dil Becerisi | Deneyim Süresi | Takım Çalışması | Bilgisayar Bilgisi | Seyahat Engeli | Sadece Firmaya Özgü Yönetim Yazılım Bilgisine Sahip | Mevzuat Bilgisi | E-Bildirge Kullan | ISG Katip Atama | İşe Alındı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L | 50 | 4 | E | İ | H | H | E | E | H | H |
| YL | 88 | 2 | E | O | E | H | H | H | H | H |
| OL | 75 | 7 | E | O | H | H | E | E | E | E |
| L | 40 | 7 | E | O | H | E | E | E | E | H |
| LI | 25 | 15 | E | İ | H | E | E | E | E | H |

Eğitim Durumu,Dil Becerisi,Deneyim Süresi,Takım Çalışması Yapabilen,Bilgisayar Bilgisi,Seyahat Engeli,
Sadece Firmaya Özgü Yönetim Yazılım Bilgisine Sahip,Mevzuat Bilgisi,E-Bildirge Kullanım,ISG Katip Atama,İşe Alındı
L,50,4,E,İ,H,H,E,E,H,H
YL,88,2,E,O,E,H,H,H,H,H
OL,75,7,E,O,H,H,E,E,E,E
L,40,7,E,O,H,E,E,E,E,H
LI,25,15,E,İ,H,E,E,E,E,H

Şekil 8. Makine Öğrenme Excel-İnsan Kaynakları

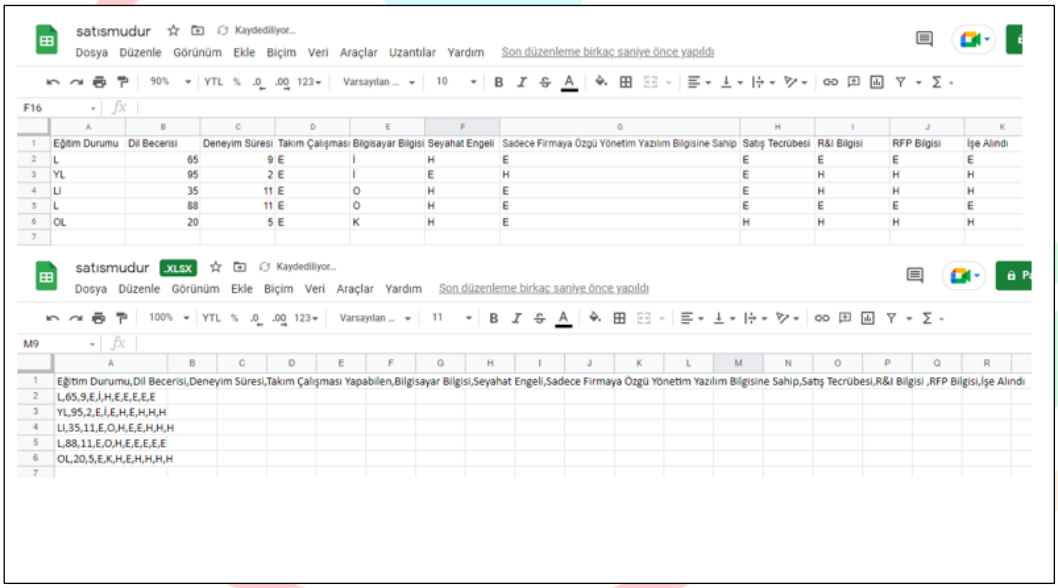
ISBN: 978-605-71156-5-2



| Eğitim Durumu | Dil Becerisi | Deneyim Süresi | Takım Çalışması | Bilgisayar Bilgisi | Seyahat Engeli | Sadece Firmaya Özgü Yönetim Yazılım Bilgisine Sahip | FB Deneyimi | HK Deneyimi | FO Deneyimi | İşe Alındı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L | 55 | 9 | E | İ | H | E | 3 | 3 | 3 | H |
| YL | 78 | 8 | E | K | H | H | 2 | 5 | 1 | H |
| OL | 20 | 9 | E | K | H | H | 3 | 4 | 2 | H |
| LI | 50 | 9 | E | O | H | E | 4 | 2 | 3 | H |
| YL | 65 | 6 | E | İ | H | E | 2 | 0 | 4 | E |

```
Eğitim Durumu,Dil Becerisi,Deneyim Süresi,Takım Çalışması Yapabilen,Bilgisayar Bilgisi,Seyahat Engeli,Sadece Firmaya Özgü Yönetim Yazılım Bilgisine Sahip,FB Deneyimi,HK Deneyimi,FO Deneyimi,İşe Alındı
L,55,9,E,İ,H,E,3,3,3,H
YL,78,8,E,K,H,H,2,5,1,H
OL,20,9,E,K,H,H,3,4,2,H
LI,50,9,E,O,H,E,4,2,3,H
YL,65,6,E,İ,H,E,2,0,4,E
```

Şekil 9. Makine Öğrenme Excel-Operasyon Müdürü



| Eğitim Durumu | Dil Becerisi | Deneyim Süresi | Takım Çalışması | Bilgisayar Bilgisi | Seyahat Engeli | Sadece Firmaya Özgü Yönetim Yazılım Bilgisine Sahip | Satış Tecrübesi | R&I Bilgisi | RFP Bilgisi | İşe Alındı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L | 65 | 9 | E | İ | H | E | E | E | E | E |
| YL | 95 | 2 | E | İ | E | H | E | H | H | H |
| LI | 35 | 11 | E | O | H | E | E | H | H | H |
| L | 88 | 11 | E | O | H | E | E | E | E | E |
| OL | 20 | 5 | E | K | H | E | H | H | H | H |

```
Eğitim Durumu,Dil Becerisi,Deneyim Süresi,Takım Çalışması Yapabilen,Bilgisayar Bilgisi,Seyahat Engeli,Sadece Firmaya Özgü Yönetim Yazılım Bilgisine Sahip,Satış Tecrübesi,R&I Bilgisi ,RFP Bilgisi,İşe Alındı
L,65,9,E,İ,H,E,E,E,E,E
YL,95,2,E,İ,E,H,E,H,H,H
LI,35,11,E,O,H,E,E,H,H,H
L,88,11,E,O,H,E,E,E,E,E
OL,20,5,E,K,H,E,H,H,H,H
```

Şekil 10. Makine Öğrenme Excel-Satış Müdürü

Yukardaki excellerin aktarılması yapıldıktan sonra Python ortamında kodlar yazılmaya başlanmaktadır. İlk olarak şekil 11'deki kütüphane tanımlama, veri yükleme, okuma ardından exellerin Python ortamı üzerinde gösterimi şekil 12'deki gibidir. Karar ağacı ile eğitilmeyi şekil 13'de görülmekte olduğu gibi oluşuturulmaktadır. Sonuçlarını da şekil 14'deki gibi görülmektedir. "1" ile işe alınması gerektiğini, "0" ile işe alınmaması gerektiğini göstermektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

```
# Ilk olarak verilerimisi yüklüyorus ve kütüphaneleirmisi import ediyorus.
import pandas as pd
import numpy as np
import warnings #bu modülde fonksiyonu çağırarak uyarı verir.
from sklearn import tree


warnings.filterwarnings('ignore') #eşleşen uyarıları yazdırma

df = pd.read_csv('genelmudur.csv') #excelde kayıtlı olan personel bilgilerini
okumamısı sağlar.

#scikit-learn kütüphanesi decision tree'lerin düzgün çalışması için
#herşeyin rakamsal olmasını bekliyor bu nedenle veri setimizdeki bütün Y ve N
değerleri 0 ve 1 olarak düzeltiyorus.
#Bundan sebepli Eğitim Durumunu L=1, YL=2, LI=3, OL=3 ve Bilgisayar Bilgisini I=1,
O=2, K=0 olarak düzeltiyorus.
```

Şekil 11. Kütüphane Tanımlaması-Veri Yüklemesi-Okuma

```
duzeltme_mapping = {'L': 1, 'YL': 2, 'LI': 3, 'OL': 0}
df['Eğitim Durumu'] = df['Eğitim Durumu'].map(duzeltme_mapping)

duzeltme_mapping1 = {'İ': 1, 'O': 2 , 'K': 0}
df['Bilgisayar Bilgisi'] = df['Bilgisayar Bilgisi'].map(duzeltme_mapping1)

duzeltme_mapping2 = {'E': 1, 'H': 0}
df['Takım Çalışması Yapabilen'] = df['Takım Çalışması Yapabilen'].map(duzeltme_mapping2)
df['Seyahat Engeli'] = df['Seyahat Engeli'].map(duzeltme_mapping2)
df['ONQ Bilgisine Sahip'] = df['ONQ Bilgisine Sahip'].map(duzeltme_mapping2)
df['İşe Alındı'] = df['İşe Alındı'].map(duzeltme_mapping2)
```

Şekil 12. Makine Öğrenimi-Python'da Gösterimi

```
#Sonuc Sütununu ayırıyorus.

y = df['Işe Alındı']
x = df.drop(['Işe Alındı'], axis= 1)

#Decision Tree'misi oluşturuyorus:

clf = tree.DecisionTreeClassifier()
clf = clf.fit(x,y) #karar ağacımızın eğitilmesini sağlar.

# Lisans mezunu, Dil Beceresi 75 puan, Deneyim Süresi 4 yıl olan, Takım Çalışması
Yapabilen, Bilgisayar Bilgisi Kötü
#Seyehat Enegeli Olmayan, Sadece firmaya özgü yönetim yazılım bilgisine Sahip,
Hedef Güdümlü olan, Satış Tecrübesi ve FB Tecrübesi olan bir kişi

print(clf.predict([[1, 75, 4, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1]]))
```

Şekil 13. Makine Öğrenimi-Python'da Gösterim Sonucu

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | Eğitim Durumu | Dil Becerisi | ... | FO Deneyimi | İşe Alındı |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 55 | ... | 3 | 1 |
| 1 | 2 | 78 | ... | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 20 | ... | 2 | 0 |
| 3 | 3 | 50 | ... | 3 | 0 |
| 4 | 2 | 65 | ... | 4 | 1 |

Şekil 14. Makine Öğrenimi-Python'da Gösterim Sonucu

Excellerin Python programına aktarılmasının ardından aday sayısı düşürülmektedir. Makine öğrenmesi ile elde edilen sonuçların ardından Google Form üzerinden karakter analizi ile son adıma gelinmektedir. Ardından uygun aday işe başlatılacaktır. Çizelge 7'deki sorular sorulduktan sonra aktarım işlemi yapılmaktadır. Puanlarda çizelge içerisinde görülmektedir.

Çizelge 7. Karakter Analizi Soruları-Cevapkarı-Puanları

| Sorular | Cevap Seçenekleri-Puanlar |
|---|---|
| Kendinizi ne zaman en iyi hissedersiniz? | 1-Sabahları (2)<br>2-Öğlenden sonra ve akşama doğru (4)<br>3-Gecenin ilerleyen saatlerinde (6) |
| Nasıl yürürsünüz? | 1-Hızlı ve uzun adımlarla (6)<br>2-Hızlı ve kısa adımlarla (4)<br>3-Normalden yavaş ve etrafa bakınarak (7)<br>4-Yavaş ve başı eğik (2)<br>5-Çok yavaş (1) |
| İnsanlarla konuşurken | 1-Kollarımı göğsümde katlamış olarak dururum. (4)<br>2-Ellerimi sıkarım. (2)<br>3-Bir veya iki elimi belime koyarım. (5)<br>4-Konuştuğum insanlara dokunur veya ittiririm. (7)<br>5-Kulağımla oynar, çeneme dokunur veya saçımı düzeltirim. (6) |
| Dinlenirken nasıl otururusunuz? | 1-Dizler katlanmış ve bacaklar birbirine bitişik olarak (4)<br>2-Bacaklar çaprazlanmış olarak (6)<br>3-Bacaklarımı uzatarak (2)<br>4-Bir bacağımı altıma katlayarak (1) |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | |
|---|---|
| Çok hoşunuza giden bir şey olduğunda ne yaparsınız? | 1-Büyük bir kahkaha atarım (6)<br>2-Gülerim ama fazla sesli değil (4)<br>3-Bir kerelik gülerim (3)<br>4-Sessizce gülümserim (5) |
| Bir partiye veya sosyal etkinliğe katıldığınızda | 1-Herkes sizi fark edecek şekilde gürültülü bir giriş mi yaparsınız? (6)<br>2-Sessiz bir giriş yapıp etrafınızda tanıdığınız birilerine mi bakınırsınız? (4)<br>3-Çok sessizce girip kimsenin sizi fark etmemesine mi gayret edersiniz? (2) |

Çizelge 7. Karakter Analizi Soruları-Cevapkarı-Puanları (Devamı)

| | |
|---|---|
| Çok zor bir işe dikkatinizi vermişken rahatsız ediliyorsunuz. Ne yaparsınız? | 1-Bölünmeyi memnuniyetle karşılarım (6)<br>2-Aşırı derecede rahatsız olurum (2)<br>3-Belli olmaz. Bu iki uç arasında değişken davranışlar gösteririm (4) |
| En çok hangi rengi seversiniz? | 1-Kırmızı veya portakal rengi (6)<br>2-Siyah (7)<br>3-Sarı veya mavi (5)<br>4-Yeşil (4)<br>5-Koyu mavi veya mor (3)<br>6-Beyaz (2)<br>7-Kahverengi veya gri (1) |
| Yatakta uyumadan önceki birkaç dakikada | 1-Sırt üstü yatıp uzanırsınız (7)<br>2-Karnınızın üstüne yatıp uzanırsınız (6)<br>3-Hafif kıvrılmış olarak yan tarafınıza yatarsınız (4)<br>4-Başınızı bir kolunuzun üzerine koyarsınız (2)<br>5-Başınızı yorganın altına kapatırsınız (1) |
| Rüyanızda genellikle | 1-Düşersiniz (4)<br>2-Kavga eder veya tartışırsınız (2)<br>3-Birilerini veya bir şeyler ararsınız (3) |

ISBN: 978-605-71156-5-2

| | |
|---|---|
| | 4-Uçar veya yüzersiniz (5)<br>5-Genelde rüya görmezsiniz (6)<br>6-Rüyalarınız daima hoştur (1) |

Pyhton'da kimlik doğrulaması yapılırken Google E-Tablolar kullanılmaktadır. Tablolara API'si aracılığı erişim, sağlayıcı tarafından kimlik doğrulaması yetkilendirilmesi yapılmaktadır. OAuth denilen istemci tablolara erişilmesini sağlamaktadır. JSON anahtarı türü seçildikten sonra veriler artık alınabilecektir. İçe aktrama işlemine başlanacaktır. Tüm bu süreçler kimlik doğrulama işlemidir. Sonrasında Python'da kütüphaneler şekil 15'deki gibi tanımlanmıştır. Şekil 16'deki gibi Pyhton ve Goole API arasında bağlantı sağlanıp, şekil 17'deki JSON anahtarı okunduktan sonra Google Formlara erişim sağlanmaktadır.

```
import gspread
import pandas as pd
from oauth2client.service_account import ServiceAccountCredentials
```

Şekil 15. Kütüphane Tanımlanması

```
scope = ['http://spreadsheets.google.com/feeds']
creds = ServiceAccountCredentials.from_json_keyfile_name('legislators-329913-4f33f633f589.json')
client = gspread.authorize(creds)
```

Şekil 16. JSON Anahtarı Okuma ve Erişim Sağlama

```
# sheeti okur
sheet = client.open('Karakter Analizi Testi (Yanıtlar)').sheet1
df = pd.DataFrame(sheet.get_all_records())
datas = df.values.tolist()
print(df.head())
```

Şekil 17. Python'da Okuma

Yukarıdaki adımlardan sonra matris oluşturulup puan atamasını şekil 18'deki gibi yapılmaktadır. Her birinci rakam ilk adayın soruya verdiği yanıtın puanıdır. İkinci sayı ise ikinci adayın cevap puanıdır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

```
soru_1_puanlar = []   soru_1_puanlar: [2, 6, 6, 6, 2, 6, 2, 6, 2]
soru_2_puanlar = []   soru_2_puanlar: [7, 4, 4, 4, 2, 7, 4, 7, 2, 7]
soru_3_puanlar = []   soru_3_puanlar: [4, 6, 6, 5, 2, 4, 6, 4, 2, 4]
soru_4_puanlar = []   soru_4_puanlar: [2, 6, 6, 2, 4, 2, 6, 2, 4, 2]
soru_5_puanlar = []   soru_5_puanlar: [6, 6, 6, 4, 6, 6, 6, 4, 6, 6]
soru_6_puanlar = []   soru_6_puanlar: [4, 4, 4, 6, 6, 4, 4, 4, 6, 4]
soru_7_puanlar = []   soru_7_puanlar: [2, 4, 4, 6, 4, 2, 4, 2, 4, 2]
soru_8_puanlar = []   soru_8_puanlar: [7, 7, 7, 5, 6, 7, 7, 3, 6, 7]
soru_9_puanlar = []   soru_9_puanlar: [6, 7, 7, 7, 6, 6, 7, 4, 6, 6]
soru_10_puanlar = []   soru_10_puanlar: [1, 5, 5, 2, 6, 1, 5, 3, 6, 1]
```

Şekil 18. Puan ataması

Tüm bu anlatınlar sonucunda, yukarıdaki cevapların puan toplamları ele alınıp, önceden belirlenmiş olup belirli aralıklardaki değerlere şekil 19'daki gibi sayı aralığı verip, kişiler hakkında karakter analizi yapılmaktadır.

```
for index, toplam in enumerate(toplamlar):
    if toplam >= 31 and toplam <= 40 :
        print("index: ", index)
        print("İnsanlar sizi mantıklı, ihtiyatlı, dikkatli ve pratik birisi olarak görürler. Sizi zeki, yetenekli ve hüner
    if toplam >= 41 and toplam <= 50:
        print("index: ", index)
        print("İnsanlar sizi taze, canlı, çekici, eğlendirici, pratik ve daima ilginç birisi olarak görürler; her zaman ilg
    if toplam >= 51 and toplam < 60:
        print("index: ", index)
        print("insanlar sizi heyecan verici, havai, düşüncesiz yapıda, doğal liderlik özellikleri olan, her zaman doğru olm
    if toplam >= 60:
        print("index: ", index)
        print("İnsanlar sana kırılgan bir eşya muamelesi yapıyorlar. Kibirli, bencil ve aşırı baskın birisi olarak görülüyo
```

Şekil 19. Puan Aralığı Sonucunda Karakter Analizi Yapılması

## SONUÇ

Araştırmada makine öğrenme ile ilk olarak ilan sitelerinden filtrelenip sisteme düşen adaylara birtakım sorular sorulmuştur. Bu sorular neticesinde excele metinsel ifadeden matematik ifadelere dönüştürülüp, Pyhton ortamına aktarılmaktadır. Aktarım sonrasında kişiler arasında işe alınıp alınmayacağına dair sonuçlar alınmaktadır. Bu sonuçlar sonrasında karakter analizi yapılmaktadır. Karakter analizi Google Formlar üzerinden belirli prosedürler sonrasında verileri içeri aktarılmıştır. Karar ağacı algoritması ile öğretim yapılarak seçim sürecini neticelendirmeye çalışılmaktadır. Personel-iş uyumu için karakter analizinde sorulan sorulara belirli puan aralıkları verilip toplam değerler üzerinden karakterler işyerinin misyon ve vizyonuna göre oluşturulmaktadır. Bu sorular çizelge 8'deki gibidir. Sonuç olarak ise adaylar arasından en uygun olan aday işyerinde işe başlayabilmektedir. Tamamen gerçek adaylar üzerinden yapılmış olan çalışma %85 üzerinden olumlu sonuçlanmaktadır. Bu sonuç 2019'dan 2022 Nisan ayına kadar ele alınan çalışanlar arasından alınmaktadır. İşe alındı sonucu veren adaylar hala bilgisi gizli tutulan firmada çalışmakta ya da aynı kurumun başka ildeki şubesine transfer olmuştur.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Çizelge 8. Karakter Analizindeki Puanların Karşılığı

| Puanlar | Açıklaması |
|---|---|
| **31-40** | Mantıklı, dikkatli, pratik ve ölçülü davranan, Yetenekli, alçak gönüllü, mütevazi, Çok arkadaşı olmayan ancak arkadaş canlısı olan birisinizdir. |
| **41-50** | Taze, capcanlı, cazip görünen, neşe dolu, pratik ve dikkat çekici olarak görülmektesiniz. Daima ilgi odağı ancak dengeli birisinizdir. İyilikçi, düşünceli olan, aşırıya kaçmayan bir o kadar da rahat tanınırsınız. |
| **51-60** | Heyacanlı ve karşı tarafa da heyecan veren, uçarı, düşüncesiz olabilen, daima olmasa da hızlı karar veren, atılgan, maceracı, fırsatları kaçırmayan, çalışma arkadaşlarının birlikte çalışmak için can attığı ve işe gelirken "iyi ki o orda var" dedirttiği kişisiniz. |
| **60 ve üzeri** | Kırılgan eşya davranışı gören, havalı, baskın karakterli, karşı tarafın olmak istediği gibi bir kişi, bencil, bazı kişilere karşı tutarsız ve güvenilir olmayan birisinizdir. Ne kadar hayranlık duyulan birisi olsanız da sizlerle çok yakın arkadaşlık kurman istemezler. |

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Abdüsselam, M. S. , Turan Güntepe, E. & Durukan, Ü. G. (2021). Problem çözme süreci ve öz-

yeterlik algısı üzerinden programlama öğretiminin incelenmesi . *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi , 16 (31)* , 149-173 . DOI: 10.35675/befdergi.758137.

Aksay, K. (2015). Örgüt yapılarında yaşanan değişimler ve modern örgüt tiplerinin incelenmesi .

*Kent Akademisi* , *8 (23)* , 111-128 .

Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/kent/issue/34397/379892

Albayrak, Y. S. & Yılmaz, Ö. K. (2009). Veri Madenciliği: Karar Ağaci Algoritmalari Ve İmkb Verileri

Üzerine Bir Uygulama, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14 (1) ,* 31-52 .

Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/20831/223135

Ardahanlı, A., (2021). *Python'da değişkenler,*(11.04.2022)

Retrieved from https://ahmetardahanli.com/1-pythonda degiskenler#

Bilgin, T. T. & Yavuz, E. (2021). Conceptual design of python ide with embedded turkish spoken chatbot that analyzes and corrects the syntax errors . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , Ejosat Özel Sayı 2021 (ISMSIT) ,* 415-424 . DOI: 10.31590/ejosat.1035421

Çelen, E., (2021), *Python Operatörleri (İşleçleri),* (11.04.2022).

Retrieved from https://emrecelen.com.tr/python operatorleri-islecleri/

Ersöz, F. , Ersöz, T. & Konuşkan, Ö. (2016). Belirsizlikle başa çıkmada etkili olan kriterlerin

Araştırılması: bir üniversite uygulaması, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,25 (3),* 15-232.

Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/cusosbil/issue/32038/353317

Eldeniz, L. (2014). Programlama dilleri . *Marmara İletişim Dergisi , 7 (7)* , 139-144 .

Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/maruid/issue/440/3362

Gear C.W, 1985, *Computer organization and programming with an emphasis on the personel computer*,

England, McGraw-Hill Companies; 4th edition

Harwani, B. M., 2012, *Introduction to Python® Programming and Developing GUI Applications with PyQT*, Boston, Course Technology.

Kargın, T.C., (2020), *Python: bölüm 2 – temel bilgiler ve veri tipleri,* (10.04.2022).

Retrieved from https://www.datasciencearth.com/python-bolum-2-temel-bilgiler-ve-veri-tipleri/

Kayademir, S. , (2020), *Nesne yönelimli programlama (NYP) | Object oriented programming (OOP)*,(10 Nisan 2022).

Retrieved from https://kayademirs.medium.com/nesne-y%C3%B6nelimli-programlama-nyp-object-oriented-programming-oop-d684a5e048c1

Kula, S. & Çakar, B. (2015). Maslow ihtiyaçlar hiyerarşisi bağlamında toplumda bireylerin güvenlik

algısı ve yaşam doyumu arasındaki ilişki, *Bartın Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 6(12),* 191-210.

Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejees/issue/62607/910302

Küçükkalay, A. (1997). Endüstri devrimi ve ekonomik sonuçlarının analizi, *Süleyman Demirel*

*Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi , 2 (2),* 51-68.

Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/20855/223684

Moffitt, C., *Collecting data with google forms and pandas,* 12.04.2022

Collecting Data with Google Forms and Pandas - Practical Business Python (pbpython.com)

Ören, D. D. K. & Yüksel, H. (2012). Geçmişten günümüze çalışma hayatı , *Hak iş uluslararası*

*emek ve toplum dergisi ,* 1 (1), 35-59.

Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/hakisderg/issue/7575/99440

Özgül, F., 2013. *Her yönüyle python*, İstanbul, Kodlab.

Öztürk, M., (2020), *Python ile sınıflandırma analizleri – karar ağaçları*, (16.04.2022) tarihinde

https://miracozturk.com/python-ile-siniflandirma-analizleri-karar-agaclari/

Sarıoğlu, E., P*ython programlama dili kullanılarak uzaktan algılama amaçlı arayüz tasarımı,(Yüksek Lisans Tezi)*

https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/ veri tabanından ulaşılmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tarhan, Z. (2006). *Mülakat hataları ve mülakat sürecine etkisi: bir alan araştırması*.(Yüksek Lisans Tezi)

https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/ veri tabanından ulaşılmıştır.

Tutar, H. (2013), *İşletme ve yönetim terimleri ansiklopedik sözlük*, Ankara, Detay Yayıncılık.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Fibonacci Sequences in Finite Groups

*Engin ÖZKAN*[1]

**Abstract**

Fibonacci numbers, which emerged with the famous rabbit problem, have attracted the attention of many scientists with their observation of nature. Thus, Fibonacci numbers have found application both in every branch of mathematics and in many sciences. [1-26]
Depending on how Fibonacci numbers are expressed, we will sometimes refer to them as Fibonacci sequences.
In this paper, I give the applications of Fibonacci numbers in finite groups.
**Keywords:**

[1] Department of Mathematics, Faculty of Arts And Sciences, Erzincan Binali Yıldırım University, Erzincan- Turkiye

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1. INTRODUCTION

The first application of Fibonacci sequences in groups, in cyclic groups, begins with Wall's article published in 1960. [25]

In the mid-eighties, Then Wilcox expanded Wall's work to abelian groups. [26] Campbell et al. applied this theory to some finite simple groups. [5] Aydın et al. showed that the lengths of ordinary 2-step Fibonacci recurrences in finite nilpotent groups of nilpotency class 4 and a prime exponent are equal to the lengths of ordinary 2-step Fibonacci sequences. [1] The theory has been generalized in [16] to the ordinary 3-step Fibonacci sequences. Özkan proved that the length of the fundamental period of the 2-step general recurrence constructed by two generating elements is equal to the period of the 2-step general Fibonacci sequence [17]. In [20], the theory expanded to the *3*-step general Fibonacci recurrence.

In this paper, I give the applications of Fibonacci numbers in finite groups.

## 2. DEFINITIONS

**Definition 2.1: (2-step Fibonacci sequence)**

Let $s=(s_i)$ show the 2-step Fibonacci sequence in *GF(p)* defined by $s_{i+2} = s_i + s_{i+1}$ and the initial data $s_0 = 0$ and $s_1 = 1$.

**Definition 2.2: (3-step Fibonacci sequence)**

Let $s=(s_i)$ show the 3-step Fibonacci sequence in *GF(p)* defined by the recurrence $s_{i+3} = s_i + s_{i+1} + s_{i+2}$ with $s_0 = 0, s_1 = 0$ and $s_2 = 1$.

**Definition 2.3: (Simply Periodic Sequence)**

A sequence is simply periodic with a period $k$ if the first element in the sequence forms a repeating subsequence.

Let's use *k(p)* or *k* to show the fundamental period that is the shortest period of that sequence taken modula a distinguished prime *p*.

We sometimes call it Wall's number.

**Example 1:** $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5,..$ is simply periodic with period 5.

**Example 2:** 0,1,1,2,3,5,8,13,21,…

This sequence is a 2-step Fibonacci sequence or known Fibonacci sequence.

ISBN: 978-605-71156-5-2

If we take modulo a prime 3, we have

0,1,1,2,0,2,2,1,0,1,….

So, we obtain *k(3)*=8.

**Definition 2.4: (General 2-step Fibonacci Sequence)**

Let $(s_i)$ show the 2-step general recurrence defined by $s_i = ls_{i-1} + ms_{i-2}$ for som $l, m \in \mathbb{N}$. If *p* does not divide *n* then we have the 2-step general Fibonacci sequence as $(0,1,l,l^2 + m, l(l^2+m)+m,\ldots\ldots)$.

If *p* divides *m* then the sequence would be ultimately periodic, but would never return to the 0,1.

**Example 3:** For $p = 2, l = 3, m = 4$, we have

0,1,1,1,1,1,…

If *p* were not permitted to divide *m* then this sequence or loop must be periodic. Obviously, *k* depends on *p*.

**Example 4:** For $p = 2, l = 3, m = 5$, we have

0,1,0,1,0,1,….So, *k(2)*=2.

**Definition 2.5: (General 3-step Fibonacci Sequence)**

Let $(s_i)$ show the 3-step general recurrence defined by $s_i = ls_{i-1} + ms_{i-2} + ns_{i-3}$ for some $l, m, n \in \mathbb{N}$. If *p* does not divide *n* then we have the 3-step general Fibonacci sequence as $(0,0,1,l,l^2+m,l(l^2+m)+lm+n,\ldots\ldots)$. If p divides *n* then the sequence would be ultimately periodic, but would never return to the 0,0,1.

**3. 2 and 3-Step Fibonacci Series Modulo *m***

**Theorem 3:** Let $f_n$ be a 2-step Fibonacci sequence. Then $f_n (\bmod m)$ forms a simply periodic series. That is, the series is periodic and repeats by returning to its starting values.[25]

**Theorem 2(D. D. Wall [25]):** In $\mathbb{Z}_m$, we have

ISBN: 978-605-71156-5-2

1. If $p$ is a prime and $p = 10x \pm 1$ then $k \mid (p-1)$.
2. If $p$ is a prime and $p = 10x \pm 3$ then $k \mid (2p+2)$.
3. If $p$ is a prime and $p = 10x \pm 3$ then $h(p^e) = k(p^e)$.

**Corollary (D. D. Wall [25]):** If $p = 10x \pm 3$ then $k \equiv 0 (\bmod 4)$.

**Theorem 3:** Let $f_n$ be a 3-step Fibonacci sequence. Then $f_n (\bmod m)$ forms a simply periodic series. That is, the series is periodic and repeats by returning to its starting values. [19]

**Conjecture 1:** If $p$ is a prime and $k < p$ then $k \mid (p-1)$.[19]

**Conjecture 2:** If $p$ is a prime and $k \equiv 0 (\bmod 2)$ then $(p \pm 1) \mid k$.[19]

**Conjecture 3:** If $p$ is a prime and $k \equiv 1 (\bmod 2)$ then $(p \pm 1) \mid (k-1)$ or $p \mid (k-1)$.[19]

We have Wall's number for all primes less than $5.10^5$. But, we give some prime numbers in Table 1 for which those conjectures are not satisfied.

| $p$ | $k$ |
|---|---|
| 83 | 287 |
| 101 | 680 |
| 571 | 40755 |
| 593 | 3256 |
| 613 | 46971 |
| 1531 | 58599 |
| 1913 | 304964 |

Table 1.

ISBN: 978-605-71156-5-2

In Table 2, we give some of the values that provide the conjectures.

| $p$ | $k$ | Results |
|---|---|---|
| 5 | 31 | $p \mid (k-1)$ |
| 13 | 168 | $(p-1) \mid k$ |
| 23 | 553 | $p \mid (k-1)$ |
| 389 | 151711 | $p \mid (k-1)$ |
| 557 | 103416 | $(p-1) \mid k$ |
| 839 | 704761 | $p \mid (k-1)$ |
| 1447 | 2093808 | $(p-1) \mid k$ |
| 3347 | 11205760 | $p \mid (k-1)$ |
| 4831 | 11669280 | $(p-1) \mid k$ |
| 17207 | 17206 | $(p-1) \mid k$ |
| 18047 | 1696324 | $(p-1) \mid k$ |

Table 2.

**Conjecture 4:** Let's $p > 2$ a prime number and $k$ be the Wall number of $n$-step Fibonacci sequence such that $n$ is an even number, then $k$ is an even number. [19]

**Conjecture 5:** Let $k$ be Wall number of $n$-step Fibonacci sequence such that $n = 2t$ and $t > 1$. Then $(p \pm 1) \mid k$, except for some primes. [19]

We have seen that the last two conjectures are satisfied for $p < 5.10^5$. Also, we have many data for various values of $p$. In Table 3, we give some values that provide Conjunction 5.

ISBN: 978-605-71156-5-2

| $p$ | $k$ | Results |
|---|---|---|
| 3 | 26 | $(p-1)\mid k$ |
| 67 | 100254 | $(p-1)\mid k$ |
| 151 | 533256 | $(p+1)\mid k$ |
| 211 | 9393930 | $(p-1)\mid k$ |
| 433 | 92880 | $(p-1)\mid k$ |
| 907 | 822648 | $(p-1)\mid k$ |
| 1277 | 1630728 | $(p-1)\mid k$ |
| 2593 | 1680912 | $(p+1)\mid k$ |
| 3733 | 23225448 | $(p+1)\mid k$ |
| 4253 | 6029336 | $(p-1)\mid k$ |

Table 3.

## 4. FIBONACCI SEQUENCE IN FINITE GROUP

Let $G$ be finite group. We define a family of recurrences, parameterized by natural numbers $n$, via equations

$$x_i = x_{i-1}x_{i-2}\ldots x_{i-n} \qquad (R_n)$$

We fix $n>1$.We may 'start' the recurrence with any inital data $g_0, g_1, \ldots, g_{n-1}$ and then the recurrence will define a periodic bi-infinite sequence $(g_i)$ indexed by the integers. We use the loop to describe a bi-infinite sequence satisfying the recurrence.

### 4.1. General Recurrences in Modular Groups

2-step Fibonacci sequence in group is defined by $f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$, $n \geq 2$ which is constructed by two generating elements of the group. Since we work on modulo $p$, this sequence would ultimately be periodic and let's $k(G)$ denotes the shortest period of this sequence.

ISBN: 978-605-71156-5-2

The set of all Möbius transformations of the form

$$\tau' = \frac{a\tau + b}{c\tau + d}$$

where a, b, c, d are integers with $ad\text{-}bc=1$, is called the modular group under the composition of transformations.

This group can be represented by 2x2 integer matrices as $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ with $detA=1$ such that each matrix with its negative, since $A$ and $-A$ represent the same transformation.

**THEOREM 4.1.1: The modular group $\Gamma$ is generated by two matrices**

$$T=\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ and } S=\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

That is every $A$ in $\Gamma$ can be expressed in the form $A = T^{n_1} ST^{n_2} \ldots ST^{n_k}$ where the $n_i$ are integers.This representation is not unique [10].

We now express the first theorem concerning the Fibonacci sequences in modular group.

**THEOREM 4.1.2:** Let $\Gamma$ be a modular group generated by $S=\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ and $T=\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$. Then k($\Gamma$)$\neq k(p)$.[10]

**PROOF:** The group $\Gamma$ is a finitely generated infinite group. Take the generators $S$, $T \in \Gamma$. We shall construct the 2-step Fibonacci sequence starting with this generating pair, where the product is to be understood as matrix multiplication. It can also be considered the composition of functions when the matrices are thought as functions. Thus, we have the sequence

$$S, T, ST, TST, ST^2ST, \ldots \qquad (1)$$

We first of all, demonstrate some data about Wall number of ordinary -step Fibonacci sequence for various primes $p$. This is,

| ***p*** | ***k(p)*** |
|---|---|
| 2 | 3 |
| 3 | 8 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Figure 1

There is a direct connection between p and k(p) in the case of cyclic groups. k(p) stands for k(G). Wall distinguishes this connection in [1] and append a list of p and k(p) where 5<p<2000. We have used a computer code to calculate the next term of (1). We have more data but for the hospitality of the journal a small part of it is given. This is,

| ***p*** | ***k(p)*+1 th element of (1)** | **expected value** |
|---|---|---|
| 2 | $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ |
| 3 | $\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ |

Figure 2

It tells us that the fundamental period of the sequence made by two generating elements of modular group is different from that of cyclic groups.

The 2-step general Fibonacci sequence constructed by any two generating pair is defined by

$$S, T, S^m T^l, T^m (S^m T^l)^l, (S^m T^l)^m (T^m (S^m T^l)^l)^l, \ldots \qquad (2)$$

where $l, m \in Z$. We now prove the second original theorem of this document.

**THEOREM 4.1.3:** Let $\Gamma$ be a modular group generated by $T=\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ and $S=\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$. The series constructed by this generating pair in a sense of (2) is periodic and ultimately returns to its starting values.[19]

### 4.2. 3-step General Fibonacci Recurrence in Nilpotent Groups of Class 2

Let G be a 3-generator relatively free group in the variety of nilpotent groups of class 2 and exponent *p*. Thus, G is free on a set of generators $\{x, y, z\}$.

$G =< x, y, z, t, u, v : (y, x) = t, (z, x) = u, (z, y) = v >$

The group G has order $p^6$. The subgroup $<t,u,v>$ has order $p^3$ and is both the center and derived group of *G*. Every element of *G* has a unique representation as

$$x^a y^b z^c t^d u^e v^f$$

ISBN: 978-605-71156-5-2

where the exponents are elements of *GF(p)*. We need an explicit formula for the element $\left(x^a y^b z^c t^d u^e v^f\right)^n$ which is clearly

$$\left(x^a y^b z^c t^d u^e v^f\right)^n = \left(x^{na} y^{nb} z^{nc} t^{nd+\binom{n}{2}ab} u^{ne+\binom{n}{2}ac} v^{nf+\binom{n}{2}bc}\right) \qquad (1)$$

This could be proved by induction on *n* using the group relations. We assume that $\left(x^{a_0} y^{b_0} z^{c_0} t^{d_0} u^{e_0} v^{f_0}\right), \left(x^{a_1} y^{b_1} z^{c_1} t^{d_1} u^{e_1} v^{f_1}\right), \left(x^{a_2} y^{b_2} z^{c_2} t^{d_2} u^{e_2} v^{f_2}\right)$ be three elements of *G*. For our purpose, we need a formula to describe how to be the next term of the sequence. Therefore using by (1) and the group relations we can write $(x^{a_0} y^{b_0} z^{c_0} t^{d_0} u^{e_0} v^{f_0})^n.(x^{a_1} y^{b_1} z^{c_1} t^{d_1} u^{e_1} v^{f_1})^m.(x^{a_2} y^{b_2} z^{c_2} t^{d_2} u^{e_2} v^{f_2})^l = x^{a_3} y^{b_3} z^{c_3} t^{d_3} u^{e_3} v^{f_3}$ where,

$$a_3 = na_0 + ma_1 + la_2,$$
$$b_3 = nb_0 + mb_1 + lb_2,$$
$$c_3 = nc_0 + mc_1 + lc_2,$$

$$d_3 = nd_0 + md_1 + ld_2 + \binom{n}{2}a_0 b_o + \binom{m}{2}a_1 b_1 + \binom{l}{2}a_2 b_2 + mna_1 b_0 + la_2(nb_0 + mb_1),$$

$$e_3 = ne_0 + me_1 + le_2 + \binom{n}{2}a_0 c_o + \binom{m}{2}a_1 c_1 + \binom{l}{2}a_2 c_2 + mna_1 c_0 + la_2(nc_0 + mc_1)$$

and

$$f_3 = nf_0 + mf_1 + lf_2 + \binom{n}{2}b_0 c_o + \binom{m}{2}b_1 c_1 + \binom{l}{2}b_2 c_2 + mnb_1 c_0 + lb_2(nc_0 + mc_1).$$

A straightforward induction yields that for $\alpha \geq 0$

$$d_k = \binom{n}{2}\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} u_i t_i + \binom{m}{2}\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} u_{i+1} t_{i+1} + \binom{l}{2}\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} u_{i+2} t_{i+2} + mn\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} u_{i+1} t_i$$
$$+ \ln \sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} u_{i+2} t_i + lm\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} u_{i+2} t_{i+1},$$

$$e_k = \binom{n}{2}\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} s_i u_i + \binom{m}{2}\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} s_{i+1} u_{i+1} + \binom{l}{2}\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} s_{i+2} u_{i+2} + mn\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} s_i u_{i+1}$$

and

$$+ \ln \sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} s_i u_{i+2} + lm\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1} s_{i+1} u_{i+2},$$

ISBN: 978-605-71156-5-2

$$f_k = \binom{n}{2}\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1}s_i t_i + \binom{m}{2}\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1}s_{i+1}t_{i+1} + \binom{l}{2}\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1}s_{i+2}t_{i+2} + mn\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1}s_i t_{i+1}$$
$$+\ln\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1}s_i t_{i+2} + lm\sum_{i=0}^{k-1} s_{k-i-1}s_{i+1}t_{i+2}.$$

**THEOREM 4.2.3:** Let $G$ be a non-trivial finite $p$-group of exponent $p$ and nilpotency class 2. Then $k(G)=k(p)$ [12].

