

DÜZCE  
ÜNİVERSİTESİ  
BİLİM ve TEKNOLOJİ  
DERGİSİ

Düzce University  
Journal of  
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

---

Cilt  
Volume

**11**

Sayı  
Issue

**1**

Ocak/January  
**2023**

---

**Düzce Üniversitesi**  
**BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ**  
**DÜBİTED**

<http://dergipark.org.tr/dubited>



**Düzce University**  
**JOURNAL of SCIENCE & TECHNOLOGY**  
**DUBITED**

<http://dergipark.org.tr/dubited>

**Sahibi**

*Owner*

Ali ÖZTÜRK (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)

(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)

(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)

**Editör**

*Editor*

Uğur GÜVENÇ

Resul KARA

Pınar GÜLTEKİN

Ahmet DEMİR

Suat SARIDEMİR

Ümit AĞBULUT

**Yardımcı Editörler**

*Assistant Editors*

Berfin ŞENİK

Mertkan TEKİNALP

Özlem ÖZKAN ÖNÜR

Vesile YALÇIN

Keziban GEGİN

Ufuk ÇİFCİ

Ahmet AYTEĞİN

Nisa KAPLAN ERGÜL

Gamze ÇOBAN

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**

*Publishing Manager*

Ali ÖZTÜRK

**Yayın Kurulu**

*Editorial Board*

Ahmet Bora KIRKLIKÇI, Karamanoğlu Mehmet Bey  
Üniversitesi, Türkiye

Ahmet DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ali ÇALHAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ali Etem GÜREL, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Alper ERGÜN, Karabük Üniversitesi Teknoloji

Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği, Türkiye

Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

Aytaç AYDIN, Karadeniz Teknik Üniversitesi,  
Türkiye  
Emre ÇELİK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Engin EROĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Fatih YILMAZ, Bayburt Üniversitesi, Türkiye  
Fuat KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
G. Alev ÖZKÖK, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye  
Hakan ARSLAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Harun BAYRAKDAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Hüseyin BUDAK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
İrem DÜZDAR ARGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Koray ŞARKAYA, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye  
Mecit AKSU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Mehmet ŞİMŞEK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Melike ERDOĞAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Mert YILDIRIM, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Metin TOZ, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi,  
Türkiye  
Mevlüt ERSOY, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye  
Muhammet GÜL, Munzur Üniversitesi, Türkiye  
Murat EYVAZ, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Murat Kadir YEŞİLYURT, Bozok Üniversitesi,  
Türkiye  
Mustafa KARAGÖZ, Karabük Üniversitesi, Türkiye  
Mustafa DAYI, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Nuray Benli YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Nuri ŞEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Pınar GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Resul KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Revna ACAR VURAL, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Salih Tunç KAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Semih ÖZDEN, Milli Savunma Üniversitesi, Türkiye  
Sercan SERİN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi,  
Türkiye  
Serhat DUMAN, Bandırma Onyediy Eylül  
Üniversitesi, Türkiye  
Sinan TOKLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Tikendra Nath VERMA, Maulana Azad National  
Institute of Technology, Hindistan  
Turgay BİRTÜRK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ümit AĞBULUT, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ümit ERGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ümit YURT, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Yasin ŞALE, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Yaşar Selman GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Yusuf ALTUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

---

**Ulusal Danışma Kurulu**  
*National Advisory Board*

Adem ACIR, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Adem ÇİÇEK, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye  
Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye  
Devrim AKGÜN, Sakarya Üniversitesi, Türkiye  
Elif UZ, Uludağ Üniversitesi, Türkiye  
Ercan ÖZGAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Erol BURDURLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Ethem TOKLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Fahri VATANSEVER, Uludağ Üniversitesi, Türkiye  
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
H.Hüseyin CİRİTCİOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Hakan AKTAŞ, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye  
Hakan ALTINÇEKİÇ, İstanbul Üniversitesi, Türkiye  
Hakan HOCAOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye  
İbrahim YÜCEDAĞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
İlyas UYGUR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
İsmail TORÖZ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye  
İsmet YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Mehmet BUDAKÇI, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Memiş IŞIK, Karabük Üniversitesi, Türkiye  
Meral KEKEÇOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Muharrem GÖKÇEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Murat KALE, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Murat SİPAHİOĞLU, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye  
Mustafa OKUTAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Raşit TURAN, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Salih TOSUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Selçuk ÖZMEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Seyhan FIRAT, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Yasin KIŞIOĞLU, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye  
Yusuf AVCI, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye  
Zeki DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

---

**Uluslararası Danışma Kurulu**  
*International Advisory Board*

Abdelilah SLAOUİ, Université de Strasbourg, France  
Clay S. GLOSTER, North Carolina A&T University,  
USA

Daniel BREAZ, University of Alba Lulia, Romania  
Luis ROSEIRO, Coimbra Institute of Engineering,  
Portugal  
Marwan BIKDASH, North Carolina A & T State  
University, USA  
Sadık ARTUNÇ, Mississippi State University, USA  
Salim HIZIROĞLU, Oklahoma State University, USA  
Thomas C. CULBRETH, North Carolina State  
University, USA

**Cilt**  
*Volume*

**11**

**Sayı**  
*Issue*

**1**

**Ocak / January**  
**2023**

## **Ürün Bilgisi** *Product Information*

**Yayıncı**  
*Publisher*

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
*Düzce University Institute of Graduate Programs*

**Sahibi**  
*Owner*

Ali ÖZTÜRK (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)  
(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)  
*(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)*

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**  
*Publishing Manager*

Ali ÖZTÜRK

**Web Sayfası**  
*Web Page*

<http://dergipark.org.tr/dubited>

**Basım Tarihi**  
*Date of Publication*

Ocak 2023  
*January 2023*

**Yayın Dili**  
*Language*

Türkçe / İngilizce  
*Turkish / English*

**Yayın Aralığı**  
*Frequency*

Yılda dört kez yayınlanır  
*Published four times in a year*

**Yayın Türü**  
*Type of Publication*

Sürelî yayın  
*Periodical*

**e-ISSN Numarası**  
*e-ISSN Number*

2148-2446

---

**Yazışma Adresi**

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim  
Enstitüsü Rektörlük Binası 3. Kat 81620  
Düzce/TÜRKİYE

Telefon: +90 380 542 12 08

Fax: +90 380 542 12 38

E-posta: [dubitedyayin@duzce.edu.tr](mailto:dubitedyayin@duzce.edu.tr)

<http://dergipark.org.tr/dubited>  
adresinden dergiye ilişkin bilgilere ve  
makalelerin tam metnine ulaşılabilir.

***Correspondence Address***

*Düzce University Institute of  
Graduate Programs Rectorship  
Building 3rd Floor 81620  
Düzce/TURKEY*

*Phone: +90 380 542 12 08*

*Fax: +90 380 542 12 38*

*E-mail: [dubitedyayin@duzce.edu.tr](mailto:dubitedyayin@duzce.edu.tr)*

*Instructions for authors and all  
articles in this journal can be  
reached at*

*<http://dergipark.org.tr/dubited>*

---

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

## Makale

### *BİYOLOJİ/BİYOKİMYA/MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK/SU ÜRÜNLERİ*

#### *Araştırma Makalesi/ Research Article*

- 57-77 An Assessment of Chromium (VI) Removal from Aqueous Solution Using Gelatin/PAAM-based IPN Hydrogels  
*Jelatin/PAAM-tabanlı IPN Hidrojelleri Kullanarak Sulu Çözeltiden Krom (VI) Uzaklaştırmasının Değerlendirmesi*  
**Gülen Oytun AKALIN**
- 199-203 Evaluation on Antimicrobial Activity of The Lichen *Pleurosticta acetabulum*  
*Pleurosticta acetabulum* Liken Türünün Antimikrobiyal Aktivitesi Üzerine Değerlendirme  
**Basaran Dulger, Gorkem Dulger, Bahar Gedik, Seyhan Oran**
- 276-287 Triazol İlaçlarının Yaygın Kansere Vakalarıyla Mücadelede Yeniden Kullanımı  
*Repurposing of Triazole Drugs to Combat Common Cancer Cases*  
**Sevilay CENGİZ ŞAHİN, Berna KAVAKCIOĞLU YARDIMCI**
- 426-440 Seasonal Variations in Fat and Fatty Acid Profiles of *Barbus tauricus* (Kessler, 1877) From Duzce-Melen Basin (Turkey)  
*Düzce Melen Havzası (Türkiye) Barbus tauricus (Kessler, 1877) Populasyonu'nun Yağ ve Yağ asidi Profilinin Mevsimsel Değişimi*  
**Deniz YAGLIOĞLU, Deniz AYAS, Serife Gulsun KIRANKAYA**
- 524-535 HCT116 ve HT29 Kolon Kanseri Hücrelerinde 5-Fluorourasil Kaynaklı Hücre Ölümünün Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi ile İncelenmesi  
*Investigation of 5-Fluorouracil-Induced Cell Death in HCT116 and HT29 Colon Cancer Cells by Fourier Transform Infrared Spectroscopy*  
**Dilşad ÖZERKAN, Ferdane DANIŞMAN KALINDEMİRTAŞ, Naci TÜZEMEN**
- 536-550 *Prangos ferulacea* (L.) Lindl. Bitkisinin Toplam Fenolik ve Toplam Flavonoid Madde Miktarı ve Antioksidan Aktivitesinin Belirlenmesi  
*Determination of Total Phenolic and Total Flavonoid Content and Antioxidant Activity of Prangos ferulacea (L.) Lindl.*  
**Çağla KIZILARSLAN HANÇER, Oğuzhan YAVUZ, Fatih UÇKAYA**

## **BİLGİSAYAR / YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ/BİLİŞİM SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ**

### **Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 78-88 Veri Ölçekleme ve Eksik Veri Tamamlama Yöntemlerinin Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Başarısına Etkisinin İncelenmesi  
Investigation of the Effects of Data Scaling and Imputation of Missing Data Approaches on The Success of Machine Learning Methods  
**Mesut POLATGİL**
- 170-188 Extreme Learning Machine Algorithms for Prediction of Positive Rate in Covid-19: A Comparative Study  
Covid-19'da Pozitif Vaka Oranı Tahmini İçin Aşırı Öğrenme Makinesi Algoritmaları: Karşılaştırmalı Bir Çalışma  
**Salih Berkan AYDEMİR, Funda KUTLU ONAY**
- 457-465 Mobil Platformda IoT Temelli ve Soket Programlamaya Dayalı Termal Sensör Uygulaması  
Mobile Platform Thermal Sensor Application Based on IoT and Socket Programming  
**Emin GÜNEY, Akın YAŞAR, Gamze AĞIRTAŞ, Cüneyt BAYILMIŞ**
- 513-523 Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS Kuantum Nokta Katkılı Sıvı Kristal Yapıların Dielektrik Sabitinin Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Tahminlenmesi  
Estimation of Dielectric Constant of Ni(II)Pc and CdSeS/ZnS QDs Dope Liquid Crystal Structures by Machine Learning Algorithms  
**Mustafa AKSOY, Gülnur ÖNSAL, Onur UĞURLU**

### **Derleme Makale / Review Article**

- 342-357 Derin Öğrenme Yöntemleri ile 3B Nokta Bulutlarının Semantik Segmentasyonuna Genel bir Bakış  
Review on Semantic Segmentation of 3D Point Clouds with Deep Learning Methods  
**Muhammed Ahmet DEMİRTAŞ**

## **ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ MEKATRONİK/ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ**

### **Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 10-20 Bölgesel Tabanlı Evrişimli Sinir Ağı ile Araç Plaka Tanıma  
License Plate Recognition with R-CNN  
**Talip ÇAY, Emre ÖLMEZ, Orhan ER**



- 139-156 Soğutma Sistem Arızalarında Yüzey Sıcaklıklarının Kızılötesi Görüntü İşleme Yöntemi ile Değerlendirilmesi  
Evaluation of Surface Temperatures in Refrigeration System Failures by Infrared Image Processing Method  
**Ferzan KATIRCIOĞLU, Zafer CİNGİZ**
- 399-413 Al 2024 Matrisli Farklı Boyutlarda MgO Takviyeli Kompozitlerin Farklı Kesici Takımlarla Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü Takım Aşınması ve Talaş Formunun İncelenmesi  
The Effect of MgO Particle Size and Cutting Tool Geometry on Machinability in Turning Al 2024/MgO Composite  
**Muharrem PUL**

### **İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ / METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

#### **Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 111-124 Yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Oranları ile Takviye Edilmiş Al-Cu-Mg Alaşımlarının Sıcak Pres Yöntemi ile Üretimi  
Production of Al-Cu-Mg Alloys Reinforced with High Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ratios by Hot-Pressing Method  
**Serhatcan Berk AKÇAY, Temel VAROL, Hüseyin Can AKSA, Onur GÜLER**
- 157-169 Cam Bilya Katkılı Poliamit 6.6 Kompozitlerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Cam Bilya Katkı Oranının Etkisi  
The Effect of Glass Beads Content on the Mechanical and Microstructural Behavior of Glass Beads Filled Polyamide-6.6 Composites  
**Hüseyin ÜNAL, Salih Hakan YETGİN, Veysel Furkan ÜNAL**
- 189-198 Effect of Chopped Carbon Fibers Amount on the Mechanical and Tribological Properties of Polyester Matrix Composite  
Kırılmış Karbon Elyaf İçeriğinin Polyester Matrisli Kompozitlerin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Olan Etkisi  
**Yasin AKGUL, Metin Efe YALCIN, Andinet Kumella ETICHA**
- 223-248 Konsol Palplanş Duvarların Tasarımını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması ve Pratik Abakların Geliştirilmesi  
Study of Factors Affecting the Design of Cantilever Sheet Pile Walls and Development of Practical Charts  
**Mehmet Fatih YAZICI, Sıddıka Nilay KESKİN**
- 288-301 Geri Dönüştürülmüş Atık EPS'nin Yüksek Dayanımlı Hafif Şap Üretiminde Kullanımının Araştırılması  
Investigation of the Use of Recycled Waste EPS in the Production of High Strength Lightweight Screed  
**İsmail İsa ATABEY, Zehra ALMAZ ÖZCAN, Serhan İLKENTAPAR, Uğur DURAK, Okan KARAHAN, Cengiz Duran ATİŞ**

- 319-341 Heyelan Meydana Gelmiş Bir Parkta Göçme Mekanizmasının Araştırılması ve Heyelan Önleme Tedbirleri  
Investigation of Failure Mechanism and Landslide Prevention Measures in a Park Where Landslide Has Occurred  
**Selman AYDIN, Mustafa ÖZER**
- 441-456 Yeşilirmak Havzası İçin Sediment-Akım Fonksiyonlarının Belirlenmesi  
Determination of Sediment-Flow Functions for the Yeşilirmak Basin  
**Murat PINARLIK**
- 466-486 İnşaat Maliyet Risklerinin Simülasyon Yöntemi ile Analizi  
Analysis of Estimated Costs in Domestic Construction Projects with Simulation  
**Ergün ÇOLAK, Latif Onur UĞUR**
- 487-501 Soğuk İklim Bölgelerinde İnce Taneli Zeminlerin Fiziksel ve Mekanik Davranışının İncelenmesi  
Investigation of the Physical and Mechanical Behaviors of Fine-Grained soils in Cold Regions  
**Serap ATILA ŞAHİN, Müge Elif FIRAT**