### 4.3. 3-step General Fibonacci Recurrence in Nilpotent Groups of Class 4

Let $G$ be a nilpotent group with nilpotency class 4 and exponent $p$ for a prime number $p>3$. $G$ has two generators $x$ and $y$. A presentation of $G$ is

$$G = < x, y, z, t, u : (y, x) = z, (z, x) = t, (t, x) = u >$$

where pairs of generators with unspecified commutator are implicitly deemed to commute. The subgroup $<y,z,t,u>$ is abelian and $u$ is in the centre of $G$. Every element of $G$ has a unique representation as

$$x^a y^b z^c t^d u^e$$

where the exponents are elements of $GF(p)$. Having distinguished this way of writing elements we can even think of groups elements as vectors of dimension 5 over $GF(p)$, i.e. as $(a,b,c,d,e)$. So, triple multiplication is determined by the following rules;

$$(x^{a_0}y^{b_0}z^{c_0}t^{d_0}u^{e_0})(x^{a_1}y^{b_1}z^{c_1}t^{d_1}u^{e_1})(x^{a_2}y^{b_2}z^{c_2}t^{d_2}u^{e_2}) = (x^{a_3}y^{b_3}z^{c_3}t^{d_3}u^{e_3})$$

$$= (x^{a_0}y^{b_0}z^{c_0}x^{a_1}y^{b_1}z^{c_1}t^{d_0+d_1}u^{e_0+e_1+d_0a_1})(x^{a_2}y^{b_2}z^{c_2}t^{d_2}u^{e_2})$$

$$= (x^{a_0}y^{b_0}x^{a_1}y^{b_1}z^{c_0+c_1}t^{d_0+d_1+c_0a_1}u^{e_0+e_1+d_0a_1+c_0\binom{a_1}{2}})(x^{a_2}y^{b_2}z^{c_2}t^{d_2}u^{e_2})$$

$$= (x^{a_0+a_1}y^{b_0+b_1}z^{c_0+c_1+b_0a_1}t^{d_0+d_1+c_0a_1+b_0\binom{a_1}{2}}u^{e_0+e_1+d_0a_1+c_0\binom{a_1}{2}+b_0\binom{a_1}{3}})(x^{a_2}y^{b_2}z^{c_2}t^{d_2}u^{e_2})$$

$$= x^{a_0+a_1+a_2}y^{b_0+b_1+b_2}z^{c_0+c_1+c_2+b_0a_1+(b_0+b_1)a_2}t^{d_0+d_1+d_2+c_0a_1+b_0\binom{a_1}{2}+a_2(c_0+c_1+b_0a_1)+(b_0+b_1)\binom{a_2}{2}}$$
$$u^{e_0+e_1+e_3+d_0a_1+c_0\binom{a_1}{2}+b_0\binom{a_1}{3}+a_2(d_0+d_1+c_0a_1+b_0\binom{a_1}{2})+(c_0+c_1+b_0a_1)\binom{a_2}{2}+(b_0+b_1)\binom{a_2}{3}}.$$

That is, $(a_0,b_0,c_0,d_0,e_0)(a_1,b_1,c_1,d_1,e_3)(a_2,b_2,c_2,d_2,e_3) = (a_3,b_3,c_3,d_3,e_3)$

where

ISBN: 978-605-71156-5-2

$$a_3 = a_0 + a_1 + a_2$$
$$b_3 = b_0 + b_1 + b_2$$
$$c_3 = c_0 + c_1 + c_2 + b_0 a_1 + (b_0 + b_1) a_2$$
$$d_3 = d_0 + d_1 + d_2 + c_0 a_1 + b_0 \binom{a_1}{2} + a_2 (c_0 + c_1 + b_0 a_1) + \binom{a_2}{2} (b_0 + b_1)$$

and finally

$$e_3 = e_0 + e_1 + e_2 + d_0 a_1 + c_0 \binom{a_1}{2} + b_0 \binom{a_1}{3} + a_2 (d_0 + d_1 + c_0 a_1 + b_0 \binom{a_1}{2})$$
$$+ \binom{a_2}{2} (c_0 + c_1 + b_0 a_1) + \binom{a_2}{3} (b_0 + b_1)$$

**Theorem 4.3.1. [18,20]** Let $p > 3$ be a prime number, then if $G$ is a non-trivial finite p-group of exponent p and nilpotency class 4 then $k(G) = k$, except for finitely bad primes.
Of course, if $G$ is the trivial group then $k(G) = 1$.

**Theorem 4.3.2. [18,20]** Let p > 3 be a prime number, then if G is a non-trivial finite p-group of exponent p and nilpotency class 4 then $k(G) = kp$ for all primes.

### 4.4. 3-step Fibonacci Recurrence in Nilpotent Groups of Class *n*

Now, we have constituted 3-step Fibonacci sequences by the three generating elements of a group of exponent $p$ ($p$ is prime) and nilpotency class $n$ and we have given a formula for $\alpha$. term of the sequence.

**Theorem 4.4.1. [16,17]:** If $G$ is a group of exponent $p$, nilpotency class $n$ and with the presentation

$$G =< x_1, x_2, ..., x_n, x_{n+1} : [x_2, x_1] = x_3, [x_3, x_1] = x_4, ..., [x_n, x_1] = x_{n+1} >$$

then entries of the 3-step Fibonacci sequences formed by three elements of $G$ have the following form.

$$a_\alpha = \sum_{i=0}^{\alpha-1} t_i = \sum_{i=0}^{\alpha-1} (s_{i+1} - s_i)$$

ISBN: 978-605-71156-5-2

$$b_\alpha = \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_i$$

$$c_\alpha = \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1}(s_i t_{i+1} + t_{i+2}(s_i + s_{i+1}))$$

$$d_\alpha = \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} t_{i+1} c_i + \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} s_i \binom{t_{i+1}}{2} + \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} t_{i+2}(c_i + c_{i+1} + s_i t_{i+1})$$
$$+ \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{2}(s_i + s_{i+1})$$

$$y_\alpha = \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} v_i \binom{t_{i+1}}{1} + \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} u_i \binom{t_{i+1}}{2} + \ldots + \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} c_i \binom{t_{i+1}}{n-3} + \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} s_i \binom{t_{i+1}}{n-2}$$
$$+ \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{1}\left[v_i + v_{i+1} + u_i \binom{t_{i+1}}{1} + r_i \binom{t_{i+1}}{2} + \ldots + c_i \binom{t_{i+1}}{n-4} + s_i \binom{t_{i+1}}{n-3}\right]$$
$$+ \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{2}\left[u_i + u_{i+1} + r_i \binom{t_{i+1}}{1} + \ldots + c_i \binom{t_{i+1}}{n-5} + s_i \binom{t_{i+1}}{n-4}\right] + \ldots$$
$$+ \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{n-4}\left[d_i + d_{i+1} + c_i \binom{t_{i+1}}{1} + s_i \binom{t_{i+1}}{2}\right] + \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{n-3}\left[c_i + c_{i+1} + s_i \binom{t_{i+1}}{1}\right]$$
$$+ \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{n-2}(s_i + s_{i+1})$$

and

$$z_\alpha = \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} y_i \binom{t_{i+1}}{1} + \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} v_i \binom{t_{i+1}}{2} + \ldots + \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} c_i \binom{t_{i+1}}{n-2} + \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} s_i \binom{t_{i+1}}{n-1}$$
$$+ \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{1}\left[y_i + y_{i+1} + v_i \binom{t_{i+1}}{1} + u_i \binom{t_{i+1}}{2} + \ldots + c_i \binom{t_{i+1}}{n-3} + s_i \binom{t_{i+1}}{n-2}\right]$$
$$+ \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{2}\left[v_i + v_{i+1} + u_i \binom{t_{i+1}}{1} + r_i \binom{t_{i+1}}{2} \ldots + c_i \binom{t_{i+1}}{n-4} + s_i \binom{t_{i+1}}{n-3}\right] + \ldots$$
$$+ \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{n-3}\left[d_i + d_{i+1} + c_i \binom{t_{i+1}}{1} + s_i \binom{t_{i+1}}{2}\right] + \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{n-2}\left[c_i + c_{i+1} + s_i \binom{t_{i+1}}{1}\right]$$
$$+ \sum_{i=0}^{\alpha-1} s_{\alpha-i-1} \binom{t_{i+2}}{n-1}(s_i + s_{i+1})$$

For example, let $n = 4$. The first few terms are as follows

ISBN: 978-605-71156-5-2

(1,0,0,0,0)

(0,1,0,0,0)

(0,0,1,0,0)

(1,1,1,0,0)

(1,2,3,1,0)

(2,3,6,4,1)

(4,6,17,19,15)

.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## REFERENCES

[1] H. Aydın and G. C. Smith, Finite *p*-Quotient of Some Cyclically Presented Groups. J. London Math. Soc.(2) 49, 83-92, (1994).

[2] H. Aydın and R. Dikici, General Fibonacci sequences in finite groups, The Fibonacci Quarterly 36.3, 216-221(1998).

[3] H. Aydın, R. Dikici and G.C. Smith, Wall and Vinson Revisited. Applications Fibonacci Numbers, Volume 5. Edited by G. E. Bergum et al. Kluwer Academic Publishers, 61-68(1993)

[4] C. M. Campbell and P. P. Campbell, The Fibonacci lenght of certain centro-polyhedral groups, J. Appl. Math. Comput., 2005; 19: 231-240.

[5] C. M. Campbell, H. Doostie and E. F. Robertson, Fibonacci Length of Generating Pairs in Groups. Applications of Fibonacci Numbers, Volume 3.Edited by G. E. Bergum et al. Kluwer Academic Publishers, 27-35(1990).

[6] Ö. Deveci and E. Karaduman, On the basic k-nacci sequences in finite groups, Discrete Dyn. Nat. Soc., 2011; 639476-1-639476-13.

[7] Ö. Deveci and E. Karaduman, The Pell sequences in finite groups, Util. Math., 2015; 96: 263-276.

[8] Ö. Deveci, The Pell-Padovan sequences and Jacobsthal-Padovan sequences in finite groups, Util. Math., 2015; 98: 257-270.

[9] Ö. Deveci and E. Karaduman, The generalized order -k Lucas sequences in finite groups, J. Appl. Math., 2012; DOI: 10.1155/2012/464580.

[10] Dikici, R., Özkan, E., "General Recurrences in Modular Groups", Ege University Journal of The Faculty of Science, 21(2), 1998.

[11] R. Dikici and G.C. Smith, Recurrences in Finite Groups, Turkish J. Math. 19, 321-329(1995).

[12] R. Dikici and E. Özkan, An Application of Fibonacci Sequences in Groups. Applied Mathematics and Computation, **136(2-3)**, 323-331, (2003).

[13] R. Dikici, Applications of Computer Algebra to the Study of Recurrence in *p*- Groups. Ph. D. Thesis, University of Bath (1992).

[14] R. Dikici and G.C. Smith, Fibonacci Sequances in Finite Nilpotent Groups, Turkish J. Math. 21,133-142(1997). [12] H. Doostie, Fibonacci-type Sequences and Classes of Groups, Ph. D. thesis, University of St Andrews (1988).

[15] S. W. Knox., Fibonacci sequences infinite groups, The Fibonacci Quaterly, 1992; 30, 2: 116-120.

ISBN: 978-605-71156-5-2

[16] E. Özkan, 3-Step Fibonacci Sequences in Nilpotent Groups, Applied Mathematics and Computation, 144, 517-527, (2003).

[17] E. Özkan, Fibonacci sequences in nilpotent groups with class *n*, Chiang Mai Journal of Science, 31(3), 205-212, 2004.

[18] E. Özkan, On General Fibonacci Sequences in Groups, Turkish Journal of Mathematics" 27(4), 525 – 537, (2003).

[19] E. Özkan, H. Aydın and R. Dikici, 3-step Fibonacci series modulo m, Appl. Math. Comp., 2003; 143: 165-172.

[20] E. Özkan, H. Aydın and R. Dikici, "Applications of Fibonacci Sequences in a Finite Nilpotent Group", Applied Mathematics and Computation, 141(2-3), 565-578, (2003).

[21] L. Somer, The Divisibility Properties of Primary Lucas Recurrences with Respect to Primes, The Fibonacci Quarterly 18.4, 316-334(1980).

[22] S. Taş, E. Karaduman The Padovan Sequences in Finite Groups, Chiang Mai J. Sci, 2014; 41(2): 456-462.

[23] R. M. Thomas, The Fibonacci Groups Revisited, Proceedings of Groups St. Andrews 1989, Volume 2 LMS Lecture Note Series 160, CUP. Edited by C.M. Campbell and E.F. Robertson,445-454(1991).

[24] J. Vinson, The Relations of the Period Modulo *m* to the Rank of Apparition of *m* in the Fibonacci Sequence. The Fibonacci Quarterly, 1,37-45(1963).

[25] D. Wall, Fibonacci Series Modulo *m*. Amer. Math. Monthly, 67, 525-532, (1960).

[26] H. J. Wilcox, Fibonacci Sequences of Period *n* in Groups. The Fibonacci Quarterly, 24, 356-361, (1986).

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Gelecek Nesil Haberleşme Sistemleri için İHA-Temelli Haberleşme Ağlarının İncelenmesi

*Ahmet Aytuğ AYRANCI*[1]
*Hacı İLHAN*[2]

**Abstract**

With the increasing number of devices in need of wireless communication, the necessity for new technologies in wireless communication networks is increasing. The Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is used as a base station in the air to prevent or minimize the density, malfunction, and connection errors that occur in the wireless communication network. The communication networks in which UAVs are used as base stations in the air are called UAV-Based communication networks. The ongoing increase in the number of users and devices causes the communication infrastructure used today to be insufficient to meet the communication needs. To meet the high connection need UAV used as base stations in the air, easing the load of the communication network on the ground and providing communication in rural areas where the ground infrastructure cannot provide connection. UAV positioning optimization is required to ensure optimum performance in UAV-Based communication networks. The positioning optimization made ensures that the Path Loss (PL) and energy efficiency problems encountered in the use of UAV-Based networks are overcome. UAV-Based communication networks provide high LoS connection possibility, reducing PL and increasing coverage area. It is expected that UAV-Based communication networks will play a crucial role in the future generation communication systems, thanks to the advantages that it brings to the wireless communication network. In this study, the performance gain of UAV-Based communication networks in the Fifth Generation (5G) and beyond 5G communication networks are explained. In addition, to achieve optimum performance in the communication network, the optimum altitude of the UAV and PL values in the communication network according to the coverage area are indicated via simulations.

**Keywords:** UAV-Enabled Communication Networks, Non-Orthogonal Multiple Access, Sum-Rate Analysis, Orthogonal Multiple Access, Optimum Altitude.

[1] Graduate Student, Yıldız Technical University, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Electronics and Communication Engineering Department, Orcıd: 0000-0002-5755-5010
[2] Associate Prof. Dr., Yıldız Technical Üniversitesi, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Electronics and Communication Engineering Department, Orcıd: 0000-0002-6949-6126

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Giriş**

Gelişen teknoloji ile birlikte mobil cihazların sayısında sürekli olarak artış yaşanmaktadır. Bu artışın meydana getirdiği kablosuz haberleşme ihtiyacı günümüz haberleşme altyapısını zorlamaktadır. Haberleşme altyapısındaki bu yükün hafifletilebilmesi ve kablosuz haberleşme performansının yükseltilmesi amacı ile İnsansız Hava Aracı (İHA) haberleşme ağlarında havadaki baz istasyonları olarak kullanılmaktadır (Cicek vd., 2019). Gün içerisinde yoğun trafiğin olduğu noktalar veya konser alanları, tiyatro salonları ve stadyumlar gibi çeşitli etkinliklerin yapıldığı alanlarda kablosuz erişime ihtiyaç duyan kullanıcı ve cihaz sayısının sürekli değişim göstermesi yerdeki haberleşme ağı üzerinde yük oluşturmaktadır. Belirli zamanlarda haberleşme ihtiyacının arttığı alanlarda haberleşme performansının düşmesi veya ağ içerisinde belirlenen performans sınırlarının sağlanamamasından dolayı haberleşmenin tamamen devre dışı kalması söz konusu olmaktadır. İHA'ların kullanım alanlarından bir tanesi yerdeki haberleşme altyapısına destek olmak ve yerdeki haberleşme altyapısının devre dışı kaldığı durumlarda haberleşmeyi tekrar sağlamaktır. Bir diğer kullanım alanı ise hücresel haberleşme ağının kapsama alanını ve kapasitesini artırmaktır (Lyu vd., 2018; Zaidi vd., 2019). İHA'ların haberleşme ağında baz istasyonu veya erişim noktaları olarak kullanıldığı bu ağ yapılarına İHA-Temelli haberleşme ağları denmektedir.

İHA-Temelli haberleşme ağları İHA'ların sahip olduğu anında konumlandırılma, yüksek hareket kabiliyeti, yüksek kapsama alanı, düşük maliyet ve yüksek irtifada konumlandırılabilme özelliklerini kullanarak kablosuz haberleşme ağının performansının yükseltmesi hedeflemektedir (de Amorim vd., 2020). Yerdeki haberleşme altyapısından farklı olarak İHA'lar yüksek irtifada dinamik olarak konumlandırılabilmeleri ve yüksek hareket kabiliyetine sahip olmaları nedeniyle kablosuz haberleşme ağına önemli avantajlar kazandırabilmektedir. Kablosuz haberleşme ağında kullanıcı performansını belirleyen ana etkenlerden biri Görüş Hattında (LoS) iletişim olasılığıdır. LoS iletişim olasılığı vericinin yerden yüksekliği, verici ile alıcı arasındaki mesafe ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir. İHA-Temelli haberleşme ağı içerisinde ise kullanıcıların haberleşme performansını optimum seviyede tutabilmek için İHA'nın yüksek hareket kabiliyeti ve dinamik konumlandırılma özelliği kullanılarak konumlandırma optimizasyonu üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Zhong vd., 2020; Chen vd., 2022). İHA için optimum yükseklik ve kullanıcıda LoS bağlantı optimizasyonu sağlanarak haberleşme ağı içerisinde tanımlanan Servis Kalitesi (QoS) gereksinimlerini sağlamak ve yerdeki haberleşme altyapısına göre daha yüksek bir kapsama alanı ve kullanıcı kapasitesi sağlamak mümkün olmaktadır (Zhong vd., 2021). İHA'ların kullanımı hızla yayılmasına rağmen haberleşme ağına entegre edilmesinde çeşitli zorluklar bulunmaktadır (Zeng vd., 2016). İHA'ların yerdeki haberleşme ağına yardımcı olacak ve performansını artıracak şekilde kullanılmasına rağmen haberleşme ağına entegre edilirken göz önüne alınması gereken güvenilir iletişim, yol kaybı ve enerji verimliliği alanında aşılması gereken zorluklar bulunmaktadır (Wang vd., 2021).

Beşinci Nesil (5G) ve 5G sonrası kablosuz haberleşme ağlarında sürekli ve yüksek performanslı haberleşme sağlanabilmesi için İHA-Temelli haberleşme ağlarının büyük rol oynaması beklenmektedir. 5G radyo erişim teknikleri için İHA-Temelli haberleşme ağları, milimetre dalga (mmWave), Çok Girişli Çok Çıkışlı (MIMO) ve Dikgen Olmayan Çoklu Erişim (NOMA) haberleşme yapılarının anahtar rol oynaması beklenmektedir. İHA-Temelli ağlar ile bu tekniklerin birlikte kullanıldığı performans analizi çalışmaları bulunmaktadır (Ayrancı vd., 2019). Aynı zamanda 5G sonrası haberleşme ağları için de özellikle Altıncı Nesil (6G) için çalışmalar şimdiden başlamıştır. 6G haberleşme yapısının akıllı sistemler, güvenli ağ yapısı ve sınırsız bağlantı ilkeleri altında

ISBN: 978-605-71156-5-2

oluşturulması ön görülmektedir. 6G içerisinde İHA'lar ve otonom araçlar gibi akıllı sistemlerin sürekli bir bağlantı içinde yönetildiği Yapay Zeka (AI) tabanlı bir kablosuz haberleşme ağı mimarisi oluşturulması hedeflenmektedir. 6G için büyük önem taşıyan bir diğer konu da çok fazla cihazın sürekli bağlantıya ihtiyaç duyması ve bu bağlantı ihtiyacının çok yüksek veri hızı seviyelerinde olmasıdır. Federal Havacılık İdaresinin yaptığı çalışmada 2024 yılında sivil kullanımda olması beklenen İHA sayısı 1,6 milyon olarak açıklanmıştır (Mozaffari vd., 2021). Önceki haberleşme ağlarına göre devasa oranlarda artan mobil cihaz ve veri hızı gereksinimlerini karşılamak amacıyla 5G ile birlikte ortaya atılan çoklu erişim tekniği olan NOMA tekniğinin 5G ve 5G sonrası haberleşme yapısı içerisinde önemli rol oynaması beklenmektedir (Liu vd.; Dec. 2017).

Bu çalışmada İHA'ların haberleşme alanında kullanım şekilleri, haberleşme ağına kazandırdıkları avantajlardan ve İHA-Temelli haberleşme ağ yapısından bahsedilmiştir. 5G ve 5G sonrası haberleşme ağlarında özellikle 6G haberleşme yapısı içerisinde kilit rol oynaması beklenen İHA-Temelli haberleşme ağı incelenmiştir.

**Gelecek Nesil Haberleşme Sistemlerinde İHA'ların kullanımı**

İHA'lar çeşitli protokoller ve denetlemeler altında her geçen gün sivil kullanım alanlarında daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmaktadır. Başlıca sivil İHA kullanım alanları olarak arama kurtarma çalışmaları, fotoğrafçılık ve film sektörü, spor müsabakaları, kargo servisleri ve haberleşme sektörü gelmektedir. Federal Havacılık İdaresi tarafından belirtildiği gibi 2024 yılında sivil amaç ile kullanılan İHA sayısının 1,6 milyon olması beklenmektedir. İHA'ların haberleşme alanında kullanımı 3 genel başlık altında verebiliriz. Bunlardan ilki İHA'ların sahip olduğu dinamik konumlandırma ve yüksek hareket kabiliyetlerini kullanarak sürekli ve her yerde haberleşme imkanının sağlanmasıdır. İkinci kullanım şekli olarak yerdeki haberleşme ağının aşırı yüklenmesi veya devre dışı kalması durumunda haberleşmenin tekrar sağlanmasıdır. Burada İHA'nın düşük maliyetli ve çok hızlı bir şekilde devreye alınabilir olması büyük önem taşımaktadır. Son olarak İHA'ların veri toplama ve dağıtım alanında kullanımı olarak gösterilebilir. Bu alanda özellikle Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamaları ile birlikte sensör ağlardan hızlı bir şekilde

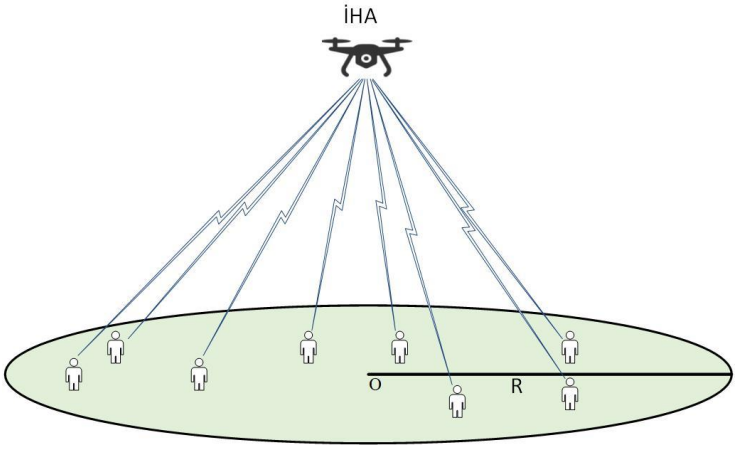
İHA'lar günümüzde birçok sektöre çok hızlı bir şekilde entegre olmakta ve kullanıldıkları alanlarda büyük faydalar sağlamaktadırlar. Uzaktan kontrol edilebilmeleri ve yüksek irtifalarda kullanılabilmeleri sayesinde askeri ve sivil alanlarda kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada haberleşme ağına yardımcı olarak veya kendi başına bir baz istasyonu olarak kullanılıp İHA-Temelli bir haberleşme ağı olarak kullanımından bahsedilmiştir. Bu kullanımın kablosuz haberleşme ağına kazandırdığı avantajlar ve gelecek nesil haberleşme ağlarında kullanımı önünde aşılması güvenlik, enerji verimliliği ve yol kaybı zorluklar bulunmaktadır.

İHA'ların sivil kullanımda barındırdığı zorluklar, İHA'nın kullanım güvenilirliği, güvenlik açıkları ve güç problemleri olarak gösterilmektedir. İHA'lar insansız olarak uzaktan kumandalar yöntemi ile kullanılması dolayısıyla çeşitli kullanım riskleri barındırmaktadır. İHA'ların uzaktan kablosuz haberleşme yöntemi ile kontrol edilmesi nedeniyle giden sinyalin doğruluğu büyük önem taşımaktadır. İHA'nın yerden kontrolü sırasında yerdeki kullanıcıdan İHA'ya komut kontrol ve yüksüz haberleşme bağlantısı (CNPC) adı verilen bağlantı üzerinden yapılmaktadır. Bu bağlantıda gönderilen sinyalde gecikme, girişim ve yanıltıcı sinyal olması durumunda İHA'nın kontrolü kaybedilebilir. İHA'nın kullanımında endişe uyandıran bir diğer konu güvenlik sıkıntıları olmaktadır. Kablosuz haberleşme ile uzaktan kontrol edilen İHA'ların haberleşme kanalları güvenli bir şekilde şifrelenmiş olsa dahi çeşitli saldırılara karşı güvenlik riskleri barındırmaktadırlar. Bu

nedenle kullanım amacına göre İHA'nın taşıdığı bilgi veya yaptığı göreve ait bilgiler istenmeyen kişilerin eline geçebilmektedir. İHA'ların sivil alanda daha hızlı yaygınlaşmasının önüne geçen bir diğer engel ise güç problemleridir. Burada en çok etkilenen uygulamalar İHA-Taksi gibi geleceğe yönelik çalışmalar ve haberleşme alanındaki kullanımlardır. Sivil alanlarda kullanılan İHA'ların büyük çoğunluğu gücünü bataryalardan almaktadır. Güneş enerjisi ve sıvı yakıt gibi farklı kaynaklardan güç alabilecek şekilde üretilen İHA'lar olmasına rağmen günümüzde sivil alanda kullanılan İHA'ların büyük çoğunluğu bataryadan güç almaktadır. Kullanılan bataryaların belirli bir güç sınırı olması nedeniyle özellikle İHA'nın havada kalma süresi sınırlı olmaktadır. İHA-Temelli haberleşme ağları içerisinde aşılması gereken zorluklardan bir tanesi enerji verimliliğidir. İHA-Temelli haberleşme ağ yapısı içerisinde aşılması gereken zorluklar ve bu zorlukların çözümü için önerilerden detaylı bir şekilde bahsedilmiştir.

## İHA-Temelli Haberleşme Ağ Yapısı

İHA'lar haberleşme ağlarında baz istasyonu ya da röle olarak kullanılarak kullanıcıların haberleşme performanslarını ve haberleşme ağının daha büyük bir alanı kapsamasını sağlamaktadır. İHA havadaki baz istasyonu veya röle olarak haberleşme ağında kullanılarak yerdeki kullanıcılara yüksek performanslı haberleşme imkânı sağlanmaktadır.




Şekil 1. İHA-Temelli haberleşme ağı

Şekil 1'de İHA-Temelli bir haberleşme ağı örneği gösterilmiştir. İHA havada baz istasyonu olarak konumlandırılarak yerdeki kullanıcıların haberleşmesini sağlamaktadır. Şekilde görüldüğü üzere yerdeki kullanıcıların içinde bulunduğu R yarı çaplı bir kapsama alanı oluşmaktadır. İHA bu kapsama alanın orta noktasında havada belirli bir yükseklikte konumlanmaktadır. Aynı zamanda İHA belirli bir rotada hareketli olacak şekilde de kullanılabilir. Bu durumda İHA ile yerdeki kullanıcılar arasındaki kanal katsayıları sürekli değişmektedir. Ayrıca İHA ile kullanıcı arasındaki bağıl hıza göre haberleşme ağı içerisinde Doppler etkisi oluşmaktadır. İHA'nın yüksekliği ve haberleşme ortamının çevresel koşulları kapsama alanının büyüklüğünü belirlemektedir. Haberleşme ağında kapsama alanının merkezine yakın olan kullanıcılar İHA'ya daha yakın olduğu için daha yüksek bir haberleşme performansına sahip olmaktadır.

İHA-Temelli haberleşme ağları haberleşme sistemine çeşitli avantajlar kazandırırken aynı zamanda kullanım olarak çeşitli zorluklar barındırmaktadır. İHA-Temelli haberleşme ağ yapısında

ISBN: 978-605-71156-5-2

yükseklik-yol kaybı ilişkisi, enerji verimliliği ve LoS bağlantı olasılığının optimizasyonu ağın haberleşme performansında büyük etkiye sahip olmaktadır.

**Yol Kaybı.**

İHA-Temelli haberleşme ağlarında İHA'nın konumlandırıldığı yükseklik ağ içerisinde kapsama alanı, Yol Kaybı ve LoS bağlantı olasılığı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Kablosuz haberleşme ağında kapsama alanının ve ağ kapasitesinin maksimum seviyede olması istenmektedir. İHA-Temelli haberleşme ağlarında kapsama alanını artırmak için İHA yüksekliği artırılabilir. İHA-Temelli haberleşme ağında belirli bir yüksekliğe kadar İHA'nın yüksekliği arttıkça kapsama alanı da artmaktadır. Fakat belirli bir yükseklikten sonra İHA yüksekliği artırılsa dahi alıcı ile verici arasındaki mesafeden kaynaklı yol kaybı değerinin çok artması nedeniyle kapsama alanı artmak yerine azalmaktadır. Bu nedenle haberleşme ağında İHA yüksekliği ile yol kaybı arasında belirli bir takas olduğu söylenebilir. Kullanıcıda oluşan yol kaybı denklem (1)'de verildiği şekilde ifade edilebilir.

$$PL_{LoS} = 10\log (4\pi fh)^{\alpha} \Pr(LoS) + n_{LoS} \quad (1)$$

Yukarıda verilen denklem de d değişkeni alıcı ile verici arasındaki uzaklığı, f frekansı, c ışık hızını, α haberleşme ortamında göre değişen yol kaybı katsayısını ve $n_{LoS}$ LoS bağlantı durumundaki aşırı kayıp faktörünü belirtmektedir. Denklemden görüldüğü üzere alıcı ile verici arasındaki mesafenin artması ve yüksek frekansta haberleşme ağında daha yüksek bir yol kaybı yaşanmaktadır. Aşırı kayıp faktörü ise vericiden alıcıya giden sinyalin alıcıya ulaşmadan engeller dolayısıyla yaşadığı kaybı belirtmektedir. Burada LoS bağlantı durumu için verildiğinden çok düşük bir değerde ve çevresel parametrelere bağlı olarak belirlenmektedir.

Haberleşme ortamındaki çevresel faktörlerin etkisi ile vericiden alıcıya giden sinyalde kırılma yansıma gibi etkiler meydana gelebilir. Bu durumda sinyal üzerindeki kaybın artmasına neden olmaktadır. Vericiden alıcıya giden sinyalin Görüş Hattında Olmayan (NLoS) bağlantı şeklinde olması durumunda kanalda oluşan yol kaybı ifadesi denklem (2)'de verilmiştir.

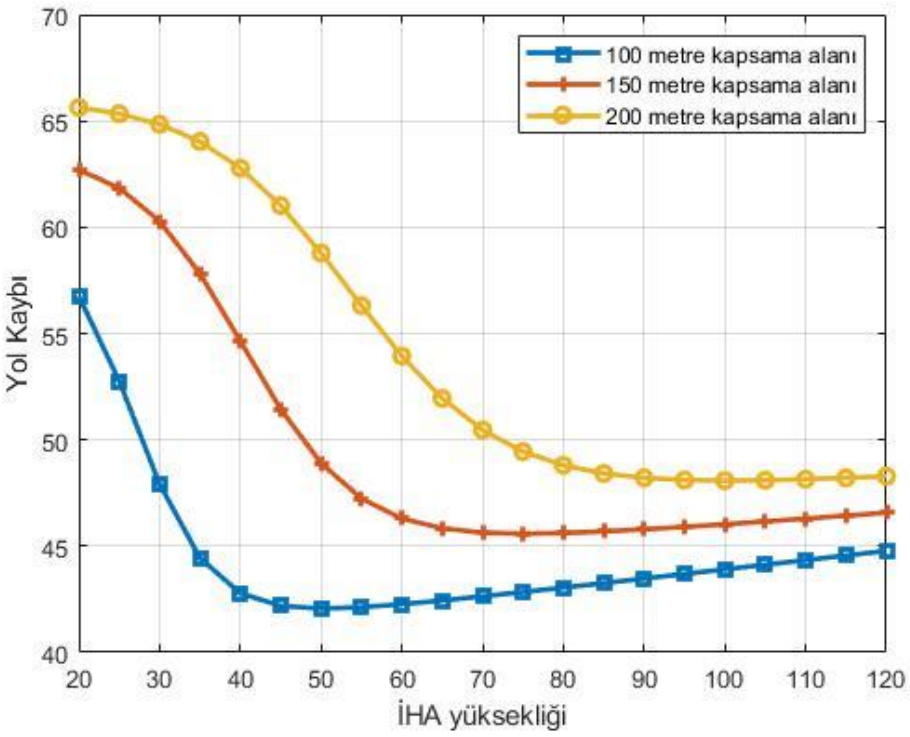
$$PL_{NLoS} = 10\log (4\pi fh)^{\alpha} \Pr(NLoS) + n_{NLoS} + X_{\sigma} \quad (2)$$

NLoS bağlantı durumunda haberleşme ağında oluşan yol kaybı ifadesi (2)'de verilmiştir. Verilen denklem incelendiğinde denklem (1)'den farklı olarak $n_{NLoS}$ değişkeni ve $X_{\sigma}$ değişkeninin olduğu görülmektedir. Burada $n_{NLoS}$ değişkeni NLoS bağlantı durumundaki aşırı kayıp faktörünü belirtmektedir. NLoS bağlantı için alındığından LoS bağlantı durumundaki aşırı kayıp faktörü değerine göre daha yüksek olmaktadır. Aşırı kayıp faktörü haberleşme ortamının çevresel koşullarına göre belirlenmektedir. Denklemdeki $X_{\sigma}$ değişkeni ise gölgeleme (shadowing) faktörünü belirtmektedir. Gölgeleme faktörü NLoS bağlantı durumunda sinyaldeki yansıma kırılma gibi etmenlerden kaynaklanmaktadır. İHA-Temelli haberleşme ağlarında İHA ile kullanıcı arasındaki bağlantı türünü haberleşme ortamı ve İHA'nın yüksekliği belirlemektedir. Aynı zamanda İHA'nın yüksek hareket kabiliyeti kullanılarak kullanıcılar ile LoS bağlantı sağlayacak şekilde optimum İHA konumlandırmasının yapılması gerekmektedir.

Kablosuz haberleşme ağında alıcı ile verici arasındaki uzaklık ve haberleşme ortamından kaynaklı sinyalde bozulmalar nedeniyle yol kaybı haberleşme performansı üzerinde büyük bir etken olmaktadır. Şekil 2'de İHA-Temelli haberleşme ağında 100, 150 ve 200 metre kapsama alanı için kapsama alanı sınırındaki PL değerleri ve bu değerlere göre optimum İHA yüksekliği bulunmuştur.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Yapılan simülasyonda şehirsel haberleşme ortamında yol kaybı değerleri ve İHA için elde edilen en uygun konumlandırılma yüksekliği gösterilmiştir.



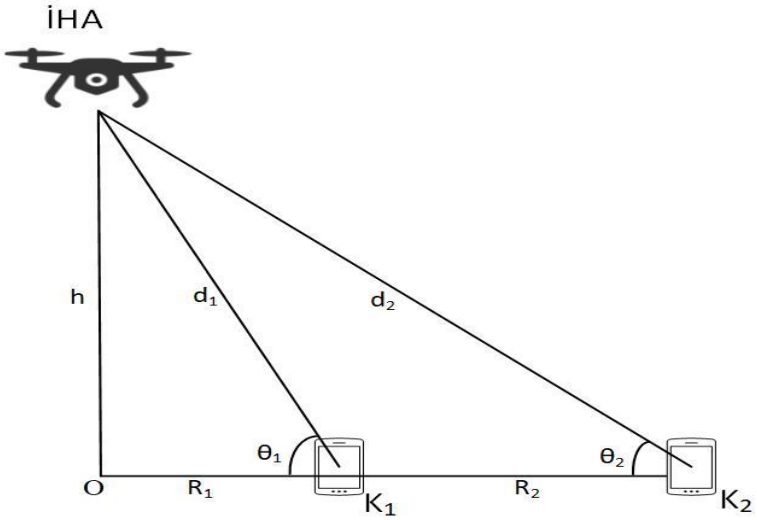

Şekil 2. Optimum İHA yüksekliği ve kapsama alanı sınırındaki yol kaybı değerleri

Şekil 2'de şehirsel ortamda 3 farklı kapsama alanı sınırında elde edilen yol kaybı değerleri gösterilmiştir. Şehirsel haberleşme ortamında 100 metrelik kapsama alanı sınırında optimum İHA yüksekliğinin 50 metre ve yol kaybı değerinin 42 desibel (dB) olduğu görülmektedir. 150 metre ve 200 metrelik senaryolar için ise sırasıyla İHA'nın 70 metre yükseklikte 46 dB değerinde yol kaybı ve 100 metre yüksekliğinde 48.5 dB değerinde sinyalde kayıp olduğu gözlemlenmiştir. Verilen simülasyon sonucu incelendiğinde İHA alçak yüksekliklerde konumlandırıldığında kanalda yüksek dB değerlerinde kayıplar yaşanırken optimum İHA yüksekliği seviyesinden sonra kanaldaki kaybın daha düşük seviyelerde arttığı görülmektedir. Bunun nedeni optimum İHA yüksekliğinde alıcı ile verici arasında LoS bağlantının kurulmuş olması ve çevresel etkilerden minimum seviyelerde etkileniyor olunmasıdır.

**LoS Bağlantı Olasılığı.**

İHA-Temelli ağların haberleşme sistemine kazandırdığı en büyük avantajlardan biri yüksek LoS bağlantı olasılığıdır. Yerdeki haberleşme altyapısında baz istasyonu alçak bir yükseklikte çalıştığı için kullanıcılar için LoS bağlantı kurma olasılığı sınırlı olmaktadır.

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 3. İHA ile kullanıcılar arasındaki bağlantı ve önemli parametreler

Şekil 3'te yerdeki iki kullanıcının İHA'ya bağlantı şeması gösterilmiştir. İHA O noktasından yerden h kadar yükseklikte konumlandırılmıştır. Kullanıcıların İHA'ya olan uzaklıkları sırasıyla $d_1$ ve $d_2$ olarak gösterilmiştir. Ayrıca İHA ile kullanıcılar aralarındaki elevasyon açısı (θ) İHA'nın yüksekliğine ve kullanıcıların İHA'ya yatayda olan uzaklıklarına göre değişmektedir. Yukarıdaki şekilde kullanıcılar için elevasyon açıları sırasıyla $\theta_1$ ve $\theta_2$ olarak gösterilmiştir. Bu durumda $K_1$'in LoS bağlantı olasılığı $K_2$'ye göre daha yüksektir. Aynı zamanda $K_1$'in uzaklıktan kaynaklı yol kaybı değeri de az olduğu için $K_2$'ye göre daha yüksek seviyede sinyal almaktadır. Elevasyon açısı hesaplamak için denklem (3) kullanılmaktadır.

$$\theta_k = \arctan(h/R_k) \quad (3)$$

Yukarıdaki denklem incelendiğinde elevasyon açısının İHA'nın yüksekliği arttıkça ve kullanıcının İHA'nın yerdeki izdüşümüne olan uzaklığı azaldıkça arttığı görülmektedir. Haberleşme ortamının yoğunluğu sinyal üzerinde bozulmalara neden olabilecek binalar ve ağaçlar gibi nesnelerin çoğunluğunu arttırırken bu ortamlarda yerden haberleşme durumunda kullanıcıların sinyal kaliteleri bulundukları uzaklık ve mesafeye göre büyük değişimler gösterebilmektedir. İHA-Temelli haberleşme ağlarında kullanıcılar için LoS bağlantı olasılığı ifadesi denklem (4)'te verilmiştir.

$$Pr(LoS)_k = (1/(1+X\exp(C[\theta_k - X]) \quad (4)$$

Denklem (4)'te İHA-Temelli haberleşme ağı içerisindeki k kullanıcısı için LoS bağlantı olasılığı ifade edilmiştir. Verilen denklemde X kapsama alanında $km^2$ başına düşen bina sayısını ve C kapsama alanı içerisindeki binaların yüksekliğini belirten çevresel koşullara göre değişen parametrelerdir. X ve C parametreleri haberleşme ortamının kırsal, şehirsel ve kentsel olma durumuna göre değişmektedir (Al-Hourani vd., 2014). İHA'nın dinamik konumlandırma ve yüksek hareket kabiliyeti kullanılarak kullanıcılar yüksek LoS bağlantı olasılıklı bir haberleşme ağı oluşturulabilmektedir. Yukarıda verilen LoS ifadesi kullanıcılarda oluşan PL değerleri hesaplanırken kullanılmaktadır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Enerji Verimliliği.**

İHA-Temelli haberleşme ağlarındaki önemli hususlardan bir tanesi enerji verimliliğidir. Özellikle 5G sonrası haberleşme sistemlerinde yüksek veri hızı, sürekli iletişim, minimum gecikme gibi yüksek haberleşme performansı isteyen kriterler olduğu için enerji tüketimi daha fazla olmaktadır. Haberleşme alanında kullanılan İHA'ların çoğunluğunun bataryalardan güç sağlamaktadır. Kullanılan bataryaların sınırlı güç kapasitesi olduğundan dolayı İHA'nın havada harcadığı gücün verimliliği haberleşme ağında kullanıcıların performansını etkilemektedir. Aynı zamanda İHA eğer hareketli olarak belirli bir rota içerisinde kullanılıyorsa daha çok enerji harcayacağından havada kalma süresi ciddi ölçüde azalmaktadır. Burada İHA'nın havada hareketli ise hızı ve rota optimizasyonu çok önemlidir. İHA havada kalmak için enerji harcarken bir diğer taraftan haberleşme için de enerji harcamaktadır.

İHA'da haberleşme için harcanan enerji miktarını gönderilen veri miktarı, veri hızı ve kullanılan haberleşme yöntemi belirtmektedir. Yeni nesil haberleşme sistemlerinde kullanılması planlanan İHA-Temelli ağlarda enerji verimliliği giderilmesi gerek bir zorluk olarak görülmektedir (Zeng ve Zhang, 2017). İHA-Temelli ağlarda günümüzde kullanılan Dikgen Çoklu Erişim tekniklerinin daha fazla enerji üreteceğini bu yüzden Dikgen Olmayan Çoklu Erişim (NOMA) tekniklerinin enerji verimliliği açısından tercih edilebileceği belirtilmiştir (Zhang vd., 2020). İHA-Temelli ağlarda NOMA kullanılarak 5G sonrası haberleşme sistemleri için ortaya çıkan düşük gecikme, yüksek veri hızı ve kapasite gereksinimlerini de karşılamak mümkündür. İHA'da haberleşme için kullanılan enerji miktarının azaltılması için yapılması gereken İHA hareketli ise rota optimizasyonu eğer hareketli değil ise İHA için optimum yükseklik hesabı yapılmalıdır.

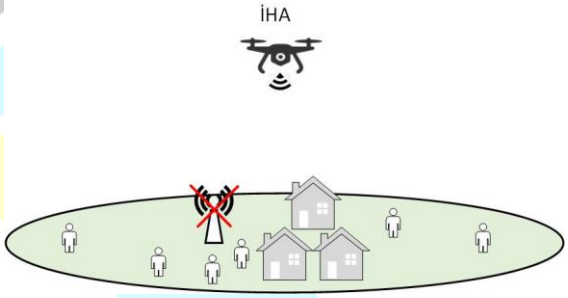
**İHA-Temelli Haberleşme Ağlarının Uygulamaları**

İHA'lar haberleşme ağı içerisinde yerdeki haberleşme ağına destek olarak veya yerdeki haberleşme ağının devre dışı kaldığı durumlarda haberleşmenin tekrar sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. İHA-Temelli haberleşme ağları oluşturularak yerdeki hücresel haberleşme ağına destek olunmaktadır. Yerdeki hücresel haberleşme ağının hücre sınırlarına doğru gidildikçe kullanıcılarda uzaklık ve girişim kaynaklı performans kayıpları yaşanmaktadır. Bu kayıpları engellemek amacıyla İHA'ların yüksek hareket kabiliyeti ve dinamik konumlandırılma özellikleri kullanılarak İHA bir baz istasyonu veya röle şeklinde kullanılabilmektedir.

İHA'ların haberleşme alanındaki uygulamalarından ilk yerdeki haberleşme ağında aşırı yoğunluk olduğu durumlarda havada baz istasyonu konumlandırılabilir. Konser alanları, stadyumlar gibi gün içerisinde değişken yoğunluğa sahip alanlarda anlık yoğunluklar yerdeki haberleşme ağının aşırı yüklenmesine ve haberleşmenin kopmasına neden olabilir. Yerdeki ağda aşırı yoğunluk yaşandığı durumda İHA devreye sokularak yoğunluk azaltılır ve kullanıcıların haberleşme performansı yükseltilebilir. Bir diğer İHA-Temelli haberleşme ağı uygulaması hücresel haberleşmede hücrelerin sınırlarında olan kullanıcılarda girişim ve düşük sinyal gücü nedeniyle yaşanan düşük haberleşme performansını gidermek amacıyla kullanımı oluşturur. Hücre sınırlarında oluşan düşük sinyal gücü ve haberleşme kopukluklarını hücre sınırlarına yakın noktalarda İHA konumlandırarak gidermek mümkündür. İHA-Temelli ağların hücresel haberleşmeye yardımcı kullanımı yazının devamında görseller ve detaylı açıklamalar ile gösterilmiştir.

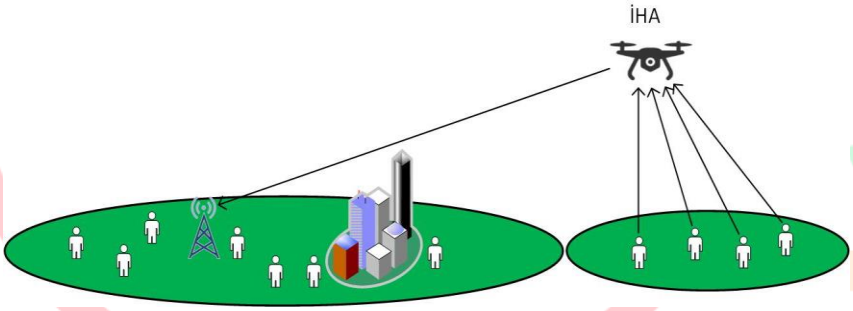
**Hücresel Haberleşmeye Bağlı İHA-Temelli Ağlar.**

İHA-Temelli haberleşme ağlarının en yaygın kullanım alanlarından birisi yerdeki hücresel haberleşme ağlarına bağlı olarak kullanımıdır. Yerdeki hücresel haberleşme ağının performansını artırmak ve yerdeki haberleşme ağının ulaşamadığı noktalara haberleşmeyi sağlamak amacıyla İHA-Temelli ağlar kullanılmaktadır. Yerdeki haberleşme ağı arızalar, aşırı yüklenmeler ve doğal afetler gibi çeşitli nedenler ile devre dışı kalabilir. Bu durumda haberleşmenin en hızlı şekilde tekrar sağlanması gerekmektedir. İHA'ların hızlı konumlandırma ve hareket kabiliyeti kullanılarak devre dışı kalan haberleşme ağının yerine İHA-Temelli bir ağ oluşturulabilir.




Şekil 4. Yerdeki haberleşme ağının devre dışı kaldığı durumda İHA kullanımı

Şekil 4'te yerdeki haberleşme altyapısının devre dışı kaldığı durumda İHA havada baz istasyonu olarak konumlandırılarak haberleşmenin tekrar sağlandığı bir senaryo gösterilmiştir. Aşırı yoğunluk, arızalar ve doğal afetler gibi nedenlerden dolayı yerdeki haberleşme ağının devre dışı kalması durumunda haberleşmenin hızlı bir şekilde sağlanmasını sağlamaktadır.




Şekil 5. Hücresel haberleşmenin kapsama alanını artırmak amacıyla röle olarak İHA kullanımı

Şekil 5'te İHA yerdeki hücresel haberleşme ağının kapsama alanını artırmak için kullanılmıştır. İHA tasarlanan senaryoda röle olarak kullanılarak kullanıcıların gönderdiği bilgileri yerdeki baz istasyonuna iletmiştir. Burada birden çok röle kullanımı da sağlanabilmektedir. Kullanıcılardan İHA'ya veri akışı yukarı yönlü bağlantı ile sağlanmış ve İHA kullanıcılar için alıcı baz istasyonu için verici rolde kullanılmıştır. Yerden haberleşmenin sağlanamadığı kırsal noktalarda İHA'lar hızlı bir şekilde konumlandırılarak haberleşme sağlanabilmektedir. Bu sayede yerdeki haberleşme ağının ulaşamadığı noktalara İHA baz istasyonu veya röle görevinde konumlandırılarak haberleşmenin gerçekleşmesi sağlanır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Sonuçlar**

Bu çalışmada İHA'ların haberleşme ağında kullanım senaryoları ve İHA-Temelli haberleşme ağ yapısından bahsedilmiştir. İHA-Temelli ağların 5G sonrası haberleşme sistemleri içerisindeki rolü ve ortaya çıkan haberleşme gereksinimlerine potansiyel bir çözüm olduğu açıklanmıştır. İHA'ların yerdeki haberleşme ağına destek olarak kullanımı ve yerdeki ağın ulaşamadığı noktalara ulaşarak yeni nesil ağlarda oluşan sürekli haberleşme ihtiyacının giderilebileceği gösterilmiştir. İHA'lar haberleşme sistemi içerisinde LoS baskın bir ağ oluşumu için yerden belirli yükseklikte kullanılırken İHA'nın yüksekliğinin artması yol kaybı değerini de artırmaktadır. İHA konumlandırması yapılırken LoS bağlantının sağlanması ve yol kaybının minimum seviyede olması tercih edilmektedir.

Yapılan çalışmada 3 farklı kapsama alanı için İHA yüksekliği değiştikçe kapsama alanı sınırında elde edilen yol kaybı değerleri simülasyonlar yoluyla elde edilmiştir. Bu yol kaybı değerlerinin minimum olduğu yükseklik İHA'nın optimum konumlandırılma yüksekliği olmaktadır. Optimum yükseklik değerinden sonra yol kaybı değerinin düşük seviyelerde arttığı bunun nedeninin optimum yükseklikte LoS bağlantı sağlandığı için daha yüksek İHA konumlandırılmasında sadece uzaklık kaynaklı yol kaybı artışının olduğu görülmektedir. İHA-Temelli ağlarda optimum yükseklikte İHA konumlandırılması yapılarak hem enerji verimliliği hem de kullanıcılar için optimum haberleşme performansı elde edilebilmektedir.

İHA-Temelli ağların 5G sonrası haberleşme sistemlerinde kilit rol oynaması beklenmektedir. İHA'ların sahip olduğu anında konumlandırma ve yüksek hareket kabiliyetleri kullanılarak her geçen gün artan kablosuz haberleşme ve yüksek veri hızı ihtiyacını karşılamak mümkündür.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynakça**

Al-Hourani, A., Kandeepan, S., & Jamalipour, A. (2014). Modeling air-to-ground path loss for low altitude platforms in urban environments. *2014 IEEE Global Communications Conference* (s. 2898-2904). USA: IEEE.

Amorim, R. M., Wigard, J., Kovács, I. Z., & Sørensen, T. B. (2021). Performance Enhancements for LTE-Connected UAVs: Experiments and Simulations. Y. Zeng, I. Guvenc, R. Zhang, G. Geraci, & D. W. Matolak içinde, *Performance Enhancements for LTE-Connected UAVs: Experiments and Simulations* (s. 139 - 161). Wiley-IEEE Press.

Ayrancı, A. A., Bacanlı, E., & İlhan, H. (2019). Performance Analysis of NOMA in Drone Communication. *2019 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 1070 - 1074.

Cicek, C. T., Gultekin, H., Tavli, B., & Yanikomeroglu, H. (2019). UAV Base Station Location Optimization for Next Generation Wireless Networks: Overview and Future Research Directions. *2019 1st International Conference on Unmanned Vehicle Systems-Oman (UVS)* (s. 1-6). Muscat, Oman: IEEE.

Federal Aviation Administration. (2020). *Federal Aviation Administration*. https://www.faa.gov/newsroom/federal-aviation-administration-faa-aerospace-forecast-fiscal-years-fy-2020-2040 adresinden alındı

Liu, Y., Qin, Z., Elkashlan, M., Ding, Z., Nallanathan, A., & Hanzo, L. (Dec. 2017). Nonorthogonal Multiple Access for 5G and Beyond. *Proceedings of the IEEE vol.105 no.12*, 2347 - 2381.

Lyu, J., Zeng, Y., & Zhang, R. (2018). UAV-Aided Offloading for Cellular Hotspot. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 3988 - 4001.

Mozaffari, M., Lin, X., & Hayes, S. (December 2021). Toward 6G with Connected Sky: UAVs and Beyond. *IEEE Communications Magazine Vol. 59 no.12* , 74 - 80.

Wang, L., Chen, Y., Wang, P., & Yan, Z. (December 2021). Security Threats and Countermeasures of Unmanned Aerial Vehicle Communications. *IEEE Communications Standards Magazine* , 41 - 47.

Zaidi, S. K., Hasan, S. F., Gui, X., Siddique, N., & Ahmad, S. (2019). Exploiting UAV as NOMA based Relay for Coverage Extension. *2019 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)* (s. 1-5). Riyadh, Saudi Arabia: IEEE.

Zeng, Y., & Zhang, R. (2017). Energy-Efficient UAV Communication With Trajectory Optimization. *IEEE Transactions on Wireless Communications vol. 16 no. 6*, 3747 - 3760.

Zeng, Y., Zhang, R., & Lim, T. J. (May 2016). Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 36 - 42.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Zhang, H., Zhang, J., Long, K., Nallanathan, A., & Leung, V. C. (June 2020). Resource Allocation for Energy Efficient NOMA UAV Network under Imperfect CSI. *ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (s. 1-6). Dublin, Ireland: IEEE.

Zheyi Chen, H. Z. (2022). Joint computation offloading and deployment optimization in multi-UAV-enabled MEC systems. *Peer-to-Peer Networking and Applications 15*, 194–205.

Zhong, X., Huo, Y., Dong, X., & Liang, Z. (2021 June). QoS-Compliant 3-D Deployment Optimization Strategy for UAV Base Stations. *IEEE Systems Journal*, 1795 - 1803.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Intercalation and Exfoliation of Simav (Turkey) Kaolinite with n-Butanol and Isopropanol

**Hatice ÜNAL ERCAN**[1]

**Abstract**

The Simav located in the western part of Anatolia is the largest known kaolin deposit in Turkey. These kaolins, which are very important economically, are the most abundant industrial raw material in the region. Kaolin is a sub-group of a kaolin-serpentine group of phyllosilicates and is characterized by one tetrahedral, one octahedral (1:1) sheet, dioctahedral structure, the chemical composition of Si, Al, O, and H and with chemical formula $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Kaolinite consists of a tetrahedral ($T–SiO_4$) sheet and an octahedral ($O–AlO_3+3OH$) sheet. In this study, washed kaolinite minerals were firstly intercalated with dimethyl sulfoxide and then *n*-Butanol and isopropanol to prepare intercalation compounds Kaol-*n*-BuOH and Kaol-IPA. The crystallographic changes in the mineral were determined by X-ray diffraction, field emission scanning electronic microscopy, and fourier transformation infrared spectroscopy. XRD results exhibited that the intercalation of *n*-BuOH into the kaolinite sheets resulted in a very limited basal spacing increase from 0.71 nm to 0.78 nm. However, the intercalation of IPA into kaolinite layers caused an obvious increase in the basal spacing from 0.71 nm to 1.07 nm (0.36 nm). FTIR revealed that the dehydroxylation temperature of Kaol-*n*-BuOH and Kaol-IPA were clearly lower than that of natural kaolinite. In micromorphological observations, the intercalation process of Kaol-*n*-BuOH was not clearly observed, only it was clearly determined that only kaolinite layers were exfoliated. In the intercalation process of Kaol-IPA, rarely nanoscrolls from the edges of the kaolinite sheets were observed and also nano-tubes. These new exfoliation methods revealed that the Kaol-IPA method is could be more hopeful than Kaol-*n*-BuOH in natural kaolinites of the Simav.

**Keywords:** Kaolinite; *n*-Butanol; isopropanol; XRD; FE-SEM; FTIR

[1] KonyaTechnical University, Department of Chemical and Chemical Processing Technologies, Konya, Turkey, (0000-0001-6775-1798), hunalercan@ktun.edu.tr

ISBN: 978-605-71156-5-2

## INTRODUCTION

Western Anatolia is a tectonically active region where magmatic activity developed intensely after the Tertiary collision (Akay, 2009). During the magmatic processes, a large area in Western Anatolia was covered with andesitic, dacitic, and rhyolitic rocks, and there were granodiorites emplaced as shallow intrusions (Siyako et al., 1989). When the region is considered tectonically, it is a very active region, and today it moves westward along the North Anatolian Fault (NAF) zone with an approximately east-west orientation (Okay et al., 2000). There are many NE-SW trending active faults associated with the NAF in the Biga Peninsula (Siyako et al., 1989; Okay et al., 1991). Hydrothermal fluids rising along these fault zones caused intense kaolinization of minerals such as quartz, alkaline feldspar and mica in the composition of basement rocks (Ece et al., 2013; Ercan et al., 2016).

Kaolins are natural materials that show mineralogical, particle size and morphological differences depending on their formation environments and the main rocks from which they are derived, and are used in many industrial areas such as ceramics, porcelain, paper, reactors, nanomaterials and plastics. Kaolin is a sub-member of the kaolin-serpentine group of phyllosilicates. Its crystal structure consists of tetrahedral (T–$SiO_4$) and octahedral (O–$AlO_3$+3OH) plates. It is uncharged and has a 1:1 layer structure and is characterized by a dioctahedral structure and its crystal lattice is triclinic. Kaolin group minerals are hallosite, stalagmite and nacrite. Si, Al, O and H elements are dominant in this crystal structure and its chemical formula is $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (Abdullahi et al., 2017). Kaolinite is soft, earthy, and usually white to cream, but its color can vary depending on the iron or other impurities contained in the rock (Hinckley, 1965).

Nanocomposites can be defined as materials dispersed approximately in the polymer matrix at nanometric size, or as multiphase solid composites in which there are repeats of nanoscale structures (1-100 nm) that make up the material (Kim and Palomino, 2011). The micromorphology of these repeating nanomaterials is in the form of nano-spheres, nano-fibers, nano-tubes and nano-layered materials (Ma and Zhang, 2014; Romero-Ibarra et al., 2012). The micromorphological properties of clays make them suitable to be considered as suitable nanofillers widely used in polymeric nanocomposites (Villanueva et al., 2009). Kaolinite mineral, which shows natural layered structures, stands out with its 1:1 layer structure and being a natural nanocomposite material. In addition, the fact that kaolinite is a very common mineral all over the world and easy to obtain makes this mineral advantageous for its use as a nanocomposite material. Clays with a 1:1 structure such as kaolin can be used as nanocomposites; It offers advantages such as i) being abundant, ii) easy dispersibility of polymers, iii) being easily interlayered with various chemicals and iv) being easily modified with organic materials.

The use of clays as nanomaterials in the production of industrial nanocomposites can provide superior properties to the material to be produced (Akinci et al., 2014). Compared to artificial composites, much more efficient results are obtained from nanocomposites in which clays are used as reinforcement. It has been determined that nanocomposites, in which clays are used, show better gas and membrane barrier properties, and have higher flammability and thermal

ISBN: 978-605-71156-5-2

resistance (Paul and Robeson, 2008). For the clays to be used as a suitable reinforcement material in the production of the specified nanocomposites and to make them suitable for the process to be applied, they must be pre-treated and various organic modifiers must be added for this.

Within the scope of this study, it was aimed to determine whether the natural kaolinite mineral obtained from the Simav region can have nanocomposite material properties. For this purpose, it is aimed to exfoliate kaolinite by adding dimethylsulfoxide (DMSO), *n*-Butanol (*n*-BuOH) and isopropanol (IPA) to the kaolinite mineral. To check whether the experiment was successful or not, X-ray diffractometry (XRD), field emission scanning electron microscope (FE-SEM) and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy analyzes were performed and the results were evaluated.

## METHOD AND DISCUSSION

The kaolin studied within the scope of this study was obtained from the Simav kaolin quarry located in western Anatolia to fully determine the applicability of the experiments to be carried out. The sample was ground through a 325 mesh sieve before starting the experiments. After that, the kaolinite washed three times with distilled water to remove other contaminants and the clay was separated using the method of Poppe et al, (1988).

XRD analyzes were performed to evaluate the purity of the obtained kaolinite mineral. All XRD analyses before and after the experiment were performed at Konya Technical University, Central Research Laboratories, in GNR EUROPE 600 XRD model device, CuKα radiation (0.1540596 nm), 40 mA, 40 kV operating conditions, 0.005° scanning speed, 0.250 mm slit interval and 2θ in the range of 2.0– 45.0°. Micromorphological examinations of kaolinites carried out within the scope of the study were determined by using ZEISS GeminiSEM 500 model scanning electron microscope at Necmettin Erbakan University, Science and Technology Research and Application Center. The operating conditions of FE-SEM are 15 kV acceleration voltage, 5-15 mA current and 10-20 s counting time for each element. The iridium coating process was carried out using a Leica EM ACE600 model spray coater at 0.06 nm/s at 22-23 °C, at 04.23 nm. FTIR analysis was performed on a Nicolet™ iS20 FTIR Spectrometer at Konya Technical University. Spectra were recorded in transmission mode. The kaolinite sample, which was determined to be suitable by XRD, SEM and FTIR, was subjected to intercalation and exfoliation experiments with reactive analytical grade DMSO, *n*-butanol and isopropanol. During the study, Liu et al. (2016) and Zou et al. (2018) procedures were taken into account. The experimental procedure based on the study is; 1) preparation of kaolinite dimethyl sulfoxide intercalation compound, 2a) modifying the OH-surface of this compound with *n*-butanol and intercalating Kaol-n-BuOH, and 2b) and modifying the OH-surface treated with DMSO with isopropanol, and Kaol- IPA intercalation has been carried out.

## RESULTS AND DISCUSSION

XRD analyses of the kaolinite mineral belonging to the Simav region were performed before and after the Intercalation and Exfoliation experiments (Fig.1). Data obtained from XRD analyses revealed that Kaol-*n*-BuOH and Kaol-IPA compounds exhibited structurally different

ISBN: 978-605-71156-5-2

behavior. XRD results exhibited that the intercalation of *n*-BuOH into the kaolinite sheets resulted in a very limited basal spacing increase from 0.71 nm to 0.78 nm. However, the intercalation of IPA into kaolinite layers caused a clear enhancement in the basal spacing from 0.71 nm to 1.07 nm (0.36 nm).

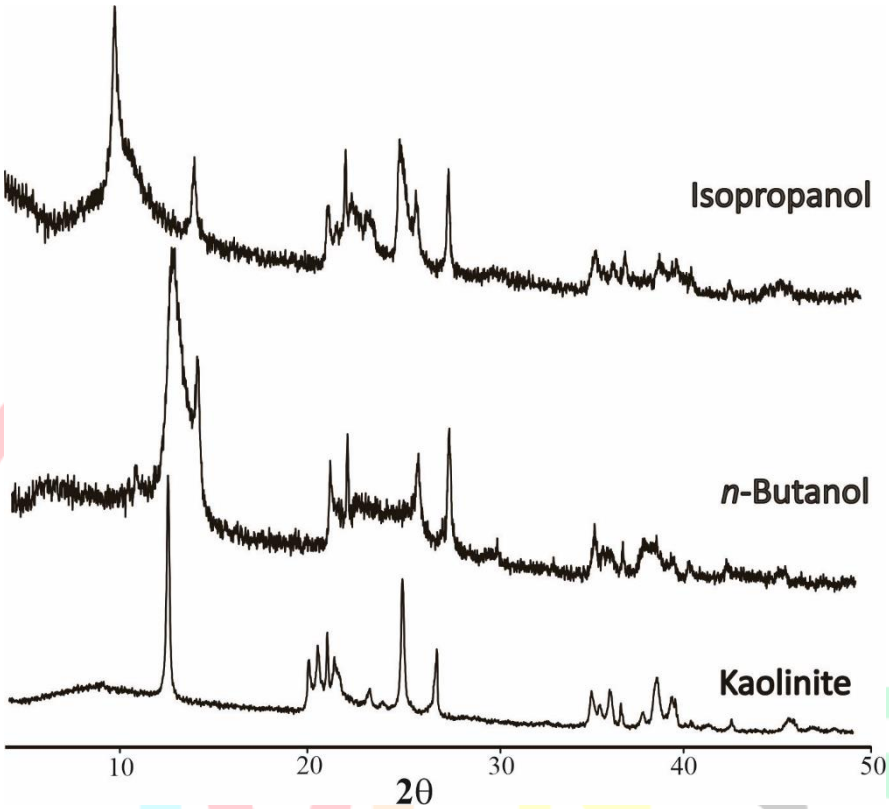



Figure 1. XRD patterns of Kaolinite and the intercalated Kaol- *n*-BuOH and Kaol-IPA products.

FTIR spectra of Kaolinite, Kaol-DMSO, Kaol-*n*-BuOH and Kaol-IPA are shown in Fig. 2. Raw Kaolinite was obviously observed in hydroxyl stretching peaks at 3690 and 3620 $cm^{-1}$. A clear shoulder is observed at around 3625 - 3685 cm−1. The band at 3620 $cm^{-1}$ is dedicated to the inner hydroxyl of Kaolinite. These inner hydroxyl groups are not affected by the intercalation and exfoliation due to the hydrogen of inner hydroxyls being oriented towards the vacant sites (Zou et al., 2018). The Si–O bond stretching bands of Kaolinite were observed at 1115, 1029 and 1008 $cm^{-1}$. When kaolinite was intercalated by DMSO, the band at 3690 $cm^{-1}$ shifted to 3692 $cm^{-1}$ and a clear narrowing of the shoulder was observed, the shoulder shifted at 3685 cm−1 to 3660 $cm^{-1}$ (Fig. 2). The new bands were detected at 3535 and 3502 $cm^{-1}$, these bands occurred because of the moderately strong hydrogen bonding between some of the inner surface hydroxyls and the sulphonyl oxygen (Zou et al., 2018). Additionally, the characteristic stretching vibrations of C–H were detected at 2935 cm−1 and 3021 $cm^{-1}$ that are related to $–CH_2$ of DMSO. After the Kaol-DMSO was washed with *n*-BuOH and IPA, the C–H stretching bands of DMSO wipeout. The Si–O bond stretching bands of Kaol-DMSO 1118 and 1010 $cm^{-1}$ were observed. Besides, the Al–OH bending vibrations of Kaolinite at 912 $cm^{-1}$ shifted to 909 $cm^{-1}$ at the Kaol-DMSO. After

ISBN: 978-605-71156-5-2

treatment with *n*-BuOH compared with Kaol-DMSO, The weak Si–O stretching band of Kaol-*n*-BuOH at 1032 $cm^{-1}$ appeared again. Similar band changes were detected after IPA treatment. There is no significant change in these bands. However, as seen in the FTIR spectrum of Kaol-*n*-BuOH ve Kaol-IPA, the bands of inner-surface -OH groups have changed (Fig. 2). The band at 3690 $cm^{-1}$ was shifted from the hydroxyl stretching band to 3687 $cm^{-1}$ (Fig. 2). Additionally, new clearly observed band at 3540 $cm^{-1}$ can be *n*-BuOH and IPA hydrogen-bonded to hydroxyl surface groups. In comparison with Kaol-DMSO and raw Kaolinite, the characteristic band of Kaol-*n*-BuOH ve Kaol-IPA was observed at1650 $cm^{-1}$. The variation of the stretching band of the Si–O was not sharp and clear.

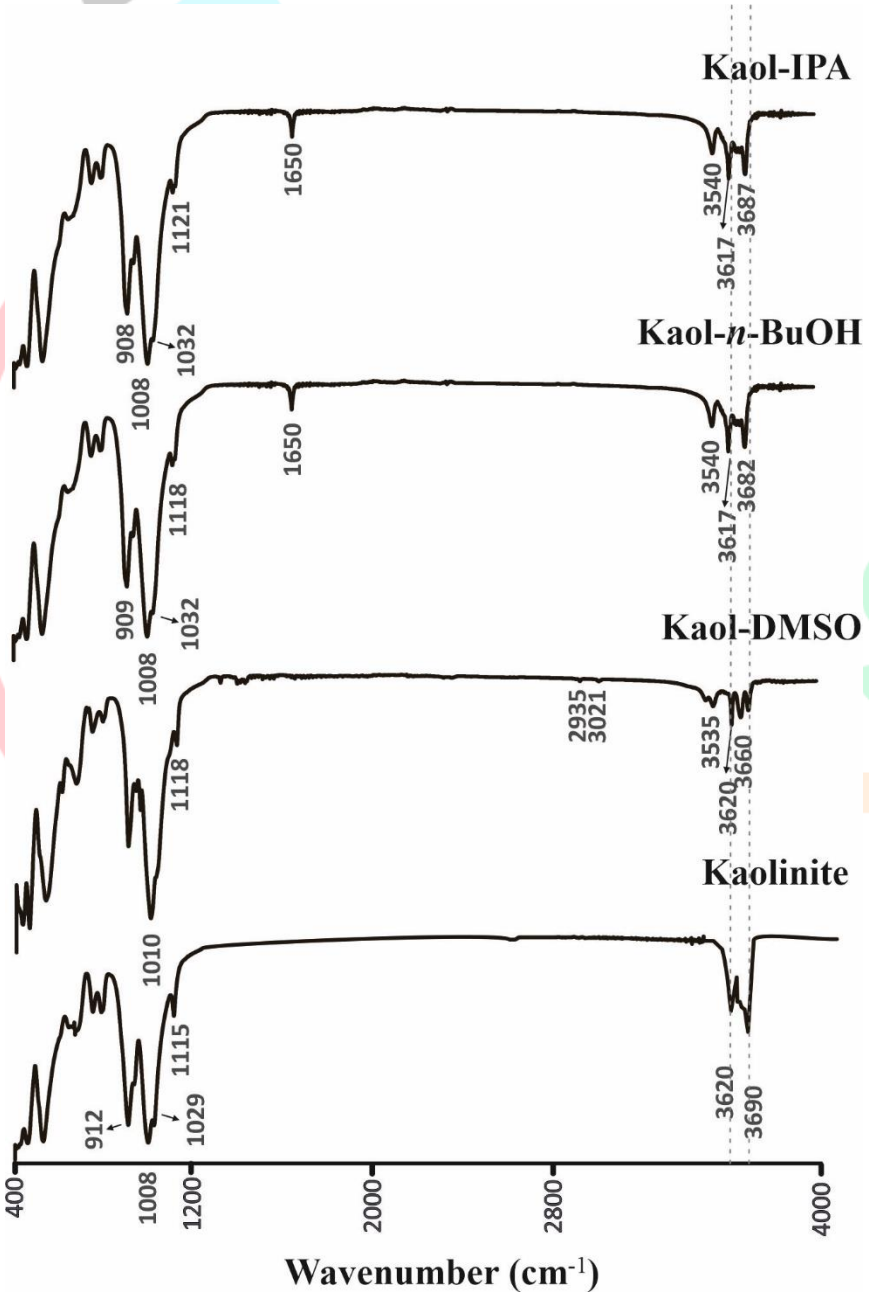



Figure 2. FTIR spectra of Kaolinite, Kaol-*n*-BuOH, and Kaol-IAP.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Particle size and morphology analysis of Kaolinite, Kaol-DMSO, Kaol-*n*-BuOH and Kaol-IPA can be seen in Figure 3. Pure Kaolinite is very characteristic with its stacky packed hexagonal, fine-grained crystals and vermiform structure. After treatment with DMSO was compared with pure Kaolinite, it was observed that the kaolinite plates began to exfoliate. It is also determined that the vermiform structure is dispersed and the layers slide over each other. After the intercalation of *n*-BuOH, some platy particles scrolled and plates highly dispersed were observed. Only in the intercalation of IPA, a very weak scroll edge of Kaolinite and the completely scrolled tube was detected at the ends of the kaolinite plates (Fig. 3).

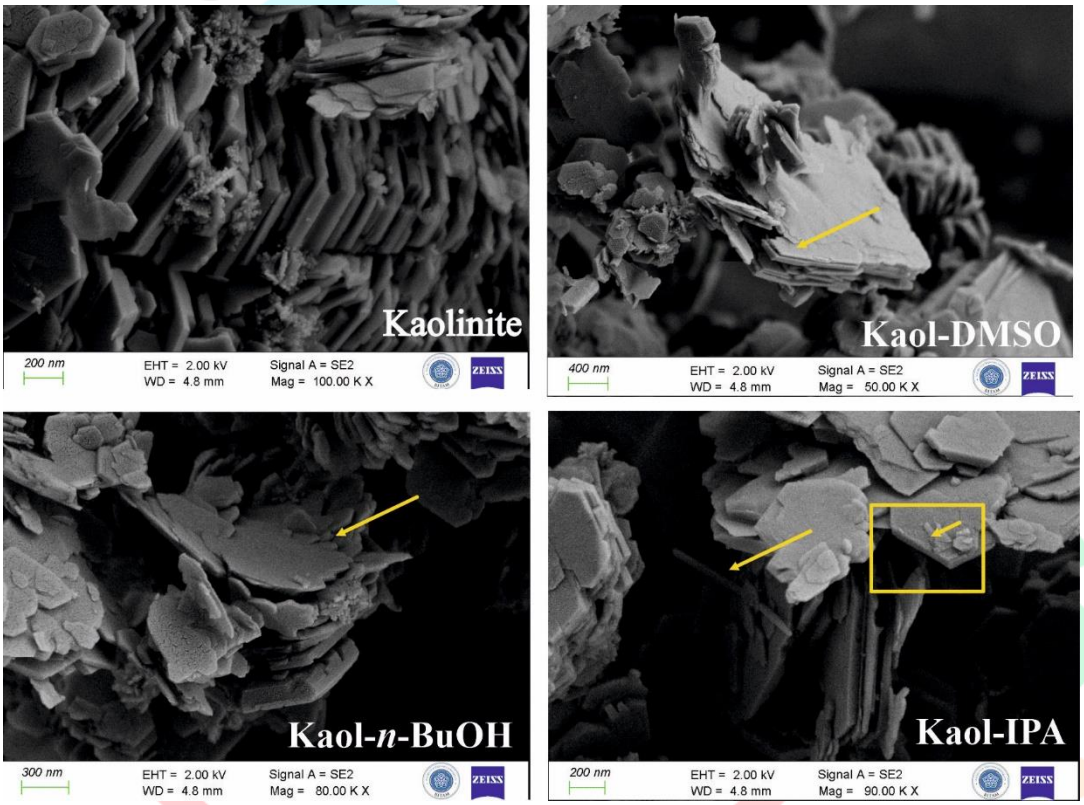



Figure 3. SEM images of Kaolinite, Kaol-DMSO, Kaol-*n*-BuOH and Kaol-IPA.

There are many experimental studies on Kaolinite intercalation and exfoliation (Gardolinski and Lagaly, 2005; Dong et al., 2003; Essawy et al., 2009; Kuroda et al., 2011; Yuan et al., 2013; Liu et al., 2016; Neto et al., 2017; Zuo et al., 2018). Many of these research have produced data that nanoscrolls can be formed as a result of interlaying kaolinite with various chemicals. Cationic intercalators used in these above mentioned studies are such as cetyltrimethylammonium bromide, octadecyl dimethyl ammonium chloride, dodecyl amine, methylmethacrylate, methanol and sodium dodecyl sulfate.

## CONCLUSIONS

Within the scope of this study, Kaol-*n*-BuOH and Kaol-IPA have been successfully prepared. XRD analyses revealed the expanding basal spacing of Kaolinite quite clearly. These new

ISBN: 978-605-71156-5-2

exfoliation methods for the XRD data revealed that the Kaol-IPA method is could be more hopeful than Kaol-*n*-BuOH in natural kaolinites of the Simav. The micromorphological observations exhibited that almost all sheets of Kaol-n-BuOH and Kaol-IPA were exfoliated, and at the least partially- or well-curled Kaolinite sheets occurred in the intercalation treatments. Both methods seem to encourage the making of a new exfoliation method for Kaolinite sheets. As a result, all these data obtained from natural kaolinite minerals taken from the Simav region show that they can have nanocomposite material properties.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Abdullahi, T., Harun, Z., & Othman, M. H. D. (2017). A review on sustainable synthesis of zeolite from kaolinite resources via hydrothermal process. Advanced Powder Technology, 28(8), 1827-1840.

Akay, E. (2009). Geology and petrology of the Simav Magmatic Complex (NW Anatolia) and its comparison with the Oligo-Miocene granitoids in NW Anatolia: implications on Tertiary tectonic evolution of the region. International Journal of Earth Sciences, 98(7), 1655-1675.

Akinci, A., Sen, S., & Sen, U. (2014). Friction and wear behavior of zirconium oxide reinforced PMMA composites. Composites Part B: Engineering, 56, 42-47.

Dong, W., Li, W., Yu, K., Krishna, K., Song, L., Wang, X., ... & Feng, S. (2003). Synthesis of silica nanotubes from kaolin clay. Chemical Communications, (11), 1302-1303.

Ece, Ö. I., Ekinci, B., Schroeder, P. A., Crowe, D., & Esenli, F. (2013). Origin of the Düvertepe kaolin–alunite deposits in Simav Graben, Turkey: Timing and styles of hydrothermal mineralization. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 255, 57-78.

Essawy, H. A., Youssef, A. M., Abd El-Hakim, A. A., & Rabie, A. M. (2009). Exfoliation of kaolinite nanolayers in poly (methylmethacrylate) using redox initiator system involving intercalating component. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 48(2), 177-184.

Gardolinski, J. E. F. C., & Lagaly, G. (2005). Grafted organic derivatives of kaolinite: I. Synthesis, chemical and rheological characterization. Clay Minerals, 40(4), 537-546.

Hinckley, D. N. (1965). Mineralogical and chemical variations in the kaolin deposits of the coastal plain of Georgia and South Carolina. American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials, 50(11-12), 1865-1883.5-274.

Kim, S., & Palomino, A. M. (2011). Factors influencing the synthesis of tunable clay–polymer nanocomposites using bentonite and polyacrylamide. Applied Clay Science, 51(4), 491-498.

Kuroda, Y., Ito, K., Itabashi, K., & Kuroda, K. (2011). One-step exfoliation of kaolinites and their transformation into nanoscrolls. Langmuir, 27(5), 2028-2035.

Liu, Q., Li, X., & Cheng, H. (2016). Insight into the self-adaptive deformation of kaolinite layers into nanoscrolls. Applied Clay Science, 124, 175-182.

Ma, P. C., & Zhang, Y. (2014). Perspectives of carbon nanotubes/polymer nanocomposites for wind blade materials. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 651-660.

Neto, J. M., Kimura, S. P. R., Vieira, M. G. A., Neto, J. E., Nascimento, N. R., & Lona, L. M. F. (2017). Intercalation and exfoliation mechanism of kaolinite during the emulsion polymerization. Chemical Engineering Transactions, 57, 1453-1458.

Okay, A., Siyako, M., & Burkan, K. A. (1991). Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula, northwest Turkey. Bulletin-Technical University of Istanbul, 44.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Okay, A. I., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E., & Kuşçu, İ. (2000). Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study. Tectonophysics, 321(2), 189-218.

Paul, D. R., & Robeson, L. M. (2008). Polymer nanotechnology: nanocomposites. Polymer, 49(15), 3187-3204.

Poppe, L. J., Fredericks, J. J., & Hathaway, J. C. (1988). A computer program to calculate centrifugation parameters for sedimentation analyses. Computers & Geosciences, 14(4), 541-545.

Romero-Ibarra, I. C., Bonilla-Blancas, E., Sanchez-Solis, A., & Manero, O. (2012). Influence of the morphology of barium sulfate nanofibers and nanospheres on the physical properties of polyurethane nanocomposites. European Polymer Journal, 48(4), 670-676.

Siyako, M., Bürkan, K. A., & Okay, A. I. (1989). Tertiary geology and hydrocarbon potential of the Biga and Gelibolu peninsulas. Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1(3), 183-99.

Ünal Ercan, H., Işik Ece, Ö., Schroeder, P. A., & Karacik, Z. (2016). Differentiating styles of alteration within kaolin-alunite hydrothermal deposits of Çanakkale, NW Turkey. Clays and clay minerals, 64(3).

Villanueva, M. P., Cabedo, L., Gimenez, E., Lagarón, J. M., Coates, P. D., & Kelly, A. L. (2009). Study of the dispersion of nanoclays in a LDPE matrix using microscopy and in-process ultrasonic monitoring. Polymer Testing, 28(3), 277-287.

Yuan, P., Tan, D., Annabi-Bergaya, F., Yan, W., Liu, D., & Liu, Z. (2013). From platy kaolinite to aluminosilicate nanoroll via one-step delamination of kaolinite: effect of the temperature of intercalation. Applied Clay Science, 83, 68-76.

Zuo, X., Wang, D., Zhang, S., Liu, Q., & Yang, H. (2018). Intercalation and exfoliation of kaolinite with sodium dodecyl sulfate. Minerals, 8(3), 112.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Kendi Ağırlığına Maruz Ara Mesnetli ve Uç Kütleli Kolonun Serbest Titreşimi

**Esra ALBAYRAK**[1]
**İrfan COŞKUN**[2]

**Abstract**

This study presents the free bending vibration of an axially loaded standing uniform column with an intermediate support and an eccentric rigid end mass. The column's own weight and the mass moment of inertia of the end mass are accounted for in the analysis. It is well-known that the natural frequencies of flexural vibration decrease when the axial load is compressive. To maintain the dynamic properties of a column under axial load and tip load, an additional rigid or elastic support may be atteched within the column span. This additional intermediate support does not only hold the column firmly, but is also employed to improve the structural performance, such as reducing the excessive lateral deflection or raising the natural frequencies. In the analysis, the equation of motion with variable coefficients and associated boundary conditions are carried out by using Bernoulli-Euler beam theory. Assuming a harmonic solution in time, these equations which govern the motion for linear modes of the column are obtained. Then, this system is analytically solved by using the Frobenius method, and natural frequencies are numerically calculated from the roots of characteristic (frequency) equation. The influence of the rotary inertia and/or eccentricity of the end mass and the location of the intermediate support on the natural frequencies is examined and some of the results are presented in the form of tables and plots.

**Keywords:** Natural frequency, Uniform column, Axial load, End mass, Intermediate support

[1] Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Yüksek Lisans Programı
[2] İrfan Coşkun, Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1.Giriş

Yüksek binalar, iletişim, gözlem ve su kuleleri ile anten direkleri ve açık deniz platformu tarzındaki yapıların dinamik davranışını belirleyebilmek için bu yapılar çeşitli biçimlerde mesnetlendirilmiş kolonlar olarak modellenmektedir. Modellemede yapı çoğunlukla alt ucu ankastre veya ötelenme ve/veya dönme yaylarından oluşan elastik mesnetli, üst ucunda rijit bir kütle bulunan bir kolon olarak göz önüne alınmaktadır. Kolonlar kendi ağırlıkları ve/veya uçta taşıdıkları kütle nedeniyle sürekli olarak eksenel yük etkisinde kalmakla birlikte; deprem, rüzgar ve patlama gibi dinamik dış etkilere de maruz kalabilmektedir. Söz konusu yapıların tasarımında statik etkilere ilave olarak dinamik etkiler de göz önüne alındığından, yukarıda değinilen modelleme yapılarak ilgili yapının dinamik davranışına ilişkin oldukça önemli bir parametre olan doğal frekans değerleri elde edilmekte ve tasarımda kullanılmaktadır.

Sabit veya değişken kesitli, çeşitli mesnetlenme durumlarına sahip, serbest ucunda kütle bulunan kiriş ve kolonların enine titreşimlerine ilişkin çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmında uç kütlenin dönme eylemsizliği ve eksantrisitesi ile eksenel kuvvet etkisi göz önüne alınmamaktadır. Uç kütlenin dönme eylemsizliğinin ve eksantrisitesinin bileşik etkisinin göz önüne alındığı fakat eksenel kuvvetin bulunmadığı durumda kolonların serbest titreşimi, örneğin Wu ve Hsu [1] ve Rosa vd. [2] tarafından incelenmiştir. Diğer yandan, kolon ve kirişlerde söz konusu etkilerin bulunması bu elemanların titreşimini ve stabilitesini etkileyebilmektedir. Eksenel yükün basınç olması halinde doğal frekansların küçüldüğü, çekme olması halinde ise frekansların büyüdüğü ve basınç kuvvetinin Euler burkulma yüküne kadar arttırılması durumunda temel frekansın küçülerek sıfıra gittiği bilinmektedir. Sabit eksenel uç kuvvet veya yayılı eksenel kuvvet etkisi altndaki uç kütle içermeyen kirişlerin ve kolonların klasik sınır koşulları altındaki serbest titreşimi örneğin Pilkington ve Carr [3], Bokaian [4], ve Naguleswaran [5] tarafından; yalnızca kendi ağırlığına maruz düşeyde asılı veya alt ucundan mesnetli üst ucu serbest kolonların dinamik davranışı Abramowich [6], Virgin vd. [7] ve Chang Y. Wang [8] tarafından incelenmiştir. Kiriş veya kolonda eksenel kuvvet bulunmasının yanısıra, serbest uçta noktasal bir kütle veya dönme eylemsizliği ile birlikte dışmerkezliliği de göz önüne alınan bir rijit cisim bulunması halindeki dinamik davranışı inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır. Örneğin, Shaker [9] farklı mesnetlenme durumlarını göz önüne alarak noktasal uç kütleli kirişte eksenel kuvvetin frekanslar üzerindeki etkisini incelemiştir. Farghaly [10] eksenel kuvvete maruz serbest ucunda elastik olarak tutturulmuş uç kütle bulunan Bernoulli-Euler kirişinde, Farghaly ve Shebl [11] ise Timoshenko kirişinde mod şekillerinin ve doğal frekasların çeşitli parametrelerle değişimini incelemiştir. Lajimi and Heppler [12] kolon ağırlığını lineer değişen eksenel kuvvet olarak göz önüne almış ve bu kuvvet ile dönme eylemsizliği ve dış merkezliliği olan uçtaki rijit cismin doğal frekanslar ve mod şekilleri üzerindeki bileşik etkisini incelemiş, burkulma yüküne karşılık gelen burkulma boylarını elde etmiştir.