**MAKİNE / MEKATRONİK / MALZEME / ENDÜSTRİ / İMALAT / OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 1-9 Konfor Kanallarının Amortisör Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi  
Experimental Investigation of the Effect of Comfort Grooves on Shock Absorber Performance  
**Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK, Harun ANAÇ**
- 21-40 Geliştirilen İkincil Dönel Eksenli Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Yüzey Yanıt Yöntemi İle Analizi  
Analysis of Grinding Process with Response Surface Method in Grinding Mechanism Having Advanced Secondary Rotational Axis  
**Oktay ADIYAMAN, Fikret SÖNMEZ, Vedat SAVAŞ**
- 302-311 Al/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO/pSi/Al Schottky Diyotların Akım-Voltaj Karakterizasyonu  
Current-Voltage Characterization of Al/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO/pSi/Al Schottky Diodes  
**Erhan İBRAHİMOĞLU, Fatih ÇALIŞKAN, Zafer TATLI**

- 502-512 Comparative Study of Improvement of Hematite as Visible Light-Driven Photocatalyst by Doping with Zinc and Copper  
Görünür-Işık ile Çalışan Fotokatalizör Hematitin Çinko ve Bakır ile Katkılanmasıyla Geliştirilmesinin Karşılaştırmalı İncelenmesi  
**Emre Alp**

**Derleme Makale / Review Article**

- 41-56 Magnezyum Ve Magnezyum Esaslı Malzemelerde Korozyon  
Corrosion in Magnesium and Magnesium Based Materials  
**Fevzi KELEN**

**ORMAN/ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 99-110 Düzce İli Karasal Karbon Kapasitesinin Belirlenmesi  
Determination of Terrestrial Carbon Capacity of Duzce  
**Ahmet Salih DEĞERMENÇİ**
- 249-257 Kastamonu ve Düzce İllerinde Yeni Bir Zararlı Phloeomyzus passerinii (Signoret, 1875) (Hemiptera: Aphididae)  
A New Pest Phloeomyzus passerinii (Signoret, 1875) (Hemiptera: Aphididae) For Kastamonu and Düzce Provinces  
**Beşir YÜKSEL, Nuray ÖZTÜRK**
- 312-318 Reproductive Biology and The First Record of Egg Dimension of Collared pratincole (*Glareola pratincola*) from Southwest Turkey  
Bataklık Kırlangıcı'nın (*Glareola pratincola*) üreme biyolojisi ve yumurta boyutunun Güneybatı Türkiye'den ilk kaydı  
**Yasemin ÖZTÜRK, Leyla ÖZKAN**

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ**

**Derleme Makale / Review Article**

- 89-98 Yaşlılık ve Giyilebilir Teknolojiler  
Aging and Wearable Technologies  
**Öykü GÖKÇEN, Zümrüt BAHADIR ÜNAL**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 369-380 Cotinus coggygria Scop. (Peruka Çalısı) Bitkisinden Elde Edilmiş Bitki Ekstraktı ile Boyanmış Yünlü Kumaş Numunelerinin Boyama Özelliklerinin İncelenmesi  
Investigation of Dyeing Properties of Woolen Fabric Samples Dyed with Plant Extract Obtained from Cotinus coggygria Scop.  
**Kadri AKÇALI, Meliha OKTAV BULUT, Bilge TUNÇKOL, Gözde BUHARALI**
- 414-425 Finisajın Farklı Ayakkabı Yüzlük Derilerin Mukavemetine Etkisi  
The Effect of Finishing on the Strength of Different Shoe Upper Leathers  
**Levent İNANÇ**

**MİMARLIK/ PEYZAJ MİMARLIĞI**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 125-138 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Yöntemi Kullanılarak Vernaküler Mimarinin Sürdürülebilirliği: Akşehir Eski Evleri Örneği  
The Sustainability of Vernacular Architecture Using Fuzzy Logic: Akşehir Old Houses Example  
**Hüseyin ÖZDEMİR**
- 204-222 Peyzaj Yapısındaki Zamansal/Mekânsal Değişimin Metrik Analizi ile Değerlendirilmesi: Çanakkale Kent Merkezi  
Temporal/Spatial Change in Landscape Structure Evaluation with Metric Analysis: Çanakkale City Center  
**Berivan EREN, Tülay CENGİZ TAŞLI**
- 264-275 İzmir İli, Çiğli İlçesinin Mevcut ve İmar Uygulama Planındaki Açık Yeşil Alan Yeterliliğinin İrdelenmesi  
Investigating Adeacy of Open Green Spaces in The Current And Implementary Development Plan of Cigli Dististrict in Izmir Province  
**İzzet YÜKSEK, Yeşim ESEN**

**FİZİK/ KİMYA/ MATEMATİK**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 258-263 Some Results on Important Inequalities for Univalent Functions with Positive and Negative Coefficients  
Pozitif ve Negatif Katsayılı Univalent Fonksiyonlar için Bazı Önemli Eşitsizlikler  
**Alaattin AKYAR**

- 358-368 Astrazon Red FBL Çözeltilisinin Gama Işınlarıyla Renk Giderimi ve Detoksifikasyonu  
Decoloration and Detoxification of Astrazon Red FBL Solution Using Gamma Rays  
**Ömer KANTOĞLU**
- 381-398 Farklı Tipteki Fotovoltaik Güneş Panellerinin Düzce için 2014-2019 Yılları Arası Yaz Ayları Performans ve Verimlilik Analizi  
Comparison of Different Types of Photovoltaic Solar Panels' Performance and Efficiency for Düzce from 2014 to 2019 Years Summertime  
**Tuğba ÖZDEMİR, Özge TÜZÜN ÖZMEN**



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Konfor Kanallarının Amortisör Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

 Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK<sup>a,\*</sup>,  Harun ANAÇ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Maysan Mando Otomotiv Parçaları San. Tic. A.Ş., Bursa, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: zkamis@uludag.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1056721

### ÖZET

Yol zemininin düzgünlüğü, viraj dönme, hızlanma, frenleme, maksimum yük taşıma kapasitesi gibi parametrelere bağlı olarak amortisör beklentileri değişir. Bu gibi farklı durumlarda beklentileri karşılamak için amortisör sönümleme kuvvetinin değişken olması gerekir. Ancak pasif amortisörlerde sönümleme kuvveti yol durumundan bağımsız olarak piston ve taban valflerindeki yağ geçişlerine göre belirli hızlar için sabittir. Valf gruplarındaki akışa ek olarak, genellikle hafif ticari araçlar için silindire açılan konfor kanalları yardımı ile amortisörün sertleşmesi veya yumuşaması şeklinde karakteristikleri değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada konfor kanalına sahip olmayan ve olan aynı valf gruplarına sahip çift borulu teleskobik amortisörler test edilerek konfor kanallarının amortisör performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Konfor kanallarının özellikle düşük hızlarda sönümleme kuvvetini düşürdüğü ve konforlu sürüş sağladığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Amortisör, Konfor Kanalı, Amortisör Performansı

## Experimental Investigation of the Effect of Comfort Grooves on Shock Absorber Performance

### ABSTRACT

Shock absorber expectations vary depending on parameters such as road surface smoothness, cornering, acceleration, braking, and maximum load-carrying capacity. In such different situations, the shock absorber's damping force must be variable to meet the expectations. However, in passive shock absorbers, the damping force is constant for certain speeds according to the piston and bottom valves' oil passages, regardless of the road condition. In addition to the flow in the valve groups, the shock absorber characteristics can be changed in the form of hardening or softening with the help of comfort grooves opened to the cylinder for light commercial vehicles. In this study, twin-tube telescopic shock absorbers with the same valve groups that do not have comfort channels and have the same valve groups are tested, and the effect of comfort channels on shock absorber performance has been investigated. It has been determined that comfort channels reduce the damping force, especially at low speeds, and provide comfortable driving.

**Keywords:** Shock Absorber, Comfort Groove, Shock Absorber Performance

# I. GİRİŞ

Süspansiyon, taşıtı tekerleklerine bağlayan ve harekete izin veren bağlantı sistemidir. Süspansiyon sistemi taşıtlarda yoldan gelen titreşimlerin şasiye ulaşmasını engelleyerek konfor, lastik ile yol arasındaki teması devam ettirerek güvenliği sağlamaktadır. İyi bir süspansiyon sistemi titreşim kaynaklı şasi gerilimlerini ve tekerlek salınımlarını minimumda tutarken, aracın sürüş emniyetini maksimum düzeyde tutmalıdır [1], [2], [3].

Yaylar, amortisörler, denge çubukları ve bağlantı sistemi süspansiyon sisteminin temel elemanlarından bazılarıdır. Süspansiyon sisteminin en önemli iki elemanı süspansiyon yayları ve amortisörlerdir. Yaylar yoldan gelen darbeleri üzerine alır ve şasiye iletilmesini engeller. Amortisör yayın hareket enerjisini ısı enerjisine çevirerek yay salınımını kontrol eder, sönümler ve konforlu ve güvenli bir yolculuk sağlar [2]. Süspansiyon sisteminin en önemli elemanlarından biri olan amortisörler hızın fonksiyonu olan bir sönümlenme kuvveti üretirler. Bu kuvvete bağlı olarak amortisörün çok sert veya çok yumuşak olması aracın ömrünü azaltacağı gibi, sürüş güvenliği ile ilgili sorunlara yol açabilir. Bu yüzden taşıtlardaki amortisör seçimi taşıt dinamiğine uygun olmalıdır.

Pasif bir amortisörün çalışma prensibi, mile bağlı bir pistonun yağ dolu bir silindirin içinde gidip gelmesi sonucunda yağ hacminin değişmesi esasına dayanır (Şekil 1). Amortisörün içindeki yağ, fren görevi yapan ve amortisörün etkinliğini sağlayan en önemli elemandır ve aynı zamanda amortisörün içindeki hareketli parçaların yağlanması sağlar [4]-[6].

Bazı hafif ticari ve binek araçlarda arka teleskobik amortisörlerde piston ve taban valf grubunun sağlayacağı sönümlenme haricinde ekstra bir sönümlenme elde edebilmek için konfor kanallı silindirler tasarlanmaktadır. Buradaki amaç araç yüklü konumda iken daha yumuşak bir süspansiyon elde edilmek istenmesidir [7], [8]. Silindir üzerindeki konfor kanalları, amortisörün sahip olduğu valf grubunun karakteristiğine ek olarak, farklı bir sönümlenme karakteristiği oluşturur. Konfor kanallı bir amortisörde, silindirin düz olduğu yani konfor kanalı dışında kalan bölgede yağ akışları standart şekilde taban valf grubu ve piston valf grubu üzerinden sağlanmaktadır. Amortisörün çalışması ile birlikte piston, konfor kanalı bölgesine geldiği durumda, ek olarak yağın geçeceği bir boşluk daha oluşur. [8]. Piston valf grubu ve taban valf grubu haricinde yağın konfor kanallarından da geçmesi ile sönümlenme kuvvetleri değişir. Yağın konfor kanallarından kolay veya zor geçmesi sönümlenme kuvvetinin düşük veya yüksek olmasını sağlar. Konfor kanallarının uzunluğu veya konumu sönümlenme kuvvetini aritmetik olarak değiştirmez sadece ekstra sönümlenme kuvvetinin hangi konumda ve ne kadarlık bir strokta olacağını etkiler. Piston valf grubunun belli bir yükte konfor kanalında konumlanabilmesi için, konfor kanalı uzunluğu ve yeri tasarlanır. Böylece araç belirli yükte konforlu bir şekilde yol alabilir [9].

Bu çalışmada sekiz adet pasif, çift borulu, teleskobik amortisör üzerinde sönümlenme kuvveti ölçümleri yapılmıştır. Açık ve kapalı boyları, valf grupları, piston kolları, dış boruları, kılavuz ve keçe gibi parçaları aynı olan aynı tipteki amortisörlerin farklı olan tek parçası silindirleri diğer bir ifadeyle iç borularıdır. Test edilen amortisörlerden birisi standart düz silindirli teleskobik amortisör olup, aynı valf grubuna sahip diğer yedi adet amortisöre farklı sayıda, farklı genişlik ve derinlikte konfor kanalları açılmıştır. Böylece her silindir üzerindeki konfor kanalı toplam kesit alanı birbirinden farklıdır. Çalışmada ele alınan tüm amortisörlerin aynı hızlarda sönümlenme kuvvetleri ölçülerek düz silindirli amortisöre göre konfor kanallarının amortisörlerin sönümlenme kuvvetleri üzerindeki etkisi tespit edilmiştir.

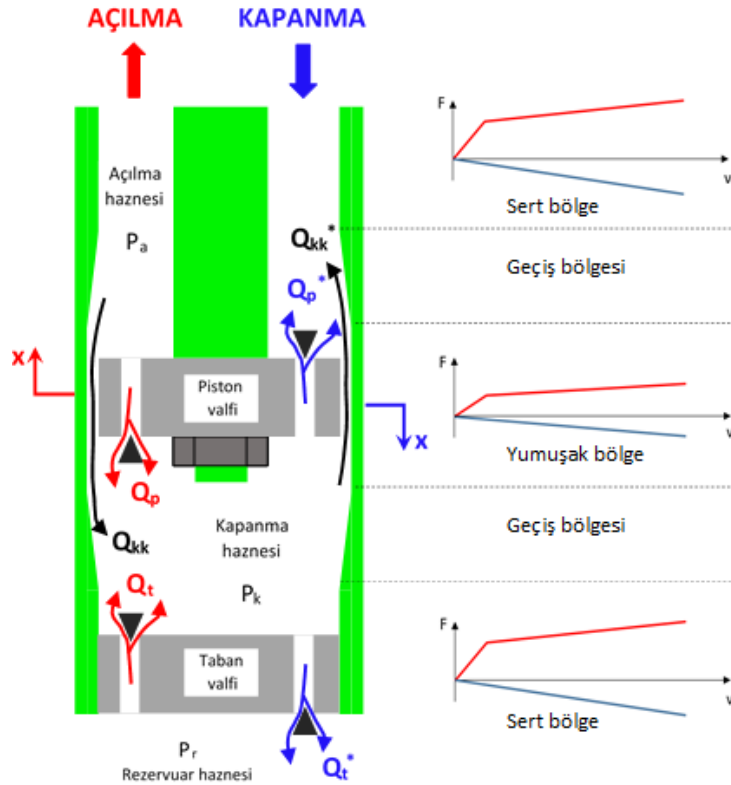
## II. MATERYAL VE METOT

### A. KONFOR KANALLI AMORTİSÖR

Konfor kanallı amortisörler genellikle hafif ticari araçlarda kullanılır ve belirli yüklerde aracın yumuşak ve konforlu bir şekilde yol almasını sağlar. Konfor kanalları amortisörlerin düşük hızda ve düşük strokta çalışacağı yol durumlarında etkilidir. Amortisörün şok görmeyeceği düzgün ve kaliteli yollar, aracın yavaş bir şekilde yol aldığı arnavut kaldırımı tarzı yollar veya büyük çukur ve tümsek haricindeki hafif engebeli yollar bu yol durumlarına örnek olarak verilebilir. Bu yol durumlarında amortisör piston valf grubu konfor kanalı sınırlarında çalışmalıdır.