Kolon veya kirişlerin çok büyük yer değiştirme yapmalarını önlemek, doğal frekanslarını büyütmek veya burkulma kapasitelerini arttırmak amacıyla bu elemanların açıklıkları boyunca, elastik yayların da mesnet olarak kullanılabildiği, ara mesnetler yerleştirilmektedir. Örneğin, Ding Xi Wang [13] kendi ağırlığına maruz kolonda rijit ara mesnet, Chang Y. Wang [14] ise sabit basınç kuvvetine maruz kolonda elastik ara mesnet kullanarak ara mesnetin konumunun ve eksenel kuvvetin büyüklüğünün sistemin doğal frekansları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

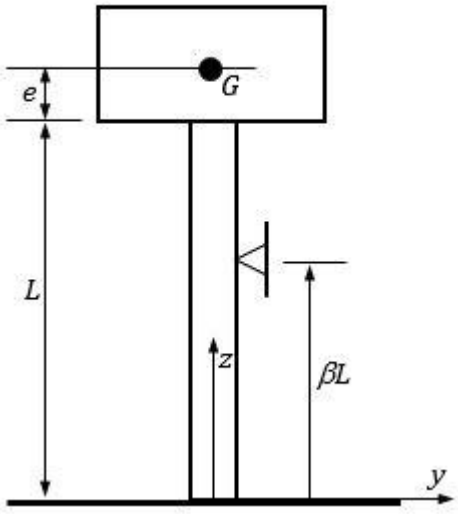
Kendi ağırlığına maruz ara mesnetli kolonun serbest titreşimi literatürde incelenerek doğal frekanslar belirlenmiş ve ara mesnet konumunun frekanslar üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Bu

ISBN: 978-605-71156-5-2

çalışmada, kendi ağırlığına maruz, açıklık boyunca yeri değişebilen bir ara mesnet içeren ve serbest ucunda rijit cisim bulunan alt ucu ankastre, üst ucu serbest Bernoulli-Euler kolonunun serbest titreşimi araştırılmaktadır. Çalışmanın esas amacı sistemin doğal frekanslarını elde ederek ara mesnetin konumunun, kolon ağırlığının ve uç kütle parametrelerinin temel frekans üzerindeki bileşik etkisini belirlemektir. Bu etkinin belirlenmesi gerçek yapının tasarımında kullanılacak olan birinci mod frekans değerinin doğru tahmin edilmesi bakımından oldukça önemlidir. Çalışmada sabit kesitli kolonun ağırlığı lineer değişen yayılı kuvvet, uç kütlenin ağırlığı ise sabit eksenel kuvvet olarak göz önüne alınmakta, kuvvetin basınç olması nedeniyle ortaya çıkabilecek stabilite problemi bu çalışma kapsamı dışında tutulmaktadır.

## 2.Problemin Formülasyonu ve Çözüm

Şekil 1'de serbest titreşimi incelenecek alt ucu ankastre mesnetli, serbest ucunda rijit bir cisim bulunan $L$ boyundaki Bernoulli-Euler kolonu görülmektedir. Kolonun en kesit alanı $A$, kesit atalet momenti $I$, kütle yoğunluğu $\rho$, elastisite modülü $E$; üst uçtaki rjit cismin kütlesi $M$, dış merkezliği $e$, kütle merkezi etrafındaki dönme eylemsizliği $J$ ile gösterilmektedir. Kolon, kendi ağırlığı ile uç kütlenin ağırlığı etkisi altındadır. Eksenel olarak uygulanan bu kuvvetlerden kolon ağırlığı lineer değişen yayılı kuvvet, uç kütlenin ağırlığı ise sabit tekil kuvvet olarak göz önüne alınmaktadır.




Şekil 1. Uç kütle taşıyan ara mesnetli uniform ankastre kolon

Şekil 1' de görülen kolonun enine serbest titreşimine ait hareket denklemi aşağıdaki gibidir.

$$EIv'''' + [(Mg + mg(L-z)v']' + m\ddot{v} = 0 \tag{1}$$

Bu denklemdeki $g$ yer çekimi ivmesini, $v(z,t)$ kolonun yatay yer değiştirmesini, köşeli parantez

ISBN: 978-605-71156-5-2

içindeki terim ise eksenel kuvveti göstermektedir. Sistemdeki ara mesnet nedeniyle yukarıdaki diferansiyel denklem iki bölge için de kullanılacak ve yer değiştirmeler alt uçtan ara mesnete kadar olan birinci bölgede $v_1(z,t)$, ara mesnetten uç kütleye kadar olan ikinci bölgede ise $v_2(z,t)$ biçiminde gösterilecektir. $\beta$ ara mesnetin yerini belirleyen bir parametre olmak üzere birinci bölgede $0 \le z \le \beta L$, ikinci bölgede ise $\beta L \le z \le L$ olarak değişmektedir. Problemin sınır koşulları ise şu şekildedir: Birinci bölgede ankastre mesnette yer değiştirme ve dönme sıfır, ara mesnette yer değiştirmeler sıfır, dönmeler ve momentler birbirine eşit; ikinci bölgede ise kolon ucu ile uç kütlenin birleşim yerinde momentler ve kesme kuvvetleri birbirine eşittir. Buna göre sınır koşulları toplu olarak şağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$EIv_1(0,t)=0 \quad , \quad EIv_1'(0,t)=0$$
$$EIv_1(\beta L,t)=0,\ EIv_2(\beta L,t)=0\ ,\ EIv_1'(\beta L,t)=EIv_2'(\beta L,t)\ ,\ EIv_1''(\beta L,t)=EIv_2''(\beta L,t)$$
$$EIv_1''(\beta L,t)+Me\ddot{v}+(J+me^2)\ddot{v}'=0, EIv_1'''(\beta L,t)+(Mg+mg(L-z))v'-M(\ddot{v}-e\ddot{v}')=0$$
(2)

Denklem (1)'in verilen sınır koşulları altındaki çözümü için $\omega$ sistemin doğal frekansını, $V(z)$ koordinata bağlı yer değiştirmeyi, $s$ boyutsuz koordinatı ve $\eta$ boyutsuz yer değiştirmeyi göstermek üzere aşağıdaki ayrıklaştırma ve boyutsuz büyüklükler tanımlanmaktadır.

$$v(z,t)=V(z)e^{i\omega t},\ \ s=z/L\ ,\ \ \eta=V(z)/L \tag{3}$$

(3) ifadelerinin (1) ve (2)'de yerine konulup düzenlendikten sonra diferansiyel denklem ve sınır koşulları aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\eta_i''''(s)+\left[P_0+\gamma(1-s)\right]\eta_i''(s)-\gamma\eta_i'(s)-k^4\eta_i(s)=0, i=1,2$$
(4)
$$\eta_1(0)=0\ ,\ \eta_1'(0)=0$$
$$\eta_1(\beta)=0,\ \eta_2(\beta)=0\ ,\ \eta_1'(\beta)=\eta_2'(\beta)\ ,\ \eta_1''(\beta)=\eta_2''(\beta)$$
$$\eta_2''(s)-k^4[\bar{M}\bar{e}\eta_2(s)+(\bar{J}+\bar{M}\bar{e}^2)\eta_2'(s)]=0,$$
(5)
$$\eta_2'''(s)+k^4[\bar{M}\eta_2(s)+\bar{M}\bar{e}\eta_2'(s)]+[P_0+\gamma(1-s)]\eta_2'=0$$

Bu denklemlerdeki boyutsuz büyüklükler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\gamma=\frac{mgL^3}{EI}\ ,\ P_0=\frac{MgL^2}{EI}\ ,\ k^4=\frac{mL^4\omega^2}{EI}\ ,\ \bar{M}=\frac{M}{mL}\ ,\ \bar{J}=\frac{J}{mL^3}\ ,\ \bar{e}=\frac{e}{L}$$

(4) diferansiyel denkleminin değişken katsayılı olması nedeniyle problem Frobenius yöntemiyle Hildebrand [15] çözülecek ve kolonun doğal frekansları ile mod şekilleri elde edilecektir. Buna

ISBN: 978-605-71156-5-2

göre yer değiştirmeye ilişkin $\eta(s)$ fonksiyonu aşağıdaki gibi bir kuvvet serisine açılmaktadır.

$$\eta_i(s,c)=\sum_{n=0}^{n=\infty}(a_{n+1})_i(c)s^{c+n} \tag{6}$$

Bu ifadedeki $a_{n+1}$ katsayıları henüz bilinmeyen $c$ değişkeninin fonksiyonu olup sınır koşulları yardımıyla elde edilecektir. (6) çözümünün (4) denkleminde yerine yazılıp düzenleme yapıldığında aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}&\sum_{n=-1}^{n=\infty}(c+n+1)(c+n)(c+n-1)(c+n-2)a_{n+2}s^{c+n-3}\\&+(P_0+\gamma)\sum_{n=1}^{n=\infty}(c+n-1)(c+n-2)a_n s^{c+n-3}\\&-\gamma\sum_{n=2}^{n=\infty}(c+n-2)^2 a_{n-1}s^{c+n-3}-k^4\sum_{n=3}^{n=\infty}a_{n-2}s^{c+n-3}=0\end{aligned} \tag{7}$$

Baş katsayı $a_1(c)=1$ olarak alındığında (7) denkleminden $a_k(\mathrm{c})=0$, $k\le 0$ koşuluyla, katsayılar arasında aşağıdaki bağıntı elde edilmektedir.

$$a_{n+2}(c)=\frac{-(P_0+\gamma)(c+n-1)(c+n-2)a_n(c)+\gamma(c+n-2)^2a_{n-1}(c)+\beta^4a_{n-2}(c)}{(c+n+1)(c+n)(c+n-1)(c+n-2)} \tag{8}$$

Katsayıların bu şekilde alınmasıyla $\eta_i(s,c)$ çözümü (4) denklemini aşağıdaki indis denkleminin kökleri için sağlamaktadır.

$$c(c-1)(c-2)(c-3)=0 \tag{9}$$

Bu denklemin kökleri olan $c$ =0, 1, 2, 3 değerlerinden aşağıda verilen dört çözüm fonksiyonu elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}\eta_1(s,0)&=a_1(0)[1-\frac{P_0+\gamma}{2}s^2+\sum_{n=0}^{n=\infty}a_{n+5}(0)s^{n+4}]\\\eta_1(s,1)&=a_1(1)[s-\frac{P_0+\gamma}{6}s^3+\frac{\gamma}{24}s^4+\sum_{n=0}^{n=\infty}a_{n+5}(1)s^{n+5}]\\\eta_1(s,3)&=a_1(3)[s^3-\frac{P_0+\gamma}{20}s^5+\frac{\gamma}{40}s^6+\sum_{n=0}^{n=\infty}a_{n+5}(3)s^{n+7}]\end{aligned} \tag{10}$$

Elde edilen bu dört çözüm fonksiyonunda $a_1(0)=A_1$, $a_1(1)=B_1$, $a_1(2)=C_1$, $a_1(3)=D_1$

ISBN: 978-605-71156-5-2

biçiminde, köşeli parantez içindeki terimler de $F_0, F_1, F_2, F_3$ biçiminde tanımlanarak, birinci bölgedeki diferansiyel denklemin genel çözümü çözüm fonksiyonlarının toplamı alınarak aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\eta_1(s) = A_1 F_0(s) + B_1 F_1(s) + C_1 F_2(s) + D_1 F_3(s)$$
(11)

Birinci bölgedeki diferansiyel denklemle ikinci bölgedeki diferansiyel denklemin yapıları aynı olduğu için ikinci bölgedeki çözüm

$$\eta_2(s) = A_2 E_0(s) + B_2 E_1(s) + C_2 E_2(s) + D_2 E_3(s)$$
(12)

olarak yazılabilir. (11) ve (12) denklemlerindeki $A_i, ..., D_i$ $(i = 1,2)$ sabitleri sınır koşullarından elde edilecektir. (5) sınır koşullarının ilk ikisi $A_1 = 0, B_1 = 0$ değerlerini vermektedir. Geriye kalan denklemlerden oluşan homojen denklem sistemi çözülerek $k_i$ frekans parametresi değerleri, daha sonra da doğal frekanslar $\omega_i = k_i^2 (\sqrt{EI/m})/L^2$ bağıntısından elde edilmektedir. Söz konusu frekans paramatresi değerleri lineer denklem sisteminde katsayılar matrisinin determinantını sıfır yapan değerler olarak, diğer bir deyişle, frekans denkleminin kökleri olarak hesaplanmaktadır.

$$\Delta(k(\omega)) = |R| = 0$$
(13)

Determinantın içindeki elemanlar aşağıdaki gibidir.

$$R_{11} = F_2(\beta)\ ,\ R_{12} = F_3(\beta)\ ,\ R_{13} = R_{14} = R_{15} = R_{16} = 0,$$

$$R_{21} = R_{22} = 0,\ R_{23} = E_0(\beta),\ R_{24} = E_1(\beta),\ R_{25} = E_2(\beta),\ R_{26} = E_3(\beta)$$

$$R_{31} = F_2'(\beta),\ R_{32} = F_3'(\beta),\ R_{33} = -E_0'(\beta),\ R_{34} = -E_0'(\beta)\ ,\ R_{35} = -E_2'(\beta),\ R_{36} = -E_3'(\beta)$$

$$R_{41} = F_2''(\beta),\ R_{42} = F_3''(\beta),\ R_{43} = -E_0''(\beta),\ R_{44} = -E_1''(\beta),\ R_{45} = -E_2''(\beta),$$

$$R_{46} = -E_3''(\beta)$$

$$R_{51} = 0,\ R_{52} = 0,\ R_{53} = [E_0''(1) - k^4(\bar{M}\bar{e}E_0(1) + (\bar{J} + \bar{M}\bar{e}^2)E_0'(1))]$$

$$R_{54} = [E_1''(1) - k^4((\bar{M}\bar{e}E_1(1) + (\bar{J} + \bar{M}\bar{e}^2)E_1'(1))]$$

$$R_{55} = [E_2''(1) - k^4((\bar{M}\bar{e}E_2(1) + (\bar{J} + \bar{M}\bar{e}^2)E_2'(1))]$$

$$R_{56} = [E_3''(1) - k^4((\bar{M}\bar{e}E_3(1) + (\bar{J} + \bar{M}\bar{e}^2)E_3'(1))]$$

$$R_{61} = 0,\ R_{62} = 0,\ R_{63} = [E_0'''(1) + k^4(\bar{M}E_0(1) + \bar{M}\bar{e}E_0'(1)) + P_0 E_0'(1)]$$

$$R_{64} = [E_1'''(1) + k^4(\bar{M}E_1(1) + \bar{M}\bar{e}E_1'(1)) + P_0 E_1'(1)]$$

ISBN: 978-605-71156-5-2

$$R_{65} = [E_2'''(1) + k^4(\bar{M}E_2(1) + \bar{M}\bar{e}E_2'(1)) + P_0E_2'(1)]$$

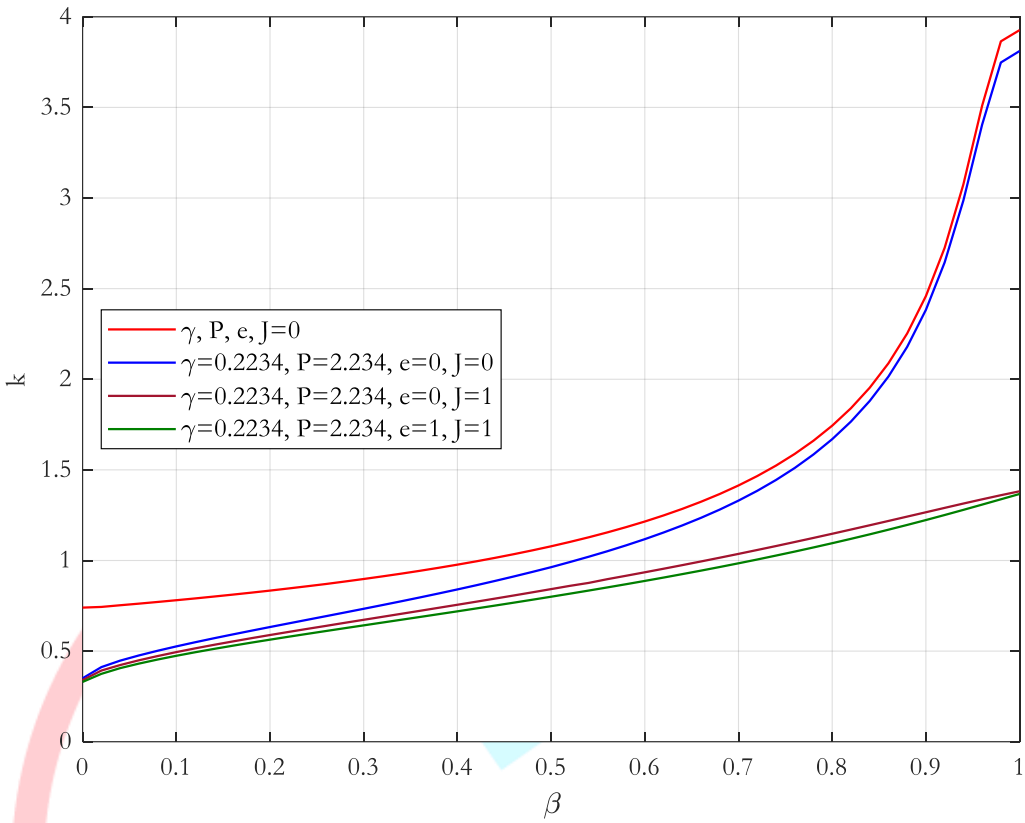
$$R_{66} = [E_3'''(1) + k^4(\bar{M}E_3(1) + \bar{M}\bar{e}E_3'(1)) + P_0E_3'(1)]$$

### 3. 3.Sayısal uygulama

Bu bölümde sayısal uygulama yapılarak bazı parametrelerin kolonun temel frekansı (en küçük frekansı) üzerindeki etkileri gözlenmeye çalışılacaktır. Sayısal örneklerde göz önüne parametreler Wu ve Hsu [1] tarafından kullanılan parametreler olup kolon yüksekliği $L = 15m$, dairesel olan kesitin çapı $d = 0.3m$, malzeme elastisite modülü $E = 2.068 \times 10^{11} N/m^2$, kütle yoğunluğu $\rho = 7850 kg/m^3$ ve uç kütle eksantrisitesi $e = 0 - 1.5m$ olarak alınmıştır. Seri çözümünde, özellikle yüksek modlarda, yakınsaklığı sağlamak amacıyla terim sayısı $N \geq 45$ olarak alınmıştır.

Şekil 2'de boyutsuz uç kütle $\bar{M} = 10$ seçilerek, frekans parametresinin ara mesnetin yeri ile değişimi verilmiştir. Şekilden, ara mesnetin kolon alt ucundan uzaklaşmasıyla frekans parametresinin (temel frekansın) büyüdüğü görülmektedir. Eksenel kuvvetin göz önüne alınmaması durumunda eksantrisite ve dönme eylemsizliği de sıfır iken frekans en büyük değerini almaktadır. Bu durumda $\beta = 0$ alındığında, ara mesnetsiz ankastre mesnetteki frekans parametresi değeri elde edilmektedir. Uç kütlesiz ve ağırlıksız kolonda bu değer $k = 1.8751$olmaktadır [14]. Diğer taraftan, ara mesnetin herhangi bir konumunda eksenel kuvvetin ve dönme eylemsizliği ve/veya eksantrisitenin birlikte bulunması durumunda, frekans parametresi değeri küçülmektedir. Seçilen parametreler için ara mesnet kolon üst ucuna yaklaştıkça dönme eylemsizliği ve eksantrisitenin etkisinin daha büyük olduğu görülmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 2. Frekans parametresinin ara mesnetin kolon alt ucuna olan uzaklığı ile değişimi $\bar{M}(=10)$

Tablo 1'de ara mesnetin kolon orta noktasında $(\beta = 0.5)$ bulunması durumunda elde edilen frekans parametresi değerleri ve bunlara ilişkin $\omega(rad/sn)$ doğal frekans değerleri verilmiştir. Tablodan; seçilen uç kütle, dönme eylemsizliği ve eksantrisite değerlerinin büyüyen değerleri için doğal frekansların küçüldüğü görülmektedir.

Tablo 1. Uç kütle $\bar{M}$, dönme eylemsizliği $\bar{J}$ ve uç kütle eksantrisitesi $e$ 'nin temel frekans $k$ üzerindeki etkisi $(\beta = 0.5, \gamma = 0.223, P_0 = 2.234)$

| $e$=0, $\bar{J}$=1 | | $\bar{M}$=10, $e$ =0 | | $\bar{M}$=10, $\bar{J}$=1 | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{M}$ | $k(\omega)$ | $\bar{J}$ | $k(\omega)$ | $e$ | $k(\omega)$ |
| 1 | 1.087(2.022) | 1 | 0.842(1.213) | 0 | 0.842(1.213) |
| 5 | 0.967(1.6019 | 5 | 0.650(0.724) | 0.5 | 0.820(1.152) |
| 10 | 0.8421(1.213) | 10 | 0.560(0.537) | 1 | 0.800(1.095) |
| 15 | 0.7297(0.9112) | 15 | 0.510(0.446) | 1.5 | 0.780(1.042) |

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Sonuç**

Bu çalışmada kendi ağırlığına maruz, ara mesnetli ve serbest ucunda rijit bir kütle taşıyan kolonun serbest titreşimi analitik-sayısal yöntemle incelenmiştir. Uç kütlenin dönme eylemsizliği ve eksantrisitesi de göz önüne alınarak yapılan çözümde, sistemin doğal frekansları hesaplanmış ve bazı parametrelerin temel frekans üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre:

- Frekans değerleri ara mesnetin yerine bağlı olarak önemli oranda değişmekte ve ara mesnet uç kütleye doğru yaklaştıkça temel frekans değerleri büyümektedir. Ara mesnetin yerini belirleyen parametrenin sıfıra gitmesi halinde ara mesnetsiz ankastre kolona ait frekanslar elde edilmektedir.
- Ara mesnetin herhangi bir konumunda, basınç tipindeki eksenel kuvvet nedeniyle frekans değerleri küçülmektedir.
- Uç kütlenin, uç kütlenin dönme eylemsizliğinin ve eksantrisitesinin büyümesi halinde frekans değerlerinin küçüldüğü ve eksantrisitenin dönme eylemsizliği yanında frekanslar üzerinde daha az etkili olduğu gözlenmiştir.
- Sayısal çözümde göz önüne alınan parametre değerleri nedeniyle burkulma problemi ortaya çıkmamıştır. Ancak, özellikle kolon boyu ve uç kütlenin büyük değerleri için bu problem ortaya çıkabileceğinden hesaplamalarda burkulmanın da dikkate alınması gerekmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynakça**

[1] Wu, J.S., Hsu, S.H., (2006). A unified approach for the free vibration analysis of an elastically supported immersed uniform beam carrying an eccentric tip mass with rotary inertia. *J. of Sound Vib.* 291, 1122-1147.

[2] De Rosa, M.A., Lippiello, M., Vairo, F. and Maurizi, M.J., (2013). Free vibration analysis of a variable cross-section column partially immersed in a liquid. *Ocean Engineering* 72, 160-166.

[3] Pilkington D.F. and Carr, J.B., (1970). Vibration of beams subjected to end and axially distributed loading. *Journal of Mechanical Engineering Science* 12(1), 70-72.

[4] Bokaian, A., (1988). Natural frequencies of beams under compressive axial loads. *Journal of Sound and Vibration* 126(1), 49 - 65.

[5] Naguleswaran, S., (2004). Transverse vibration of a uniform Euler-Bernoulli beam under linearly varying axial force. *Journal of Sound and Vibration* 275 (1-2), 47-57

[6] Abramovich, H. (1993). Free vibrations of gravity loaded composite beams. *Composite Structures* 23(1), 17 - 26.

[7] Virgin, L.N., Santillan, S.T. and Holland, D.B., (2007). Effect of gravity on the vibration of vertical cantilevers. *Mechanics Research Communications* 34(3), 312-317.

[8] Wang, C.Y., (2012). Influence of gravity and taper on the vibration of a standing column. *Advances in Applied Mathematics and Mechanics* 4(4), 483-495.

[9] Shaker, F.J., (2012). Effect of axial load on mode shapes and frequencies of beams, *Technical Report NASA-TN-8109*, Lewis Research Center, Cleveland, Ohio, USA.

[10] Farghaly, S.H., (1992). Bending vibrations of an axially cantilever beam with an elastically mounted end mass of finite length. *Journal of Sound and Vibration* 156, 373-380.

[11] Farghaly S.H. and Shebl, M.G., (1995). Exact frequency and mode shape formulae for studying vibration and stability of Timoshenko beam system. *Journal of Sound and Vibration* 181, 169-177.

[12] Lajimi, S.A.M. and Heppler, G.R., (2013). Free vibration and buckling of cantilever beams under linearly varying axial load carrying an eccentric end rigid body. *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, Vol. 37, No.1, 89-109.

[13] Wang, C.Y., (2010). Vibration of a standing heavy column with Intermediate support. *Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. 132, 1-4.

[14] Wang, D., (2014). Optimum design of intermediate support for raising fundamental frequency of a beam or column under compressive axial load. *Journal of Eng. Mech.* 140(7) 1-9.

ISBN: 978-605-71156-5-2

[15] Hildebrand, F.B. *Advanced Calculus for Applications*, 2nd edn. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1976.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# $MnO_2$ Katkılı Poli(*N*-vinil karbazol) Filmlerinin Çelik Üzerinde Elektrokimyasal Sentezi, Karakterizasyonu ve Antikorozif Özellikleri

**Eda ŞİMŞEK**[1]
**Berrin DURAN**[2]

**Abstract**

$MnO_2$ doped poly(*N*-vinyl carbazole) coatings (PNVnCz-$MnO_2$) were electrochemically synthesized on 304 stainless steel (304-SS) by cyclic voltammetry. *N*-vinyl carbazole, tetrabutyl ammonium perchlorate and $MnO_2$ containing non-aqueous acetonitrile solution was used for the synthesis. In order to determine synthesis conditions of best protective coating, each of the cyclic voltammetric electropolymerization parameters (potential range, scan rate, cycle number) was changed by keeping the others constant; thus PNVnCz films were synthesized on SS surface under different conditions. Afterwards, potentiodynamic polarization curves of the PNVnCz coated stainless steel electrodes (SS/PNVnCz) were recorded in 1 M $H_2SO_4$ corrosive test solution and compared. It was found that the PNVnCz film synthesized at 0.3 V to 1.5 V potential range, 50 $mVs^{-1}$ scan rate and 10 cycle number has the best protective corrosion performance. These determined synthesis parameters were used for $MnO_2$ doped PNVnCz synthesis and PNVnCz films were doped with three different amounts of $MnO_2$ (0.05%, 0.10%, 0.15%). In order to determine the optimum amount of $MnO_2$, the potentiodynamic polarization curves of SS/PNVnCz-$MnO_2$ electrodes were compared and it has been found that 0.10% $MnO_2$ doped PNVnCz films provided better protection performance. The synthesized PNVnCz-$MnO_2$ coatings were characterized by ATR-FTIR and SEM. Corrosion performances of PNVnCz-$MnO_2$ coatings were investigated by $E_{ocp}$-time curves, potentiodynamic polarization (PP) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) techniques in 1 M $H_2SO_4$ solution and compared with the data of undoped PNVnCz. It has been found that the PNVnCz-$MnO_2$ coating exhibited better and longer time protection performance than the undoped PNVnCz coating.

**Keywords:** Poly(*N*-vinyl carbazole), electropolymerization, $MnO_2$, stainless steel, corrosion.

[1]Eskişehir Osmangazi University, Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Chemistry, Eskişehir, Turkey. ORCID: 0000-0002-5706-1301.
[2]Assoc. Professor, Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science and Letters, Department of Chemistry, Eskişehir, Turkey. ORCID: 0000-0002-3892-5012.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Giriş**

Metallerin bulunduğu ortam ile tersinmez yükseltgenme reaksiyonu olarak tanımlanan korozyon olayı, metalin ve özelliklerinin bozulması ile sonuçlanır. Metalürjik olarak saflaştırılarak kullanılan metal ve alaşımlar, korozyon süreci ile tekrar doğadaki oksit formlarına istemli olarak dönüşme eğilimindedirler. Bu durum, metal ve alaşımların yapısal olarak bozulmalarının yanı sıra ekonomik kayıplara ve doğadaki metal rezervlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için pek çok araştırmacı korozyonun önlenmesi ve kontrolü alanında yeni stratejilerin geliştirilebilmesi için çalışmaktadır (Frau, vd. 2010).

Polipirol, polianilin, politiyofen gibi iletken polimerlerin sentezi, karakterizasyonu ve uygulamalarının geniş ölçüde çalışıldıkları bilinmektedir. Bu polimerler arasında polikarbazol türevleri, iyi elektriksel iletkenlikleri, elektroaktif kararlılıkları ve elektrokromik özellikleri nedeniyle ışık saçan diyotlar, sensörler ve şarj edilebilir piller gibi çok sayıda uygulama alanı bulmaları nedeniyle dikkat çekmektedirler (Gupta, vd. 2010). İletken polimerler metallerin korozyon hızının azaltılmasında korozyondan koruyucu kaplamalar olarak da uygulama alanına sahiptirler. Özellikle son yıllarda iletken polimer kaplamaların çevresel kararlıkları, metal yüzeyinde kimyasal açıdan dirençli olmaları gibi özellikleri nedeniyle alüminyum, demir, çelik gibi aktif metaller üzerinde sentezlenmeleri ile korozyonun önlenmesi yoğun olarak çalışılan konulardan biridir (Duran, vd. 2017).

İletken polimerler kimyasal ya da elektrokimyasal olarak sentezlenebilmektedirler. Kimyasal olarak sentezlenen iletken polimerler daha sonra dispersiyon, döndürerek kaplama veya elektrostatik sprey gibi teknikler kullanılarak metal yüzeyine kaplanabilmektedir. Elektrokimyasal yöntemde ise bu polimerler metal yüzeyinde kontrollü bir biçimde ve doğrudan sentezlenebilmekte, dolayısıyla daha pratik bir yöntem olarak tercih edilmektedir (Ateş, 2010).

İletken polimer kaplamaların metalleri korozyondan korumaları iki farklı mekanizma üzerinden gerçekleşebilmektedir. Bu polimerler, kaplandıkları metalin yüzeyinde korozif türlerin geçişine karşı fiziksel bir bariyer olarak davranabilirler veya elektroaktif özelliklerinden dolayı metal yüzeyinde tersinir biçimde indirgenip yükseltgenerek metalin korozyon potansiyelini pasiflik bölgesine kaydırmak suretiyle anodik koruma sağlayabilirler (Aravindan ve Sangaranarayanan, 2016).

Elektrokimyasal yöntemle metal yüzeyinde direkt olarak sentezlenen iletken polimer kaplamaların korozyon performanslarını arttırmak amacıyla farklı metal oksitler ile sentez sırasında katkılanmaları ile hazırlanan nanokompozitlerinin daha iyi koruma etkisi gösterdikleri literatürde rapor edilmiştir (Elangovan, vd. 2018)

Bu çalışmanın amacı $MnO_2$ katkılı poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz) kaplamaların 304 paslanmaz çeliğin 1 M $H_2SO_4$ ortamındaki korozyonunun önlenmesinde katkısız poli(*N*-vinil karbazol) kaplamalara alternatif olabilirliğinin araştırılmasıdır. Katkılanacak $MnO_2$ miktarını belirlemek amacıyla *N*-vinil karbazol monomerin 304-paslanmaz çelik yüzeyinde dönüşümlü voltametri yöntemiyle elektropolimerizasyonu sırasında üç farklı miktarda $MnO_2$ eklenerek $MnO_2$ katkılı PNVnKz filmleri (PNVnKz-$MnO_2$) sentezlenmiş ve PNVnKz-$MnO_2$ filmleri ile kaplı çelik

ISBN: 978-605-71156-5-2

elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrileri kaydedilerek korozyon hızları karşılaştırılmış ve optimum $MnO_2$ katkılama miktarı belirlenmiştir. Optimun miktarda katkılanan PNVnKz-$MnO_2$ filmleri ATR-FTIR ve SEM aracılığı ile karakterize edilmiştir. Bu filmler ile kaplı paslanmaz çelik elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisindeki korozyon performansları, açık devre potansiyelinin zamanla değişiminin izlenmesi ($E_{ocp}$-t) eğrileri, potansiyodinamik polarizasyon (PP) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemleri ile incelenmiş ve elde edilen veriler katkısız poli(*N*-vinil karbazol) kaplamanın korozyon test sonuçları ile karşılaştırılarak sunulmuştur.

**Yöntem**

*N*-vinil karbazol (NVnKz) monomer, tetrabütil amonyum perklorat (TBAP) destek elektrolit, $MnO_2$, asetonitril ve sülfürik asit ($H_2SO_4$) ve sentez sırasında kullanılan Ag tel ile Pt levha elektrot malzemeleri Sigma-Aldrich'den temin edilmiştir. Elektrokimyasal sentez ve korozyon testleri, sırasıyla 10 mL ve 100 mL hacimli beş boyunlu cam hücrelerde gerçekleştirilmiştir. Silindir şekilde 6 mm çapında 304 paslanmaz çelik (PÇ) çalışma elektrotu, elektrokimyasal sentez öncesinde taşlama-parlatma cihazında 1200 silikon karbür (SiC) kağıt zımpara kullanılarak zımparalandıktan sonra, ultrasonik banyoda önce etanol-aseton karışımı, sonra asetonitril ile yıkanıp, kurutulmuştur. Elektrokimyasal sentez sırasında 1 mm kalınlığında ve 5 cm uzunluğunda Ag tel referans elektrot olarak, 0,5 mm kalınlıkta 2 $cm^2$ yüzey alanında Pt levha karşıt elektrot olarak kullanılmıştır. Korozyon testlerinde Ag/AgCl elektrot (3 M KCl, Gamry) referans elektrot olarak, platin tel (CHI115) ise karşıt elektrot olarak kullanılmıştır. Pt levha ve Ag tel elektrokimyasal sentez öncesinde ultrasonik banyoda, önce alkol-aseton karışımı, sonra asetonitril ile temizlendikten sonra hücreye yerleştirilmiştir. Elektrokimyasal sentez ve korozyon testleri Gamry Reference 600™ potansiyostat /galvanostat/ZRA sisteminde yapılmıştır. Polimer ile paslanmaz çelik kaplı çelik levhaların FTIR spektrumları Perkin Elmer/Spectrum 100 ATR-FTIR spektrometrede 4000-650 $cm^{-1}$ aralığında kaydedilmiş olup, yüzey analizlerinde polimerle kaplı ITO malzemeler Hitachi Regulus 8230 model FE-SEM cihazında incelenmiştir.

304 PÇ elektrot yüzeyinde $MnO_2$ katkılı poli(*N*-vinil karbazol) filmlerinin sentezi 0,02 M *N*-vinil karbazol, 0,1 M TBAP, ve %0,10 $MnO_2$ içeren asetonitril çözeltisinde dönüşümlü voltametri yöntemiyle +0,3 ile +1,5 V potansiyel aralığında 50 mV/s tarama hızında 10 döngü alınarak gerçekleştirilmiştir. Poli(*N*-vinil karbazol)-$MnO_2$ filmlerinin çelik yüzeyinde elektrokimyasal sentezinin tamamlanmasının ardından, polimer ile kaplanan PÇ elektrotlar (PÇ/PNVnKz-$MnO_2$) polimerizasyon çözeltisinden uzaklaştırılarak asetonitril ile yıkanmış ve korozyon testleri öncesinde havada kurutulmuştur.

Polimer ile kaplanmış ve kaplanmamış 304 PÇ elektrotların korozyon testleri, oksijenden arındırılmamış 1 M $H_2SO_4$ ortamında açık devre potansiyelinin zamanla değişiminin izlenmesi, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve potansiyodinamik polarizasyon (PP) yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. EIS ve PP deneyleri öncesinde, çalışma elektrotunun açık devre potansiyelinin kararlı hale ulaşabilmesi için 30 dakika korozif ortamda bekletilmesinden sonra ölçümler başlatılmıştır. Elektrokimyasal empedans ölçümleri için açık devre potansiyelinde 100 kHz ile 1 mHz frekans aralığında 10 mV genlikte alternatif akım uygulanırken, potansiyodinamik

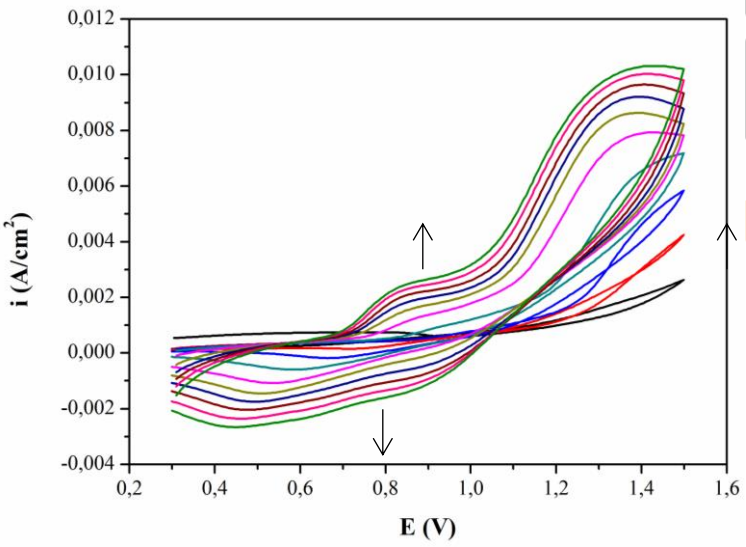
ISBN: 978-605-71156-5-2

polarizasyon eğrileri açık devre potansiyeline göre -0,4 V ile +0,4 V potansiyel aralığında 1 mV/s tarama hızında kaydedilmiştir.

**Sonuçlar ve Bulgular**

**$MnO_2$ Katkılı Poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz-$MnO_2$) Kaplamaların Sentezi**

$MnO_2$ katkılı poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz-$MnO_2$) kaplamaların paslanmaz çelik üzerindeki sentezi, ilk potansiyel, son potansiyel, tarama hızı, döngü sayısı gibi dönüşümlü voltametrik sentez parametrelerinin poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz) sentezi için optimize edilmesinden sonra gerçekleştirilmiştir. 0,02 M *N*-vinil karbazol ve 0,1 M TBAP içeren asetonitril çözeltisi için bu parametreler: ilk potansiyel +0,3 V, son potansiyel +1,5 V, tarama hızı 50 mV/s ve döngü sayısı 10 olarak belirlenmiştir. PNVnKz sentezi için belirlenen bu koşullarda sırasıyla %0,05, %0,10, %0,15 $MnO_2$ içeren sentez ortamlarında PNVnKz-$MnO_2$ filmleri sentezlenmiştir. Şekil 1'de, 0,1 M TBAP, 0,02 M *N*-VnKz ve %0,10 $MnO_2$ içeren asetonitril çözeltisi içerisinde PNVnKz-$MnO_2$ kaplamanın sentezine ait dönüşümlü voltamogramlar verilmiştir. Bu voltamogramlarda, ilk döngüde +1,1 V civarında başlayan akım artışı monomerin yükseltgenmesine aittir. Bu sırada oluşan PNVnKz polimerin indirgenmesi yine ilk döngüde katodik tarama sırasında +0,7 V civarında izlenmektedir. İkinci döngüden itibaren +1,0 V potansiyel civarında PNVnKz polimerin yükseltgenmesine ait akım artışları görülmektedir. Sonraki döngülerde monomerin yükseltgenmesine ve polimerin yükseltgenme-indirgenmesine ait pik akımlarının giderek artması çelik yüzeyinde iletken bir kaplamanın oluştuğunu göstermektedir (Tüken, vd. 2006). 10 döngünün sonunda çelik yüzeyinin homojen ve koyu yeşil renkli PNVnKz-$MnO_2$ filmi ile tamamen kaplandığı gözlenmiştir.

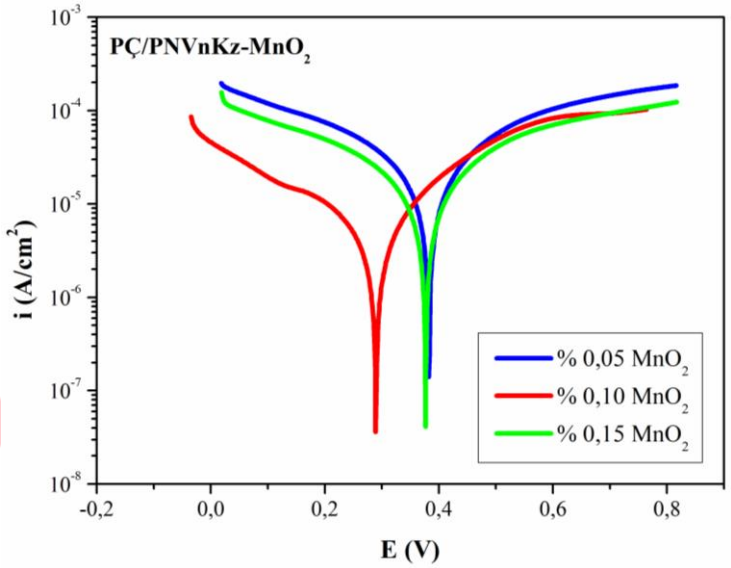



**Şekil 1.** 304 PÇ elektrot yüzeyinde 0,1 M TBAP, 0,02 M NVnKz ve %0,10 $MnO_2$ içeren asetonitril ortamında 50 mV/s tarama hızında 10 döngüde PNVnKz-$MnO_2$ sentezi

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Optimum $MnO_2$ Katkılama Miktarının Belirlenmesi**

Poli(*N*-vinil karbazol) kaplamaların korozyon dayanımını arttırmak üzere kullanılan $MnO_2$'nin optimum miktarını belirlemek üzere, farklı yüzdelerde (%0,05, %0,10, %0,15) $MnO_2$ sentez ortamına eklenerek farklı oranlarda katkılanmış PNVnKz-$MnO_2$ kaplamalar dönüşümlü voltametri yöntemiyle çelik üzerinde sentezlenmiştir. Kaplanmış çelik elektrotların (PÇ/PNVnKz-$MnO_2$) 1 M $H_2SO_4$ çözeltisindeki korozyon performansları potansiyodinamik polarizasyon yöntemi ile test edilmiş ve elde edilen eğriler Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de görülen potansiyodinamik polarizasyon eğrilerine Tafel ekstrapolasyonu uygulanarak elde edilen korozyon potansiyeli ($E_{kor}$), korozyon akımı ($i_{kor}$), anodik ve katodik Tafel sabitleri ($\beta_a$ ve $\beta_c$) ile mpy (yılda mm) cinsinden korozyon hızı (KH) gibi korozyon parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'de verilen korozyon akımları ($i_{kor}$) incelendiğinde en düşük korozyon akımına sahip kaplamanın %0,10 $MnO_2$ varlığında elde edilmiş olduğu, bu miktarın üzerinde ve altında $MnO_2$ ile katkılama yapıldığında daha büyük korozyon akımı gözlenmesi nedeniyle en iyi koruyan PNVnKz kaplamanın %0,10 $MnO_2$ derişimi kullanılarak elde edildiği açıkça görülebilmektedir; dolayısıyla optimum $MnO_2$ miktarı %0,10 olarak belirlenmiş olup, karakterizasyonu ve korozyon testleri yapılan $MnO_2$ katkılanmış PNVnKz kaplamalar %0,10 $MnO_2$ varlığında sentezlenmiştir.