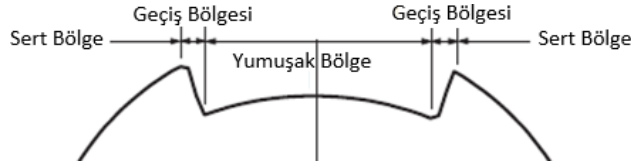
Çift borulu düz silindirli geleneksel amortisörlerde kapanma haznesi ve rezervuar haznesi arasındaki yağ akışı taban valf grubu ile, açılma haznesi ve kapanma haznesi arasındaki yağ geçişi ise piston valf grubu ile sağlanır. Piston ve taban valf grubu üzerindeki yağ geçişleri amortisör sönümlenme kuvvetini oluşturur. Piston ve taban valf gövdesindeki akışlar valf üzerindeki deliklerden, ayar pullarındaki akışlar üzerindeki çentiklerden ve pulların üzerindeki akışlar ise pulların bükülmesi ile mekanik olarak zorlanmaları sonucu gerçekleşir.

Tipik pasif teleskobik amortisörden farklı olarak konfor kanallı amortisör silindirinde akış kanalları vardır. Böylece pistonun konfor kanalı bölgesinde çalışması esnasında daha düşük bir sönümlenme kuvvetinin oluşması ve dolayısı ile sürücü ve yolcuların yumuşak bir süspansiyon hissetmesi sağlanır. Amortisör konfor bölgesinde çalışırken piston valf grubuna ek olarak konfor kanallarından da akış sağlanır. Bu kanallar şekilleri itibariyle silindiri yumuşak bölge, sert bölge ve geçiş bölgesi olarak üç bölüme ayırır (Şekil 1, 2). Konfor kanalının sürekli devam ettiği kısım yumuşak bölge, konfor kanalının silindir düz bölgesine geçiş yaptığı silindir iç çapının daraldığı kısım geçiş bölgesi ve son olarak silindirin konfor kanalı ve geçiş bölgesi harici kalan tüm kısımları ise sert bölge olarak adlandırılır. Kuvvet geçişlerinin düzgün olması için geçiş bölgeleri konikleştirilir [7], [8].



Şekil 1. Konfor kanalının hız-kuvvet eğrisine etkisi.



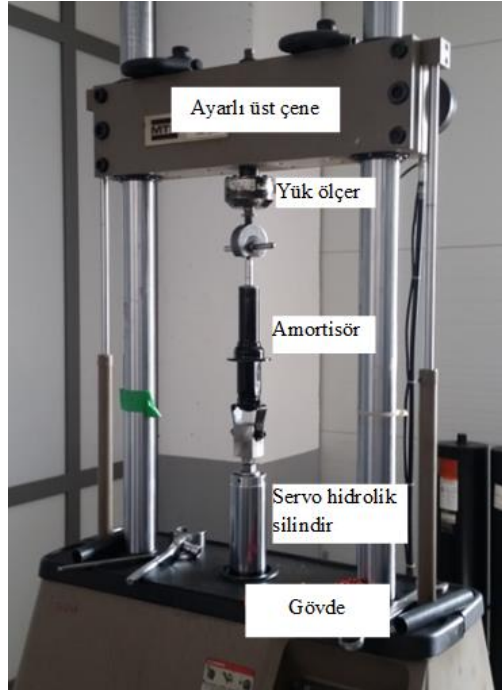


**Şekil 2.** Konfor kanallı amortisör kuvvet yol grafiği piston geçiş bölgeleri.

Şekil 1’ de konfor kanallı bir amortisörde yağ geçişleri gösterilmiştir. Şekil üzerinde, sol kısım açılma durumu, sağ kısım ise kapanma durumunu göstermektedir. Şekil 1’ den görüldüğü gibi hem açılma hem de kapanma durumunda piston ve taban valfi üzerindeki akışlara ilave olarak konfor kanalından da yağ geçişi olmaktadır. Amortisör açılırken; açılma haznesinden kapanma haznesine piston valf grubu ( $Q_p$ ) ve konfor kanalı üzerinden ( $Q_{kk}$ ), rezervuar haznesinden kapanma haznesine de taban valf grubu üzerinden ( $Q_t$ ) akış olur. Amortisör kapanırken ise; kapanma haznesinden açılma haznesine piston valf grubu ( $Q_p^*$ ) ve konfor kanalı üzerinden ( $Q_{kk}^*$ ), kapanma haznesinden rezervuar haznesine de taban valf grubu üzerinden ( $Q_t^*$ ) akış olur. Konfor kanalı üzerinden gerçekleşen ilave akış amortisör direnç kuvvetlerini azalttığı için sönümlenme kuvvetini düşürür. Piston konfor kanalı bölgesinden ayrıldığında  $Q_{kk} = Q_{kk}^* = 0$ ’dır [7], [10]-[12].

## B. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada konfor kanallı ve kanalsız sekiz farklı amortisör için sönümlenme kuvvet testleri Şekil 3’ te gösterilen servo hidrolik test makinasında yapılmıştır. Amortisör belirli hızlarda hareket ettirilerek oluşan sönümlenme kuvvetleri ölçülmüştür. Kullanılan makinenin yük kapasitesi 25 kN, hız kapasitesi 4 m/s ve sahip olduğu strok boyu  $\pm 125$  mm’dir.







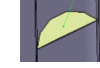



**Şekil 3.** 25 kN kapasiteli servo hidrolik test makinası.

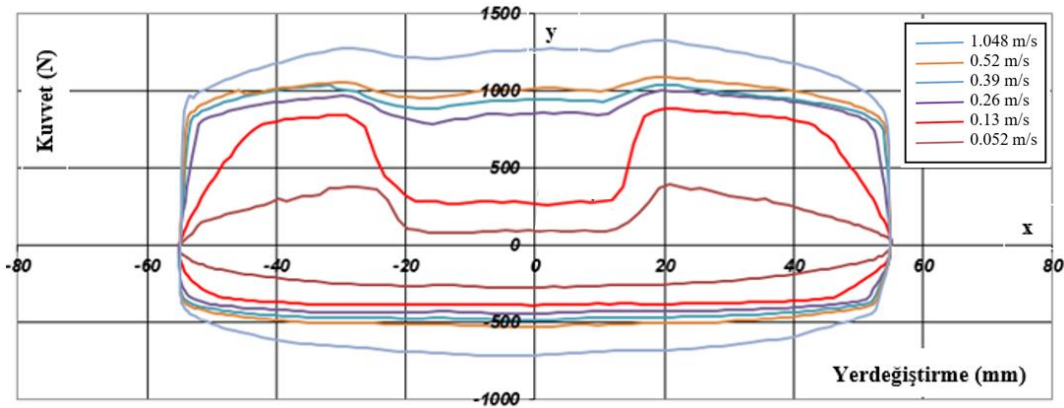
### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada silindirleri dışında tüm parçaları (valf grupları, gövde boruları, piston kolları, kılavuz ve keçeleri vb.) birbirinin aynı olan ve Tablo 1’ de verilen farklı konfor kanalı alanlarına sahip amortisörler ele alınmıştır (piston kolu çapı: 12.5 mm; gövde borusu çapı: 45 mm; silindir borusu çapı: 30 mm).

*Tablo 1. Test edilen çift borulu teleskobik amortisör konfor kanalı özellikleri.*

Konfor Kanalı Özellikleri	Amortisör No							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Kesit görünümü								
Sayısı	0	2	2	1	1	2	3	3
Toplam kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	0	2.76	3.18	3.42	3.6	3.65	3.72	4.14

Konfor kanalının amortisör sönümlene karakteristiğine etkisini görebilmek için, 2 nolu test amortisörü yumuşak bölgeye ek olarak, sert ve geçiş bölgesi olarak tanımlanan konfor kanalı dış kısmında da hareket ettirilmiştir. Bu amaçla  $\pm 55$  mm strokta ve farklı hızlarda test edilerek amortisörün kuvvet-yerdeğiştirme karakteristik eğrileri elde edilmiştir (Şekil 4). Şekil 4’ ten görüldüğü gibi amortisör konfor kanalından geçerken sönümlene kuvveti düşmekte konfor kanalından çıktığında tekrar yükselmektedir. Konfor kanalının sönümlene kuvveti üzerindeki etkisi düşük amortisör hızlarında daha belirgindir (özelikle 0.052 m/s ve 0.13 m/s). Konfor kanalının uzunluğu geçiş bölgeleri arasındaki mesafe kadar olduğundan kuvvet düşüşünün ne kadarlık bir strokta olacağını gösterir ve bu strok boyu kuvvet-yer değiştirme grafiğinden yaklaşık olarak tahmin edilebilir.



*Şekil 4. 2 nolu test amortisörü için kuvvet-yerdeğiştirme grafiği.*

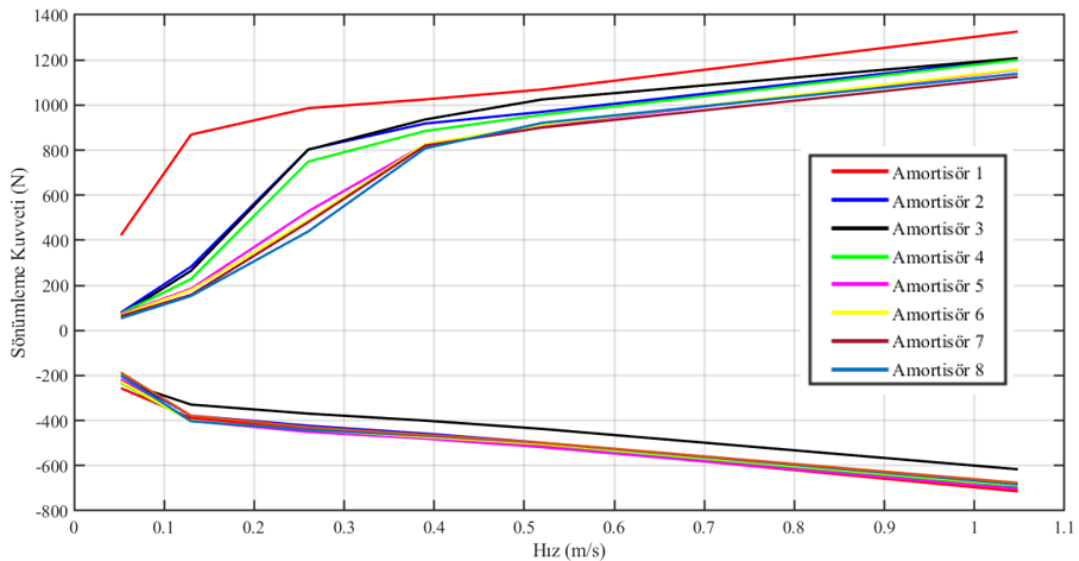
Amortisör deneylerinde elde edilen karakteristiklerden biri de kuvvet-hız grafikleridir. Bu grafiklerin tipik bir şekli vardır ve bu grafikler yardımı ile belirli bir hızda oluşan sönümlene kuvveti analiz edilebilir [13]. Tablo 1’de çeşitli boyutsal özellikleri ve kesit görüntüleri verilen sekiz adet amortisör aynı hızlarda test edilmiş ve konfor kanallarının etkisi elde edilen kuvvet-hız grafikleri yardımı ile incelenmiştir. Konfor kanallarının uzunluk ve konumuna bakılmaksızın kesit alanlarının etkisinin incelenmesi için kuvvet hız grafikleri amortisörler  $\pm 15$  mm ve toplam 30 mm strokta hareket edecek şekilde deneyler yapılmıştır. Böylelikle piston valf grubu, konfor kanalı boyunca yani yumuşak

bölgede kalmıştır. Bu deneylerde 0,052 m/s, 0,13 m/s, 0,26 m/s, 0,39 m/s, 0,52 m/s ve 1.048 m/s hızlarında amortisörlerin sönümlenme kuvvetleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar konfor kanalsız 1 nolu amortisör ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5'te, Tablo 1' de verilen sekiz farklı amortisör için deneysel olarak elde edilen sönümlenme kuvvet-hız grafikleri gösterilmiştir. Amortisörün açılması esnasında elde edilen sönümlenme kuvvetleri hız ekseninin üst kısmında, kapanma sırasında elde edilen sönümlenme kuvvetleri ise hız ekseninin alt kısmında yer almaktadır. Şekil 5' ten görüldüğü gibi konfor kanallarının kapanma durumunda belirgin bir etkisi yoktur. Açılma durumunda ise düşük hız bölgesinde belirgin bir kuvvet düşüşüne neden olmaktadır. 0.05 m/s hızında sönümlenme kuvveti konfor kanalsız amortisörde 422 N iken, aynı hızda konfor kanallı amortisörlerde konfor kanalı kesit alanına bağlı olarak 54 N ile 79 N değerleri arasında değişmektedir. Aynı şekilde 0.13 m/s hız değerinde konfor kanalsız amortisörde sönümlenme kuvveti 869 N iken, aynı hızda konfor kanallı amortisörlerde konfor kanalı kesit alanına bağlı olarak sönümlenme kuvveti 153 N ile 283 N değerleri arasında değişmektedir. 0.13 m/s' den daha büyük hızlarda ise sönümlenme kuvvetlerindeki farklar azalmaktadır.