**Şekil 2.** %0,05, %0,10, %0,15 derişimlerde $MnO_2$ varlığında PNVnKz ile kaplı PÇ elektrotların (PÇ/PNVnKz-$MnO_2$) 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

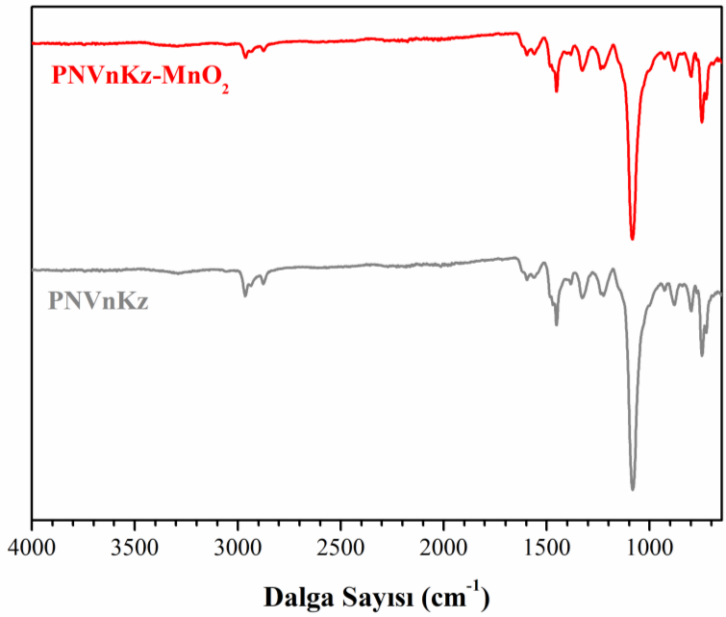
ISBN: 978-605-71156-5-2

**Tablo 1.** %0,05, %0,10, %0,15 derişimlerde $MnO_2$ varlığında PNVnKz ile kaplı PÇ elektrotların (PÇ/PNVnKz-$MnO_2$) 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri

| Elektrot | $E_{kor}$ (mV) | $i_{kor}$ (A/cm²) | $\beta_a$ (V) | $\beta_c$ (V) | KH (mpy) |
|---|---|---|---|---|---|
| PÇ/PNVnKz-$MnO_2$(%0,05) | 382,0 | $55,70\times10^{-6}$ | $520,5\times10^{-3}$ | $699,6\times10^{-3}$ | 25,48 |
| PÇ/PNVnKz-$MnO_2$(%0,10) | 289,0 | $8,630\times10^{-6}$ | $255,4\times10^{-3}$ | $372,5\times10^{-3}$ | 3,945 |
| PÇ/PNVnKz-$MnO_2$(%0,15) | 376,7 | $48,20\times10^{-6}$ | $613,9\times10^{-3}$ | $929,2\times10^{-3}$ | 22,03 |

**$MnO_2$ Katkılı Poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz-$MnO_2$) Kaplamaların Karakterizasyonu**

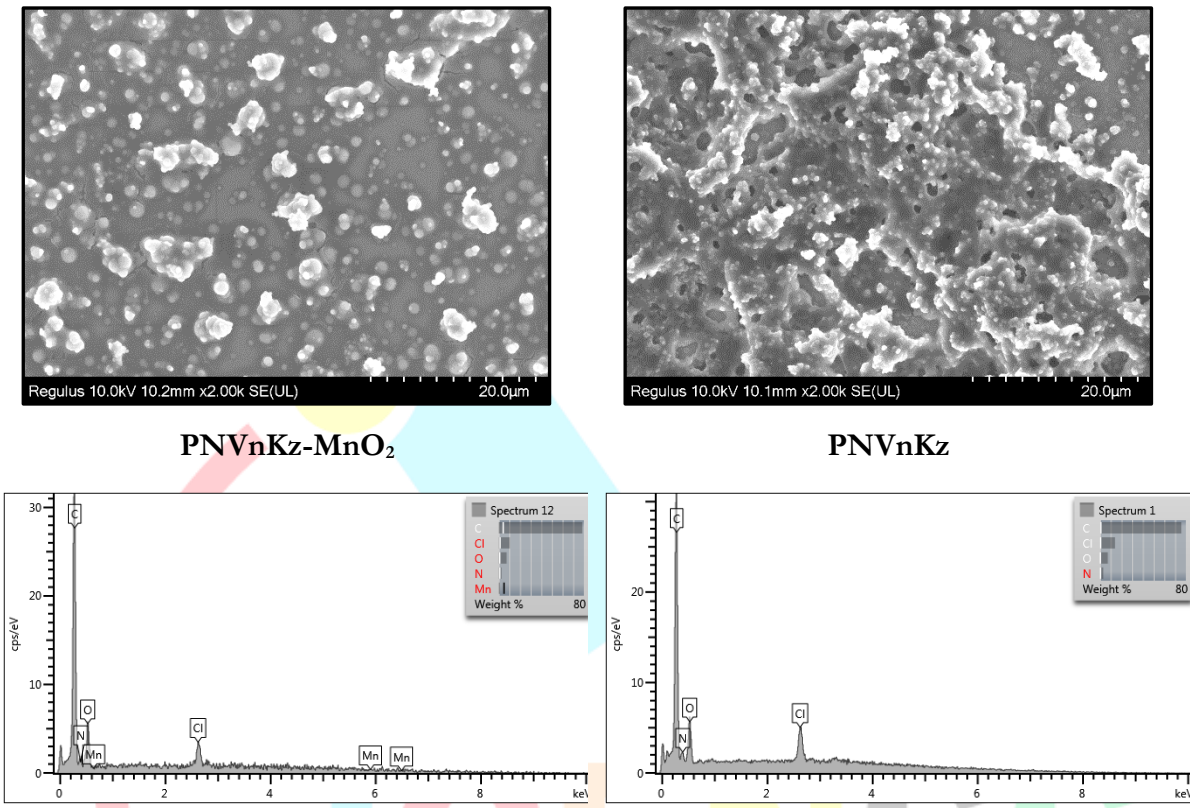
Şekil 3'de paslanmaz çelik üzerinde sentezlenen PNVnKz ve PNVnKz-$MnO_2$ kaplamaların ATR-FTIR spektrumları verilmiştir. Her iki kaplamanın spektrumlarının aynı olması, katkılanma durumunda da polimerin kimyasal yapısının değişmediğini göstermektedir. 3000 $cm^{-1}$ ve 2800-2900 $cm^{-1}$'de görülen zayıf pikler sırasıyla aromatik ve alifatik C-H gerilmelerine aittir. 1400-1600 $cm^{-1}$'de gözlenen karakteristik üç bant, benzen halkalarının aromatik C=C gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. 1250 ve 1350 $cm^{-1}$'deki orta şiddetli iki pik *N*-vinil pirol birimlerinin C-N gerilme titreşimlerinden ileri gelmektedir. 1100 $cm^{-1}$'deki şiddetli pik polimer yapısına katılan perklorat iyonlarının Cl-O gerilmelerini göstermektedir. 700-750 $cm^{-1}$ aralığındaki orta şiddetli sinyal ise benzen halkalarının 1,2-disübstitüsyonunu belirtmektedir. Bu pikler, poli(*N*-vinil) karbazol için karakteristik olup, çelik üzerinde $MnO_2$ varlığında *N*-vinil karbazolün polimerleşmesinin kanıtıdır.



ISBN: 978-605-71156-5-2

**Şekil 3.** Çelik yüzeyinde sentezlenen PNVnKz ve PNVnKz-$MnO_2$(%0,10) kaplamaların ATR-FTIR spektrumları

**PNVnKz-$MnO_2$** **PNVnKz**




**Şekil 4.** PNVnKz-$MnO_2$(%0,10) ve PNVnKz kaplamaların SEM mikrofotoğrafları ile EDS spektrumları

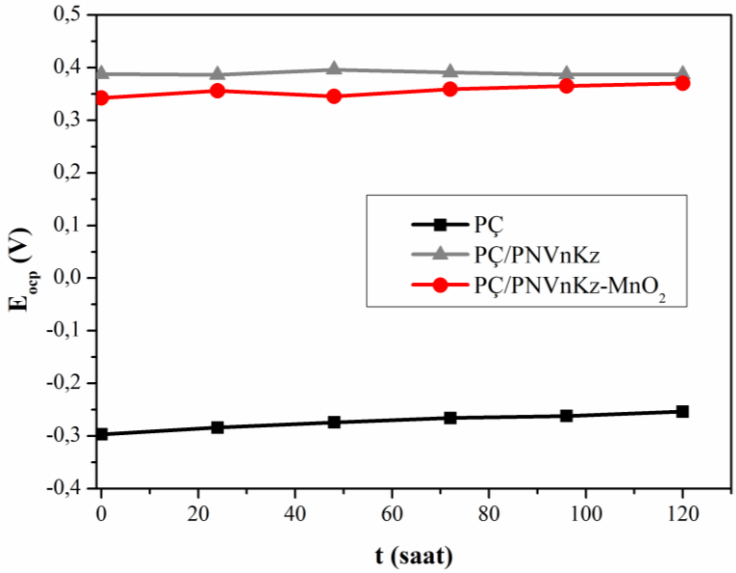
Şekil 4'de PNVnKz ve PNVnKz-$MnO_2$ kaplamaların SEM görüntüleri ile EDS spektrumları görülmektedir. Bu kaplamaların SEM mikrofotoğraflarının karşılaştırılmasından $MnO_2$ katkılı PNVnCz kaplamanın yüzeyde daha homojen bir dağılım gösterdiği; EDS spektrumlarının karşılaştırılmasından da katkılanmış polimerin yapısına Mn metalinin katıldığı anlaşılmaktadır.

**$MnO_2$ Katkılı Poli(*N*-vinil karbazol) (PNVnKz-$MnO_2$) Kaplamaların Antikorozif Özellikleri**

Paslanmaz çelik yüzeyinde PNVnKz ve PNVnKz-$MnO_2$ kaplamaların korozyon performansları, 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde açık devre potansiyelinin zamanla değişimi ($E_{ocp}$-t) eğrileri, potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemleriyle incelenmiş ve kaplanmamış çeliğin sonuçları ile karşılaştırılarak verilmiştir. PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 120 saat için ölçülen açık devre potansiyelleri zamana karşı grafiğe geçirilerek Şekil 5'de verilmiştir. PNVnKz ve PNVnKz-$MnO_2$ kaplı çelik elektrotların $E_{ocp}$ değerlerinin kaplanmamış PÇ elektrota göre daha pozitif olduğu görülmektedir. Bu durum,

ISBN: 978-605-71156-5-2

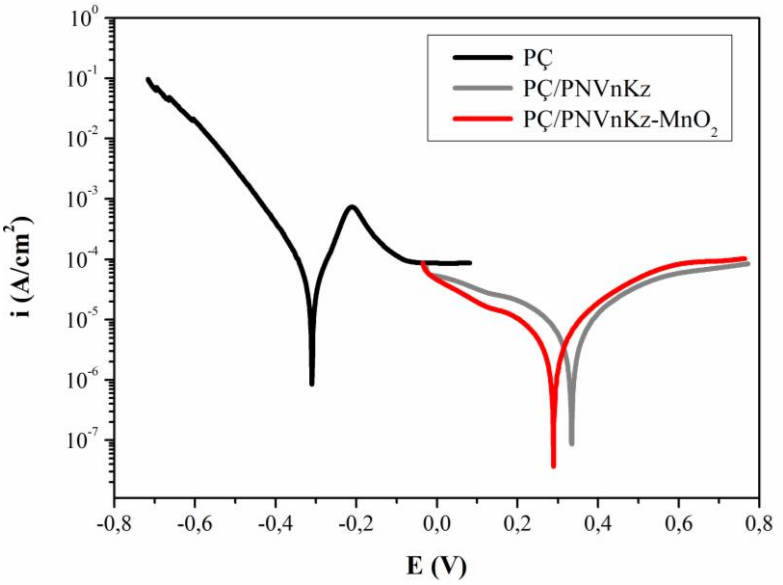
yükseltgenmiş formdaki iletken polimerlerin anodik koruma etkisi ile ilişkilendirilebilmektedir (Duran, vd. 2017).




**Şekil 5.** PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen $E_{ocp}$-zaman grafikleri

PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 6'da; bu eğrilere Tafel ekstrapolasyonu uygulanarak elde edilen korozyon parametreleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, PNVnKz ve PNVnKz-$MnO_2$ kaplı çelik elektrotların korozyon akım yoğunluğu ($i_{kor}$) ve korozyon hızı (KH) değerlerinin, kaplanmamış paslanmaz çelik elektrota göre daha düşük olması nedeniyle, paslanmaz çeliği korozyona karşı korudukları; koruma performansları karşılaştırıldığında ise PNVnKz-$MnO_2$ kaplamanın daha iyi koruma sağladığı görülmektedir. Polimer kaplı elektrotların korozyon potansiyellerinin ($E_{kor}$), kaplanmamış paslanmaz çeliğe göre daha pozitif olması bu kaplamaların anodik koruma gösterdiğini ortaya koymaktadır.

ISBN: 978-605-71156-5-2



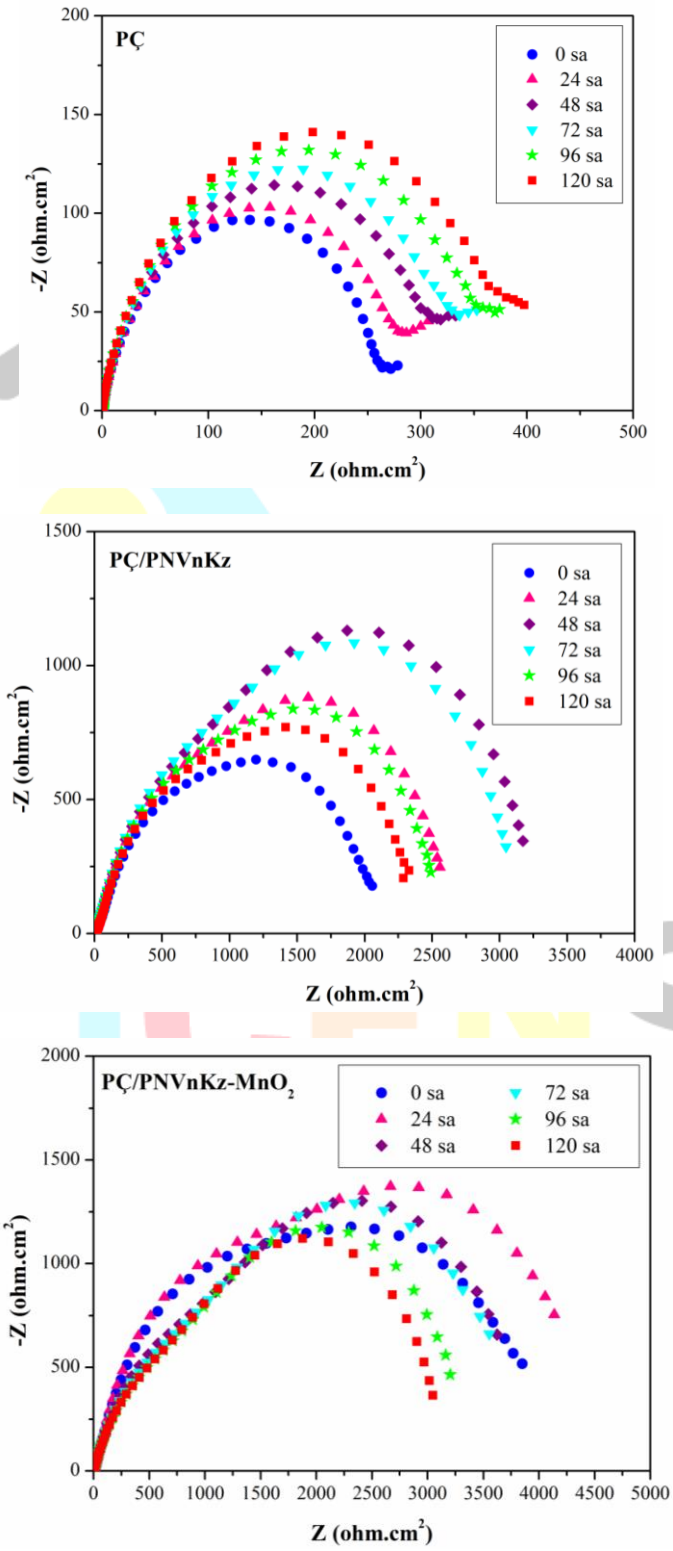

**Şekil 6.** PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

**Tablo 2.** PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde kaydedilen potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri

| Elektrot | $E_{kor}$ (mV) | $i_{kor}$ (A/cm²) | $\beta_a$ (V) | $\beta_c$ (V) | KH (mpy) |
|---|---|---|---|---|---|
| PÇ | -310,0 | $66{,}00\times10^{-6}$ | $134{,}4\times10^{-3}$ | $112{,}8\times10^{-3}$ | 30,17 |
| PÇ/PNVnKz | 334,0 | $38{,}60\times10^{-6}$ | $760{,}4\times10^{-3}$ | 1,459 | 17,63 |
| PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ | 289,0 | $8{,}630\times10^{-6}$ | $255{,}4\times10^{-3}$ | $372{,}5\times10^{-3}$ | 3,945 |

Şekil 7'de PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde farklı daldırma sürelerinde kaydedilen Nyquist empedans spektrumları verilmektedir. Empedans spektrumlarının basık yarım daire şeklinde kapasitif luptan oluşması elektron transfer kontrollü korozyon süreci ile ilişkili olup yük transfer dirençleri yarım dairelerin çaplarından hesaplanabilmektedir (Bazzaoui, vd. 2014). Hesaplanan yük transfer dirençleri ($R_{ct}$) Tablo 3'de görülmektedir. Tablo 3'e göre polimerle kaplı paslanmaz çelik elektrotların yük transfer dirençleri, aynı daldırma süresi için kaplanmamış paslanmaz çeliğin yük transfer direncinden çok daha yüksektir; bu durum kaplamaların çeliğin korozyon direncini arttırmasıyla ilişkilidir. PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotun $R_{ct}$ değerlerinin de PÇ/PNVnKz elektrotunkinden daha büyük olması ise $MnO_2$ katkılanmış poli(*N*-vinil karbazol) kaplamanın daha iyi koruma sağladığını belirtmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Şekil 7.** PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların 1 M $H_2SO_4$ çözeltisinde farklı daldırma sürelerinde kaydedilen Nyquist empedans spektrumları

ISBN: 978-605-71156-5-2

Kaplanmamış PÇ elektrotun yük transfer direncinin 120 saat boyunca giderek artması, $H_2SO_4$ ortamında çeliğin pasifleşmesinden kaynaklanmaktadır. Anacak pasifleşmeden kaynaklanan bu artışın değeri polimer ile kaplı çelik elektrotlarda (PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$) gözlenen kadar fazla değildir.

PÇ/PNVnKz elektrotun yük transfer direncinin 48 saat içerisinde artarak daha sonra azaldığı, PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotun yük transfer direncinin ise 24 saat içerisinde artarak daha sonra azaldığı Şekil 7 ve Tablo 3'den görülmektedir. Anodik koruma ve bariyer etkileri ile koruma sağlayan iletken polimerlerin, elektroaktif ömrünü tamamladıklarında iletkenliklerinin azalması nedeniyle metali pasifleştirerek anodik koruma etkisi yerine bariyer etkisi ile koruma sağladıkları bilinmektedir (Ren ve Zen, 2008). Buna göre, yarım dairelerin çaplarındaki azalma polimerin elektroaktif ömrünün (metal yüzeyinde indirgenme-yükseltgenme özelliğinin) tamamlanması ve korozif türlerin metal yüzeyine geçişini engelleyen bir bariyer olarak davranmasıyla ilişkilendirilebilir. Yine de PNVnKz-$MnO_2$ kaplamanın her durumda katkısız PNVnKz kaplamaya göre daha iyi ve daha uzun süre koruma sağlayacağı anlaşılabilmektedir.

**Tablo 3.** PÇ, PÇ/PNVnKz ve PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ elektrotların Nyquist empedans spektrumlarından belirlenen yük transfer dirençleri ($R_{ct}$)

| t (sa) | $R_{ct}$ (ohm.cm$^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | PÇ | PÇ/PNVnKz | PÇ/PNVnKz-$MnO_2$ |
| 0 | 279 | 2077 | 3848 |
| 24 | 310 | 2582 | 4212 |
| 48 | 339 | 3209 | 3678 |
| 72 | 358 | 3067 | 3596 |
| 96 | 378 | 2490 | 3209 |
| 120 | 406 | 2358 | 3067 |

PNVnKz-$MnO_2$ kaplamanın, katkılanmamış PNVnKz kaplamadan daha iyi korozyon performansı sergilemesi, polimer yapısına katılan Mn metali etkisiyle iletkenliğin artmasına, buna bağlı olarak da polimerin elektroaktif ömrünü arttırarak aktif koruma süresinin uzamasıyla ilişkilendirilebilmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Kaynakça**

Aravindan, N. Sangaranarayanan, M. V. (2016). Influence of solvent composition on the anti-corrosion performance of copper-polypyrrole (Cu-PPy) coated 304 stainless steel. *Prog. Org. Coat.*, *95*, 38-45. doi: 10.1016/j.porgcoat.2016.02.008.

Ates, M. (2010). A comparative study of redox parameters and electrochemical impedance spectroscopy of polycarbazole derivatives on carbon fiber microelectrode. *Fiber. Polym.*, *11*, 1094-1100. doi: 10.1007/s12221-010-1094-5.

Bazzaoui, M., Martins, J. I., Bazzaoui, E. A., Albourine, A., Martins, L. (2014). Corrosion protection of stainless steel plates in fuel cells environment by conducting polymers. *Mater. Corros. - Werkst. Korros.*, *65*, 67-75. doi: 10.1002/maco.201206502.

Duran, B., Unver, I. C., Bereket, G. (2017). Inhibition of steel corrosion by potentiodynamic deposition of poly(N-methyl carbazole). *J. Adhes. Sci. Technol. 31*, 1467-1479. doi: 10.1080/01694243.2016.1263054.

Elangovan, N., Pugalmani, S., Srinivasan, A., Rajendiran, N., Rajendran, N. (2018). Synthesis and anticorrosive properties of novel PVK-$ZrO_2$ nano composite coatings on steel-substrate. *E-J. Surf. Sci. Nanotec. 16*, 5-13. doi: 10.1380/ejssnt.2018.5.

Frau, A. F., Pernites, R. B., Advincula, R. C. (2010). A conjugated polymer network approach to anticorrosion coatings: Poly(vinylcarbazole) electrodeposition. *Ind. Eng. Chem. Res. 49*, 9789-9797. doi: 10.1021/ie100813t.

Gupta, B., Singh, A. K., Prakash, R. (2010). Electrolyte effects on various properties of polycarbazole. *Thin Solid Films*, *519*, 1016-1019. doi: 10.1016/j.tsf.2010.08.034.

Ren Y.J., Zen C.L. (2008). Effect of conducting composite polypyrrole/polyaniline coatings on the corrosion resistance of type 304 stainless steel for bipolar plates of proton-exchange membrane fuel cells. Journal of Power Sources, *182(2),* 524-530. doi: 10.1016/j.jpowsour.2008.04.056.

Tuken, T., Yazici, B., Erbil, M. (2006). The use of polyindole for prevention of copper corrosion. *Surf. Coat. Technol. 200*, 4802-4809. doi: 10.1016/j.surfcoat.2005.04.023.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Ankara İli Sıcaklık Değişimlerinin İncelenmesi

*Zeliha SELEK*[1]
*Mehmet Furkan ÇELİK*[2]

**Öz**

Küresel iklim değişikliği günümüz dünyasının en önemli ve güncelliğini koruyan konularından sadece biridir. Bilhassa sanayi devriminden bu yana artan sera gazları ve fosil yakıt tüketimi dünya çapında sıcaklık artışını tetiklemiş durumdadır. Küresel iklim değişikliğinin mevsimlerin geçişi arasındaki sürenin kısalması, belirli bir bölgede yetişen tarım ürünlerinin yetişememesi, sel ve taşkın gibi olumsuz birçok yanı vardır. İklim parametrelerinden biri olan sıcaklığın artışı ise doğrudan iklim değişikliğini olumsuz etkilemektedir. 19. yüzyılın ilk yarısından sonra özellikle şehirleşmenin arttığı 1980'li yıllardan itibaren hissedilir şekilde sıcaklık değerleri artma eğilimindedir. İklim değişikliğiyle alakalı birçok araştırma 2100 yılına kadar dünya genelinde sıcaklıkların 2°C ile 4°C arasında artacağını belirtmektedir. Dünya genelinde sera gazlarının ilerleyen süreçte de artması ile önümüzdeki yüzyılda günümüzde olandan daha trajedik sonuçlar doğurması beklenmektedir. Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Ankara iline ait Ankara bölge, Beypazarı, Esenboğa havalimanı, Etimesgut havalimanı, Kızılcahamam, Nallıhan ve Polatlı istasyonlarına ait toplam 7 istasyon verilerinden alınan sıcaklık değerleriyle ilgili trend analizi yapılmıştır. Çalışmada Mann-Kendall ve Yenilikçi Trend Analizi testleri uygulanmıştır. Analizler yıllık toplam sıcaklık ve mevsimsel toplam sıcaklık olarak ayrı ayrı yapılmıştır. Çalışma sonucunda yenilikçi trend analizi testinde daha belirgin sonuçlar olmakla beraber genel olarak her iki teste göre sıcaklık değerlerinde hem mevsimsel hem de yıllık bazda artan bir trend söz konusudur.

**Anahtar Kelimeler:** İklim Değişikliği, Trend Analizi, Mann-Kendall, Sıcaklık, Ankara İli

[1]Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, E- posta: zelihaselek@gazi.edu.tr

[2] Yüksek Lisans Öğrencisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, E-posta: mehmetfurkan.celik@gazi.edu.tr, Orcid: 0000-0002-0328-7137

ISBN: 978-605-71156-5-2

## 1. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği dünya genelinde kuraklık, sel, taşkın gibi büyük ölçüde zarar veren doğa olaylarına sebebiyet verebilmektedir. Küresel iklim değişikliğine etki eden faktörler, sanayileşme, atmosfere salınan sera gazları, aerosollar ve fosil yakıt tüketimi gibi insan kaynaklı ve güneş ışığı etkinlikleri, volkanik patlamalar gibi doğal kaynaklı etmenler olarak sıralanabilir (Türkeş, 2012: 1-32). Taşkın ve sel gibi yoğun yağış olaylarının sıklığı 1950'lerden itibaren artmış, ayrıca artan yüzeysel buharlaşma sebebiyle tarımsal kuraklıkta artmıştır. 2021 yılı 1800'lü yılların sonlarından itibaren dünya genelindeki en sıcak yıllardan biri olmuştur (WWF-Türkiye, 2021: 35) Küresel yüzey sıcaklıkları 1850-2020 yıllarındaki artışın bilhassa 1960'lı yıllardan sonra meydana geldiği görülmektedir. Dünya çapında denizlerin ortalama seviyesi 1900 ila 2018 yılları arasında yaklaşık 0,2 m artmış iken özellikle 2006 ila 2018 yılları arasındaki değişim yaklaşık 3,7mm/yıl olarak şiddetli seviyede arttığı tespit edilmiştir. Aşırı sıcaklık değerlerinin 1950'lerden bu yana çoğu karasal bölgelerde daha sık ve daha yoğun olarak artmıştır. Bunun en büyük nedeni ise insan kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir (IPCC, 2021).

Şehir merkezlerindeki aşırı sıcaklıklar, o şehrin sakinlerinin sağlık, ekonomi ve sosyal aktivitelerinin refah düzeyini etkiler (Patz vd., 2005: 310-317); (Tan vd., 2010: 75-84); (Türkeş,2010); (Le Treut vd., 2007). Türkiye'de özellikle 1980'lerden sonra kuraklığa doğru bir eğilim bulunmakla beraber İç Anadolu bölgesinde de kuraklık eğilimi söz konusudur (Türkeş, 1999: 363-380); (Türkeş, 2012: 1-32). Ayrıca Türkiye genelinde yıllık ve sonbahar ile ilkbahar mevsimlerinde sıcaklık değerleri belirgin bir artış göstermekle beraber bu artışlar kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde görülmektedir (Türkeş, 2012: 1-32).

Bu çalışma İç Anadolu bölgesinde yer alan Ankara iline ait Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden toplam yedi adet gözlem istasyonundan alınan aylık ortalama sıcaklık değerleri ile trend analizleri yapılmıştır. Analizler Mann Kendall testi ve Yenilikçi Trend Analizi testleridir. Veri Aralığı 1991-2020 yıllarını kapsamaktadır. Çalışmanın amacı Ankara merkez ve bazı ilçelerine ait sıcaklık değerlerinin yorumlanmasıdır. Bu çalışma nüfusu 6 milyona yaklaşan ve Türkiye Cumhuriyeti'nin Başkenti olması nedeniyle Ankara için önem arz etmektedir.

## 2. YÖNTEM

Bu çalışmada trend analizi için Mann- Kendall ve Yenilikçi Trend Analizi testleri 1991-2020 yıllarını kapsayacak şekilde Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan aylık ortalama sıcaklık verileri ile hesaplanmıştır. Yıllık toplam sıcaklık ve mevsimsel toplam sıcaklık analizleri hesaplanırken bu verilerden faydalanılmıştır. Mann- Kendall testinde %95 güven aralığı esas alınmıştır.

### 2.1. Mann- Kendall Testi

Mann- Kendall trend testi bir zaman serisindeki değerlerin eğilimi belirlemek için kullanılan, parametrik olmayan bir testtir. Bu test yöntemi temeli iki olgunun arasında bir farkın olup olmadığı kabulüne dayanan sıfır hipotezine dayanır. Seçilen anlamlılık seviyesine göre (%1,

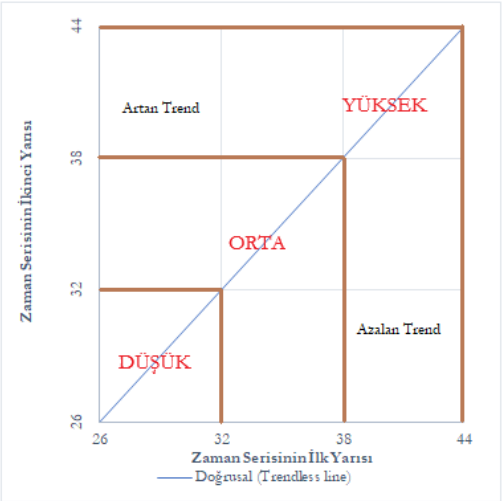
ISBN: 978-605-71156-5-2

%5, %10 gibi) p value değerine göre trend vardır veya trend yoktur denebilir. Örneğin seçilen anlamlılık değeri 0.05 olursa, bu durumda hesaplanan p value değeri 0.05 değerine eşit veya büyükse trend yoktur. Eğer bu değerin dışında bir değer ise trend vardır denir. Trendin yönünü belirlemek içinse Sen Slope değeri kullanılmıştır.

### 2.2. Yenilikçi Trend Analizi

Bu analiz yönteminde zaman serileri iki eşit parçaya ayrılır. İlk zaman serisi ($x_i$) x ekseninde, ikinci zaman serisi($x_k$) y ekseninde yer almak üzere, her zaman serisi kendi içerisinde küçükten büyüğe doğru sıralanarak Kartezyen koordinat sistemi üzerine yerleştirilir. Grafik üzerine (1:1) doğrusu yerleştirilir. Eğer noktasal değerler (1:1) doğrusu üzerinde ise trend yoktur denir. Altında ise azalan, üstünde ise artan trend vardır denir. Bu yöntem trend varlığının yanı sıra trendin düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırılması fırsatını da verir (Şen, 2012: 1042-1046).

Şekil 1. Örnek Yenilikçi Trend Analizi Grafiği




## 3. BULGULAR

### 3.1 Mann Kendall Analiz Bulguları

#### 3.1.1 Mann Kendall Yıllık Toplam Sıcaklık Analiz Bulguları

Analizi yapılan 7 adet istasyonun tümünde %95 güven aralığında, p value değerleri 0.05 değerinden küçük olduğu için trend mevcuttur ve sen slope değerleri de pozitif değerli olduğu için trendin artan yönde olduğu görülmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 1. Mann Kendall Yıllık Toplam Sıcaklık Analiz Bulguları

| MANN-KENDALL YILLIK TOPLAM SICAKLIK VERİ DEĞERLERİ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| İSTASYONLAR | VERİ ARALIĞI | P-VALUE(0,05) | SEN'S SLOPE | $H_O$ | TREND |
| ANKARA BÖLGE | 1991-2020 | <0,0001 | 1,033 | RED | ↑ |
| BEYPAZARI | 1991-2020 | 0,001 | 0,736 | RED | ↑ |
| ESENBOĞA HAVALİMANI | 1991-2020 | 0 | 0,979 | RED | ↑ |
| ETİMESGUT HAVALİMANI | 1991-2020 | 0 | 0,776 | RED | ↑ |
| KIZILCAHAMAM | 1991-2020 | 0,004 | 0,683 | RED | ↑ |
| NALLIHAN | 1991-2020 | 0,038 | 0,492 | RED | ↑ |
| POLATLI | 1991-2020 | <0,0001 | 1,1 | RED | ↑ |

### 3.1.2 Mann Kendall Mevsimsel Toplam Sıcaklık Analiz Bulguları

Analizler seçilen her bir istasyon için sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimleri için ayrı ayrı yapılmıştır. %95 güven aralığında yapılan analizler tablolarda gösterilmiştir. Buna göre sonbahar mevsiminde Nallıhan istasyonu hariç tüm istasyonlarda artan bir eğilim söz konusudur. Kış mevsiminde Beypazarı ve Polatlı istasyonlarında artan diğer eğilim söz konusu iken diğer istasyonlarda eğilim tespit edilememiştir. İlkbahar mevsiminde Beypazarı istasyonu haricinde artan eğilim görülmüş iken, yaz mevsiminde ise tümüyle artan bir eğilim görülmüştür.

Tablo 2. Mann Kendall Sonbahar Mevsimi Toplam Sıcaklık Analiz Bulguları

| MANN-KENDALL SONBAHAR MEVSİMİ SICAKLIK VERİ DEĞERLERİ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| İSTASYONLAR | VERİ ARALIĞI | P-VALUE(0,05) | SEN'S SLOPE | $H_O$ | TREND |
| ANKARA BÖLGE | 1991-2020 | 0,002 | 0,25 | RED | ↑ |
| BEYPAZARI | 1991-2020 | 0,019 | 0,164 | RED | ↑ |
| ESENBOĞA HAVALİMANI | 1991-2020 | 0,001 | 0,271 | RED | ↑ |
| ETİMESGUT HAVALİMANI | 1991-2020 | 0,007 | 0,227 | RED | ↑ |
| KIZILCAHAMAM | 1991-2020 | 0,029 | 0,188 | RED | ↑ |
| NALLIHAN | 1991-2020 | 0,164 | 0,107 | KABUL | - |
| POLATLI | 1991-2020 | 0,03 | 0,241 | RED | ↑ |

Tablo 3. Mann Kendall Kış Mevsimi Toplam Sıcaklık Analiz Bulguları

| MANN-KENDALL KIŞ MEVSİMİ SICAKLIK VERİ DEĞERLERİ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| İSTASYONLAR | VERİ ARALIĞI | P-VALUE(0,05) | SEN'S SLOPE | $H_O$ | TREND |
| ANKARA BÖLGE | 1991-2020 | 0,054 | 0,263 | KABUL | - |
| BEYPAZARI | 1991-2020 | 0,042 | 0,238 | RED | ↑ |
| ESENBOĞA HAVALİMANI | 1991-2020 | 0,094 | 0,212 | KABUL | - |
| ETİMESGUT HAVALİMANI | 1991-2020 | 0,112 | 0,192 | KABUL | - |
| KIZILCAHAMAM | 1991-2020 | 0,159 | 0,168 | KABUL | - |
| NALLIHAN | 1991-2020 | 0,544 | 0,083 | KABUL | - |
| POLATLI | 1991-2020 | 0,02 | 0,311 | RED | ↑ |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 4. Mann Kendall İlkbahar Mevsimi Toplam Sıcaklık Analiz Bulguları

| MANN-KENDALL İLKBAHAR MEVSİMİ SICAKLIK VERİ DEĞERLERİ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| İSTASYONLAR | VERİ ARALIĞI | P-VALUE(0,05) | SEN'S SLOPE | $H_O$ | TREND |
| ANKARA BÖLGE | 1991-2020 | 0,001 | 0,232 | RED | ↑ |
| BEYPAZARI | 1991-2020 | 0,097 | 0,129 | KABUL | - |
| ESENBOĞA HAVALİMANI | 1991-2020 | 0,004 | 0,2 | RED | ↑ |
| ETİMESGUT HAVALİMANI | 1991-2020 | 0,01 | 0,186 | RED | ↑ |
| KIZILCAHAMAM | 1991-2020 | 0,008 | 0,157 | RED | ↑ |
| NALLIHAN | 1991-2020 | 0,025 | 0,175 | RED | ↑ |
| POLATLI | 1991-2020 | 0 | 0,267 | RED | ↑ |

Tablo 5. Mann Kendall Yaz Mevsimi Toplam Sıcaklık Analiz Bulguları

| MANN-KENDALL YAZ MEVSİMİ SICAKLIK VERİ DEĞERLERİ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| İSTASYONLAR | VERİ ARALIĞI | P-VALUE(0,05) | SEN'S SLOPE | $H_O$ | TREND |
| ANKARA BÖLGE | 1991-2020 | 0 | 0,228 | RED | ↑ |
| BEYPAZARI | 1991-2020 | 0,032 | 0,119 | RED | ↑ |
| ESENBOĞA HAVALİMANI | 1991-2020 | 0,004 | 0,195 | RED | ↑ |
| ETİMESGUT HAVALİMANI | 1991-2020 | 0,005 | 0,157 | RED | ↑ |
| KIZILCAHAMAM | 1991-2020 | 0,004 | 0,176 | RED | ↑ |
| NALLIHAN | 1991-2020 | 0,017 | 0,175 | RED | ↑ |
| POLATLI | 1991-2020 | 0 | 0,212 | RED | ↑ |

### 3.2 Yenilikçi Trend Analizi Bulguları

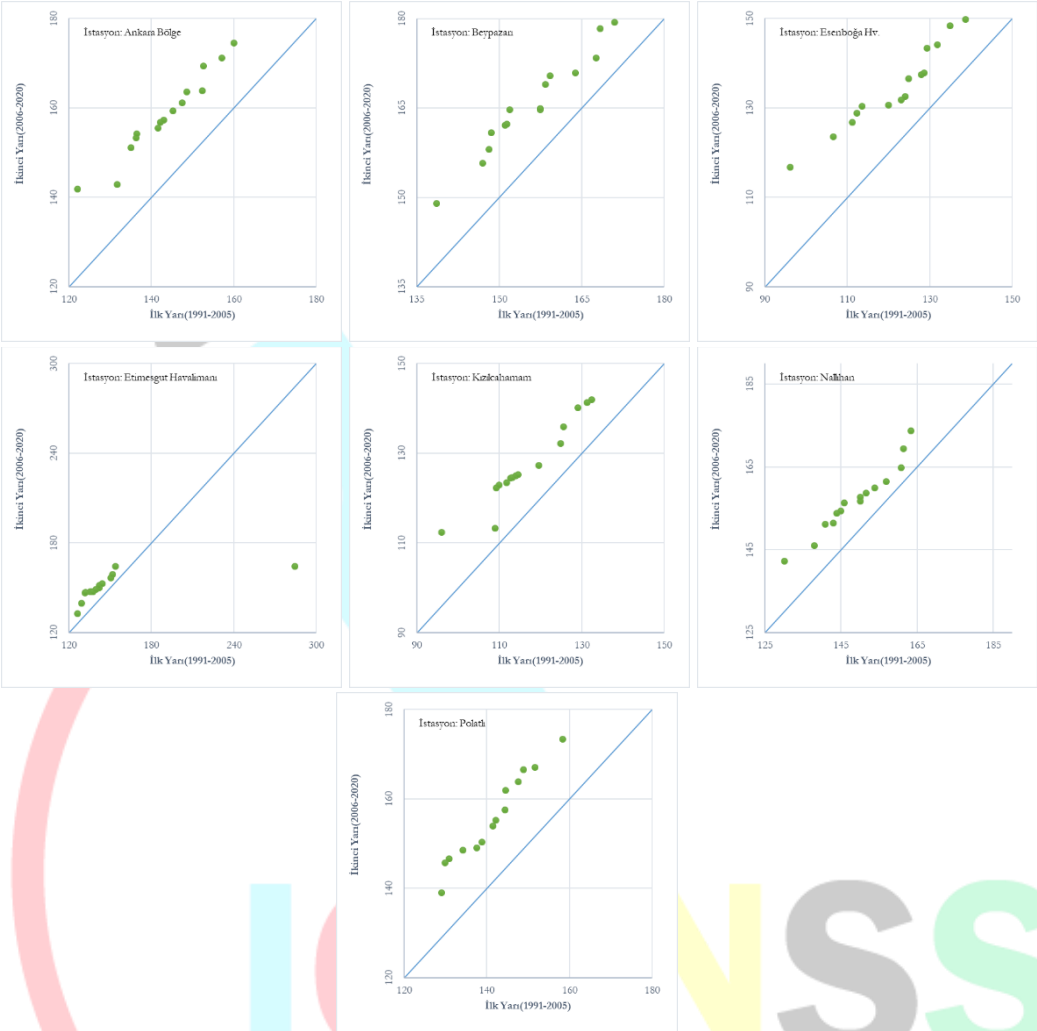
Yenilikçi Trend analizi testleri de tıpkı Mann Kendall trend analizinde olduğu gibi yıllık toplam sıcaklık ve mevsimsel toplam sıcaklık değerleri ile her bir istasyon için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu analiz yönteminde grafiğin daha iyi yorumlanabilmesi için her bir istasyonun sıcaklık değerleri üç eşit parçaya ayrılmıştır.

#### 3.2.1 Yenilikçi Trend Analizi Yıllık Toplam Sıcaklık Bulguları

Yıllık toplam sıcaklık değerlerinde genel olarak artan bir eğilim gözlemlenmektedir. Şekil 2 de yer alan grafikler incelendiğinde Ankara bölge, Etimesgut havalimanı, Kızılcahamam ve Polatlı istasyonlarında orta ve yüksek, Beypazarı istasyonunda düşük, orta ve yüksek, Esenboğa havalimanı istasyonunda düşük, Nallıhan istasyonunda ise genellikle orta ölçekte artan bir eğilim tespit edilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Şekil 2. Yıllık Toplam Sıcaklık Değerleri Yenilikçi Trend Analiz Bulguları



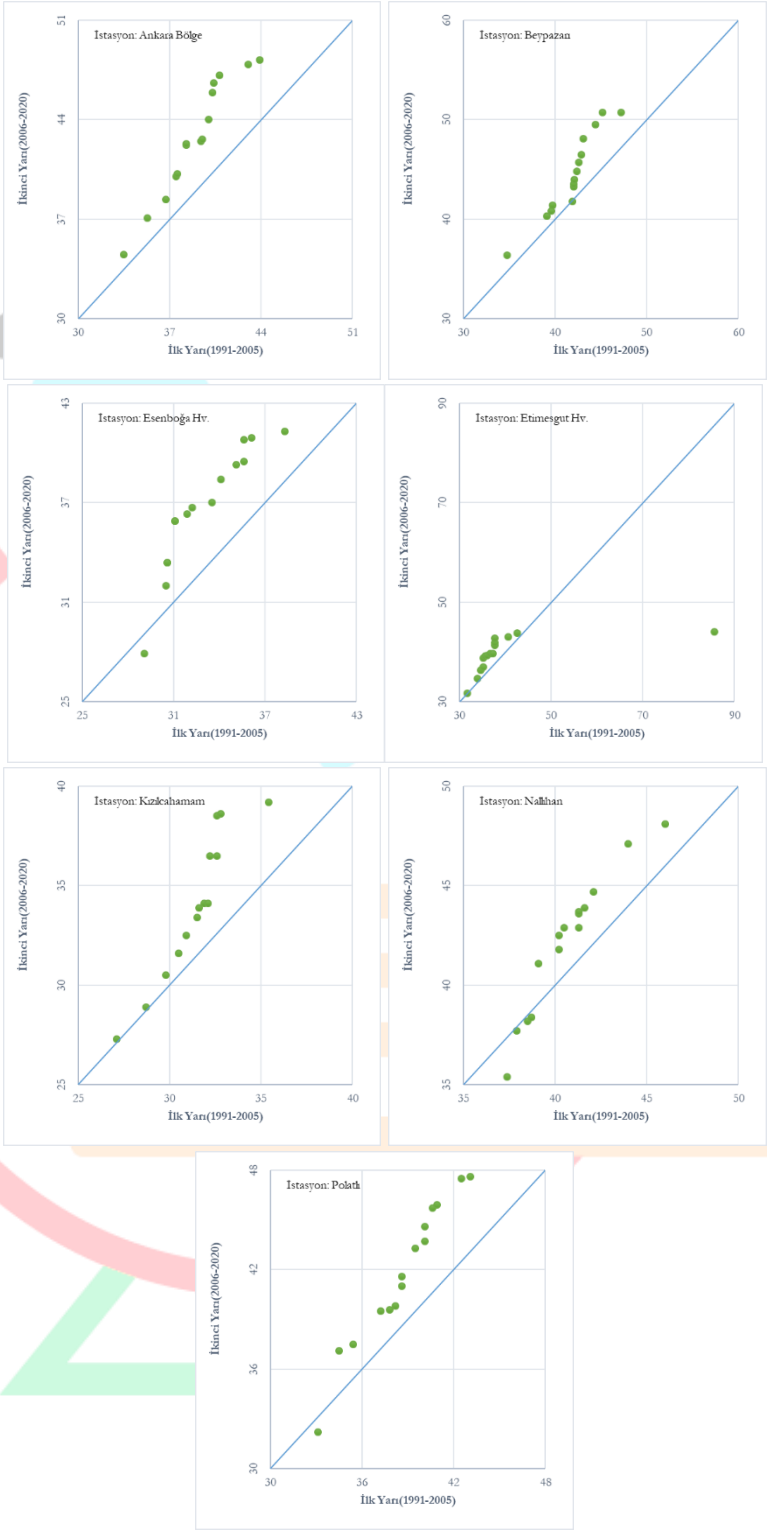

### 3.2.1 Yenilikçi Trend Analizi Mevsimsel Toplam Sıcaklık Bulguları

#### 3.2.1.1 Sonbahar Toplam Sıcaklık Bulguları.

Genel olarak hemen hemen tüm istasyonlarda monoton artan bir eğilim mevcuttur. Ankara bölge, Esenboğa havalimanı ve Beypazarı istasyonlarında eğilimlerin yaklaşık %90'ı orta ve yüksek ölçekte artan trende sahiptir. Nallıhan ve Polatlı istasyonlarında düşük ölçekte azalan eğilim mevcut iken gene her iki istasyonda orta ve yüksek ölçekte artan eğilimler mevcuttur. Ayrıca Kızılcahamam istasyonunda düşük ölçekte eğilime rastlanmazken Esenboğa havalimanı ve Polatlı istasyonlarındaki eğilimlerin yaklaşık yarısı yüksek ölçekte olduğu görülmektedir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Şekil 3. Sonbahar Toplam Sıcaklık Değerleri Yenilikçi Trend Analiz Bulguları

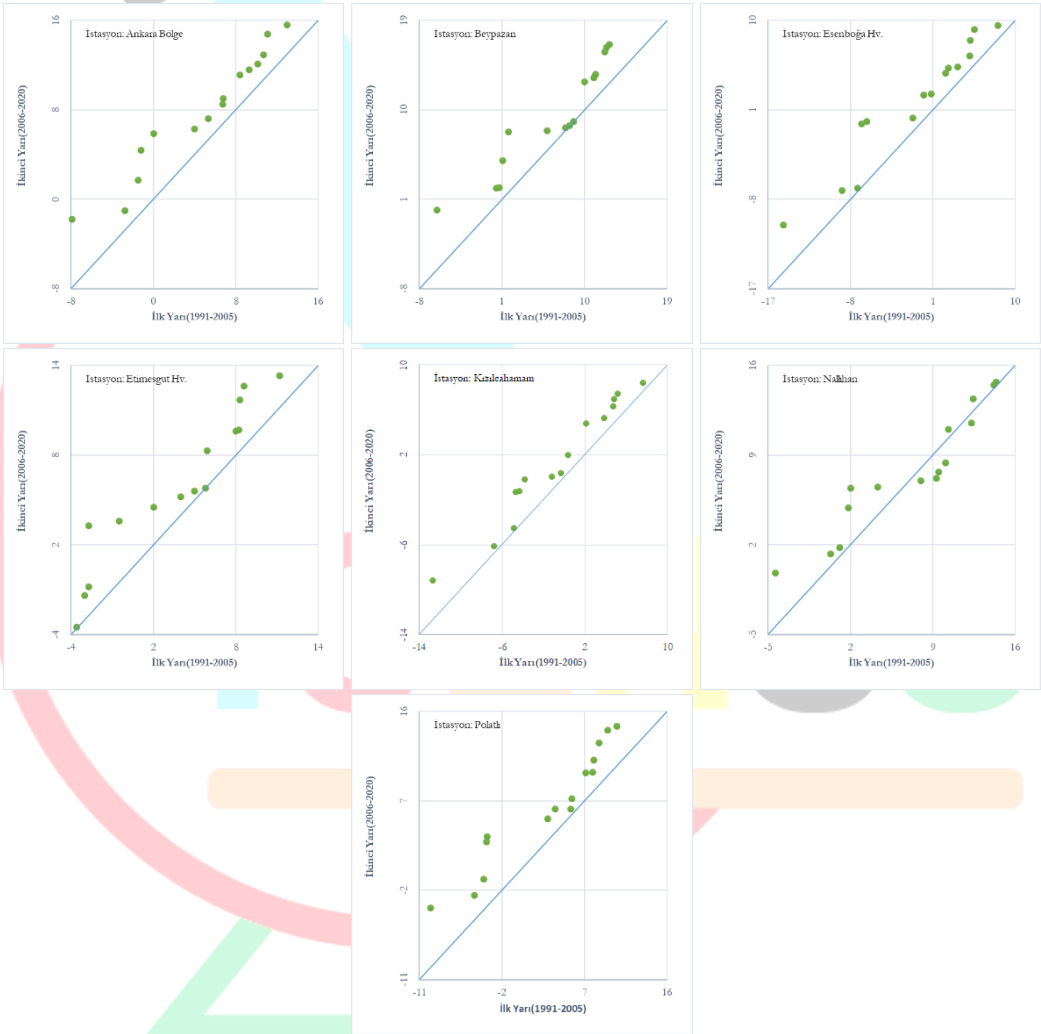


ISBN: 978-605-71156-5-2

### 3.2.1.2 Kış Toplam Sıcaklık Bulguları.

Grafikler incelendiğinde tüm istasyonlarda belirgin bir artan eğilim söz konusudur. Sıcaklıkların en yüksek olduğu iki istasyon Ankara bölge ve Beypazarı istasyonlarıdır. Ayrıca Nallıhan istasyonunda orta ölçekte azalan eğilimler de görülmektedir. Esenboğa havalimanı istasyonunda meydana gelen artış eğiliminin yaklaşık % 93'ü orta ve yüksek ölçektedir. Öte yandan Ankara bölge ve Polatlı istasyonlarında ise bu oran yaklaşık %85'dir. Kış mevsimi en soğuk olan istasyonlar Esenboğa ve Kızılcahamam istasyonlarıdır.

Şekil 4. Kış Toplam Sıcaklık Değerleri Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları

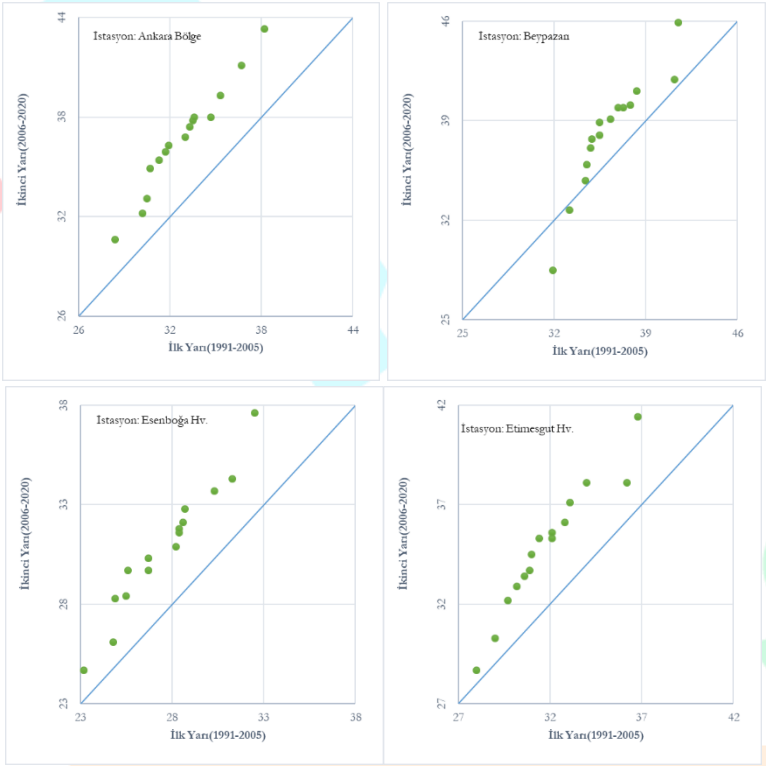


ISBN: 978-605-71156-5-2

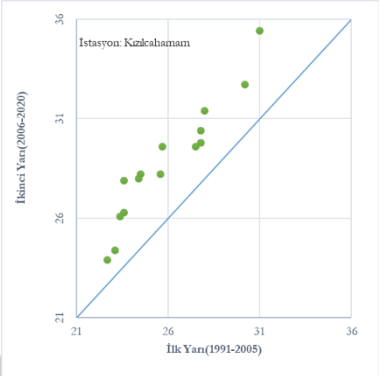
### 3.2.1.3 İlkbahar Toplam Sıcaklık Sonuçları.

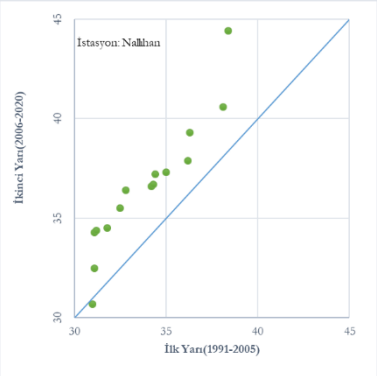
İlkbahar mevsimi grafiklerine baktığımızda tüm istasyonlarda monoton artan bir eğilim söz konusudur. Ankara bölge istasyonunda eğilimlerin yaklaşık %94'ü, Esenboğa, Etimesgut, Kızılcahamam ve Polatlı istasyonlarında yaklaşık %85'i orta ve yüksek ölçekte artan olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca Nallıhan istasyonunda eğilimlerin %80'i orta ve yüksek ölçekte artan olduğu gözlemlenmiştir. İlkbahar mevsiminde en yüksek sıcaklıklar Beypazarı ve Ankara bölge istasyonlarında görülmektedir.

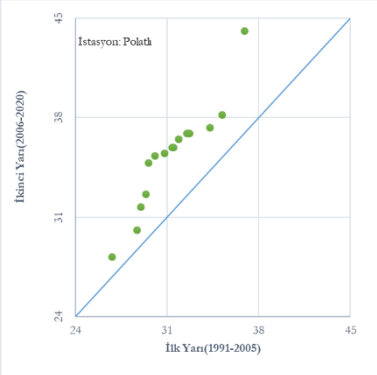
Şekil 5. İlkbahar Toplam Sıcaklık Değerleri Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları



ISBN: 978-605-71156-5-2



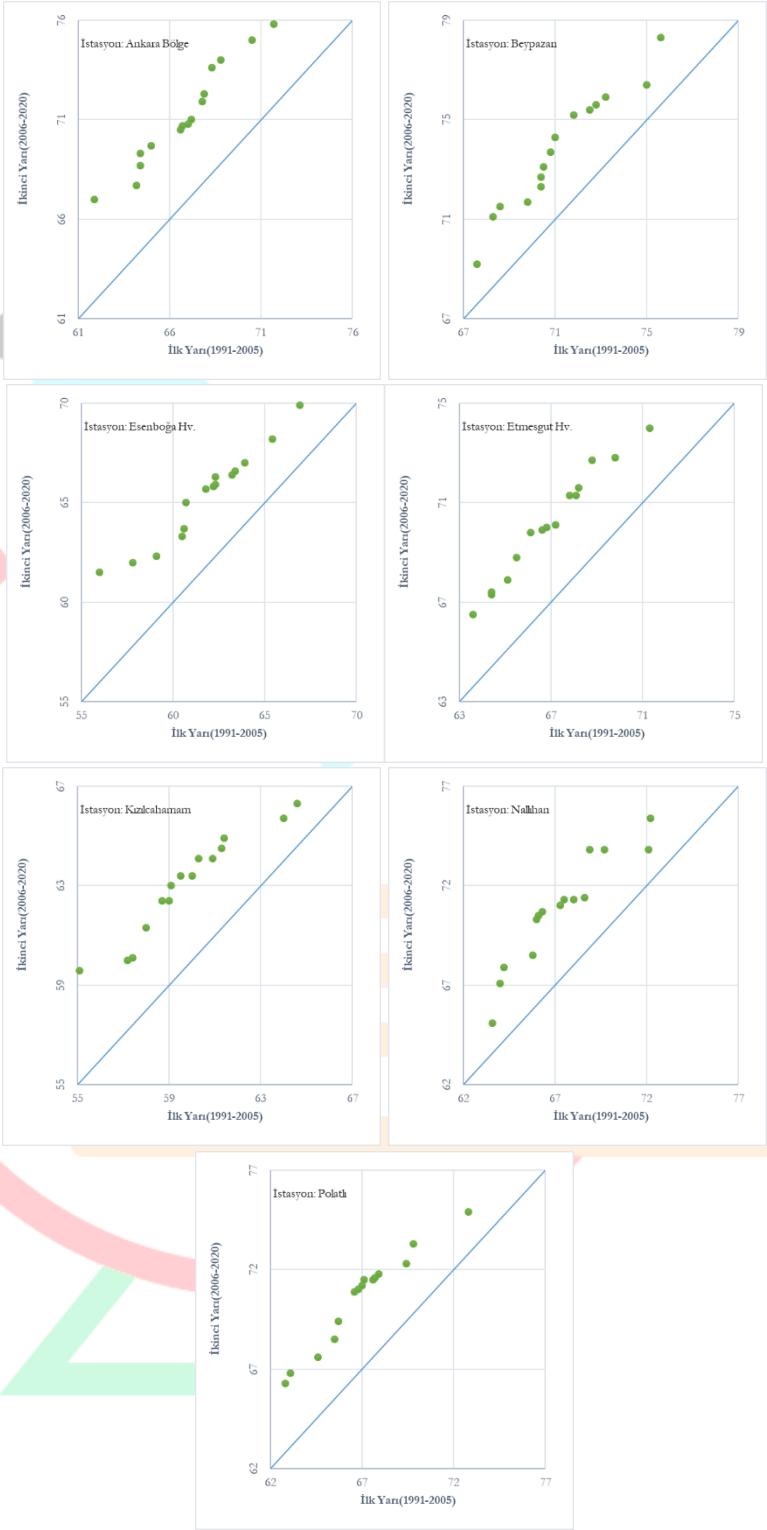




### 3.2.1.4 Yaz Toplam Sıcaklık Sonuçları.

Yaz mevsiminde diğer mevsimlere nazaran daha belirgin bir artan eğilim mevcuttur. Beypazarı, Etimesgut, Nallıhan ve Polatlı istasyonlarında artan eğilimlerin yaklaşık olarak %7 si düşük ölçekte gerçekleşmiş iken diğer 3 istasyonun tümünde eğilimlerin tamamı orta ve yüksek ölçekte gerçekleşmiştir. Ayrıca Ankara bölge istasyonda sıcaklık eğilimlerinin yarısına yakını yüksek ölçekte gerçekleşmiştir. Dolayısıyla en yüksek artışlar Ankara bölge istasyonundadır denebilir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Şekil 6. Yaz Toplam Sıcaklık Değerleri Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları



ISBN: 978-605-71156-5-2

## 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemiz dahil dünya genelinde küresel iklim değişikliği ile ilgili çalışmalar her geçen gün artmaktadır. İklim değişikliğinin son yıllardaki en büyük etmeni insanoğludur. Hızlı nüfus artışı, sanayileşme, fosil yakıt tüketimi ve atmosfere salınan sera gazları gibi insan kaynaklı etmenler iklim değişikliğini tetiklemektedir.

Bu çalışmada sıcaklık değerleri Ankara bölge, Beypazarı, Esenboğa havalimanı, Etimesgut havalimanı, Kızılcahamam, Nallıhan ve Polatlı istasyonları verileri 30 yıllık bir süre için irdelenmiştir. Mann Kendall testi sonuçlarına göre yıllık bazda tüm istasyonlarda artan bir eğilim tespit edilmiştir. Öte yandan mevsimsel olarak sonbaharda bir istasyon hariç geri kalan istasyonlarda artan eğilim söz konusudur. Kış mevsiminde sadece iki istasyonda artış eğilimi gözlenirken diğer istasyonlarda eğilim tespit edilmemiştir. İlkbahar mevsiminde bir istasyonda eğilim gözlenmezken diğer istasyonlarda artan bir eğilim tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde ise tüm istasyonlarda artan eğilime rastlanmıştır. Bir diğer analiz yöntemi olan Yenilikçi Trend Analizi testi sonuçları ise daha belirgindir. Yenilikçi Trend analizi sonuçlarına göre yıllık bazda tüm istasyonlarda monoton artan eğilim tespit edilirken Ankara bölge, Beypazarı ve Esenboğa havalimanı istasyonlarında eğilimlerin yaklaşık yarısı orta ve yüksek ölçekte olduğu görülmüştür. Mevsimsel olarak ise sonbahar mevsiminde tüm istasyonlarda artan eğilim olduğu görülürken Ankara bölge, Beypazarı istasyonlarında monoton artan eğilim göze çarpmaktadır. Kış mevsiminde bir istasyon haricinde tümünde düşük, orta ve yüksek ölçekli artan eğilimler tespit edilmiş ve Esenboğa havalimanı istasyonu eğilimlerinin yarısından fazlası yüksek ölçekte olduğu görülmüştür. İlkbahar mevsiminde tüm istasyonlarda monoton artan eğilim görülürken, Ankara bölge istasyonunda eğilimlerin tümü orta ve yüksek ölçekte olduğu gözlemlenmiştir. Yaz mevsiminde ise tüm istasyonlarda monoton artan eğilim görülmüşken, Ankara bölge, Esenboğa havalimanı ve Kızılcahamam istasyonlarında eğilimlerin tümü orta ve yüksek ölçekte gerçekleşmesi dikkat çekicidir.

Sonuç olarak sıcaklık değerlerinde tüm istasyonlarda genel bir artış söz konusudur. Bu artışlar arasında Ankara bölge istasyonu dikkat çekmektedir. Bunun en büyük sebebi nüfus yoğunluğu ve dolayısıyla kentleşme denebilir. Ankara ili nüfus yoğunluğunun her geçen yıl artmasını göz önünde bulundurarak ilerleyen yıllarda Ankara ili su sıkıntısının artacağı söylenebilir. Artan sıcaklık değerleri önümüzdeki yıllarda da incelenmeli ve küresel iklim değişikliğine karşı önlemler alınması gerektiği aşikârdır. Alınacak önlemler arasında tarımda bilinçli sulama yapılması, ağaçlandırma yapılarak orman sayılarının arttırması, atık suların arıtılması, fosil yakıt tüketiminin azaltılması, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kullanımının arttırılması gibi önlemler gösterilebilir.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Türkeş, M. (2012). Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, *4*(2), 1-32.

WWF Türkiye. (22,05,01). 2021 Faaliyet Raporu|WWF. www.wwf.org.tr. https://wwftr.awsassets.panda.org/downloads/2021faaliyetweb_1_1.pdf?12161/2021FaaliyetRaporu. Son Erişim 01.05.2022

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, *438*(7066), 310-317.

Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., ... & Chen, H. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of biometeorology*, *54*(1), 75-84.

Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve meteoroloji*. Kriter Yayınevi

Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather. 2007. Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC (Eds. Solomon, et al.). Cambridge University Press: Cambridge.

Türkeş, M. (1999). Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, *23*(5), 363-380.

Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, *17*(9), 1042-1046.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# On Row Co-divisors and Column Co-divisors in Regular Square Matrices

*Hasan KELEŞ*[1]

**Abstract**

This study consists of a comparison between column co-divisors defined in 2010 and row co-dividers newly defined in March-2021. This study consists of a comparison between column co-divisors defined in 2010 and row co-dividers newly defined in March-2021. In column co-divisor definition, two regular square matrices are calculated by taking the determinant by replacing all the columns of the first with the columns of the second matrix, respectively. For the same matrices, in the definition of row co-divisor, the rows of the first of the two matrices, which also have the same conditions, are defined by taking their determinants by replacing the rows of the second matrix, respectively. The common aspects of these two definitions are examined. Examples of different situations are given. The meanings of the concepts known in the literature and some of the features that may be related to these two were discussed. In two definitions, it is determined that there are new approaches that can bring to the literature. It is investigated whether there are new accounts that are the same or different on a matrix.

It is concluded that new, rapid results were obtained in the local and even holistic comparison of the matrices obtained from the systems. Therefore, it is expected to make a significant contribution to the comparison of technological solutions. On the contrary, this approach allows observing mass solutions, variation between local solutions.

**Keywords:** horizontal division, vertical division, row co-divisor, column co-divisor

[1] Öğr. Gör., Karadeniz Technical University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Turkey, Orcıd: 0000-0001-8436-890X

ISBN: 978-605-71156-5-2

## INTRODUCTION

Here, it is aimed to compare each component of the first matrix with each component of the second matrix. This is made a great contribution to us in comparing the images obtained in imaging, especially in health and safety areas, with reality. Beyond horizontal and vertical comparison, new situations are possible.

Let $F$ be a field and $M_n(F)=\left\{\left[a_{ij}\right]_n \middle| a_{ij}\in F, n\in\mathbb{N}^+\right\}$. Also, the transpose of $A\in M_n(F)$ is denoted by $A^T$.

Let $A$ and $B$ be two regular square matrices of order $n$. The determinant of the new matrix obtained by writing the $i^{th}$ row of the matrix $A$ on the $j^{th}$ row of the matrix $B$ is called the *co-divisor by row* of the matrix $A$ by the row on the matrix $B$. It is denoted by $\underset{ij}{AB}$. Their number is $n^2$. The matrix co-divisor by row is $\left[\left(\underset{ij}{AB}\right)_{ij}\right]$ (Keleş, 2022).

column-by-column co-divisors are denoted by ${}^{A}_{B}i_j$ and column-by-column co-divisors matrix as $\left[\left({}^{A}_{B}i_j\right)_{ij}\right]$ (Keleş, 2010,2015, 2018).

The following lemmas and theorems that have been proved before are given.

**Lemma 1.** Let $F$ be a field, $M_n(F)=\left\{\left[a_{ij}\right]_n \middle| a_{ij}\in F, n\in\mathbb{N}^+\right\}$ and $A,B\in M_n(F)$. Then,

$$\frac{1}{|A|}\left[\left(\underset{ij}{AB}\right)_{ij}\right]=\left(\frac{B^T}{A^T}\right)^T \text{ (Keleş, 2022).}$$

**Theorem 1.** Let $F$ be a field, $M_n(F)=\left\{\left[a_{ij}\right]_n \middle| a_{ij}\in F, n\in\mathbb{N}^+\right\}$ and $A,B\in M_n(F)$. Then,

$$\frac{A}{B}=\frac{B^T}{A^T}.$$

**Theorem 2.** Let $F$ be a field, $M_n(F)=\left\{\left[a_{ij}\right]_n \middle| a_{ij}\in F, n\in\mathbb{N}^+\right\}$ and $A,B\in M_n(F)$. Then, solution of the linear matrix equation $XA=B$;

$$X=\left(\frac{B^T}{A^T}\right)^T.$$

**Lemma 2.** Let $F$ be a field, $M_n(F)=\left\{\left[a_{ij}\right]_n \middle| a_{ij}\in F, n\in\mathbb{N}^+\right\}$ and $A,B,C\in M_n(F)$, where $|C|\neq 0$. Then,

i. $$\left[\left({}^{A}_{B}i_j\right)_{ij}\right]=\frac{1}{|C|}\left[\left({}^{C}_{B}i_j\right)_{ij}\right]\left[\left({}^{A}_{C}i_j\right)_{ij}\right].$$

ISBN: 978-605-71156-5-2

ii. $\left[\left({}^{A}_{B}i_j\right)_{ij}\right] = A\left[\left({}^{I}_{B}i_j\right)_{ij}\right]$.

**Theorem 3.** Let $M_n(F) = \left\{\left[a_{ij}\right]_n \middle| a_{ij} \in F, n \in \square^+\right\}$ be and $C_{ij}(A) = (-1)^{i+j} M_{ij}(A)$ be, where $M_{ij}(A)$ is the minor of $a_{ij}$. If $A \in M_n(F)$ with $|A| \neq 0$, let $I$ *or* $I_n$ be the unit matrix. Then

i. ${}^{I}_{A}i_j = C_{ij}(A)$.
ii. ${}^{A}_{I}i_j = a_{ij}$ where $i,j = 1, \dots, n$.
iii. ${}^{A}_{A}i_j = \begin{cases} |A|, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases}$

ROW CO-DIVISORS AND COLUMN CO-DIVISORS İN REGULAR SQUARE MATRICES

In this section, the similarities, equality or differences between $\left[\left({}^{A}_{B}i_j\right)_{ij}\right]$ and $\left[\left(AB_{ij}\right)_{ij}\right]$, which form the basis of the solution of equations, $XA = B$ and $AX = B$ formed by the square matrices of $A$ and $B$ are examined.

The row and column co-divisors of second-order square matrices $A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ and $B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}$ are given below.

$$AB_{11} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{vmatrix} = a_{11}b_{22} - a_{12}b_{21}$$

$$AB_{12} = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} \\ a_{11} & a_{12} \end{vmatrix} = b_{11}a_{12} - a_{11}b_{12}$$

$$AB_{21} = \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} \\ b_{21} & b_{22} \end{vmatrix} = a_{21}b_{22} - b_{21}a_{22}$$

$$AB_{22} = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = b_{11}a_{22} - a_{21}b_{12}$$

$${}^{A}_{B}{}^{1}_{1} = \begin{vmatrix} a_{11} & b_{12} \\ a_{21} & b_{22} \end{vmatrix} = a_{11}b_{22} - a_{21}b_{12}$$

$${}^{A}_{B}{}^{1}_{2} = \begin{vmatrix} b_{11} & a_{11} \\ b_{21} & a_{21} \end{vmatrix} = b_{11}a_{21} - b_{21}a_{11}$$

$${}^{A}_{B}{}^{2}_{1} = \begin{vmatrix} a_{12} & b_{12} \\ a_{22} & b_{22} \end{vmatrix} = a_{12}b_{22} - a_{22}b_{12}$$

ISBN: 978-605-71156-5-2

$$\underset{B}{A}{}^{2}{}_{2} = \begin{vmatrix} b_{11} & a_{12} \\ b_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = b_{11}a_{22} - a_{12}b_{21}$$

$$\left[\left(\underset{ij}{AB}\right)_{ij}\right] = \begin{bmatrix} a_{11}b_{22} - a_{12}b_{21} & b_{11}a_{12} - a_{11}b_{12} \\ a_{21}b_{22} - b_{21}a_{22} & b_{11}a_{22} - a_{21}b_{12} \end{bmatrix}$$

$$\left[\left(\underset{B}{A}{}^{i}{}_{j}\right)_{ij}\right] = \begin{bmatrix} a_{11}b_{22} - a_{21}b_{12} & b_{11}a_{21} - b_{21}a_{11} \\ a_{12}b_{22} - a_{22}b_{12} & b_{11}a_{22} - a_{12}b_{21} \end{bmatrix}$$

**Lemma 1.** Let $A, B \in M_n(F)$ be regular matrices. Then

$$\left[\left(\underset{B^T}{A^T}{}^{i}{}_{j}\right)_{ij}\right] = \left[\left(\underset{ij}{AB}\right)_{ij}\right]^T.$$

**Proof.** Let the regular matrices $A, B \in M_2(F)$ be given

$$\left[\left(\underset{B^T}{A^T}{}^{i}{}_{j}\right)_{ij}\right] = \begin{bmatrix} a_{11}b_{22} - a_{12}b_{21} & a_{21}b_{22} - a_{22}b_{21} \\ a_{12}b_{11} - a_{11}b_{12} & a_{22}b_{11} - a_{21}b_{12} \end{bmatrix}$$

$$\left[\left(\underset{ij}{AB}\right)_{ij}\right]^T == \begin{bmatrix} a_{11}b_{22} - a_{12}b_{21} & a_{21}b_{22} - a_{22}b_{21} \\ a_{12}b_{11} - a_{11}b_{12} & a_{22}b_{11} - a_{21}b_{12} \end{bmatrix}.$$

**Lemma 2.** Let $F$ be a field, $M_n(F) = \left\{\left[a_{ij}\right]_n \middle| a_{ij} \in F, n \in \square^+\right\}$ and $A, B, C \in M_n(F)$, where $|C| \neq 0$ . Then,

i. $\left[\left(\underset{ij}{AB}\right)_{ij}\right]^T = \dfrac{1}{|C|}\left[\left(\underset{B^T}{C}{}^{i}{}_{j}\right)_{ij}\right]\left[\left(\underset{C}{A^T}{}^{i}{}_{j}\right)_{ij}\right].$

ii. $\left[\left(\underset{ij}{AB}\right)_{ij}\right]^T = A^T\left[\left(\underset{B^T}{I}{}^{i}{}_{j}\right)_{ij}\right].$

**Proof.** Let the regular matrices $A, B, C \in M_2(F)$ be given, where $|C| \neq 0$ . Its proof is obtained from Lemma 2 given in the Introduction and Lemma 1 in the second part.

**Theorem 3.** Let $M_n(F) = \left\{\left[a_{ij}\right]_n \middle| a_{ij} \in F, n \in \square^+\right\}$ be and $C_{ij}(A) = (-1)^{i+j} M_{ij}(A)$ be, where $M_{ij}(A)$ is the minor of $a_{ij}$. If $A \in M_n(F)$ with $|A| \neq 0$, let $I$ *or* $I_n$ be the unit matrix. Then

i. $\underset{A^T}{I_n}{}^{i}{}_{j} = \underset{ji}{I_n A}.$

ii. $\underset{ji}{AI_n} = a_{ji}$, where $i = 1, \cdots, n$ and $j = 1, \cdots, n$.

ISBN: 978-605-71156-5-2

iii. $\underset{ij}{AA} = \begin{cases} |A|, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases}$

**Proof.** For a matrix $A$ that satisfies the hypothesis of the theorem

i. $\underset{A^T}{\overset{I_n}{i}}{}_j = C_{ij}\left(A^T\right) = \underset{ji}{I_n A}$.

ii. $\underset{I_n}{\overset{A^T}{i}}{}_j = a_{ji} = \underset{ji}{AI_n}$.

iii. $\underset{A}{\overset{A}{i}}{}_j = \underset{ij}{AA} = \begin{cases} |A|, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases}$.

## METHOD

Determinant calculation, Gaussian elimination method and the methods required by the definitions and theorems of division operation in matrices defined in 2010 are used in this studies.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

With the results obtained, new developments are added to the methods known in the literature. Therefore, in the processing of the data, it ensures that the dubious results overlap with the real results. It also makes a very healthy contribution to coloring studies. Many comparison studies of the studies in the field are matters waiting to be discussed.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**References**

1. Keles, H., (**2010).** The Rational Matrices, **New Trends in Nanotechnology and Nonlinear Dynamical Systems**, paper58**, Ankara**.
2. Rafael Bru,, Maria T. Gassó,, Isabel Giménez, and José A. Scott, (2015). The Hadamard Product
of a Nonsingular General H-Matrix and Its Inverse Transpose Is Diagonally Dominant, Hindawi Publishing Corporation Journal of Applied Mathematics Volume, Article ID 264680, 6 pages.
3. **Keleş, H., (**2018). ON MATRIX DIVISION AND RATIONAL MATRICES, SOI: 1.1/IM DOI: 10.15863/IM, International Scientific Journal Intelligent Mathematics, 1(7).
4. **Keleş, H., (2015). Lineer Cebire Giriş-I-, Bordo yayınları, Trabzon, Turkiye.**
5. James A. Mingo and Mihai Popa, (2019). Freeness and The Partial Transposes of Wishart Random Matrices, Canad. J. Math. Vol. 71 (3), pp. 659–681, http://dx.doi.org/10.4153/CJM-2018-002-2 ©Canadian.
6. **Keleş, H., (2022).** On The Relationship between Transpose and Division, https://www.internationalistanbulcongress.com/

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# On Some Conclusions the Relationship between Profit and Loss Functions

*Hasan KELEŞ*[1]

**Abstract**

In this article, the cases where the profit and loss functions are equal or different, which are one of the functions of one variable, which are frequently used in economic, economic, business, financial, ... applications of mathematics are discussed. Here, the representations of , $L(x), P(x)$ , $I(x)$, $E(x)$ are considered as loss function, profit function, income function and expense function, respectively. While calculating break-even points from $I(x)=E(x)$ the remainder of the economic activity consists of situations where the $I(x)$ and $E(x)$ functions are not equal. The fact that the control, management and planning of this activity took place in this area determined the direction of the study. Briefly, for the demand functions $f_D(x)$ and supply functions $f_S(x)$, the situation where the income and expense functions are not equal [4,5].

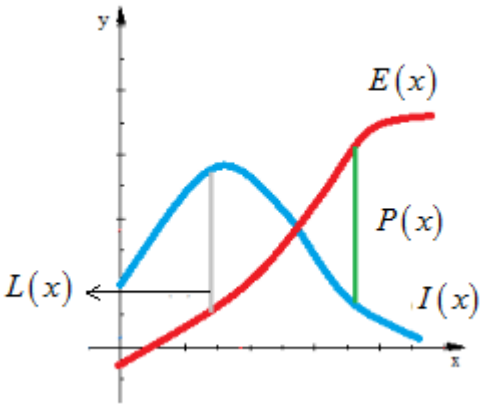
$$xf_D(x) \neq xf_S(x)$$
$$I(x) \neq E(x)$$
$$E_{av}(x) \neq I_{av}(x).$$

Scientific and technological developments make the benefit and necessity of profit and loss account in financial reporting even more important by increasing the development of increasingly complex activities, increasing the interest in business performance for solution-oriented economic, financial and economic dynamic information. This situation increases the interest in mathematics, which produces more systematic and even predictable solutions instead of local solutions. This article is studied in terms of revealing the planar and even spatial structures necessary for the management of the market economy in the real sense and producing solutions.

At the beginning, it is examined how the profit and loss functions of income and expenses are calculated when the demand and supply (price) are known. It has been researched that the increase or restriction of continuous production is fixed results, so the turmoil of profit-making in societies made economic activity unworkable after a while. As a result of this, it is increased the necessity and importance of the analysis and planning of complex economic structures. Although there is limited study in mathematical calculations, it is important that activities in the life principle of this subject develop more clear and measurable concepts. It is observed that there can be infinite concepts, considering that partial calculations are replaced by another calculation after a while.

[1] Öğr. Gör., Karadeniz Technical University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Turkey, Orcıd: 0000-0001-8436-890X

ISBN: 978-605-71156-5-2




**Keywords:** demand, supply, breakeven point, profit, loss, income function, expense function, profit function, loss function

## INTRODUCTION

Today, the profit and loss formula the application of mathematical science in other vital areas in order to determine the price of a commodity in the markets and to understand how profitable a business is necessitated. Each product has a cost price and a selling price. Based on the values of these prices, the profit or loss for a particular product is calculated. This, in turn, helps the realization of the plan to some extent, as well as the achievements achieved and the steps to be taken afterwards. Although the situations where the income and expense functions are equal are fundamental, it is important to consider the situations where they are different in observing the before and after situations of profit or loss.

$$\overbrace{I(x)=E(x) \qquad\qquad I(x)\neq E(x)}^{I(x),E(x)}$$

Here, if $I(x)=E(x)$, income and expense are equal, it determines the balance of the activity in terms of profit and loss. It also aims at the break-even point (Keleş, 2022).

If $I(x)\neq E(x)$ then quantitative ability observes the outcome of the achievements, most importantly, after the activity. This is intuition or how people will behave in the next step, hence production, consumption, social life, etc. it even guides previous logical theories. Therefore, at this stage, the path of the economic impression is determined. Almost all economic systems and theories are based on the well-known principle of profit and loss. This, in turn, affects social depression and economic crises. If there is a social society that is devoid of calculation, it will deprive the other socio-economic society it is established relations with from the results of quantitative logic.

ISBN: 978-605-71156-5-2

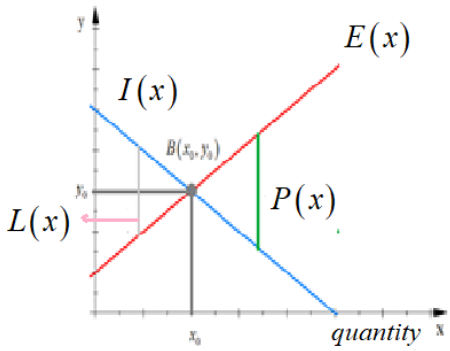



Figure 1.

If the expense and income functions are linear and the average income and average expense functions become simple hyperbolic functions.

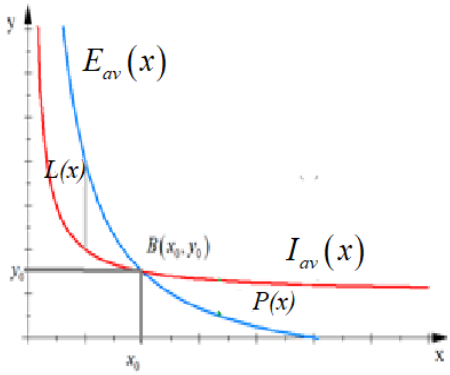



Figure 2.

This explains that the demand and supply functions at the equilibrium point are constant. In this study, mostly demand and supply functions were handled linearly. Thus, the functions were calculated as quadratic.

SOME CONCLUSIONS THE RELATIONSHIP OF PROFIT AND LOSS FUNCTIONS

As $x-$ unit; a quadratic expense function is $E(x)=m_1x^2+n_1x$ for $m_1<0, n_1>0$.

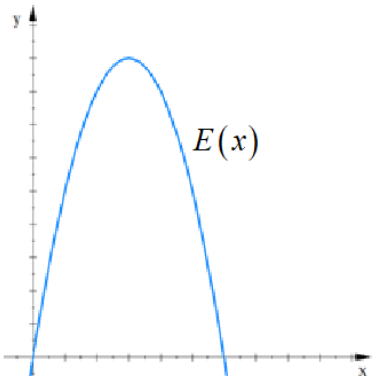



Figure 3.

and a quadratic income function $I(x)=m_2x^2+n_2x$ for $m_2>0$.

ISBN: 978-605-71156-5-2

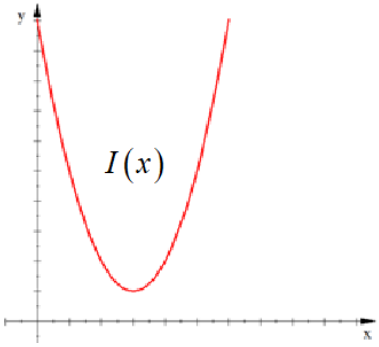



Figure 4.

In the graph below, the closest and farthest components of the two curves in the plane are given.

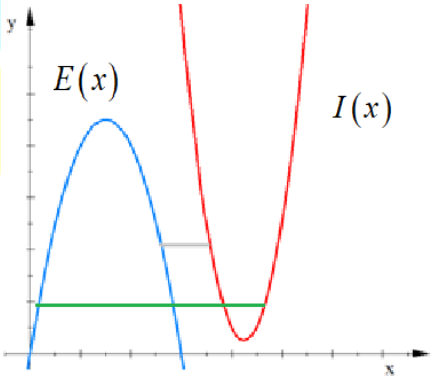



Figure 5.

Therefore, the profit and loss functions are

$$P(x)=I(x)-E(x)$$
$$L(x)=E(x)-I(x).$$

**Lemma 1.** Let the $I(x)$ income and $E(x)$ expense functions have first derivatives and be given continuously.

i. If $E(x)>I(x)$ then

$$Z(x)=-x\int\frac{Z(x)}{x^2}dx.$$

ii. If $I(x)>E(x)$ then

$$K(x)=-x\int\frac{K(x)}{x^2}dx.$$

Proof.

i.
$$\frac{d}{dx}L(x)=\frac{L(x)}{x}+x\frac{d}{dx}\left(\frac{L(x)}{x}\right)=0$$
$$\frac{d}{dx}\left(\frac{L(x)}{x}\right)=-\frac{L(x)}{x^2}$$
$$L(x)=-x\int\frac{L(x)}{x^2}dx.$$

ii. The proof is similar.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Corollary.** $P(x) = -L(x)$.

**Example 1.** At the critical point $x = 4$ for functions $L(x) = 16x - 2x^2$ and $P(x) = 2x^2 - 16x$ with the same demand and supply in an economic transaction

$$x\int \frac{L(x)}{x^2}dx = -2x^2 + 16x\ln x + C$$

$$C = -88,723$$

$$x\int \frac{L(x)}{x^2}dx = -2x^2 + 16x\ln x - 88.723$$

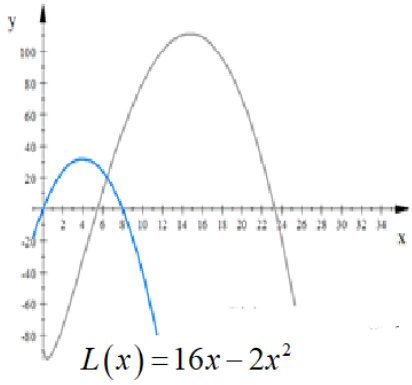



Figure 6.