Test edilen sekiz adet amortisörün referans hız değerleri için açılma ve kapanma durumunda sönümlenme kuvveti değerleri Tablo 2' deki gibidir. Tablo 2' de aynı zamanda konfor kanallı amortisörlerdeki sönümlenme kuvvetlerinin 1 nolu konfor kanalsız amortisör sönümlenme kuvvetine göre oranı yüzdesel olarak da verilmiştir. Tablo 2' den görüldüğü gibi kuvvet düşüşleri açılma durumunda daha fazladır. Düşük hızlarda konfor kanalının etkisi daha belirgin olup 0.052 m/s amortisör hızında konfor kanalı sönümlenme kuvvetini konfor kanalsız amortisördeki kuvvet değerinin %13' üne kadar düşürmüştür. Yüksek hızlarda konfor kanalının etkisi daha az olup örneğin 1.048 m/s amortisör hızında kuvvet en fazla konfor kanalsız amortisördeki kuvvetin %85' ine kadar düşmüştür. Sonuç olarak konfor kanallı amortisörlerin düşük hızlarda belirli stroklarda daha konforlu bir sürüş sağladığı,  $\pm 15$  mm' yi geçmeyen engebeli yollarda konfor kanallarının amortisör performansı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

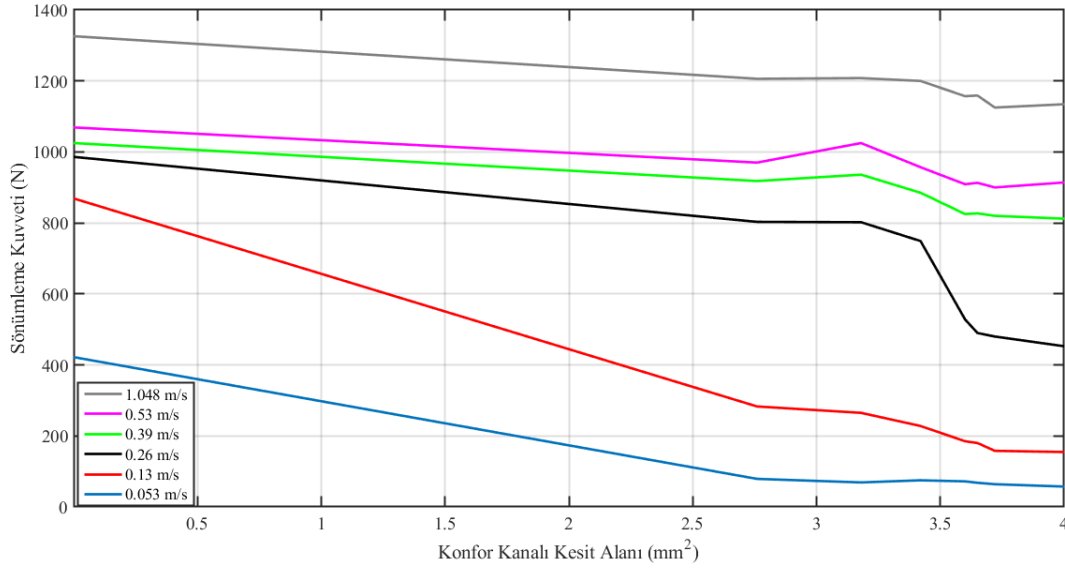
Şekil 6'da ise yapılan testlerden elde edilen verilere göre, açılma durumunda farklı amortisör hızları için, konfor kanalı kesit alanına karşılık sönümlenme kuvveti değişimleri verilmiştir. Bu şekilden konfor kanalı kesit alanı arttıkça sönümlenme kuvvetinin düştüğü ve düşük hızlarda (0,052 m/s ve 0,13 m/s) düşüş oranının daha yüksek olduğu görülmektedir. Yüksek hızlarda akışkan debisi arttığı için pullar zorlanmakta ve akışkan geçecek başka yerler de aramakta ve sonuç olarak sönümlenme kuvveti artmaktadır. Dolayısıyla konfor kanalı etkisi yüksek hız durumlarında azalmaktadır.



Şekil 5. Test edilen amortisörlerin kuvvet-hız (F- v) grafiğinin karşılaştırılması.

Tablo 2. Test edilen amortisörlerin sönümlenme kuvvetleri ve yüzdesel karşılaştırması.

Amortisör No	Hız v (m/s)												
	0.052		0.13		0.26		0.39		0.52		1.048		
	F (N)	%F	F (N)	%F	F (N)	%F	F (N)	%F	F (N)	%F	F (N)	%F	
Açılma	1	422	%100	869	%100	986	%100	1025	%100	1069	%100	1326	%100
	2	79	%19	283	%33	803	%81	918	%90	970	%91	1206	%91
	3	69	%16	265	%31	802	%81	936	%91	1025	%91	1208	%91
	4	75	%18	228	%26	749	%76	885	%86	957	%91	1200	%91
	5	72	%17	185	%21	528	%54	825	%81	909	%85	1157	%87
	6	68	%16	180	%21	490	%50	827	%81	913	%85	1159	%87
	7	64	%15	158	%18	480	%49	820	%80	900	%84	1125	%85
	8	54	%13	153	%18	439	%45	808	%79	921	%86	1139	%86
Kapanma	1	-256	%100	-389	%100	-433	%100	-469	%100	-513	%100	-714	%100
	2	-200	%78	-378	%97	-423	%98	-458	%98	-498	%97	-692	%97
	3	-226	%88	-329	%85	-369	%85	-400	%85	-437	%86	-616	%86
	4	-232	%90	-402	%103	-448	%103	-479	%102	-517	%97	-690	%97
	5	-216	%84	-402	%103	-450	%104	-480	%102	-518	%101	-703	%99
	6	-227	%88	-402	%103	-441	%102	-473	%101	-504	%98	-686	%96
	7	-200	%78	-403	%103	-441	%102	-467	%99.5	-499	%97	-683	%96
	8	-187	%73	-378	%97	-429	%99	-463	%99	-498	%97	-676	%95



Şekil 6. Konfor kesit alanı ve hıza bağlı sönümlenme kuvveti değişim grafiği.

## IV. SONUC

Bu çalışmada konfor kanallarının amortisör sönümlenme kuvveti üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. İlk olarak konfor kanalsız düz silindirik geleneksel bir amortisör (amortisör no:1), sonrasında konfor kanalsız amortisör ile aynı özelliklere sahip farklı konfor kanallı silindiriklerden oluşan amortisörler (amortisör no:2-8) test edilmiştir. Kuvvet-hız ölçümleri konfor kanalı bölgelerinde  $\pm 15$  mm olmak üzere toplam 30 mm strokta yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda konfor kanalının olmadığı ve olduğu amortisörler için farklı hızlardaki sönümlenme kuvvetleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan konfor kanallarının düşük amortisör

hızlarında (0,052 m/s ve 0,13 m/s) sönümlenme kuvvetini azalttığı tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde konfor kanalı kesit alanı arttıkça sönümlenme kuvvetinin düştüğü ve düşük hızlarda (0,052 m/s ve 0,13 m/s) düşüş oranının da yüksek olduğu belirlenmiştir.

Konfor kanallarının düşük hızlarda etkinliğinin fazla olmasının nedeni, akış yönünün açılma haznesinden kapanma haznesine zorlanmadan olması, zorlanmadığı için de yağın büyük bölümünün bulunduğu en kolay yerden yani konfor kanalından geçmesidir. Yüksek amortisör hızlarında konfor kanallarının sönümlenme kuvveti üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni yüksek hızlarda açılma haznesinden, kapanma haznesine geçen yağın debisinin daha da artması ve akış zorlandığı için yağın sadece konfor kanalından değil piston valf grubundan da geçmesidir.

Sonuç olarak konfor kanallarının düşük amortisör hızlarında ve yol genliğinin  $\pm 15$  mm' yi geçmeyeceği pürüzlü ve engebeli yollar için konforlu sürüş sağlayabileceği tespit edilmiştir.

Çalışmada konfor kanalı sayısı kanal kesit alanını artırıcı bir etken olarak değerlendirilmiştir. Sonraki çalışmalarda konfor kanalı sayısı, geometrisi, silindir üzerine yerleşimi gibi etkiler amortisör modelleme ve analiz çalışmaları ile birlikte daha kapsamlı olarak ele alınabilir.

**TEŞEKKÜR:** Deneysel çalışmalar Maysan Mando A.Ş. firmasında yürütülmüştür.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] C.R. Meissen, "Development and validation of a physical model for a modern twin tube damper," M.S. thesis, Department of Mechanical Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, US, 2009.
- [2] M. Gündoğ, "Binek araçlarda kullanılan çift borulu amortisörlerin teknik açıdan incelenmesi, matematik modelin oluşturulması ve uygulanması," Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2016.
- [3] H. Okuturlar, M. Tınkır, "Araç süspansiyon sisteminin nümerik ve deneysel dinamik analizi," *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 85-105, 2021.
- [4] E. Akdemir, "Araçlardaki amortisörlerin sönüm etkisinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2014.
- [5] D. Guan, X. Jing, H. Shen, L. Jing, J. Gong, "Test and simulation the failure characteristics of twin tube shock absorbers," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 122, pp. 707-719, 2019.
- [6] W.S. Singh, N. Srilatha, "Design and analysis of shock absorber: a review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 4832-4837, 2018.
- [7] C.T. Lee, B.Y. Moon, "Simulation and experimental validation of vehicle dynamic characteristics for displacement-sensitive shock absorber using fluid-flow modelling," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 20, no. 2, pp. 373-388, 2006.
- [8] H. Anaç, "Çift borulu pasif bir teleskobik amortisörde silindir konfor kanallarının amortisör karakteristiğine etkisinin deneysel olarak incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2021.
- [9] J.W. Park, D.W. Joo, Y.H. Kim, "A study on the stroke-sensitive shock absorber," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 85-90, 1997.




- [10] J. Zou, X. Guo, M.A.A. Abdelkareem, L. Xu, J. Zhang, “Modelling and ride analysis of a hydraulic interconnected suspension based on the hydraulic energy regenerative shock absorbers,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 127, no. 15, pp. 345-369, 2019.
- [11] R. Wang, Z. Chen, H. Xu, K. Schmidt, F. Gu, A.D. Ball, “Modelling and validation of a regenerative shock absorber system,” *Proceedings of the 20th International Conference on Automation & Computing*, Bedfordshire, UK, 2014. pp. 32–37.
- [12] J. Łuczko, U. Ferdek, “Non-linear analysis of a quarter-car model with strokedependent twin-tube shock absorber,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 115, no. 15, pp. 450-468, 2019.
- [13] C.T. Lee, B.Y. Moon, “Study on the damping performance characteristics analysis of shock absorber of vehicle by considering fluid force,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 520-528, 2005.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Bölgesel Tabanlı Evrişimli Sinir Ağı ile Araç Plaka Tanıma

 Talip ÇAY<sup>a,\*</sup>,  Emre ÖLMEZ<sup>b</sup>,  Orhan ER<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Mekatronik Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Bilgisayar Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bakırçay Üniversitesi, Yozgat, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: talip.cay@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1058850

### ÖZ

Bu çalışmada, Bölgesel Tabanlı Evrişimli Sinir Ağları (R-CNN) ile araç plaka lokasyonu belirleme ve belirlenen lokasyon içerisinden plaka okuma işlemi gerçekleştirilmiştir. İki aşamadan oluşan çalışmanın ilk aşamasında giriş görüntüleri üzerinden plaka lokasyonları R-CNN ile belirlenirken ikinci aşamada geleneksel görüntü işleme teknikleri ile belirlenen lokasyonlardan plaka okuma işlemi gerçekleştirilmektedir. Çalışmada tasarlanan R-CNN eğitiminde veri setinde bulunan 550 adet görüntüden 450 adedi eğitimde ve 100 adedi test işleminde kullanılmıştır. R-CNN ile plaka lokasyonu bulma işleminde test seti üzerinde %95 başarı oranına ulaşıırken doğru olarak belirlenen lokasyonlardan plaka okuma işleminde %97 başarı oranına ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü İşleme, Evrişimli Sinir Ağları, Bölgesel Tabanlı Evrişimli Sinir Ağları, Araç Plaka Tanıma

## License Plate Recognition with R-CNN

### ABSTRACT

In this study, Region Proposals with CNNs (R-CNN) and conventional image processing approaches are used for license plate capture and reading operations respectively. In the first stage of the study, which consists of two stages, plate locations are determined by R-CNN over the input images. In the second stage, conventional image processing techniques are used to read the R-CNN captured license plate locations. In the training and testing phases of the study, 450 of the 550 images in the data set were used in the training and 100 in the testing respectively. As a result, in the process of capturing the plate location with R-CNN, a %95 success rate was achieved on the test set. In the process of reading license plates from correctly determined license plate locations, a success rate of 97% was achieved.

**Keywords:** Image Processing, Convolutional Neural Networks, CNN, Region Proposals with CNNs, R-CNN, License Plate Recognition

## **I. GİRİŞ**

Yapay zekânın bir alt dalı olan makine öğrenmesi insan zekâsına benzer karar verme eylemlerini gerçekleştirir. Makine öğrenmesi alanında yapay sinir ağları birçok problemin çözümünde sıklıkla kullanılmıştır. Ancak yapay sinir ağlarının (YSA) durgunluk dönemi olarak adlandırılan dönemde başta donanımsal kısıtlamalar sebebiyle bu alandaki çalışmalar neredeyse durma noktasına gelmiştir. 2000’li yılların başlarında GPU’ların gelişmesiyle birlikte sığ sinir ağlarından derin sinir ağlarına geçiş gerçekleşmiştir.

Derin yapay sinir ağlarının eğitimini ifade eden Derin öğrenme bir makine öğrenmesi sınıfıdır. Derin öğrenme yaklaşımı çoklu soyutlama yapısı ile verinin temsillerini öğrenmek için bir araya getirilmiş çoklu işleme katmanlarında oluşur [1]. Makine öğrenmesi yaklaşımlarının kalitesi doğru özelliklerin seçimine bağlıdır[2]. Bu özellikleri ortaya çıkarmak için çeşitli ön işlemler, boyut indirgeme, özellik seçme vb. işlemler yapılmaktadır. Bu aşamadaki maliyeti azaltmak için özelliklere olan bağımlılıktan kurtulmak gerekmektedir. Sınıflandırıcılar ve diğer tahmin sistemlerini tasarlarlarken, yapay zekâ ile veriden faydalı bilgiyi (özellik) çıkarmak daha kolay ve az maliyetli olacaktır[3]. Bu bağlamda derin öğrenme konusu temsili öğrenme ile çok sıkı ilişkilidir. Derin öğrenme algoritmaları özellikle 2005 yılından sonra birçok farklı alana uygulanmıştır[4] [5] [6].

Geleneksel olarak araç üzerinde bulunan sinyal alıcı-verici ile gerçekleştirilen araç tanıma sistemleri görüntü işleme yöntemlerinde yaşanan gelişmeler ile birlikte plaka tanıma sistemlerine evrilmiştir. Derin Öğrenme modelleri ile birçok alanda görüntü işleme çalışmaları bulunmaktadır [7] [8]. Görüntü işlemede çok sayıda görüntü ile eğitilen derin öğrenme modelleri sonrasında verilen bir görüntü üzerinde gerçekleşecek işlemleri yüksek bir başarı oranı ile gerçekleştirebilmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen plaka tanıma sisteminin ilk aşamasında giriş görüntüsü üzerinde plaka lokasyonunun tespiti için Bölgesel Tabanlı evrişimli sinir ağı kullanılmıştır (R-CNN). Tasarlanan R-CNN mimarisi ile test seti üzerinde plaka lokasyonu tespitinde %95 başarı oranı elde edilmiştir. Belirlenen plaka lokasyonları içerisinde plaka okuma işleminin gerçekleştirilmesi geleneksel görüntü işleme teknikleri ile yapılmıştır. Renkli olarak elde edilen plaka görseli gri skalaya ardından binary görüntüye çevrilmiş ve bir dizi görüntü işleme tekniği kullanılarak tespit edilen plaka lokasyonları içerisinde %97 doğruluk oranı ile plaka okuma işlemi gerçekleştirilmiştir.

## **II. LİTERATÜR TARAMASI**

Christian Gerber ve Mokdong Chung’ın 2016 yılında yayınladıkları makalede evrişimli sinir ağı kullanarak mobil cihazlar için araç plaka tanıma sistemi geliştirmişlerdir. 88 resim üzerinden test sonuçlarında % 91,25 başarı elde etmişlerdir [9].