**Lemma 2.** Let the loss and profit functions be $L(x)$ and $P(x)$.

i. If $\frac{d}{dx}L(x) = 0$ then

$$x = -\frac{E(x)}{E'(x)}.$$

ii. If $\frac{d}{dx}P(x) = 0$ then

$$x = -\frac{I(x)}{I'(x)}.$$

**Proof.** The proofs are clearly obtained from the literature.

## METHOD

Mathematical operations and applications, which form the backbone of the calculation, are used.

## RESULTS

If the demand and supply are known, it means that the loss in the market can be foreseen. On the contrary, it means that the profit will be known in advance. It refers to the subject of how the economic activity can take place before it takes place. This strengthens the confidence in the risk or crisis factor in production and eliminates the anxious production or consumption results. Strong calculations are likely to have strong economic consequences.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## DISCUSSION

What the reflections mean is open to debate. These calculations shed a lot of light on economic methods that do not contradict the laws of mathematics. In particular, there are many situations where the system presents an idea without waiting for the outcome of the event, and discusses the course of the system.

## RESULTS

He states that as a result of important applications of mathematics in life, demand and supply are therefore interrelated functions of profit and loss functions. In fact, the results obtained from the reflections offer many clues about how the trends of economic, economic and similar activities will be.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**References**

7. Richard V. Eastin, PhD, and Gary L. Arbogast, CFA Richard V. Eastin, (2019). Demand and Supply Analysis: Introduction by PhD, is at the University of Southern California (USA). Gary L. Arbogast, CFA (USA).

8. Bulanichev, V.A., and Serkov, L.A., (2006). Model approach of functioning of higher educational institutions as self-organizing systems, Information Technologies, 3, pp. 68 – 73.

9. Jeffrey M. Perloff. (2017). Microeconomics: Theory and Applications with Calculus (The Pearson Series in Economics), 4th edition Published by Pearson.

10. Keleş H., (2022). On Reflections of Profit and Loss Functions, INTERNATIONAL CURRENT RESEARCH SYMPOSIUM (ICRS'22), CONFERENCE PROCEEDINGS, ISBN: 978-605-74014-4-1, pages 223-228, F E B R U A R Y 2 1 - 2 2.

11. Keleş H., (2022). On Reflections of Demand and Supply Functions, INTERNATIONAL CURRENT RESEARCH SYMPOSIUM (ICRS'22), CONFERENCE PROCEEDINGS, ISBN: 978-605-74014-4-1, pages 217-222, F E B R U A R Y 2 1 - 2 2.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# On Some Conclusions the Relationship between Demand and Supply

*Hasan KELEŞ*[1]

**Abstract**

This article is about the demand and supply function, which is one of the functions of a single variable, which is frequently used in economic, economic, business, financial, applications of mathematics. In the calculation of the equilibrium point, $f_D(x)$ demand and $f_S(x)$ supply functions,

$$f_D(x) = f_S(x)$$

using the equation, for $\forall x \geq 0$;

$$\frac{f_D(x)}{x} = \frac{f_S(x)}{x}$$

Here, the representations of , $L(x), P(x), I(x), E(x)$ , are considered as loss function, profit function, income function and expense function, respectively. Different from the market calculations, the known situations in the real structure were studied on the concepts that were initially considered as linear functions on the plane by using mathematical operations. Some of the cases where the results of the concepts of average demand and average supply were examined. In an economic activity, the importance of the demand and supply functions is as important as the profit and loss. In addition, profit and loss functions were obtained in relation to the concepts of average demand and average supply. The direct relationship between the loss function and the demand function was obtained. Namely, it was calculated that the derivative of the expression obtained by multiplying the loss function by the unit corresponds to the demand. It was also concluded that to obtain the profit, the integral of the difference between supply and demand must be twice. Univariate function results between profit, loss, unit, demand and supply functions were obtained. It became intuitively clear that it could be a function of two variables involving demand and supply. Although the equilibrium point is associated with demand and supply functions, it has been observed that profit and loss functions can also be calculated. Thus, it was perceived that the averages should not be kept constant in constantly changing market applications.

[1] Öğr. Gör., Karadeniz Technical University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Turkey, Orcıd: 0000-0001-8436-890X

ISBN: 978-605-71156-5-2

**Keywords:** demand, average demand, supply, average supply, profit, loss, income

## INTRODUCTION

In this study, the functional relationship between the profit and loss function and the demand and supply function in the plane of demand and supply functions, which form the basis of economic, financial and even business activities, is emphasized. The activity of demand and supply is the study of how buyers and sellers interact to determine transaction prices and quantities. As will be seen, prices determine both the quantity of the next activity and the price for the buyer of the unit and the cost for the seller of that unit at the same time.

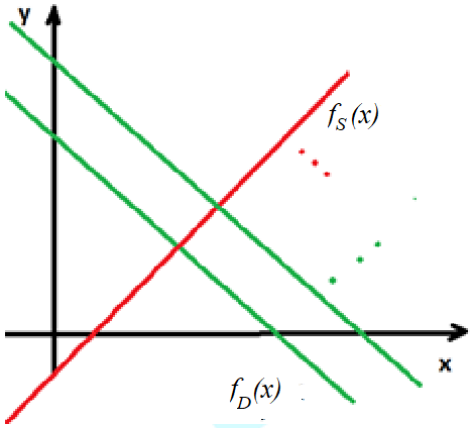



Figure 1.

The acceleration of technological developments and the push of producers to production concerns naturally lead consumers to vital concerns. Producers' and consumers' foresight of profit and loss necessitate their dependence on demand-supply functions. Hence, "how are the profit and loss functions expressed in terms of demand and supply (price) functions?" obliges the question. This study focuses on this question and seeks an answer to this question on the plane. A linear demand and supply functions were studied by transforming them into simple hyperbolic functions, starting from the averages of demand and supply.

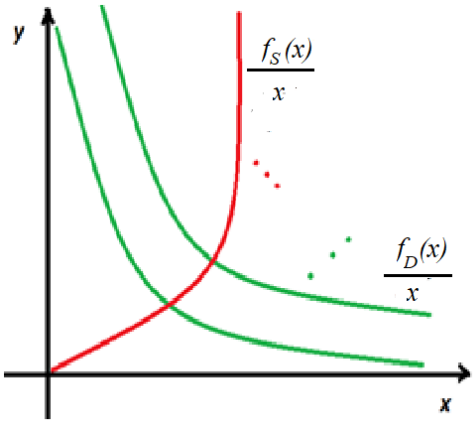



Figure 2.

Examples are given. The results were reinforced with some other economic functions. This provides an environment where investors can gain their trust. At the same time, it also eliminates the scarcity anxiety of consumers. Although the result of an activity is very important for investors and consumers, the planning of demand and supply is at least as important as this.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## RESULTS OF DEMAND AND SUPPLY FUNCTIONS

As $x$ units; For $m_1 < 0, n_1 > 0$ the linear $f_D(x) = m_1 x + n_1$ demand function,

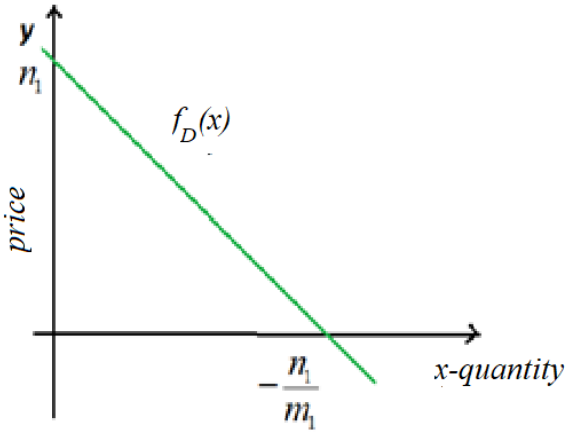



Figure 3.

and for the linear supply function, $f_S(x) = m_2 x + n_2$, where $m_2 > 0$.

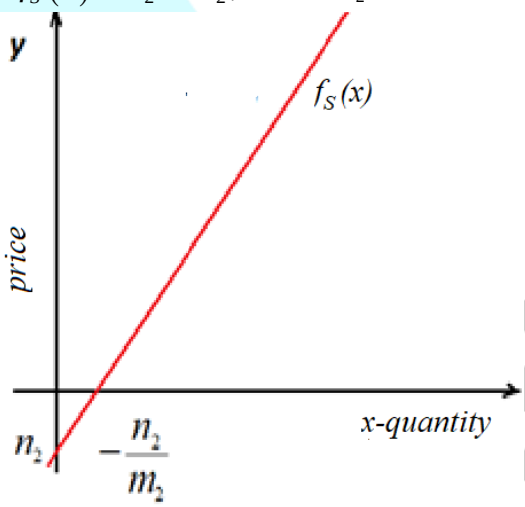



Figure 4.

The average demand and the average supply functions are given below, respectively.

$$f_{D,avr}(x) = \frac{f_T(x)}{x} = \frac{m_1 x + n_1}{x} = m_1 + \frac{n_1}{x},$$

$$f_{S,avr}(x) = \frac{f_A(x)}{x} = m_2 + \frac{n_2}{x}.$$

they become average simple hyperbolic functions.

**Example 1.** Demand and supply functions, respectively, $f_D(x) = 4000 - x$, $f_S(x) = -200 + 2x$.

ISBN: 978-605-71156-5-2

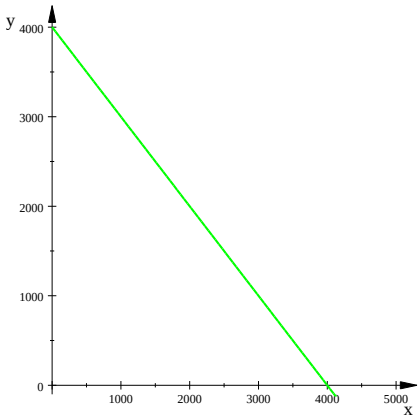



Figure 5.

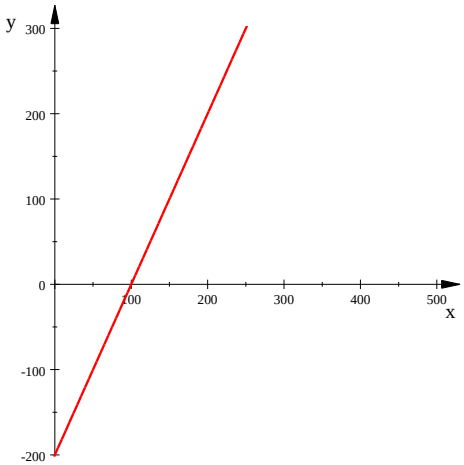



Figure 6.

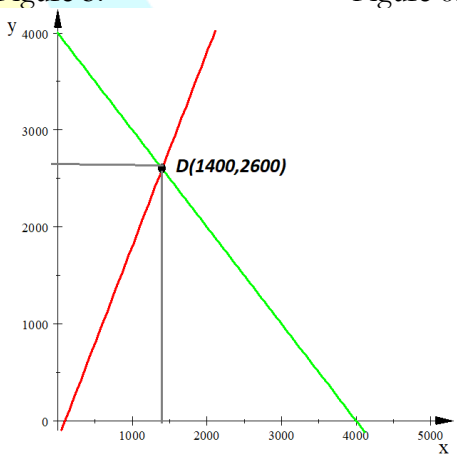



Figure 7.

average demand and average supply functions, respectively;

$$f_{D,avr}(x) = -1 + \frac{4000}{x}, \quad f_{S,avr}(x) = 2 - \frac{200}{x}.$$

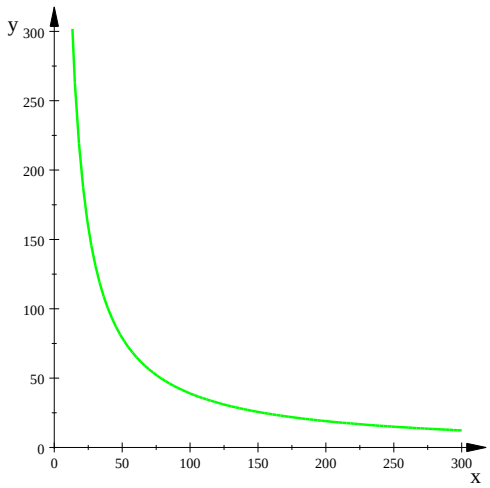



Figure 8.

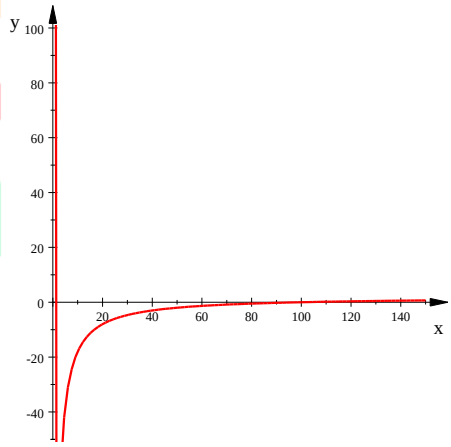



Figure 9.

$$f_{D,avr}(x) = f_{S,avr}(x).$$

ISBN: 978-605-71156-5-2

The following proposition without proof is given.

**Proposition 1.** If any given demand $f_D(x)$ and supply $f_S(x)$ functions, respecttively, then,

$$E(x)=xf_D(x),$$
$$I(x)=xf_S(x).$$

**Lemma 1.** For given the demand $f_D(x)$ and supply $f_S(x)$ functions,

i. If $f_D(x)\geq f_S(x)$ then,

$$L(x)=x\left[f_D(x)-f_S(x)\right].$$

ii. If $f_D(x)\geq f_S(x)$ then,

$$P(x)=x\left[f_S(x)-f_D(x)\right].$$

**Proof.** The proof is clear from the equation given below.

$$P(x)=E(x)-I(x)\geq 0,$$
$$L(x)=I(x)-E(x).$$

**Lemma 2.** Let $f_{D,avr}(x)$ be the demand and $f_{S,avr}(x)$A be the average functions of supply. If $f_{D,avr}(x)=f_{S,avr}(x)$ then,

i. $L(x)=2\int\frac{\left(f_S(x)-f_D(x)\right)}{x}dx.$

ii. $P(x)=\frac{1}{x}\int L(x)dx.$

**Proof.**

$$\frac{d}{dx}\left(\frac{f_D(x)}{x}\right)=\frac{d}{dx}\left(\frac{f_S(x)}{x}\right)$$
$$\frac{xf_D'(x)-f_D(x)}{x^2}=\frac{xf_S'(x)-f_S(x)}{x^2}$$

i.
$$xf_D'(x)-f_D(x)-xf_S'(x)+f_S(x)=0$$
$$x\left(f_D(x)-f_S(x)\right)'-f_D(x)+f_S(x)=0$$
$$x\left(f_D(x)-f_S(x)\right)'-f_D(x)+f_S(x)+f_D(x)-f_D(x)+f_S(x)-f_S(x)=0$$
$$x\left(f_D(x)-f_S(x)\right)'+f_D(x)-f_S(x)+2\left(f_S(x)-f_D(x)\right)=0$$
$$\frac{d}{dx}\left[xL(x)\right]=2\left(f_S(x)-f_D(x)\right)$$
$$L(x)=\frac{2}{x}\int\left(f_S(x)-f_D(x)\right)dx.$$

ISBN: 978-605-71156-5-2

ii. It is proved similarly.

**Proposition 2.** For a differentiable demand function $f_D(x)$, the extreme points of the $E(x)=xf_D(x)$ function are;

$$\frac{d}{dx}E(x)=0$$
$$xf_D'(x)+f_D(x)=0$$
$$x=-\frac{f_D(x)}{f_D'(x)}, \text{ where } f_D'(x)\neq 0.$$

**Example 2.** The critical point of the expense function $E(x)=6x-x^2$ for the demand function $f_D(x)=6-x$, where $x=3$ is the critical point fort his fonction.

$$f_D'(x)=-\frac{f_D(x)}{x}$$
$$f_D(x)=-\int\frac{f_D(x)}{x}dx$$
$$f_D(x)=-x+6\ln x+C$$
$$C=0.59167.$$
$$f_D(x)=-x+6\ln x-0.59167$$

The graph of the two functions is given below,

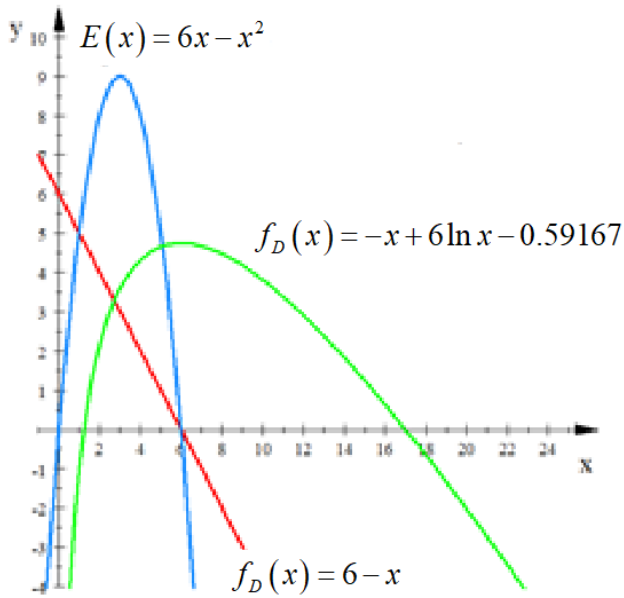



Figure 10.

The solution of the critical points of the function $f_D(x)=-x+6\ln x-0.59167$ is the set $\square\cap\left\{\exp-1.0\text{LambertW}\left(k,-\frac{1}{3}e^{-\frac{54083}{60000}}-0.90138\right)\middle| k\in\square\right\}$ and and numerical solution is $x=9.4386$.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Not. By obtaining different functions, different critical points were determined.

## RESULTS

This means that loss can be foreseen in the market. On the contrary, it means that the profit will be known in advance. This increases the confidence in the risk factor in production and eliminates the anxious production or consumption results. The existence of contradictions affects the result of the application. Although linear functions are studied, similar situations can be explained for general functions.

## DISCUSSION

Comparing the findings obtained with mathematical methods with statistical applications is open to discussion. In addition, it is clear that the evaluation with the eyes of an economist will add even more meaningful results. Discussion of the statement given in the note is more important for mathematicians.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**References**

12. Richard V. Eastin, PhD, and Gary L. Arbogast, CFA Richard V. Eastin, (2019). Demand and Supply Analysis: Introduction by PhD, is at the University of Southern California (USA). Gary L. Arbogast, CFA (USA).

13. Bulanichev, V.A., and Serkov, L.A., (2006). Model approach of functioning of higher educational institutions as self-organizing systems, Information Technologies, 3, pp. 68 – 73.

14. Jeffrey M. Perloff. (2017). Microeconomics: Theory and Applications with Calculus (The Pearson Series in Economics), 4th edition Published by Pearson.

15. Keleş H., (2022). On Reflections of Profit and Loss Functions, INTERNATIONAL CURRENT RESEARCH SYMPOSIUM 2022 (ICRS'22), CONFERENCE PROCEEDINGS, ISBN: 978-605-74014-4-1, pages 223-228, F E B R U A R Y 2 1 - 2 2.

16. Keleş H., (2022). On Reflections of Demand and Supply Functions, INTERNATIONAL CURRENT RESEARCH SYMPOSIUM (2022). (ICRS'22), CONFERENCE PROCEEDINGS, ISBN: 978-605-74014-4-1, pages 217-222, F E B R U A R Y 2 1 - 2 2.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# SORT Cycle CO2 Emission Simulation of an Intercity Bus with VECTO

*Muammer ÖZCAN*[1]
*Tarkan SANDALCI*[2]

**Abstract**

Lorries, buses and coaches contribute to road $CO_2$ emissions in a substantial way, in spite of their low share in vehicle fleet. $CO_2$ emissions determination and certification are executed using a dedicated simulation software (VECTO). Currently, $CO_2$ emissions of lorries are regulated by the European Union and consequently, buses and other types of heavy-duty vehicles will be regulated as well. On the other hand, the Standardized On Road Cycle (SORT) is still in use for bus fuel consumption measurements. The current study performed a simulation by modelling the SORT cycle operation conditions using VECTO. Utilizing a standardized cycle for fuel consumption simulation decreased the uncertainties. Combining this driving cycle with a gas pedal signal generator that ensured the fixed acceleration pedal positions further improved the repeatability and the precision of the measurements. Setting the auxiliary parameters according to the SORT standards reduced the number of auxiliary types and brought their energy demand closer to the measured on-road values, thus, improved the simulation quality in terms of fuel consumption estimation. The simulation results for SORT 1-2-3 indicated values in 0.8-1.4% margin with the on-road measurements, depending on each cycle. The difference was referred to wind speed conditions as the other parameters were precisely defined thanks to the standardized cycle. The results point out that collecting detailed wind conditions data throughout the measurements has a potential to further improve the accuracy of simulation results.

**Keywords :** intercity-bus, on-road CO2, VECTO, SORT

## Introduction

Lorries, buses and coaches are responsible for 30% of road CO2 emissions respite representing 4% of vehicle fleet in the European Union.( Muncrief and Sharpe,2015:1). In this regard, the European Commission designated a mission to reduce greenhouse gas emissions from

[1] Student, Yildiz Technical University,
[2] Assc. Prof. Dr, Yildiz Technical University, Orcıd: 0000-0001-6675-7442

ISBN: 978-605-71156-5-2

transport to 60% of 1990 levels by 2050. (European Commission,2016:1) hence, European Union has announced a CO2 certification perspective based on vehicle. HDV CO2 Emission certification is carried on utilizing an intended vehicle simulation software, the Vehicle Energy and Consumption calculation Tool (VECTO). CO2 emissions of lorries are regulated by the European Union and consequently buses and other categories of heavy-duty vehicles will be the next.. Considering the environmental and economic importance of public transportation, the need for complete system optimization became an essential field for researches. While this optimization practice concentrates on vehicle and drive-train along with the internal combustion engine. However, bus auxiliaries and environmental conditions which have considerable effect on fuel consumption must be considered in order to estimate the energy demand. This study concentrated on the operation evaluation of an intercity bus by executing a group of Standardized On Road Testing measurements and consequently comparing the measured values to the simulated VECTO CO2 emissions. The corresponding vehicle models were created utilizing VECTO with the vehicle parameters and on road test datas to evaluate the potential to sufficiently simulating real-world emissions. It is also important to take into account that auxiliary use of buses stand a higher complexity than trucks. For the purpose of analyzing the effects of this high energy demand, this study utilized the bus auxiliaries module which is a more sophisticated method of simulating the auxiliaries. The study customized the bus auxiliaries according to the SORT standards and adjusted in agreement with cycle-specific auxiliary operation.

## Methods

In this research, a UITP SORT (Standardized On Road Test) cycle has been carried out with an intercity bus and using the datas from this test along with the vehicle specifications , a VECTO model has been created. The test has been executed in accordance with UITP SORT brochure in terms of cycle design, measurement conditions and measuring method. An airport runway with 0.13% slope was used as a test track. As it is mandatory to run SORT cycles in both directions in the respective track, the cycles were run for direction 1 and direction 2 consequently. Fuel consumption values for SORT cycles are mean values of fuel consumptions measured in the two directions. In order to determine the fuel consumption of a direction, it is mandatory to have at least 3 consumption values in 2% accuracy. Therefore, in this test, the cycles were run until the accuracy requirements were fulfilled and the results lied below 1.3% accuracy for 3 measurements each direction.(UITP,2014:15-16)

## Test Vehicle and Measurement Equipments

An intercity, 2-axle and diesel-fueled bus with the properties in Table 1 was used for this study. The total weight of the vehicle was 14.8 tons with 3.1 tons of additional sandbag loading.

ISBN: 978-605-71156-5-2

*Table 1 Vehicle and Engine Properties*

| Parameter | Value |
|---|---|
| Gross weight | 14.8 tones |
| Length | 12 m |
| Number of engine cylinders | 6 |
| Engine capacity | 9 liters |
| Power | 206 kW @ 1,800 RPM |
| Torque | 1200 Nm @ 1,100 RPM |
| Emission level | Euro 6 |

Fuel consumption was measured with an AIC – 6004 fuel flow meter that has a volumetric measurement accuracy better than 1%. (AIC SYSTEMS S.A,2020:3) Temperature of the fuel passing through the fuel consumption meter was measured with a thermocouple to use in temperature compensation formula according to DIN 70030-1.

The formula to calculate the corrected fuel consumption is as below:

$$C = \frac{V + [1 + \alpha(t_0 - t_k)]}{s} x \frac{100l}{(100km)}$$

C: Fuel consumption in l/(100km)

V: Measured volume in liters

$t_0$ : Reference temperature in °C (20 °C)

$t_k$ : Measured temperature of the fuel on the burette in °C

s: Distance in km

α: Coefficient of the volumetric expansion of the fuel

(for gasoline and Diesel fuel = 0.001/°C)

ISBN: 978-605-71156-5-2

The voltage signal of the thermocouple was converted into CAN signals by a thermo module and the fuel flow meter pulse output signals were processed by a counter module and converted into CAN signals. Vehicle speed, altitude and longitude data was collected in 100Hz frequency using a RACELOGIC VBOX 3i that utilized an IMU and a GPS antenna mounted on the roof of the vehicle. Along with the CAN channels logged from vehicle on board system, an individual CAN channel was composed from the fuel flow meter and VBOX signals and logged. MLab software was used for data acquisition purpose with a layout created for the purpose.

Acceleration and constant phase of the cycle trapezes were controlled using an acceleration pedal signal generator which transmits signals according to target parameters calibrated by the operator using a dedicated software that operates on MLab software. Constant speed phase starts with an assigned pedal position and then it is handled with proportional control to keep within +-1 km/h margin. At the end of the constant phase, pedal position is set to 0% and bus driver does the breaking to stop at the target distance that is pointed with a traffic cone. The fuel consumption measurement resumes in stand-still condition with the engine idling for 10 or 20 seconds depending on the cycle and trapeze. (UITP, 2014:12)

**Modelling**

VECTO has four operating modes named Declaration and Engineering. The Declaration mode is designed for official certifications according to the regulation that predefines a set of parameters. While the Declaration mode restricts the simulations, the Engineering mode gives the user more freedom to work on the complete vehicle or the engine alone. In the Engine Only mode, VECTO only calculates the fuel consumption based on a load cycle defined for the engine. Vehicle modelling in the Engineering mode lets the user define the details in the component models of the vehicle and the cycles. Therefore, the Engineering mode was utilized for the purposes of the current study.

VECTO inputs are separated into 6 main categories. Such as engine, gearbox, vehicle, auxiliaries, cycle and driver which contains the relevant technical specifications. Input datas for these systems were derived from datas from measurements in scale of component and complete vehicle by converting into VECTO-compatible formats. Data conversion and generation approach will be described in the following paragraphs per input categories.

Since the datas used in modelling is from a SORT measurement, most conditions were predefined and the study focused on creating a model that is adjusted for the respective conditions.

VECTO version 3.310.2401 was used in Engineering mode for the modelling works of this study.

**Engine**

Engine modelling in VECTO requires main engine performance parameters, a full load curve and a fuel consumption map. The maps used for this study was created from dynamometer tests, thus, the WHTC correction factor was set to 1. Engine inertia at flywheel was 1.571 kg m2 and the idle speed of this engine was set to 550 RPM.

ISBN: 978-605-71156-5-2

### Vehicle

The vehicle section consists of vehicle type, general informations such as masses/loading, air resistance, crosswind correction, dynamic tire radius and axle/wheels fields. Table 2 presents the inputs for the general information, mass/payload, air resistance, and dynamic tire radius fields.

*Table 2 Vehicle General Informations*

| Field | Parameter | Value |
|---|---|---|
| General information | Vehicle type | City bus |
| | Axle configuration | 4 × 2 |
| | Gross vehicle mass rating (t) | 19t |
| Mass/payload | Vehicle mass (t) | 11.5 |
| | Loading (t) | 3.1 |
| Air resistance | CdA (m2) | 3.4 |
| Dynamic tire radius | Radius (mm) | 510 |

VECTO offers three different modes to consider cross wind influence on the drag coefficient. The modes are Speed Dependent (User-defined), Vair & beta input and Speed Dependent Declaration Mode). Since the average wind condition definitions fit SORT measurements (3 m/s wind speed at a height of 4m above ground level), and blowing was considered uniformly distributed from all directions, Speed Dependent (Declaration Mode) was used for this study. The axle and wheel configuration was specified as in Table 3.

*Table 3 Axle / Wheel Configuration*

| Axles wheels | Relative axle load | Twin tire | Rolling resistance coefficient (–) | Fz ISO | Wheels | Inertia | Axle type |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 33% | No | 0.0043 | 31269 | 295/80 R22.5 | 15.5 | Vehicle Non-driven |
| 2 | 67% | Yes | 0.0043 | 29800 | 295/80 R22.5 | 15.5 | Vehicle driven |

**Axle and gear transmission ratios**

| Axle | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.67 | 3.364 | 1.975 | 1.444 | 1 | 0.696 | 0.587 |

### Axle and Gearbox

The axle and gearbox section requires datas about transmission type, gear ratios, gear-shifting strategy and torque converter. As the gearbox in the vehicle was an automatic transmission, type was selected as Automatic Transmission-Serial (AT-S) and the minimum gear-shifting time was set to 0.5s. The known gear-shifting strategy was formulated in VECTO-compatible format and used as a gear-shifting map. The losses in the gearbox and axle can be either set as a constant efficiency value or a loss map that defines the efficiency depending on load

ISBN: 978-605-71156-5-2

and speed. In this study, for both the axle and gearbox, a loss map that was created from bench test datas. The losses posed by the torque converter were defined by a relative map that contains the output/input speed ratio and torque loss at specific reference engine speed.

**Driving Cycles**

VECTO has both distance-based and time-based driving cycle definitions. The Measured speed with gear, time-based driving cycle method was used as a synchronized speed and gear data was available in the measurements. Using this method enables the vehicle model to simulate the gear-shifting for any engine speed and load identical to the actual road test. In the driving cycle, road grade was also included which was generated from the measured GPS altitude data.

**Driver Model**

Driver modelling section allows the user to define acceleration and deceleration limits for the driving cycle in case they are speed-target cycles. In case of measured speed cycles, the cycle definitions apply an override to the driver parameters.

**Auxiliaries**

VECTO has two aspects to consider the energy consumption of the auxiliaries on a bus and it allows the user either to input a constant auxiliary power consumption or to detail the operating conditions of electric devices, pneumatic systems and HVAC with bus auxiliaries option. In SORT, HVAC functions are deactivated, thus, they were not considered for the model in terms of fuel consumption. Besides that, electric auxiliaries also have less consumptions in SORT measurements since not all of them are mandatory to be on. In order to represent the low electric energy consumption in SORT, electric auxiliaries such as interior lights and exterior displays were set to 0 Amps as they were not used. Air compressor load was applied depending on the cycle.

For SORT 3, as there was no compressor activation during the measurements, only the passive and constant load of the compressor was taken into account. Compressor activation in SORT 2 was only for deceleration phase, therefore, smart regeneration option in VECTO was activated. The air pressure dropped down to compressor activation point in SORT 1 and a complete fill-up cycle of the compressor cycle has been taken into account for SORT 1 auxiliary energy demand.. The numbers of stops, door activation and cycle time was adjusted in accordance with SORT 1 operations and the compressor power consumption map was defined to represent the power consumption that comes from pneumatics.

## Results and Discussions

The study firstly focused on engine operating points of the model and the measurement data. As the gear level and vehicle speed data was included in the driving cycle file, engine speeds of the model was made sure to follow the measured data. This data format overrides the driver model since the vehicle speed is assigned to the distance traveled.

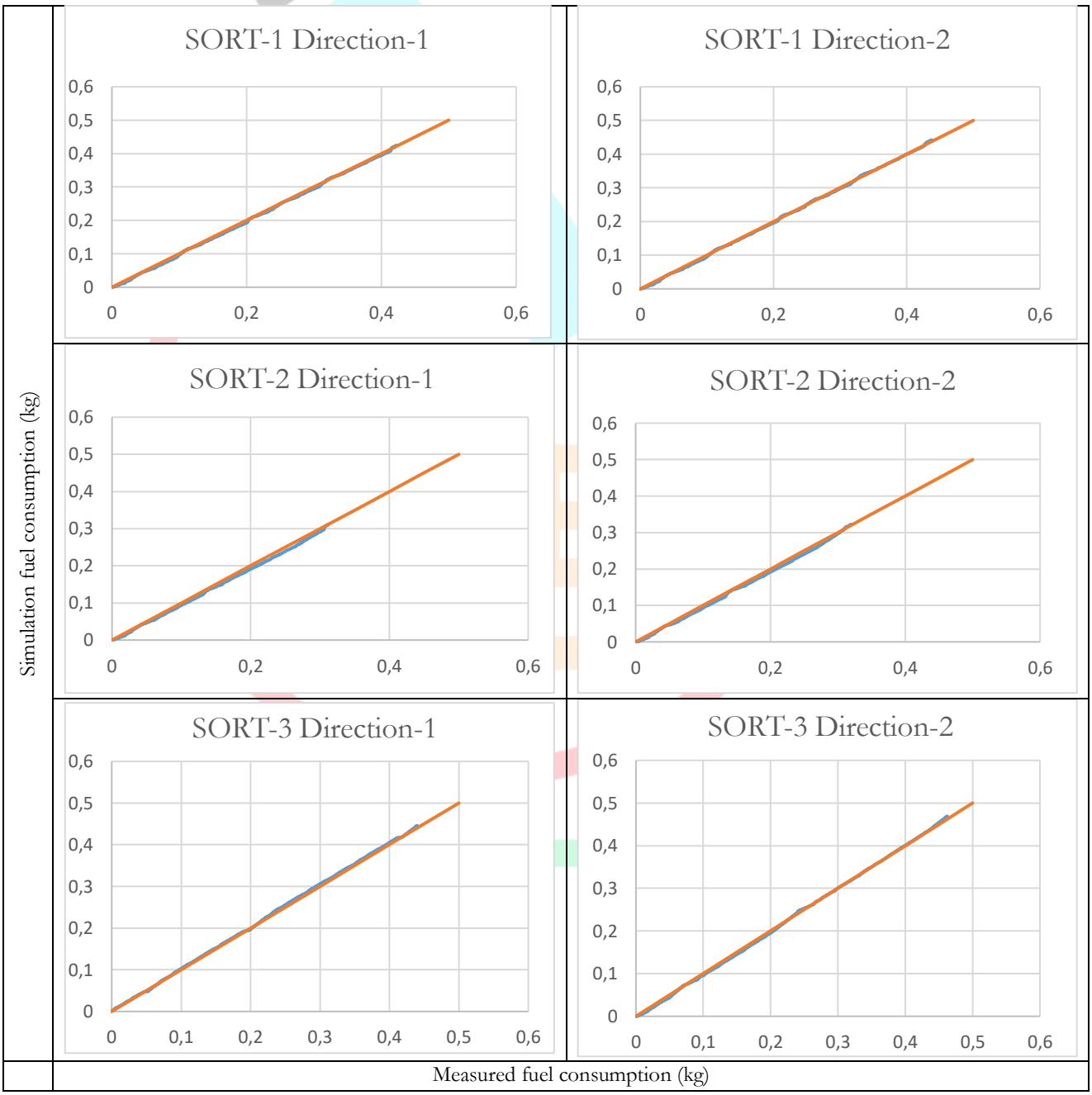
Use of bus auxiliaries made it possible to customize the auxiliary uses for different cycles. Designing air consumption, air compressor passive power consumption and compressor activation conditions inserted a more sophisticated simulation approach. Table 4 presents the cumulative fuel consumption for all cycles in both directions. Broadly speaking, the simulation

ISBN: 978-605-71156-5-2

results and the on-road measurement data showed a convergence in fuel consumption with slight fluctuations that do not reveal a general trend.

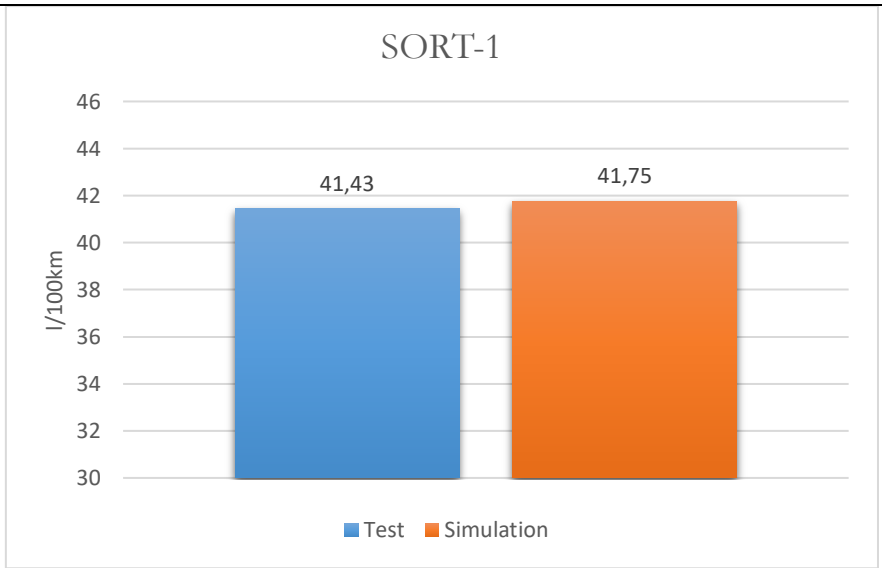
The difference in overall fuel consumption was 0.8% in SORT1, 1.0% in SORT2 and 1.45 % in SORT3, as shown in Figure 2, considering average values of two directions. Having more difference along with increasing cycle average speed can be attributed to the constant 3 m/s wind speed that VECTO applies with speed dependent declaration mode as it was generally lower during the on-road measurements.

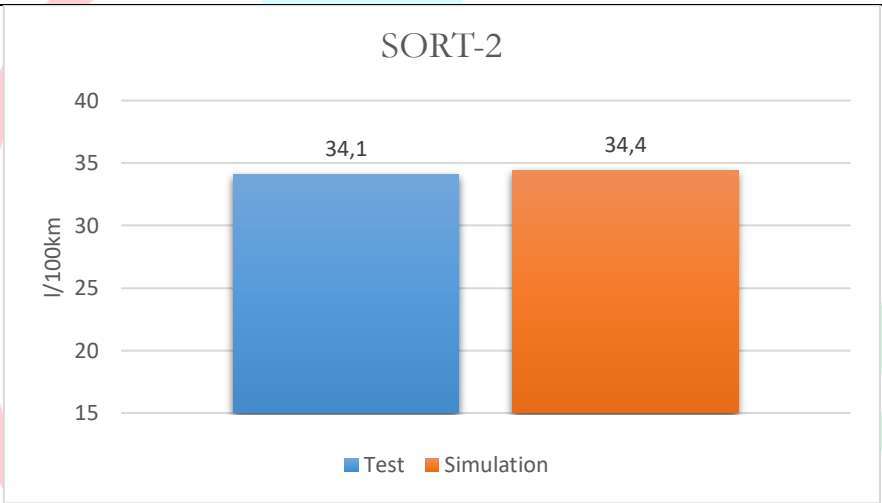
*Table 4 Cumulative Fuel Consumptions*

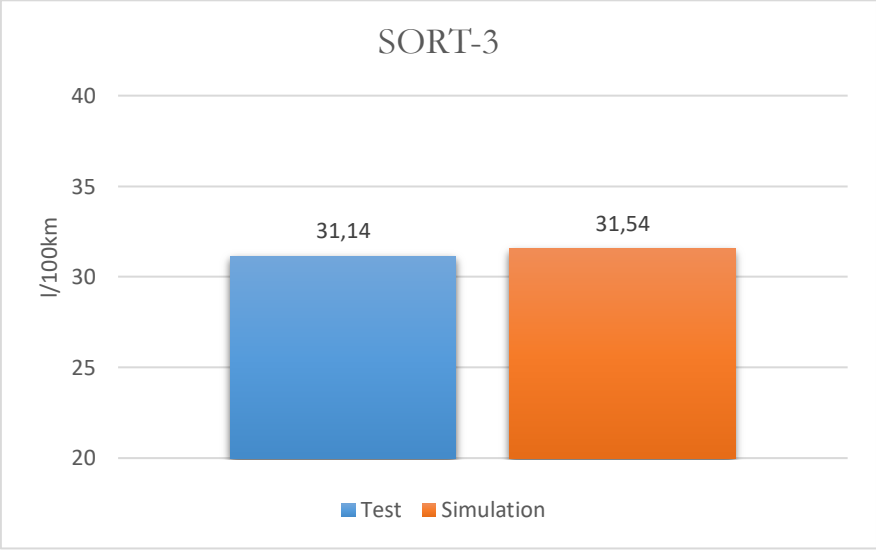


ISBN: 978-605-71156-5-2

*Table 5 Fuel Consumptions in l/100 km*



ISBN: 978-605-71156-5-2

In addition, the simulation results yielded an average specific CO2 emissions 1090.7 g/km at SORT1, 903.6 gr/km for SORT2 and 827.1 g/km for SORT3, which is in agreement with the amounts mentioned in another research (Zhang et al., 2014:5)

**Conclusions**

Lorries has been the primary focus of European Commissions' approach about CO2 emission regulations . Within this framework, the progress of the relevant regulation has been reinforced by a group of researches for these HDV classes. The subsequent stage would be concentrating on buses. The current study presented a new approach to eliminate and reduce some of the uncertainties in VECTO modelling parameters. It was found that inserting gear data in the time-based measured-speed driving cycle file avoided driver effects and removed the driving behavior difference between the model and the on-road drives. Combining this driving cycle with a gas pedal signal generator that ensured the fixed pedal positions further improved the repeatability and the precision. Setting the auxiliary parameters according to the SORT standards reduced the number of auxiliary types and brought their energy demand closer to the measured on-road values, thus, improved the simulation quality in terms of fuel consumption estimation. The method resulted in relatively low errors for fuel consumption with a difference of 0.8%, 1.0% and 1.4% in SORT1, SORT2 and SORT3 in sequence.

The findings showed that the approach can produce highly accurate results while pointing out that further effort is required to further enhance the outcomes and decrease the level of uncertainty coming from the change in environmental conditions throughout the measurements. The consequent research could focus on detailed wind-condition-data acquisition and utilize Vair & Beta-input cross wind correction method for a further improved simulation.