M. M. Shaifur Rahman, çalışmasında evrişimli sinir ağı kullanarak plaka karakter tanıma işlemi gerçekleştirmiştir. 1725 karakter ile evrişimli sinir ağını eğitmiştir. İterasyon (epoch) sayısını değiştirerek nihai hata değerini gözlemlemiştir [10].

Kai Tang, 2018 yılında klasik görüntü işleme teknikleriyle ve derin öğrenme modellerinden olan R-CNN, Fast R-CNN ile plaka tanıma işlemi gerçekleştirmiş ve elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır [11].

Lele Xie, Tasweer Ahmad ve Lianwen Jin 2018 yılında yayınladıkları makalede derin öğrenme modellerinden Faster R-CNN ve YOLO ile plaka tanıma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Eğitim için 2049 görüntü kullanılmıştır. Faster R-CNN ile % 85 başarı, YOLO ile % 97 başarı elde edilmiştir [12].



Naaman Omar ve arkadaşları çalışmalarında Fast RCNN ile trafik gözetimi, trafik güvenliği, güvenlik, hizmet amaçları ve park yönetimi için gerçek zamanlı araç plaka sistemi geliştirmişlerdir. Test aşamasında 100 plaka görüntüsünden % 97'lik bir doğruluk oranı elde etmişlerdir [13].

Puarungroj, Wichai ve Boonsirisumpun, Narong çalışmalarında tek satırlık bir plakadan farklı olarak, iki aşamalı bir eğitim yaklaşımı ve derin öğrenme (MobileNets ve Inception-v3) modelleri kullanmışlardır. İlk olarak her bir plakanın 3 hattını bölümlere ayırarak ve eğitmişlerdir. İkinci adımda, tabaktaki Tay harfleri ve sayıları bölümlere ayrılmış ve eğitilmiştir. Test sonuçlarında doğruluk oranı sırasıyla % 96.94 ve % 91.76 bulunulmuştur [14].

Emre ÇAMAŞIRCIOĞLU, YSA ve görüntü işleme teknikleri kullanarak araç plaka tanıma sistemi geliştirmiştir. Bu uygulamada plaka konumu klasik YSA kullanılarak bulunmuş, eğik düzensiz görseller için radon dönüşümü kullanılmıştır. Karakter tanıma işleminde aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır [15].

İsmail IRMAKÇI, çalışmasında öncelikle görüntüye önışlem uygulamış, görüntüden plaka çıkarımı için morfolojik görüntü işleme teknikleri uygulanarak köşelerin kapladığı en küçük dörtgen bölge görüntüden çıkarılmıştır. Çıkarılan bölgeye tekrar önışlemler uygulandıktan sonra bölge tekrar karakter ayırıştırma sisteminde yatay ve düşey taramaya sokulmuştur. Son olarak karakterlerin tanınmasında yapay sinir ağı kullanılarak plakaların ASCII kodu tespit edilmiştir [16].

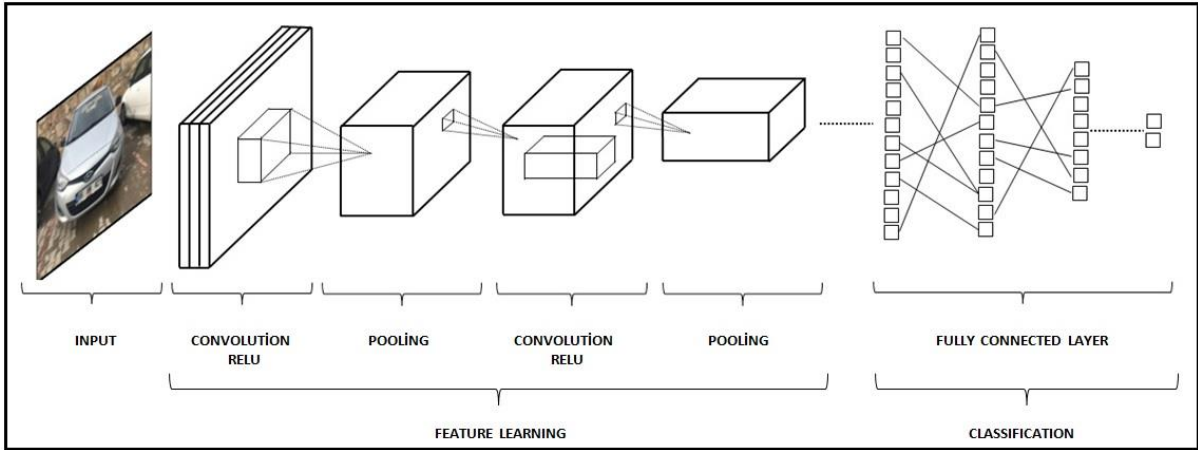
Naga Surya Sandeep Angara, yapılan çalışmasında derin öğrenme yöntemleri kullanılmıştır. Kesilmiş plaka sinir ağına sokularak karakterleri bulunmuştur. Bulunan karakterler görüntü işleme teknikleri ile tanınmıştır. Sinir ağının eğitimi sırasında aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU fonksiyonu kullanılmıştır. Ağ Eğitimi için 9324 veri, test için 2318 veri kullanılmıştır [17].

Hogne Jongensen, çalışmasında R-CNN, CNN, ve YOLO ile araç plaka konumunu belirlemiş ve % 98,9 başarı elde etmiştir. Ağ eğitimi için 30 adet katmanla yapılmış ve eğitim için 410 adet, test için 100 araç plaka görüntüsü kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu ReLU fonksiyonuyla çalışmıştır [18].

Ali BAKKALOĞLU, yapılan çalışmasında görüntü işlem teknikleri kullanarak hareketli araçlardan alınan 640x480 boyutundaki görüntüler üzerinde araç plaka tanıma işlemi yapmıştır. Test için 1500 görüntü kullanılmıştır. Bazı kenar bulma filtreleri kullanılmış ve OTSU'nun metodu ile gri tonlu görüntüden siyah beyaz görüntüye dönüşüm için eşik değeri hesaplamaları yapılmıştır [19].

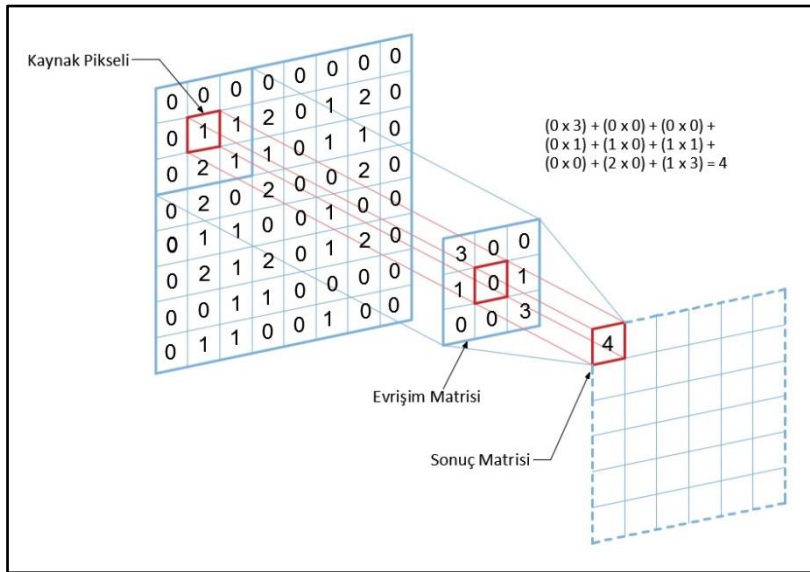
### **III. EVRİŞİMLİ SİNİR AĞLARI (CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK)**

Hayvan görsel korteks yapısından esinlenilerek tasarlanan Evrişimli sinir ağları (ESA) bir çeşit yapay sinir ağı mimarisidir [20]. Geleneksel yapay sinir ağı mimarilerinde her bir sinir hücresi bir sonraki katmanda bulunan her bir sinir hücresi ile bağlantılı şekilde çalışırken ESA'da ağırlık paylaşımı yapıldığından parametre sayısı ve işlem yükü klasik yapay sinir ağlarına göre ciddi oranda azaltılmaktadır. Bu özellikleri ile ESA mimarisi bilgisayarlı görü alanında geleneksel yöntemlerden çok daha etkili olmuş ve daha iyi performans sergilemiştir. ESA Nesne algılama, görüntü işleme, segmentasyon, doğal dil işleme, video analizi gibi birçok alanda başarılı sonuçlar vermektedir [21]. Şekil 1'de görüleceği üzere ESA mimarisi evrişim (convolution), ortaklama (pooling), aktivasyon ve sınıflandırmanın yapıldığı tam bağlantılı katmanlardan (fully connected layers) oluşmaktadır.



Şekil 1. Evrişimli Sinir Ağı.

Dijital görüntüler, belirli sayısal değerlere karşılık gelen piksellerden oluşmaktadır. ESA'da dijital görüntüler üzerinden özellik çıkarma işlemi görüntü üzerinde iki boyutlu filtrelerin evrişim (convolution) işlemine tabi tutulmasıyla gerçekleşmektedir. Görüntü üzerinden çıkarılacak olan özellikler; renk tonu, ışık açısı, şekil, boyut vb. olabilir. Şekil 2'de 8x8 boyutundaki giriş görüntüsü üzerine 3x3'lük filtre matrisi ile evrişim işlemi uygulanmıştır. Filtre matrisi giriş görüntüsü üzerinde belirli bir adım büyüklüğü ile ilerlerken karşılıklı olarak eşleşen piksellerin çarpımlarının toplamı alınarak evrişim işleminin sonucu sonuç matrisine yazılır. Evrişim işleminin matematiksel ifadesi aşağıda eşitlik 1'de gösterilmektedir. Giriş görüntüsü  $f$  ile filtre matrisi  $h$ 'ın evrişim işlemi sonucu olarak  $G$  sonuç matrisi elde edilmiştir.



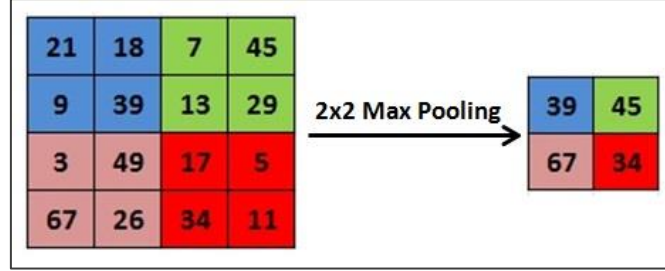
Şekil 2. Evrişim İşlemi.

$$G[m, n] = (f * h)[m, n] = \sum_j \sum_k h[j, k] f[m - j, n - k] \quad (1)$$

ESA'da her evrişim katmanından sonra bir aktivasyon katmanı bulunmaktadır. Yapay sinir ağlarında aktivasyon fonksiyonunun kullanılmasının nedeni sistemi doğrusallıktan çıkarmaktır. ESA'da en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından biri ReLU fonksiyonudur. Aşağıda denklem 2'de verilen ReLU fonksiyonu hızlı türevlenebilir bir aktivasyon fonksiyonu olması dolayısıyla derin yapay sinir ağlarında sıkça tercih edilmektedir. ReLU fonksiyonu girişinin 0'dan küçük ve eşit olduğu durumlarda çıkış değeri olarak 0 değerini üretirken diğer durumlarda giriş değerini çıkışa aktarır.

$$ReLU(x) = \max(x, 0) \quad (2)$$

ESA'da evrişim ve aktivasyon (ReLU) katmanından sonra ortaklama (pooling) katmanı bulunmaktadır. Ortaklama katmanının kullanılmasının nedeni parametre sayısını azaltarak aşırı öğrenmenin önüne geçmek ve işlem yükünü azaltmaktır. Bu durum giriş özellik sayısının oldukça fazla olduğu görüntü işleme problemlerinde istenen bir durumdur. Şekil 3'de 2x2 boyutunda bir filtre ile maksimum ortaklama işleminin gerçekleştirilmesi gösterilmektedir. Şekil 4'te 2x2'lik filtre ile ortaklama yapılan görselin boyutu küçülürken kabaca özelliklerini koruduğu görülmektedir.



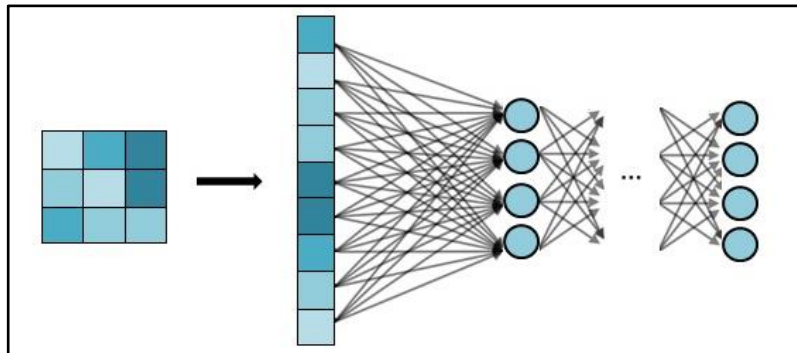
Şekil 3. Maksimum Ortaklama İşlemi.



Şekil 4. 2x2 Boyutunda Bir Filtre ile Maksimum Ortaklama.

ESA'da çıkarımın yapıldığı katman tam bağlantılı katman olarak adlandırılır. Şekil 5'te görüldüğü gibi evrişim, ReLU ve ortaklama katmanlarının son çıkışı olan iki boyutlu özellik haritası sütun matrisine dönüştürülerek sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Tam bağlantılı katmanda her bir sinir hücresi bir sonraki katmandaki tüm sinir hücresi ile ilişkilidir. Tam bağlantılı katmanın çıkışında sınıf değerlerini belirginleştirmek için genellikle softmax fonksiyonu kullanılmaktadır. Denklem 3'te softmax fonksiyonu görülmektedir. Softmax fonksiyonunun çıkışı 0 ile 1 arasında değişen bir olasılık değeri vermektedir.

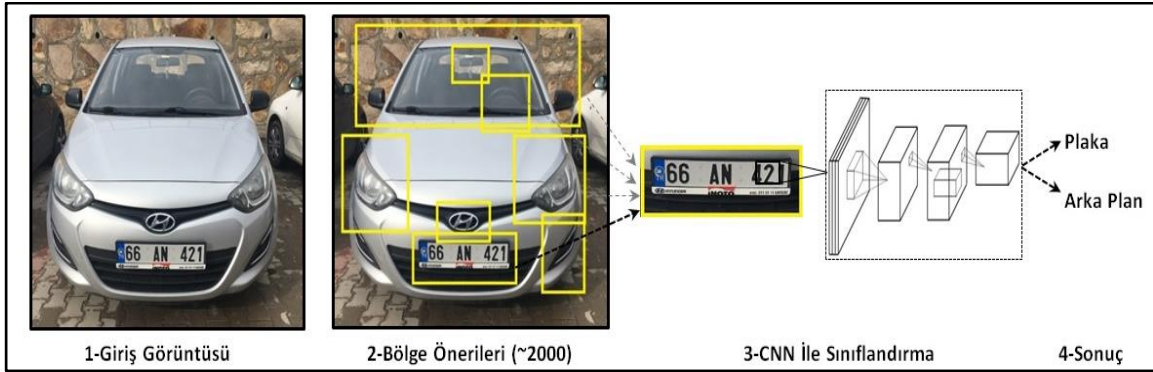
$$softmax(x_i) = \frac{exp(x_i)}{\sum_j exp(x_j)} \quad (3)$$



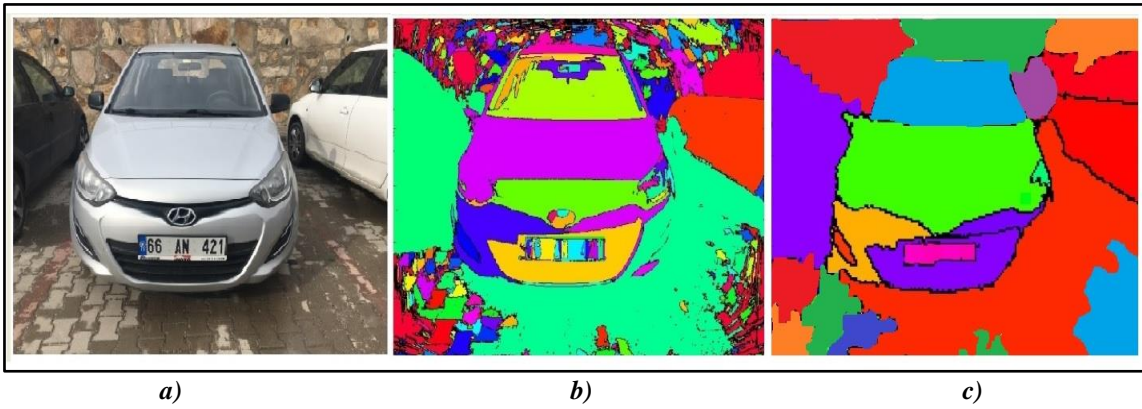
Şekil 5. Tam Bağlantılı Katman.

## A. BÖLGESEL TABANLI EVRİŞİMLİ SİNİR AĞLARI (R-CNN)

R-CNN verilen bir giriş görüntüsü üzerinde çıkarılan bölge önerilerini (~2000 bölge) sınıflandırarak, sınıflandırma problemini bir nesne tespit problemine dönüştürmüş olur [22]. R-CNN’de giriş görüntüleri üzerinden bölge seçme işlemi bir seçici arama (selective search) algoritması ile gerçekleştirilmektedir. Seçici Arama algoritmasında şekil 6 a’da görülen giriş görüntüsü şekil 6 b’de görüldüğü gibi bölgeler oluşturmak için alt segmentasyonlara ayrılır. Son olarak renk benzerliği, doku benzerliği, boyut benzerliği ve şekil uyumluluğuna bakılarak benzer bölgeler bir greedy algoritması ile belirli bir iterasyonla birleştirilerek şekil 6 c’deki nihai segmentasyon elde edilir. Nihai segmentasyona göre belirlenen bölgeler bölge önerisi olarak ESA’da sınıflandırılır [23].



Şekil 5.R-CNN Çalışması.



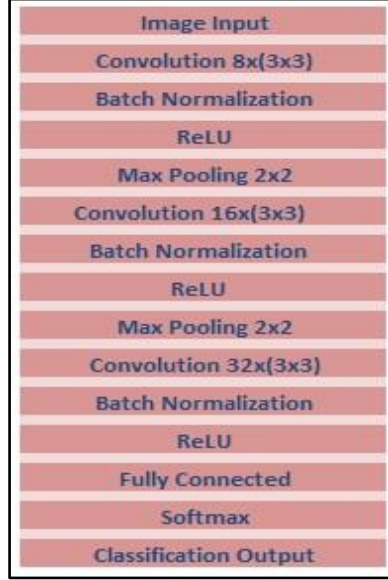
Şekil 6. Görüntü Segmentasyonu.

## IV. PLAKA TANIMA SİSTEMİ

Bu çalışmada gerçekleştirilen plaka tanıma sistemi çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak giriş görüntüleri üzerinde R-CNN ile plaka lokasyonları belirlenirken ikinci aşamada belirlenen lokasyondaki plakanın geleneksel görüntü işleme yöntemleri kullanılarak okunması gerçekleştirilir. Çalışmada 550 adet görüntüden oluşan veri setinin 450 adedi R-CNN eğitimi için kullanılırken 100 adedi test işlemleri için kullanılmıştır.

### A. PLAKA LOKASYONU BELİRLEME

Şekil 7’de plaka tanıma sisteminin ilk aşaması olan plaka konum tespiti için kullanılan R-CNN mimarisi görülmektedir. Mimaride sırasıyla 8, 16 ve 32 adet 3x3 boyutunda filtrelerle gerçekleştirilen evrişim katmanlarını, normalizasyon katmanları, ReLU katmanları ve 2x2 filtre ile gerçekleştirilen maksimum ortalama katmanları takip etmektedir. Tasarlanan mimaride giriş katmanı dâhil toplam 15 adet katman bulunmaktadır.



Şekil 7. R-CNN Mimarisi.

Aşağıda şekil 8’de eğitimi tamamlanmış olan R-CNN modelinin test seti içerisindeki bir görüntü üzerinde elde ettiği sonuç görülmektedir. İlgili görüntü üzerinde model plaka lokasyonunu başarılı bir şekilde tespit etmiştir.



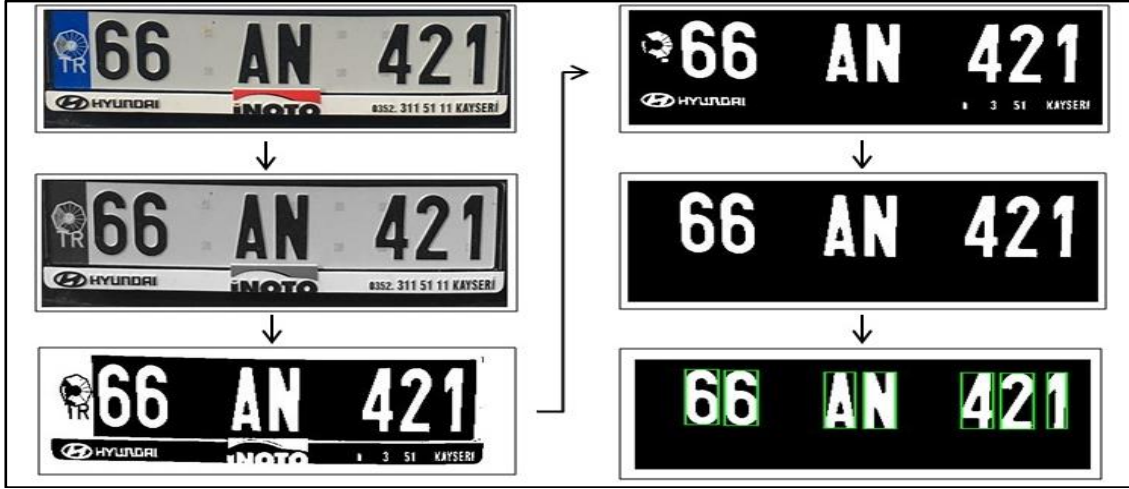
Şekil 8. R-CNN ile bulunan plaka konumu.

## B. PLAKA OKUMA

### B. 1 Plaka Karakterlerinin Çıkarılması

Plaka lokasyonunun tespitinden sonra Şekil 9’da görüleceği üzere plaka görüntüsü giriş görüntüsü üzerinden kesilip alınarak 240x360 piksel boyuta indirgenmiş ve çeşitli görüntü işleme teknikleri ile

karakterlerine ayrıştırılmıştır. Burada ilk olarak RGB (Red-Green-Blue) olarak alınan görüntü, gri skala görüntüye çevrilmiş ardından otsu metoduyla otomatik olarak 0-1 arasında belirlenen threshold değeriyle binary görüntüye dönüştürülmüştür [24]. Daha sonra 550 piksel büyüklüğünden küçük nesnel görüntü içerisinde temizlenmiş ve görüntü üzerinde sadece plaka karakterleri kalmıştır.



Şekil 9. Tespit Edilen Plaka Görselinin Görüntü İşleme Teknikleri İle Karakterlere Ayrılması.

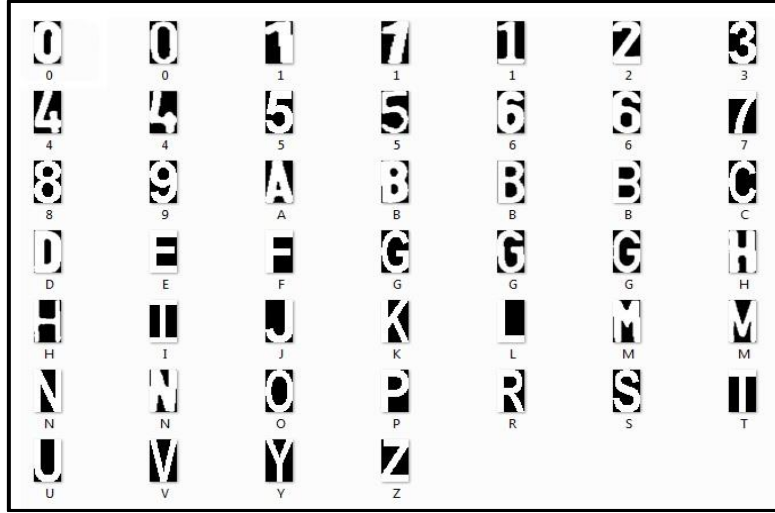
## B. 2 Plaka Karakterlerinin Okunması

Korelasyon, iki ya da daha çok sayıda sürekli değişken arasındaki ilişkiyi göstermekte, ilişki miktarı ise korelasyon katsayısı ile belirlenmektedir. Bu çalışmada plaka karakterlerini okumak için istatistiksel korelasyon katsayısı olarak bilinen Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır. İki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesini belirleyen korelasyon katsayısı,  $r$  ile gösterilmektedir [25]. Pearson korelasyon katsayısı hesabı aşağıda denklem 4'te gösterildiği gibidir;

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / (n-1)}{s_x s_y} \quad (4)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (5)$$

Şekil 9'daki karakterlere indirgenmiş plaka görüntüsünden alınan karakterler ile şekil 10'daki harf ve rakamlardan oluşan karakterler arasındaki korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Denklem 4'teki korelasyon katsayısı ( $r$ ) +1 ile -1 arasında değişmektedir. Eğer korelasyon katsayısı +1'e yakınsa karakterler arasında ilişki yüksektir, katsayı değeri -1'e yakınsa bir ilişki yoktur. Korelasyon hesabındaki ana amaç plaka karakterleri ile şekil 10'daki karakterler arasındaki benzerliğin belirlenmesidir. Örneğin şekil 9'daki plaka görselinin ilk karakteri 6 ile şekil 10'daki 46 karakterin her biri ile ayrı ayrı korelasyon katsayısı hesabı yapıldıktan sonra en yüksek katsayıya sahip karakterin indeks değeri sonuca yansımaktadır. Bu işlem plaka karakterlerinin her biri için sırasıyla uygulanmaktadır.



*Şekil 10. Korelasyon İşlemine Alınan Harf ve Rakamlar.*

## V. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada sonuçların değerlendirilmesi ve başarı hesabı çalışmanın iki ayrı aşaması için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Test seti üzerinde plaka lokasyonu tespitinde %95 başarı oranına ulaşıırken belirlenen plaka lokasyonlarından plaka okuma işleminde %97'lik bir başarı oranına ulaşılmıştır.

*Tablo 1. Performans Kriterleri.*

Eğitim Veri Seti Görüntü Sayısı	450	
Test Veri Seti Görüntü Sayısı	100	
	Doğruluk (%)	Hata Oranı (%)
Plaka Lokasyon Bulma	95	5
Plaka Okuma	97	3

## VI. SONUC

Yapay zekâ yöntemleri görüntü sınıflandırma, nesne algılama, tıp, doğal dil işleme gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde görüntü işleme teknikleri kullanılan araç plaka tanıma sistemleri; trafik kontrolü, toplu konut giriş çıkışları, sınır bölgeleri, üniversiteler ve otoparklar gibi birçok yerde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, evrişimli sinir ağı modellerinden R-CNN modeli kullanılarak araç plaka tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan 550 adet araç görüntüsünden oluşan veri setinin 450 adedi eğitim 100 adedi test işlemlerinde kullanılmıştır. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir; ilk aşamada tasarlanan R-CNN'in 450 adet görüntü ile eğitimi gerçekleştirilerek test seti üzerinde plaka lokasyonu tespiti gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada doğru olarak tespit edilen plaka lokasyonları üzerinden plaka okuma işlemi gerçekleştirilmiştir.

İleride yapılacak çalışmalarda bölüm 3'te verilen doğruluk oranı ve algoritma hızını artırmak için Fast-RCNN ve Faster RCNN gibi evrişimli sinir ağı modellerinin yanı sıra YOLO gibi farklı modellerin denenmesi düşünülmektedir. Ayrıca eğitim için kullanılan veri setinin artırılması da yine başarı oranının artmasına katkı sağlayacaktır.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] Yann le Cunn, "A theoretical framework for Back-Propagation," *Connect. Model. Summer Sch.*, no. 22–21, 1988, Accessed: Jan. 20, 2021. [Online]. Available: <http://yann.lecun.org/exdb/publis/pdf/lecun-92b.pdf>.
- [2] C. Hacıoğlu, "Derinlikli Öğrenme Kullanılarak Konuşmadan Uykululuk/uykusuzluk Tespiti," Yüksek Lisans Tezi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [3] S. Zhou, Q. Chen, and X. Wang, "Convolutional deep networks for visual data classification," *Neural Process. Lett.*, vol. 38, no. 1, pp. 17–27, 2013.
- [4] A. Şeker, A. Diri ve H. Balık, "Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme" *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 3, s. 3, ss. 47-64, 2017.
- [5] J. Schmidhuber, "Deep learning in neural networks: An overview," *Neural networks*, vol. 61, pp. 85-117, 2015.
- [6] A. Voulodimos, A. Doulamis, N. Doulamis and E. Protopapadakis, "Deep learning for computer vision: A brief review," *Computational intelligence and neuroscience*, 2018.
- [7] Ö. İnik, E. Ülker, "Derin öğrenme ve görüntü analizinde kullanılan derin öğrenme modelleri," *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, c. 6, s. 3, ss. 85-104, 2017.
- [8] T. H. Chan, K. Jia, S. Gao, J. Lu, Z. Zeng and Y. Ma, "A simple deep learning baseline for image classification?," *IEEE transactions on image processing*, vol. 24, no. 12 , pp. 5017-5032, 2015.
- [9] C. Gerber and M. Chung, "Number plate detection with a multi-convolutional neural network approach with optical character recognition for mobile devices," *J. Inf. Process. Syst.*, vol. 12, no. 1, pp. 100–108, 2016.
- [10] M. S. Rahman, M. S. Nasrin, M. Mostakim, and M. Z. Alom, "Bangla License Plate Recognition Using Convolutional Neural Networks (CNN)," 2019, arXiv:1809.00905.
- [11] K. Tang, "Chinese license plate recognition," Master thesis, Department of Electrical Engineering, University at Buffalo, New York, USA, 2018.
- [12] L. Xie, T. Ahmad, L. Jin, Y. Liu, and S. Zhang, "A new CNN-based method for multi-directional car license plate detection," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 19, no. 2, pp. 507–517, 2018.
- [13] N. Omar, A. Mohsin Abdulazeez, A. Sengur, and S. G. Saeed Al-Ali, "Fused faster RCNNs for efficient detection of the license plates," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 19, no. 2, p. 874, 2020.
- [14] W. Puarungroj and N. Boonsirisumpun, "Thai license plate recognition based on deep learning," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 135, pp. 214–221, 2018.
- [15] E. Çamaşıroğlu, "Araç Plakası Algılama ve Tanıma," Yüksek Lisans Tezi, Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.