ISBN: 978-605-71156-5-2

## References

1. Muncrief, R. and Sharpe, B. (December 2015), Overview of the heavy-duty vehicle market. *International Council on Clean Transportation,* 1.
2. European Commission. (2016). *Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions A European Strategy for Low-Emission Mobility.* Brussels: EUR-Lex. https://eur-lex.europa.eu/: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52016DC0501
3. Wagenknecht, T. and Martin, C. (2014). *UITP Project 'SORT' (Standardised On-Road Test Cycles).* Bologna: International Association of Public Transport.
4. AIC Systems AG. (2002). *AIC Systems.* https://www.flowmeter-aic.com/: https://www.flowmeter-aic.com/wp-content/uploads/2020/04/PF-6000_e_02.20.pdf
5. Zhang, S. Wu, Y. Liu, H. Huang, R. Yang, L. Li, Z. Fu, L. and Hao, J. (2014). Real-world fuel consumption and CO2 emissions of urban public buses. *Elsevier*, 5.

2nd International
Congress of Engineering and Natural Sciences Studies
ISBN: 978-605-71156-5-2

# Research of Minimization of Energy Consumption by Life Cycle Analysis of Washing Units Used in Metal Industry

*Cansu BİRİKTİR UYANIK*[1]
*Beytullah EREN* [2]
*Murat SOLAK* [3]

**Abstract**

Environmental problems such as global warming, consumption of natural resources, depletion of the ozone layer, and reduction of biodiversity that threaten the world are increasing day by day. Sustainable development approach should be adopted for the solution of environmental problems. Life cycle analysis studies are used as a support tool for this sustainable development approach. Life cycle analysis aims to improve environmental labeling, prevent or reduce environmental impacts by changing or redesigning the raw material possibilities of products, production process, equipment used in production.

In this study, aluminum washing and aluminum ultrasonic washing units of a company that has machining, pipe forming, welding, washing and assembly processes in the automotive sector were evaluated by life cycle assesment. With the life cycle assesment, it is aimed to decide on the unit that provides optimum environmental and economic conditions. Data belonging to two different washing processes were obtained from the company. With these data, energy consumption and water consumption parameters were analyzed and the effect of alternative renewable energy use on processes was examined. It is planned to establish a solar power plant on the roof area of the company, which is 4800 $m^2$. The daily average solar radiation value of Düzce is calculated as 3.70 kWh/$m^2$ -day and the average sunshine duration is calculated as 6.5 hours per day. It is predicted that 17,684 kW of electricity will be generated per day from the planned solar panels. The amount of kg $CO_2$ was calculated according to the electricity consumption calculated separately for the washing units. The life cycle analysis of the two units and their effects on climate change, which is one of the impact analysis categories, were compared. By evaluating the data, the process providing the optimum conditions was determined.

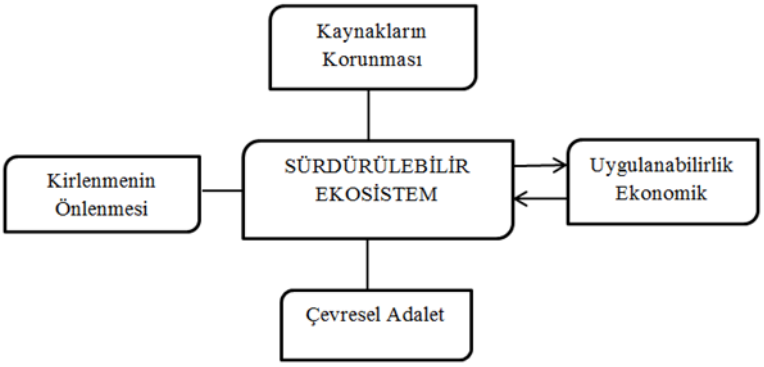
**Keywords:** Life Cycle Analysis, Renewable Energy

[1] Cansu BİRİKTİR UYANIK, Çevre Mühendisi, Sakarya Üniversitesi
[2] Beytullah EREN, Dr. Öğr.Üyesi, Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği
[3] Murat SOLAK, , Dr. Öğr.Üyesi, Düzce Üniversitesi Çevre Mühendisliği

ISBN: 978-605-71156-5-2

## GİRİŞ

Günlük yaşamda kullanılan makine, otomotiv, elektronik alet gibi ihtiyaçların üretimi için hammadde, enerji sarfiyatının artmasına bağlı olarak çevre kirliliği de her geçen gün artmaktadır. Nüfus artışı, teknolojik gelişmeler, üretimden çok tüketime önem verilmesi doğal kaynakların azalması ve çevre sorunlarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Ekolojik çevrenin korunması için yasa ve yönetmeklikler zorunlu olarak uygulanmaktadır. Yasal düzenlemeler ile üretimden tüketime kadar tüm proseslerin ayrı ayrı üretim planlamasının yapılması olabildiğince az atık üreten hava, su, toprak ve canlı yaşam alanlarına zarar vermeyecek şekilde yönetilmesi hedeflenmektir. Bu uygulamaların yanında işletmecilere, üreticilere, resmi kurumlara üretim sürecini, faaliyetlerini desteklemeleri için yeni yöntemlerle çalışma sorumluluğu yüklemektedir. Küresel ve yerel ticaretteki rekabet, kaliteli ürün anlayışı, çevresel ve sosyal sorumluluk projeleri, devlet teşvik yatırımları ile firmalar çevre performanslarını artırmaya yönelik çalışmalarına hız kazandırmışlardır. Böylece sürdürülebilirlik kavramı üzerine çalışmaların da önemi artmıştır. Sürdürülebilirlik bugünün ihtiyaçlarını gelecek nesillerin kendi ihtiyaçarını karşılayabilme kapasitesini engellemeden karşılanmasıdır. Bu kavram ile ekonomik verimliliğin sağlanmasının yanında ekolojik sistemler ve insan sağlığının korunması temel hedeftir. Hızlı tüketim alışkanlıkları ile yeraltı ve yerüstü kaynakların bilinçsiz kullanımı sonucu küresel ısınma, sera etki sonucu iklim değişikliği, ozon tabakası tahribatı, erozyon, çölleşme, doğal afetler meydana gelmektedir. Çevre sorunlarına çözüm için sürdürülebilirlik kavramını destekleyici yaşam döngüsü analizi yaklaşımı gerekmektedir. Yaşam döngüsü analizi ve sürdürülebilirlik kavramları insan sağlığı, çevre ve ekonmi de verimi hedeflemektedirler (Çokaygil, 2005).




Şekil 1. Yaşam Döngüsü Etkileşimleri (Sünbül, 2006)

Yaşam döngüsü analizi ürün, proses veya hizmetlerin süreçleri boyunca tüm girdi ve çıktılarını çevresel ve ekonomik etkileri açısından analitik ve sistematik olarak değerlendiren bir yöntemdir. Yaşam döngüsü analizi malzeme, ekipman, üretim süreci, enerji kullanımı, proses yönetimi, sevkiyat, atık yönetimi konularunda seçenekler içermektedir. YDA yaklaşımı ile doğal kaynak tüketimleri ve çevresel etkiler minimize edilerek sistematik olarak değerlendirilmektedir (Sünbül, 2006).

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisi yan ürün sanayinde üretilen alüminyum boru yıkama ünitesi ele alınmış, karar vericilere destek sağlamak amacıyla yaşam döngüsü analizi uygulanarak optimum

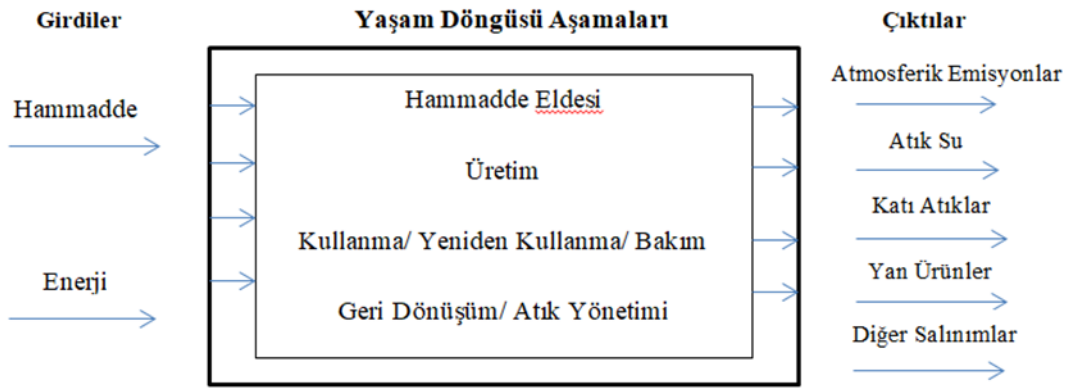
ISBN: 978-605-71156-5-2

şartları sağlayan ünite belirlenmiştir. Yaşam döngüsü analizi konusunda bilincin yeterince oluşmaması ve çalışmamla ilgili firmada yeteri kadar bilgi bulunmaması ayrıca veri paylaşmaktan çekinmeleri tezimi hazırlamada kısıtlayıcı etmen olmuştur.

## YÖNTEM

### Yaşam Döngü Analizi (YDA)

YDA birbirinin alternatifi iki ya da daha fazla yaklaşımın sistemli bir şekilde envanterileri çıkartılarak çevresel etkilerinin ayrıntılı olarak değerlendirmesinden oluşmaktadır. YDA çevresel etiketlemenin geliştirilmesi, ürünlerin hammadde olanaklarının, üretim sürecinin, üretimde kullanılan ekipmanların değişimi veya tekrar tasarlanarak çevreye olan etkileri azaltılılmasını hedeflemektedir (Demirer G.N, 2011). 1960'ların sonlarında kaynak ve çevresel profil analizleri (REPA) çalışması yaşam döngüsü analizi araştırmaları başlamış olup günümüzde de gelişimini sürdürmektedir (Guin, 2010).

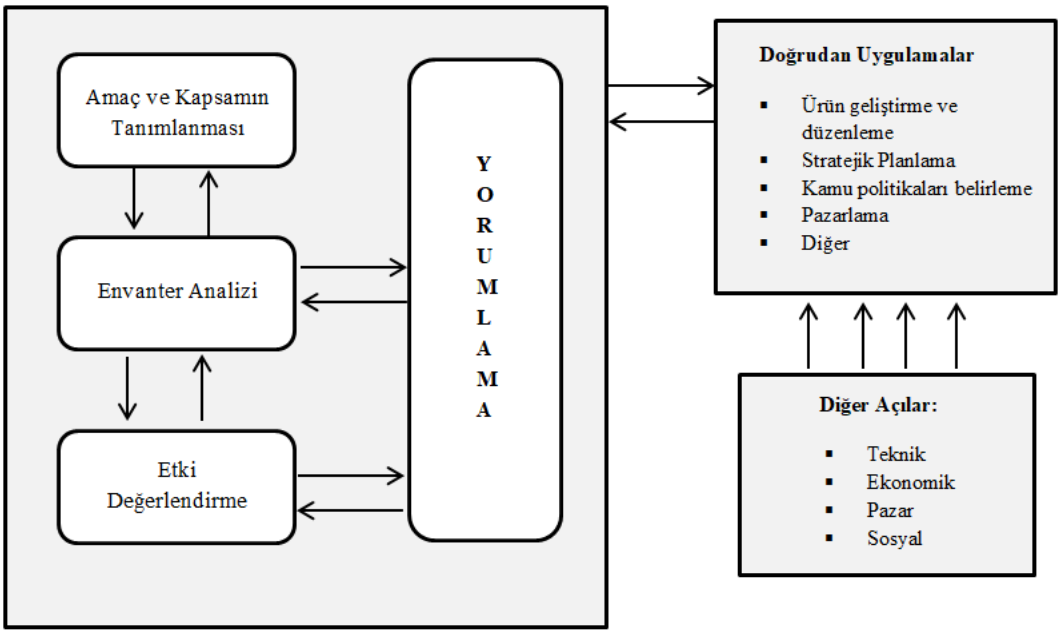



Şekil 2. YDA Girdiler ve Çıktılar (Çokaygil, 2005)

Yaşam dögüsü analizi sürecin hangi aşamasına uygulandığına göre; "beşikten mezara" bir ürünün, prosesin veya hizmetin bütün aşamalarını içeren analiz çalışması olup ham madde elde edilmesinden oluşan atıkların bertaraf edilmesine kadar süreci içermektedir. "Beşikten beşiğe" yaklaşımı atık bertaraf aşamasında atıkların geri dönüşüm/kazanım çalışmalarının da dahil olduğu süreci ele alır, "beşikten kapıya" bir ürünün, prosesin veya hizmetin ham madde elde edilmesi ile başlar endüstriyel tesise teslim edilmesi ile sonlanır.. "Kapıdan kapıya" bir ürün, proses veya hizmetin tek aşamasına uygulanmaktadır.. (Jimnofez C. vd. 2000).

ISBN: 978-605-71156-5-2

Yaşam Döngüsü Analizi Metodolojisi




Şekil 3. Yaşam Döngüsü Analizi Metodolojisi

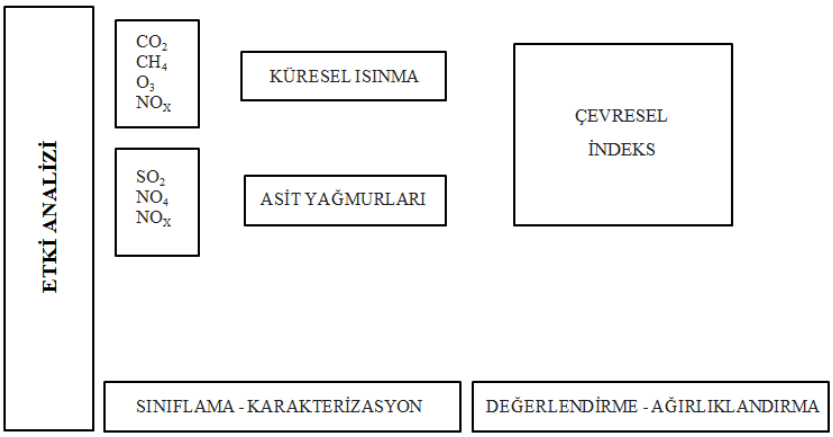
YDA metodolojisi dört aşamadan oluşmaktadır:

**Amaç ve Kapsam Tanımlama:** YDA ilk bölümüdür, çalışmanın amacı ve kapsamı tanımlanmasıyla sınır değerleri, hedeflenen kitle, çalışma sonrasındaki beklentiler açıkça ortaya konulmalıdır. Ürün, hizmet, proses açıklanmaktadır. Amaç ve kapsam belirlenirken fonksiyonel birimi, sistem sınırlarını, veri kalite değerlendirmesi, kritik gözden geçirme süreci adımlarını da içermelidir (Çokaygil, 2005).

**Envanter Analizi:** YDA ikinci adımı olan envanter analizi ürün, hizmet, proses için kullanılan enerji, malzeme ihtiyaçları ve faaliyet sonucu oluşan çevresel etkiler, emisyonlar ve atıkların belirlendiği sistemli bir bölümdür. Çalışamanın amacı ve kapsamı dahilinde envanter analizi verileri toplama, sistem sınırları inceleme, hesaplama prosedürü adımlarından oluşur (Baumann ve Tillman, 2004).

**Etki Analizi/Değerlendirme:** Etki analizi/değerlendirme, çalışmanın envanter analizi sonucu hesaplanan su, enerji, malzeme kullanımı ve çevresel salınım verileri değerlendirerek ekolojik ve insan sağlığına etkilerin belirlenmesi, nitel ve nicel olarak sınıflandırılması, elde edilen bütün bu bulguların analizini içermektedir. Etki analizi/değerlendirme adımı klategori tanımı, sınıflandırma, karakterizasyon, normalizasyon/ ağırlıklandırma bileşenlerinden oluşmaktadır. Etki analizi; küresel ısınma potansiyeli, ozon tabakası tahribatı, asidifikasyon etkisi, ötrofikasyon etkileri, doğal kaynakların tükenmesi, fotokimyasal sis gibi çeşitli etki kategorilerinde değerlendirme yapılmaktadır (Baumann ve Tillman, 2004).

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 4. Etki Analizi

**Yorumlama:** Optimum verim sağlayarak tercih edilen proses, ürün veya faaliyetin envanter analizi ve etki değerlendirme analiz sonuçları karşılaştırılarak süreç sonuçlandırlmaktadır. Verimli ürün, hizmet, faaliyet seçimi yapılması sağlanır. Analizdeki belirsizlikler ve varsayımlar açıklanır.. Bu bölüm amaç ve kapsamda belirlenen hedef ile etkilerin azaltılması, performans verimliliği ve proses iyileştirilmesi için gerekli çalışmaları, uygulanmaları ve kararları kapsar (Özdemir, 2013).

### Yaşam Döngüsü Analizi Yıkama Ünitesine Uygulanması

Düzce' de bulunan işletme 4426 $m^2$ kapalı, toplam 9937 $m^2$ yüz ölçüme sahip alan da çeşitli çap ve kalınlıkta çelik ve alüminyum boru imalatı konusunda faaliyet göstermektedir. Otomotiv sektörünün artan iş hacmine bağlı olarak üretim için gerekli olan çeşitli parçaların imalatı yapılmaktadır. Müşterinin talep ettiği ürünlerin daha önce hazırlanmış kontrol planlarına göre üretim planı yapılmaktadır. Üretim planında yer alan ürün taleplerine göre hammadde tedarikçilerinden çeşitli çap ve kalınlıkta alüminyum malzeme ve yardımcı ürünler sipariş edilerek üretim süreci başlamaktadır.

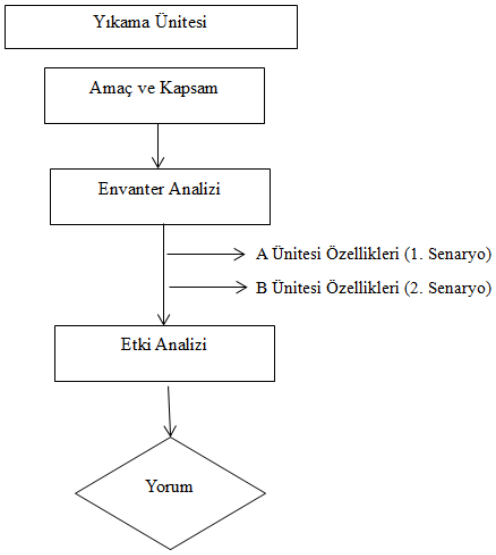
Endüstride üretilen parçaları kir, karbon, yağ, gres, metal talaşları, kesme sıvıları, kalıp ayırıcılar, mürekkep, boya ve korozyon gibi kirleri veya kalıntıları temizlemek için kullanılan yıkama üniteleri bulunmaktadır. Yaşam döngüsü analizi ile iki farklı yıkma ünitesinden optimum şartları sağlayan ünite tercih edilmesi sağlanmıştır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

Resim 1. Üretilen Alüminyum Boru Örneği

## 1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışma ile otomotiv endüstrisi yan ürün sanayinde çeşitli çap ve kalınlıkta alüminyum parça malzeme üreten tesisin yıkama ünitesi ele alınmıştır. Firma ile iletişime geçilerek üretim bilgileri, kullanılan makine ekipman güçleri, kullanılan su, enerji, kimyasal bilgileri alınmıştır. Elde edilen veriler ile iki farklı yıkama ünitenin yaşam döngüsü analizi incelenmiştir. Yaşam döngüsü analiz çalışmaları sistemin hangi aşamasına uygulandığına göre adlandırılmaktadır. Kapıdan kapıya uygulanan YDA'da bir ürün veya bir prosesin tek aşamasına ait yaşam döngüsü analizini ele alan yaklaşımdır (Jimnofez C. vd. 2000). Bu çalışmada tüm üretim süreci yerine yıkama ünitesi ele alındığı için "kapıdan kapıya" yaklaşımı uygulanmıştır.

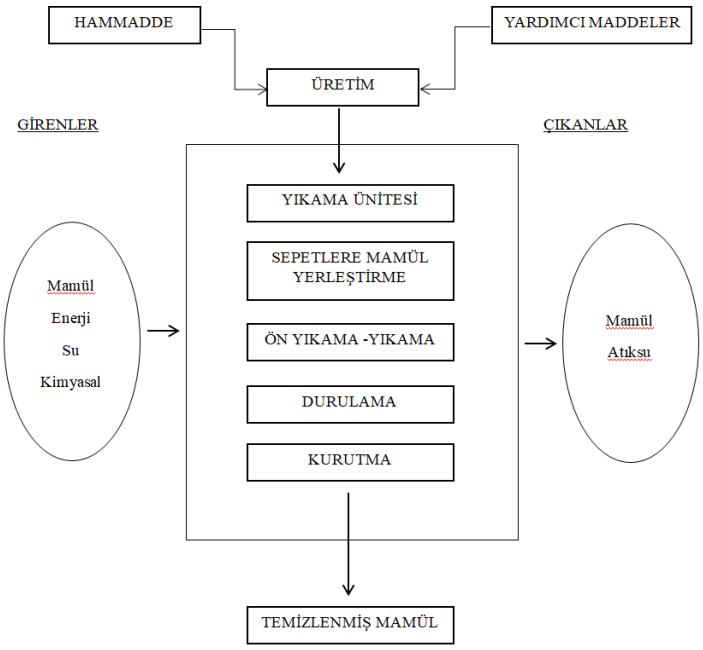



Şekil 5. Yıkama Ünitesi YDA Uygulaması

## 2. Envanter Analizi

Çeşitli çap ve kalınlıkta üretilen alüminyum boru için kullanılan makine ekipman enerji verileri, kullanılan su ve kimyasal verileri üretici firmadan temin edilmiştir.

ISBN: 978-605-71156-5-2




Şekil 6. Yıkama Ünitesi YDA Girdi ve Çıktılar

Alüminyum yıkama ünitesi ve alüminyum ultrasonik yıkama ünitesi enerji, su, kimyasal sarfiyat verileri firmadan alınmıştır.

Tablo 1: Alüminyum Yıkama Ünitesi Verileri (A Ünitesi)

| ALÜMİNYUM YIKAMA ÜNİTESİ | | TAŞIRMALI VORTEX ASİT TANKI | TAŞIRMALI VORTEX DURULAMA TANKI | KURUTMA TANKI |
|---|---|---|---|---|
| GENEL ÖZELLİKLER | BİRİM | 1 - 2. TANK ÖZELLİKLERİ | 3 - 4. TANK ÖZELLİKLERİ | 5. TANK ÖZELLİKLERİ |
| Kazan Boyutları( en*boy*yükseklik) | mm | 900*660*1600 | 900*660*1600 | 900*660*1600 |
| Kullanılabilir Boyutlar (en*boy*yükseklik) | mm | 800*500*1400 | 800*500*1400 | 800*500*1400 |
| Kazan Hacmi | | 950 | 950 | 950 |
| Kazan Sacları | | PP TANK | PP TANK | AISI 304 2mm |
| Kazan Sıvı Tahliye | | 1 1/2 " Küresel Vana | 1 1/2 " Küresel Vana | 1 1/2 " Küresel Vana |
| Taşma Tahliye | | 1 1/2 " | 1 1/2 " | - |
| Su Dolum | | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana | - |
| Sıvı Seviye Sensörü | | Float Switch | Float Switch | - |
| İzolasyon | | Seramic Fiber Board | Seramic Fiber Board | Seramic Fiber Board |
| Isıtıcı Gücü | Watt | 9000 | 9000 | - |
| Vortex Sistemi | | Mevcut | Mevcut | - |
| Taşırma sistemi | | Opsiyonel | Opsiyonel | - |
| Taşırma Pompası | | Plastik Gövdeli Manyetik Pompa | Plastik Gövdeli Manyetik Pompa | - |
| Yağ Ayrıştırma Sistemi | | Coalescence Tank - Opsinel | Coalescence Tank - Opsinel | - |
| Katı Partikül Filtre Sistemi | | Opsiyonel | Opsiyonel | - |
| Kurutma Fanı | | - | - | Mevcut |
| Kurutma Isıtıcı Gücü | Watt | - | - | 6000 |
| Kapak Sistemi | | - | - | Menteşeli ve Pnömatik Piston Tahrikli |

Tablo 2. Alüminyum Ultrasonik Yıkama Ünitesi Verileri 1 (B Ünitesi)

ISBN: 978-605-71156-5-2

| ULTRASONİK YIKAMA ÜNİTESİ | | ÖN YIKAMA | ULTRASONİK YIKAMA | ÖN DURULAMA | DURULAMA |
|---|---|---|---|---|---|
| GENEL ÖZELLİKLER | BİRİM | 1. TANK ÖZELLİKLERİ | 2. TANK ÖZELLİKLERİ | 3. TANK ÖZELLİKLERİ | 4. TANK ÖZELLİKLERİ |
| Dış Boyutları(en*boy*yükseklik) | mm | 650*650*800 | 650*650*800 | 650*650*800 | 650*650*800 |
| Kullanılabilir Boyutlar(en*boy*yükseklik) | mm | 600*600*700 | 600*600*700 | 600*600*700 | 600*600*700 |
| Kazan Hacmi | lt | 340 | 340 | 340 | 340 |
| Kazan Sacları | | AISI 316 2,5mm | AISI 316 2,5mm | AISI 316 2,5mm | AISI 316 2,5mm |
| Kazan Sıvı Tahliye | | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana |
| Taşma Tahliye | | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana |
| Su Dolum | | 1" Motorlu Küresel Vana | 1" Motorlu Küresel Vana | 1" Motorlu Küresel Vana | 1" Motorlu Küresel Vana |
| Sıvı Seviye Sensörü | | Float Switch | Float Switch | Float Switch | Float Switch |
| İzolasyon | | Seramic Fiber Board | Seramic Fiber Board | Seramic Fiber Board | Seramic Fiber Board |
| Isıtıcı Gücü | | 5000 Watt | 5000 Watt | 5000 Watt | 5000 Watt |
| Ultrasonik Güç | | 4000 Watt | 4000 Watt | - | - |
| Ultrasonik Dönüştürücü Adedi | | 64 adet 28 kHz Dönüştürücü | 65 adet 28 kHz Dönüştürücü | - | - |
| Konumlandırılması | | Her iki yandan | Her iki yandan | - | - |
| Ultrasonik Frekans | kHz | 28 | 28 | - | - |
| Filtrasyon Sistemi | | Paslanmaz tamizlenebilir kartuş | Paslanmaz tamizlenebilir kartuş | Paslanmaz tamizlenebilir kartuş | Paslanmaz tamizlenebilir kartuş |
| Filtre Gözeneği | um | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Filtrasyon Pompası | Kw | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 |
| Yağ Sıyırma Sistemi | | Disk Tip | Disk Tip | Disk Tip | Disk Tip |
| Yağ Sıyırma Pompası | | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 |
| Kapak | | Pnomatik Piston tahrikli otomatik | Pnomatik Piston tahrikli otomatik | Pnomatik Pistpn tahrikli otomatik | Pnomatik Piston tahrikli otomatik |

Tablo 3. Alüminyum Ultrasonik Yıkama Ünitesi Verileri 2 (B Ünitesi)

| ULTRASONİK YIKAMA ÜNİTESİ | | ULTRASONİK YIKAMA ( ÇELİK MALZEME İÇİN) | DURULAMA (ÇELİK MALZEME İÇİN) | PASİVASYON | VAKUM KURUTMA |
|---|---|---|---|---|---|
| GENEL ÖZELLİKLER | BİRİM | 5. TANK ÖZELLİKLERİ | 6. TANK ÖZELLİKLERİ | 7. TANK ÖZELLİKLERİ | 8. TANK ÖZELLİKLERİ |
| Dış Boyutları(en*boy*yükseklik) | mm | 650*650*800 | 650*650*800 | 650*650*800 | 650*650*800 |
| Kullanılabilir Boyutlar(en*boy*yükseklik) | mm | 600*600*700 | 600*600*700 | 600*600*700 | 600*600*700 |
| Kazan Hacmi | lt | 340 | 340 | 340 | 340 |
| Kazan Sacları | | AISI 316 2,5mm | AISI 316 2,5mm | AISI 316 2,5mm | AISI 316 2,5mm |
| Kazan Sıvı Tahliye | | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana | - |
| Taşma Tahliye | | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana | 1" Küresel Vana | - |
| Su Dolum | | 1" Motorlu Küresel Vana | 1" Motorlu Küresel Vana | 1" Motorlu Küresel Vana | - |
| Sıvı Seviye Sensörü | | Float Switch | Float Switch | Float Switch | - |
| İzolasyon | | Seramic Fiber Board | Seramic Fiber Board | - | Seramic Fiber Board |
| Isıtıcı Gücü | | 5000 Watt | 5000 Watt | - | 6000 Watt |
| Ultrasonik Güç | | 4000 Watt | - | - | - |
| Ultrasonik Dönüştürücü Adedi | | 64 adet 28 kHz Dönüştürücü | - | - | - |
| Konumlandırılması | | Her iki yandan | - | - | - |
| Ultrasonik Frekans | kHz | 28 | - | - | - |
| Filtrasyon Sistemi | | Paslanmaz tamizlenebilir kartuş | Paslanmaz tamizlenebilir kartuş | - | - |
| Filtre Gözeneği | um | 300 | 300 | - | - |
| Filtrasyon Pompası | Kw | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 | - | - |
| Yağ Sıyırma Sistemi | | Disk Tip | Disk Tip | - | - |
| Yağ Sıyırma Pompası | | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 | Ebara/Lobara 0,55 Kw AISI316 | - | - |
| Kapak | | Pnomatik Piston tahrikli otomatik | Pnomatik Piston tahrikli otomatik | Pnomatik Pistpn tahrikli otomatik | Pnomatik Piston tahrikli otomatik(Sızdırmaz kapak) |
| Vakum Pompası | kW | - | - | - | 0,75 |
| Model | | - | - | - | DVP LC25WR |
| Vakum Basıncı | mmHg | - | - | - | -600 |
| Vakum Hava Filtresi | | - | - | - | Mevcut |

Alüminyum yıkama ve alüminyum ultrasonik yıkama üniteleri enerji sarfiyatları ve su sarfiyat verileri değerlendirilmektedir.

Tablo 4. Alüminyum Yıkama Ünitesi Sarfiyat Verileri

| ALÜMİNYUM YIKAMA | Birim | 1 - 2 Tank | 3 4 Tank | 5. Tank | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|
| **Enerji(gün)** | **kWsa** | 63 | 63 | 42 | 168 |
| **Su** | **m3/gün** | 0,14 | 0,14 | - | 0,28 |
| **Kimyasal Sarfiyatı** | **15%** | 0,042 | | - | 0,042 |
| **Mamül** | **adet** | - | - | - | 1200 |

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 5. Alüminyum Ultrasonik Yıkama Ünitesi Sarfiyat Verileri

| ALÜMİNYUM ULTRASONİK YIKAMA | Birim | 1.Tank | 2.Tank | 3.Tank | 4.Tank | 5.Tank | 6.Tank | 7.Tank | 8.Tank | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Enerji | kWsa | 70,7 | 70,7 | 30,7 | 30,7 | 70,7 | 30,7 | - | 42 | 346,2 |
| Su | m3/gün | 0,05 | 0,05 | - | - | 0,05 | - | - | - | 0,15 |
| Kimyasal Sarfiyatı | 8% | 0,004 | 0,004 | - | - | 0,004 | - | - | - | 0,012 |
| Mamül | adet | - | - | - | - | - | - | - | - | 800 |

Alüminyum yıkama ünitesi ve alüminyum ultrsonik yıkama ünitesi atıksularının proses sonucunda oluşan kirlilik parametreleri aşağıda belirtilmektedir. Bu iki prosesten kaynaklı atıksuların yapılan paket arıtma ile çıkış suyundan alınan numunelerin analiz sonuçları Tablo 6' de verilmektedir.

Tablo 6. Ünitelerden Kaynaklı Arıtma Tesisi Giriş ve Çıkış Atıksu Analiz Sonuçları

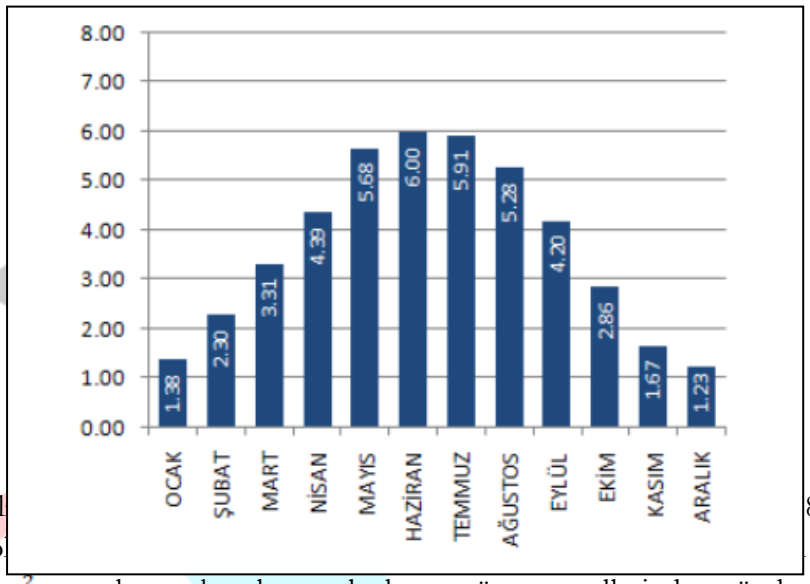
| Parametreler | Alüminyum Yıkama Ünitesi Çıkış Suyu Analiz Sonucu | Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Analiz Sonucu | Alüminyum Ultrasonik Yıkama Ünitesi Çıkış Suyu Analiz Sonucu | Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Analiz Sonucu |
|---|---|---|---|---|
| Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) | 5730 | 860 mg/l | 3060 | 306 |
| Askıda Katı Madde (AKM) | 220 | 32,96 | 172 | 17,2 |
| Ph | 5,9 | 7,54 | 8,16 | 7,14 |
| Renk | 285 | 66 | 162 | 43 |
| Yağ-Gres | 27,9 | 19 | 19 | 16,1 |
| Fosfor | 1,33 | 0,2 | 2 | 0,3 |

## 3. Etki Analizi

Etki analizi/değerlendirme, çalışmada envanter analizi ile elde edilen verileri ekolojik ve insan sağlığına etkilerin belirlenmesi, nitel ve nicel olarak sınıflandırılması, elde edilen bütün bu bulgularla yapılan çalışmanın değerlendirilmesini kapsar. Üniteler de kullanılan enerji güneş enerji potansiyeli açısından açısından değerlendirilmiştir. Türkiye'de yenilenebilir enerji olan güneş enerji potansiyeli bölgesel olarak Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasında (GEPA) il/ilçe bazlı üretilebilecek enerji miktarları belirlenmiştir. Yatay yüzeye düşen güneş ışınım miktarını belirten global radyasyon kavramı bölgenin güneşlenme süresine göre analiz edilmektedir (Kayıkçı vd.,2019). Düzce'nin günlük ortalama güneş ışınım( global radyasyon) değeri 3,70 kWh/m2 –gün olarak hesaplanmıştır. Tablo 8'da verilerine göre Düzce ili ortalama güneşlenme süresi günlük 6,5 sa olarak hesaplanmıştır (GEPA).

ISBN: 978-605-71156-5-2

Tablo 8: . Düzce İli Aylık Global Radyasyon Değerleri(kW/m²- gün)(YEGM, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası)




İşletmeden al 840 kW'tır. 3,70 kWh/m2–gün o radyasyon) değerine göre 4800 $m^2$ çatı alanına kurulması planlanan güneş panellerinden günde 17.684 Kw elektrik enerjisi elde edileceği öngörülmektedir. Aylık bazda hesaplanan verilere göre 530.520 kW elektrik enerjisi elde edilmesi planlanmaktadır. Aylık toplam 72.585,840 kW tüketilen enerjinin 1 günde tüketim miktarı 2.420 kW'tır.

- A ünitesin için hesaplanan günde 168 kWsa enerji işletmenin günlük toplam enerji tüketiminin % 6,9 oranındadır.
- B ünitesi hesaplanan günde 346,2 kWsa enerji, işletmenin günlük toplam enerji tüketiminin % 14,3 oranındadır.

Elektrik üretim sürecinde ortaya çıkan karbon salınımı birincil kaynağa göre farklılık göstermektedir. Kömür en fazla sera gazı emisyon salınımına sebep olan birincil kaynak iken güneş ve rüzgar enerjisi en az emisyona sebep olan birincil kaynaktır.

Tablo 9. Enerji Kaynaklarına Göre Açığa Çıkan CO2 Miktarı(Özdemir, 2013)

| ENERJİ KAYNAKLARI | KWSA OLUŞAN KG CO2 |
|---|---|
| Doğalgaz | 0,5 |
| Petrol | 0,7 |
| Kömür | 0,9 |
| Nükleer Enerji | 0,06 |
| Hidroelektrik | 0,02 |
| Rüzgar | 0,01 |
| Güneş | 0,023 |

İşletmeden alınan bilgilere göre aylık elektrik enerji sarfiyatı 72585.840 kWsa'tir. Firmanın aylık enerji ihtiyacını karşılamak için kömür ile elektrik üretimi yapıldığında aylık 65327,26 kg $CO_2$

ISBN: 978-605-71156-5-2

ve doğalgaz ile elektrik üretimi yapıldığında aylık 36293 kg $CO_2$ emisyonu ortaya çıkmaktadır. Firmanın aylık enerji ihtiyacını karşılamak için temiz, sürdürülebilir, yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi tercih edildiğinde aylık 4209,98 kg $CO_2$ emisyonu açığa çıkma çıkmaktadır.

Tablo 10: Ünitelerde Kullanılan Elektrik Miktarına Göre Oluşan kg $CO_2$ Miktarı

| ENERJİ KAYNAKLARI | Alüminyum Yıkama Ünitesinde Kullanılan Elektrik Miktarına Göre Oluşan kg CO2 | Alüminyum Ultrasonik Yıkama Ünitesinde Kullaılan Elektrik Miktarına Göre Oluşan kg CO2 |
|---|---|---|
| **Doğalgaz** | 2520 | 5193 |
| **Petrol** | 3528 | 7270 |
| **Kömür** | 4536 | 9347,4 |
| **Nükleer Enerji** | 302,4 | 623,16 |
| **Hidroelektrik** | 100,8 | 207,72 |
| **Rüzgar** | 50,4 | 103,86 |
| **Güneş** | 151,2 | 238,89 |

Güneş enerjisi ile elektirk üretimi yapıldığında kömüre ile elektirk üretimine göre 15,5 kat; doğalgaz ile elektrik üretimine göre 8,6 kat daha az $CO_2$ emisyonu doğaya salınmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği çevre problemlerinde etkin rol alan $CO_2$ emisyonu güneş ile elektrik enerjisi üretitildiğinde önemli oranda azaltılmaktadır.

### 4. Yorumlama

Optimum verim sağlayarak tercih edilen proses, ürün veya faaliyetin envanter analizi ve etki değerlendirme sonuçları karşılaştırılan yorumlama aşamasında çeşitli çap ve kalınlıkta alüminyum boru yıkama üniteleri verileri değerlendirilmiştir. Alüminyum yıkama ve alüminyum ultrasonik yıkama ünitelerinden elde edilen envanter analizleri ile etki değerlendirme kısmında firma çatısına kurulması planlanan GES sistemi verileri ile ünitelere ait enerjiler hesaplanmıştır. Küresel ısınma, iklim değişikliği, ozon tabakası tahribatı ve asidifikasyon gibi çevresel etkisi yoğun miktarda olan $CO_2$ emisyon değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu A ünitesi enerji ihtiyacı daha az olması böylece $CO_2$ emisyona katkısının az olması sonucu doğal kaynaklar üzerinde etkisi B ünitesine göre tercih edilme sebebi olarak belirlenmiştir. Ünitelerde oluşan atıksu verim hesabı da analize dahil edilmesi önerilmektedir.

## SONUÇ

Hayatın her alanında gereksinim duyulan makine ve aletlerin imalatında kullanılan malzemeleri, ekolojik yaşam ve insan sağlığı açısından değerlendirmek gün geçtikçe önemini

ISBN: 978-605-71156-5-2

artırmaktadır. Yaşam döngüsü analizi ile seçilen sistemin hem çevresel etki hem maliyet açısından optimum şartları taşıması kritik karar verme süreçleri için ön plana çıkmasına sebep olmaktadır. Ayrıca YDA yaklaşımında kullanılan verilerin kaliteli ve güvenilir olması çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinde kolaylık sağlamaktadır.

Otomotiv endüstrisi yan ürün sanayi üretim süreci yıkama ünitesi ele alınarak yaşam döngüsü analizi uygulanmış, optimum şartı sağlayan alüminyum yıkama ünitesine karar verilmiştir. Tüm üretim süreci boyunca yoğun kirliliklere maruz kalan alüminyum borunun yıkama ünitesi müşteri memnuniyeti ve malzeme kalitesi açısından dikkat edilmesi gereken bir prosestir. Alüminyum yıkama ünitesinde kullanılan elektrik miktarına göre oluşan kg $CO_2$ 151,2 olarak hesaplanmıştır. Alüminyum yıkama ünitesinde hesaplanan günde 168 kWsa enerji işletmenin günlük toplam enerji tüketiminin % 6,9 oranındadır. Alüminyum ultrasonik yıkama ünitesinde hesaplanan günde 346,2 kWsa enerji, işletmenin günlük toplam enerji tüketiminin % 14,3 oranındadır. Yıkama ünitesindeki verim, sonrasında oluşan atıksuların iletildiği arıtma tesisi performansı için önemli bir adımdır.

Çevre problemleri ve hammadde ihtiyacının giderek arttığı günümüzde proses verimliliği, performansı; üretici, tüketici ve kurumları yakından ilgilendirmekte ve bilinçli davranmaya zorlamaktadır. Üretici, tüketici ve ilgili tüm kurumlar geri kazanım ve çevre bilinci konularında eğitimler ile desteklenmelidir. Türkiye de bulunan küçük, orta ve büyük ölçekli firmalar yaşam döngüsü analizi konusunda bilinçlendirilmeli, sağladığı faydalar açıkça ortaya konulmalıdır.

ISBN: 978-605-71156-5-2

**KAYNAKÇA**

Baumann, H. ve Tillman, A.M. 2004. The hitch hiker's guide to lca- anorientation in life cycle assessment methodology and application. Student Literattur. İsveç

Çokaygil Z. 2005. Atık yönetim planlamasında yaşam döngüsü analizi. Anadolu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir

Demirer G.N.2011. Pratik yaşam döngüsü analizi kılavuzu AB sürecinde işletmeler ve kamu için yaşam döngüsü analizi yöntem ve örnekleri. Türkiye: Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları – I

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası 2022. 15.04.2022. https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes

GUIN J B. 2010. Life cycle assessment:past, present, and future. *Environmental Science & Technology*. Vol. 45, No. 1

Jensen, A.A. Hoffman, L. Moller, B. Schmit, A. Christiansen, K. Elkington, J. And Dijk F.V.1997. Life cycle assessment a guide to approaches, experiences and information sources, European Environment Agency. Denmark.

Jimnofez C, Kim S, Overcash M. R. 2000. Methodology for developing gate-to-gate life cycle inventory information. The International Journal of Life Cycle Assessment .153-159

Özdemir A, 2013. Türkiye'de demiryolu ulaşımının yaşam döngüsü analizi ve yaşam döngüsü maliyeti yöntemleri ile değerlendirilmesi. Anadolu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir

Sünbül A. 2006. Otomotiv endüstrisinde geri dönüşüm-ürün yaşam döngü değerlendirmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

ICENSS

BİDGE Yayınları