- [16] I. Irmakçı, "Otomatik araç plaka tanıma sistemi," Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2008.
- [17] N. S. S. Angara, "Automatic License Plate Recognition Using Deep Learning Techniques," Master's thesis, Department of Electrical Engineering, The University of Texas at Tyler, Texas, USA, 2015.
- [18] H. Jørgensen, "Automatic License Plate Recognition using Deep Learning Techniques," Master's thesis, Master of Science in Computer Science, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway 2017.
- [19] A. Bakkaloğlu, "Araç Plaka Tanıma Sistemi," Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2011.
- [20] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks," *Advances in neural information processing systems*, vol. 25, pp. 1097-1105, 2012.
- [21] F. G. Tan, A. S. Yüksel, E. Aydemir ve M. Ersoy, "Derin öğrenme teknikleri ile nesne tespiti ve takibi üzerine bir inceleme," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 25, ss. 159-171, 2021.
- [22] R. Girshick, "Fast r-cnn," *In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, pp. 1440-1448, 2015.
- [23] J. R. Uijlings, K. E. Van De Sande, T. Gevers and A. W. Smeulders, "Selective search for object recognition," *International journal of computer vision*, vol. 104, no. 2, pp. 154-171, 2013.
- [24] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.
- [25] S. Şengin ve Z. Aşan, "Bulanık mantıkta korelasyon katsayısı; meteorolojik olaylarda bir uygulama," *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 20 s. 1, ss. 151-161, 2007.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Geliştirilen İkincil Dönel Eksenli Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Yüze Yantı Yöntemi İle Analizi

 Oktay ADIYAMAN <sup>a,\*</sup>,  Fikret SÖNMEZ <sup>b</sup>,  Vedat SAVAŞ <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Makine ve İmalat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Makine Mühendisliği, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Makine Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: oktay.adiyaman@batman.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.994072

### ÖZET

“İkincil dönel eksenli taşlama yöntemi (GMASRA)”, son yıllarda düzlem yüze taşlama işleminde kullanılmaya başlanan yenilikçi bir yöntemdir. Klasik taşlama yönteminin aksine GMASRA yönteminde aynı anda iki farklı eksenle taşın dönme hareketi mevcuttur. Birinci dönme hareketi, klasik taşlama yöntemindeki taşın çevresel dönme hareketidir. İkinci dönme hareketi ise yeni eklenen ikinci dönme hareketi olan taşın eksenine dik yönde bir eksen etrafında dönme hareketidir. GMASRA yönteminde, klasik taşlama yöntemine göre, hem yüze pürüzlülüğünde daha küçük değerler elde edilmekte hem de birbirine yakın yüze pürüzlülüğü değerleri her yönde elde edilebilmektedir. Bu yöntemde işleme parametrelerinin yüze pürüzlülüğü üzerine etkisinin ve işlem parametreleri ile ilişkisinin analiz edilmesi önemlidir. Bu çalışmada bu amaca yönelik yüze yantı yöntemi ile farklı modeller geliştirilmiş ve yüze pürüzlülüğü üzerine işlem parametrelerinin etkisi analiz edilmiştir. İşlem parametreleri olarak üç farklı taş cinsi (NK36P5V, NK46O5V, NK60N5V), üç farklı talaş derinliği (0,01, 0,02 ve 0,03 mm), üç farklı fener mili devri (80, 160, 240 dev/dak), 2 farklı yanal kayma miktarı (4, 8 mm) seçilmiş ve taşlama işlemi sonucu yüze pürüzlülükleri ölçülmüştür. Sonuçta, problemin çözümü için oluşturulan altı yüze yantı modelin başarı ile kullanılabilmesi ve tutarlı sonuçlar üretebileceği görülmüş, yüze pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkinin fener mili devri ve talaş derinliği olduğu tespit edilmiştir. Yüze pürüzlülük değerlerinde, fener mili devrinin artması ile azalma, talaş derinliğinin artması ile artma gözlenmiştir. Artan yanal kayma miktarlarında bu etkinin yönünün talaş derinliğine doğru evrildiği de ayrıca görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yüze yantı yöntemi, Yüze pürüzlülüğü, Taşlama, ANOVA

## Analysis of Grinding Process with Response Surface Method in Grinding Mechanism Having Advanced Secondary Rotational Axis

### ABSTRACT

The “Grinding Mechanism having Advanced Secondary Rotational Axis (GMASRA)” is an innovative method that has been applied in plane surface grinding in recent years. Unlike conventional grinding methods, in GMASRA, there are two rotations of a wheel at the same time. In the GMASRA method, both the surface roughness values are smaller than the classical grinding method and the surface roughness values close to each other can be obtained in all feed directions. In this study, different models were developed with the response surface method and the effect of grinding parameters on the surface roughness was analyzed. Three different wheel types (NK36P5V, NK46O5V, NK60N5V), three different depth of cuts (0.01, 0.02, and 0.03 mm), three different spindle speeds (80, 160, and 240 rpm), two different stepovers (4 and 8 mm) were selected as process

parameters and surface roughness was measured as a result of grinding. As a result, it was seen that the six response surface method models created for the solution of the problem could be used successfully and produced consistent results, and it was determined that the biggest effect on the surface roughness was the spindle speed and the depth of cut. It was observed that the surface roughness values decreased with the increase of the spindle speed and increased with the increase of the depth of cut. It has also been observed that the direction of this effect evolves towards the depth of cut with increasing sepever.

*Keywords: Response surface method, Surface roughness, Grinding, ANOVA*

## **I. GİRİŞ**

Taşlama işlemleri talaşlı imalatta yüzey bitirme işlemi olarak kullanılan ve ölçü tamlığı istenen yerlerde tercih edilen bir yöntemdir [1]. Taşlama işleminde uygulanan yöntem, freze çakılarına kullanılan kesici uçlara benzer küçük tanecikler ile elde edilmektedir. Mikro düzeydeki bu taneciklerin çok sayıda olması ve her taneciğin parça üzerinden talaş koparması ile oluşan kesme işlemi ile yüzeyler üzerinde temiz, ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) az, tornalama ve frezelemeye göre daha düzgün yüzeyler elde edilmektedir [2]. İmalatta, taşlama tekniği en önemli yüzey bitirme yöntemidir ve yüzey işleme işlemlerinin yaklaşık %70 i bu teknikle icra edilmektedir [3].

Taşlama işlemi ile ilgili yapılan çalışmaların iki ana başlıkta toplandığı görülmektedir. Deneysel model ve analitik model olarak tanımlanan bu sınıflandırmada analitik model kendi içinde istatistiksel yaklaşım, enerji yaklaşımı ve fiziksel (şekilsel) esaslı yaklaşım olarak alt alanlara ayrılmaktadır [4].

Deneysel model yaklaşımı, deneysel olarak yapılan çalışmalarda elde edilen verilerin ve ölçülmüş değerlerin analiz edilmesi ve yorumlanması ile oluşmaktadır. Özet olarak verilerin, uzman sistemlere entegre edilmesidir. Geliştirilen bu uzman sistemler, bir bilgi tabanında ele alınan ve kurgulanan bir etki alanı ile ifade edilir [5]. Analiz programlarının ve bilgisayar teknolojisinin gelişimine paralel olarak uzman sistemler ile yazılımsal analizler birçok taşlama uygulamasında oldukça büyük oranda kullanılmaya başlanmıştır [6]. Deneysel model yaklaşımında ayrıca farklı yöntem ve tekniklerin kullanımı ve geliştirilmesine yönelikte çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür.

Warkentin ve diğ. [7] yaptıkları çalışmada, düzlem yüzey taşlama işleminde taş üzerinde yiv şeklinde kanallar açmış ve yüzeyleri taşlamışlardır. Taşın malzeme yüzeyi ile temas eden yüzeyine sivri uçlu bir elmas ile değişik adımlarda kanallar açılmıştır. Çalışma sonucunda yivli taşların iki kata kadar daha fazla talaş hacmi elde ettiği ve güç olarak ta %61 oranında bir tasarruf sağladığı gözlenmiştir. Ra değerleri açısından yivli taş ile elde edilen Ra değerlerine, yivsiz taştaki ile 3 kat daha fazla talaş derinliğiyle ulaşıldığı görülmüştür. Suzuki ve diğ. [8], Ra değerlerini düşürmek ve yüzeyde meydana gelen mikro çatlak ve ısıl deformasyonun giderilmesi için helisel taramalı taşlama (HSG) diye isimlendirilen bir taşlama yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemin Ra açısından klasik silindirik taşlamaya göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Savaş ve Özay [9,10] teğetsel tornalama-frezeleme olarak tanımladıkları yeni bir frezeleme yöntemi geliştirmiş, bu yeni işlemede kesme parametrelerinin Ra'ya etkisini araştırmış ve optimum kesme şartlarını belirlemişlerdir. Sonuç olarak iş parçası Ra değerlerinin taşlama işlemindeki değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir. Düzlemsel parçaların işlenmesinde klasik düzlem yüzey taşlama yöntemi yanında alternatif başka bir çalışmada ise Ohmori ve diğ. [11] kesici taş olarak silindirik disk şeklinde manyetik bantlı bir parlaticı disk kullanmışlardır. Bu yöntemde parlaticı disk manyetik etki sonucu temas ettiği parçanın yüzeyini polisaj işlemine tabi tutmuşlardır. Çalışma yüzey kalitesi yönünden tatmin edici olsa da sistem maliyetinin yüksekliği dezavantaj oluşturmuştur.

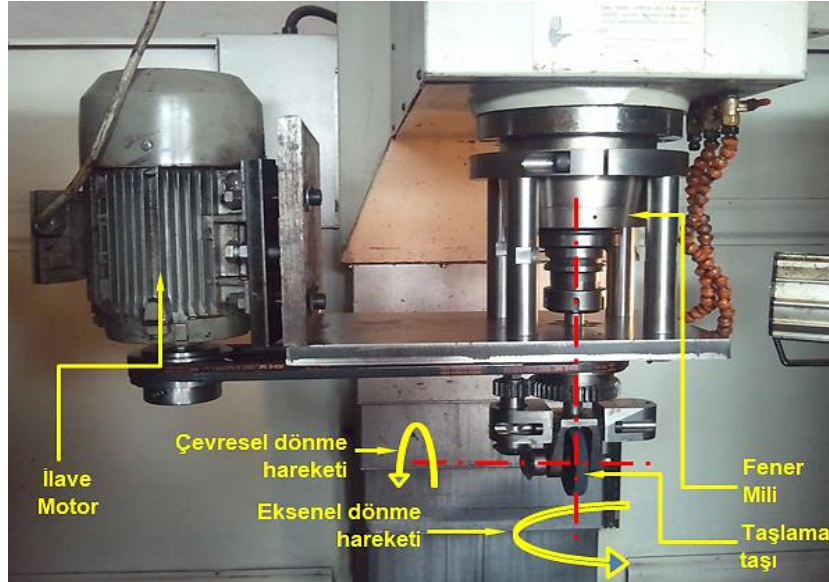
Taşlama işlemleri üzerine farklı analiz yöntemleri kullanılarak araştırmalar yapılmış ve bu işlemler modellenmiştir. Jae-Seab ve diğ. [12] silindirik taşlama yönteminde Ra ve taşlama kuvvetlerini araştırmak için yüzey yanıt yöntemini (YYY) kullanmışlardır. Sertleştirilmiş SCM440 çeliğinin taşlanması ile elde edilen modelin uygun işleme parametrelerinin elde edilmesinde yardımcı

olabileceğini tespit etmişlerdir. Silindirik iç taşlamada Ra değerlerini düşürmek amacıyla Krajenik ve arkadaşları [13] YYY ile en iyi seviyelerin tespit edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Günay ve diğ. [14] araç motorlarındaki subap hareketini sağlayan kam makaralarına silindirik taşlama işlemi uygulayarak Ra'nın iyileştirilmesi için 2k faktöriyel deney tasarımı metodolojisini kullanmışlardır. Taguchi metoduyla grafit ve soğutucu yardımıyla Ra'nın incelenmesi [15], Taguchi ve ikil (dual) yanıt yöntemiyle yüzey hatalarının azaltılması [16], Ra'nın düşürülmesi, yüzey bozulmalarının azaltılması ve daha iyi talaş kaldırma oranları elde etmek için taşlama işleminde genetik ve sezgisel algoritmanın kullanımı [17], yapay sinir ağı ve yüzey yanıt yöntemi kullanılarak rulman çeliklerinin taşlanmasında en iyi girdi parametrelerinin tespit edilmesi [18] gibi çalışmalar da yapılmıştır.

Yapılan literatür taramasında çalışmaların klasik taşlama yöntemini kapsadığı, buna karşılık ikincil eksenli taşlama yöntemi ile ilgili yapılan çalışmaların nadir olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, geliştirilen ikincil eksenli taşlama yöntemi ile ilgili daha önce yapılan çalışmaların devamı olarak farklı özellikteki taşlarla, farklı taşlama parametrelerinin Ra üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla YYY modellemesi ile Ra ve deney parametreleri arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Ayrıca sistem üzerinde en etkin parametrelerin tespit edilmesi için de modelleme çalışması yapılmıştır. Böylece geliştirilen yeni taşlama yöntemi ile klasik yöntem arasında benzerliklerin veya farklılıkların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## **II. MATERYAL VE METOT**

GMASRA, son yıllarda geliştirilen bir düzlem yüzey taşlama yöntemidir. Bu yöntemde klasik yöntemdeki taşın radyal hareketine (çevresel dönme hareketi) ek olarak taş eksenine dik yönde ikinci bir eksen hareketi (eksenel dönme hareketi) ilave edilmiş ve taşlama işlemi bu iki hareketin eş zamanlı dönmesi ile elde edilmiştir (Şekil 1) [19],[20],[21].



*Şekil 1. İkincil eksenli düzlem yüzey taşlama yöntemi ve eksenler [19],[20],[21].*

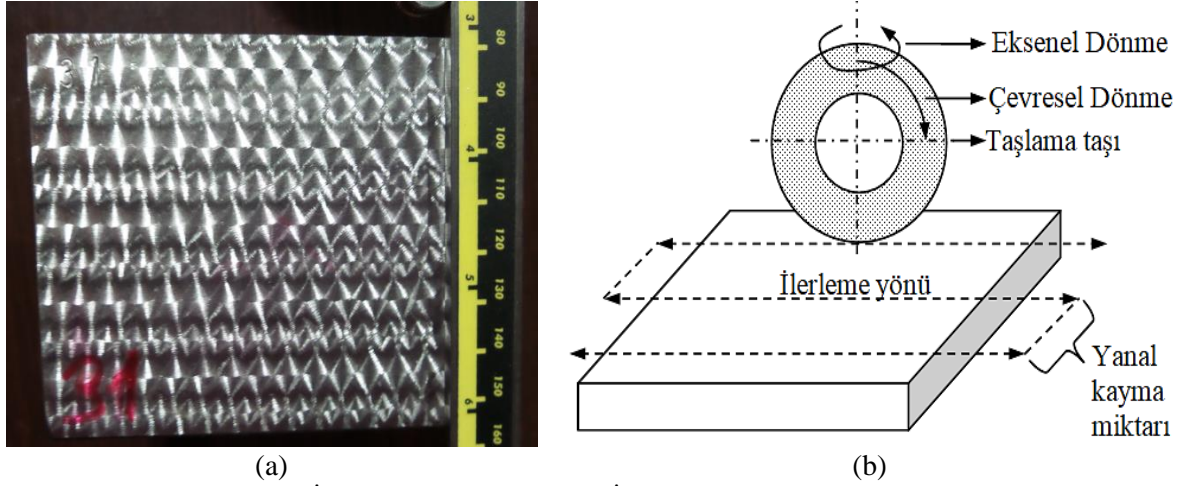
### **A. DENEY DÜZENEĞİ**

Bu çalışmada, geliştirilen yeni tip yüzey taşlama yöntemi ile St37-2 (DIN) yapısal çelik plakalar kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal kompozisyon Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Taşlanan çelik plaka standart ve kimyasal özellikleri.

Standartlar					
DIN Eski	DIN Yeni	TSE EN 10025:2			
St37-2		S235JR			
İçerik (%)					
C	Mn	P	S	N	Cu
0,19	1,5	0,045	0,045	0,014	0,6

Çelik plakalar öncelikle 100mm x 80mm x 10mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarına getirilmiş (Şekil 2a) ardından 4 mm ve 8 mm'lik yanal kayma miktarları ile taşlanmıştır (Şekil 2b).



**Şekil 2.** (a) İşlenen deney numunesi (b) İşlem şekli ve yanal kayma miktarı.

Taşlama işlemlerinde titreşim ve balans problemlerinin olmaması için küçük çaplı taş tercih edilmiş ve bu amaçla taşlama taşı çapı 75 mm, genişliği 16 mm ve delik çapı 20 mm olarak seçilmiştir. Tüm taşlar aynı üreticiden (Karbosan) temin edilmiş olup tane boyutu 36, 46, 60 olan 3 çeşit taş kullanılmıştır. Kullanılan taşların özellikleri Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 2.** Kullanılan taşlama taşları ve özellikleri.

Taşın çapı	Taşın delik çapı	Taşın genişliği		
75 mm	20 mm	16 mm		
Aşındırıcı madde	Tane büyüklüğü (mesh)	Sertlik	Dokusu	Bağlayıcı
NK	36	P	5	V
NK	46	O	5	V
NK	60	N	5	V

Plakaların taşlanması taş genişliğinin 1/2 ve 1/4 genişlikleri olan 8 mm ve 4 mm olacak şekilde yanal kayma miktarı seçilmiştir. St37-2 (DIN) yapısal çelik plakalarda ilerleme değerleri (0,16 mm/sn-0,3 mm/sn) 200 mm/dak-375 mm/dak olarak kabul edilmektedir [22]. Bu nedenle deneylerde tabla ilerlemesi olarak 300 mm/dk değeri seçilmiştir.

Taşlama işleminde talaş derinliği değeri seçimi yapılırken gerek katalog değerleri ve gerekse literatür bilgileri göz önüne alınarak maksimum değerlerde talaş derinliği verilmemelidir. Bu göz önüne alınarak tüm deneylerde 3 farklı talaş derinliği (0,01, 0,02 ve 0,03 mm) seçilmiştir [10]. Deneylerde kullanılan verilere göre oluşturulan giriş parametreleri Tablo 3’te görüldüğü gibidir.

**Tablo 3.** Deneylerde kullanılan parametreler.

Sembol	Parametreler	Birim	Seviye1	Seviye2	Seviye3
<i>Wt</i>	Taş Cinsi	Tip	NK36	NK46	NK6
<i>Dc</i>	Talaş Derinliği	mm	0,01	0,02	0,03
<i>Ss</i>	Fener Mili Devri	d/d	80	160	240
<i>Fd</i>	İlerleme yönü	-	1	2	3
<i>So</i>	Yanal Kayma	mm	4	8	

## B. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇME YÖNTEMİ

Her deney sonucunda taşlama ile taşlanmış yüzeyler, SJ-210 MITUTOYO marka temaslı yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. Ra ölçüm cihazı ile ilgili özellikler Tablo 4’te verilmiştir.

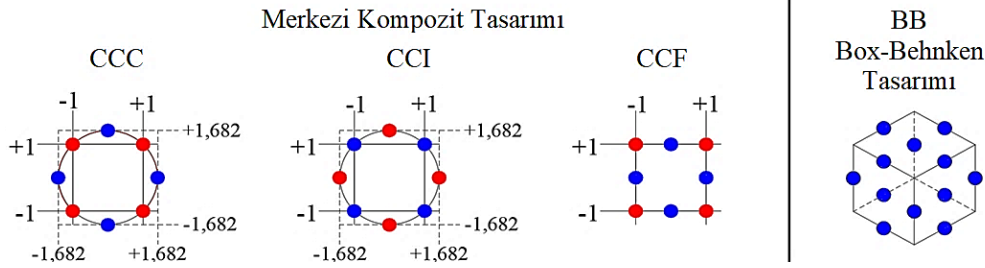
**Tablo 4.** Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Model	SJ- 210 (MITUTOYO)	Standart	ISO 1997
<b>Ölçme Yöntemi</b>	İzleyici Uçlu	<b>Profil</b>	R
<b>Tarama Hızı</b>	0,5-1 mm/sn	<b>Filtre</b>	GAUSS
<b>Uç Yarıçapı</b>	5 $\mu$ m	$\lambda c$	0,8 mm
<b>Uç malzemesi</b>	Elmas	$\lambda s$	2,5 $\mu$ m

GMASRA yönteminde tablanın ilerleme yönüne (Şekil 2b) paralel, dik ve açılı yönlerdeki Ra değerlerinde birbirine yakın değerlerin elde edildiği bilinmektedir [19, 23]. Bu geliştirilen yeni yöntemin en önemli avantajlarından biridir. Bu nedenle Ra ölçümü yapılırken tabla ilerleme yönüne paralel, dik ve açılı olacak şekilde bir ayırım yapılmadan rastgele yönlerde ve bölgelerde toplam 12 adet ölçüm yapılmıştır. Alınan tüm değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve her taşın yanal kayma miktarına ait Ra değeri elde edilmiştir (Tablo 6).

## C. YÜZEY YANIT YÖNTEMİ (YYY)

YYY bir deney tasarım yöntemi olarak daha az deney sayısı ile modelleme yapılmasını sağlamaktadır. YYY temel olarak dört şekilde modellenilebilmektedir. Bu modeller Şekil 3’te görülmektedir.



**Şekil 3.** Yüzey yanıt yöntemine ait tasarım yapıları.

Bu tasarımlarla yapılan modellemelerde parametrelerin farklı seviyelerdeki değerlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Üç parametrelili bir model oluşturulmak istendiğinde CCC, CCI ve CCF modelleri için 20 deney yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte CCC ve CCI modellerinde  $\alpha$  değerinin 1,682 olması nedeni ile bu duruma uygun parametre seviyesinin seçilmesi gerekmektedir. CCF ve Box-Behnken modellerinde  $\alpha$  değeri 1 olduğu için özel bir deney tasarımı ihtiyacı bulunmamaktadır. Box-Behnken tasarım metodu ise diğer yöntemlerden farklı olarak 15 deney ile model oluşturmaktadır. Box-Behnken tasarım metodunun son üç verisi kontrol amaçlı olarak aynı deneyden alınmaktadır. Bu nedenle daha az deney sayısına ve her parametre için 3 seviyeye ihtiyaç duyan Box-Behnken yöntemi bu analiz için tercih edilmiştir.

Kullanılan deney parametrelerine göre YYY ile yapılan bu modellemelerde farklı matematiksel denklemler kullanılarak çözüm aranmaktadır. Denklem 1, 2 ve 3'te deneyler sonucunda elde edilen Ra değerleri ile giriş parametreleri arasındaki matematiksel denklemler görülmektedir. Bu denklemler, deneylerde olduğu gibi üç değişken için oluşturulmuştur.

$$Ra = \beta_0 + \beta_1 D_c + \beta_2 S_s + \beta_3 F_d \quad (1)$$

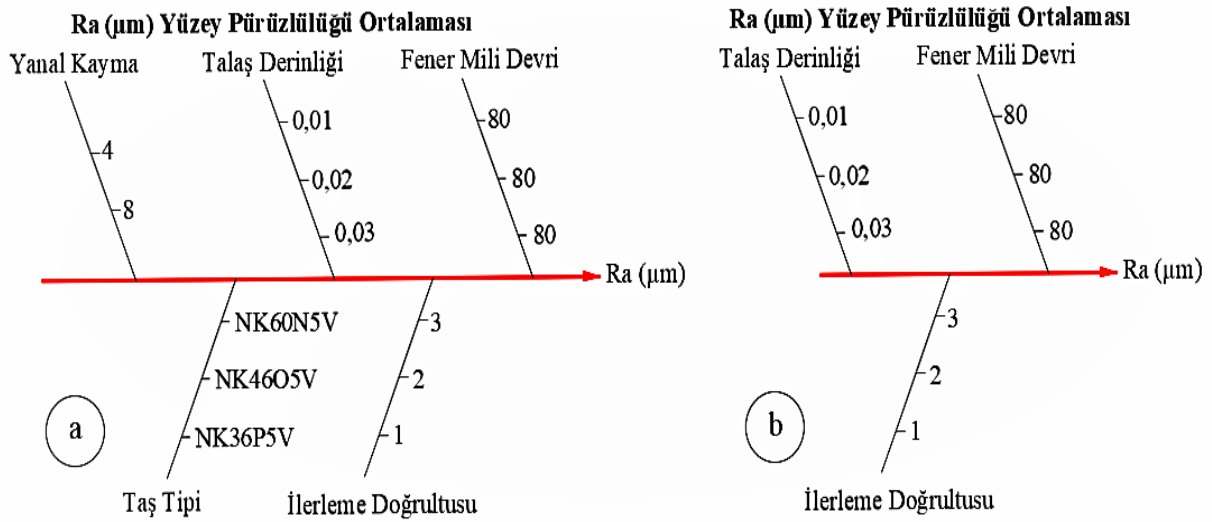
$$Ra = \beta_0 + \beta_1 D_c + \beta_2 S_s + \beta_3 F_d + \beta_4 D_c^2 + \beta_5 S_s^2 + \beta_6 F_d^2 \quad (2)$$

$$Ra = \beta_0 + \beta_1 D_c + \beta_2 S_s + \beta_3 F_d + \beta_4 D_c * S_s + \beta_5 D_c F_d + \beta_6 S_s F_d \quad (3)$$

$$Ra = \beta_0 + \beta_1 D_c + \beta_2 S_s + \beta_3 F_d + \beta_4 D_c^2 + \beta_5 S_s^2 + \beta_6 F_d^2 + \beta_7 D_c S_s + \beta_8 D_c F_d + \beta_9 S_s F_d \quad (4)$$

Denklem 1 Lineer matematiksel yapıyı, denklem 2 lineer yapıya ilave olarak parametrelerin karelerinin bulunduğu yapıyı, denklem 3 lineer yapıya ilave olarak parametrelerin birbiri ile ilişkilerinin bulunduğu yapıyı ve denklem 4 ise tüm denklemlerin birleşimi olan tam kuadratik (full quadratic) yapıyı göstermektedir.

Bu parametrelerde değişim ile deney sonucu ölçülen Ra değeri farklılaşmaktadır. Şekil 4 (a)'da bu parametreler balık kılıçığı diyagramında gösterilmektedir. Şekil 4 (b)'de ise normal deney düzeninin YYY için düzenlenen biçimi gösterilmektedir. YYY ile yapılan modellemelerde veriler gruplandırılarak kullanılmıştır. Bu amaçla Tablo 5'te verilen veriler YYY ile modellenilebilecek alt kümelere ayrılmıştır.



Şekil 4. (a) Normal Deney düzeni, (b) YYY için düzenlenen deney düzeni.

Bu amaçla her zımpara taşı için yanıl kayma değerleri sabit tutularak (4 mm ve 8 mm) her zımpara taşı için ayrı iki deney kümesi oluşturulmuştur. Böylelikle toplamda 6 ayrı YYY modellemesi gerçekleştirilmiştir. YYY modellemesi ile Ra değerleri ile deney parametreleri arasındaki ilişki analiz edilmektedir.

Tablo 5. Oluşturulan deney kümeleri.

Parametreler	Yanal Kayma	Taş Cinsi	YYY Model İsmi
Talaş Derinliği (0,01-0,02-0,03 mm)	4 mm	NK36P5V	W36-S4
Fener Mili Devri		NK46O5V	W46-S4
		NK60N5V	W60-S4

(80-160-240 dev/dak) İlerleme Yönü (1-2-3)	8mm	NK36P5V	W36-S8
		NK46O5V	W46-S8
		NK60N5V	W60-S8

### **III. BULGULAR VE DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ**

YYY ile modelleme yapılırken parametrelere ait değerler üç seviyeye ayrılarak kodlanmıştır. Tablo 6'da bu seviyeler ve seviyelerin deney değerleri görülmektedir. Ayrıca yapılan deneysel çalışma ile elde edilen veriler de Tablo 6'da sunulmuştur.

*Tablo 6. Deney tasarımı ve deney sonuçları.*

Talaş Derinliği ( $D_c$ )		Fener Mili Devri ( $S_s$ )		İlerleme Yönü ( $F_d$ )		Yüzey Pürüzlülüğü Ortalaması ( $R_a$ - $\mu\text{m}$ )					
Gerçek Değer	Seviye	Gerçek Değer	Seviye	Gerçek Değer	Seviye	W36-S4	W46-S4	W60-S4	W36-S8	W46-S8	W60-S8
0.01	-1	80	-1	1	-1	0.634	0.619	0.588	0.47	0.426	0.629
0.01	-1	80	-1	2	0	0.657	0.618	0.615	0.483	0.439	0.597
0.01	-1	80	-1	3	1	0.658	0.629	0.629	0.444	0.417	0.635
0.01	-1	160	0	1	-1	0.603	0.498	0.482	0.401	0.451	0.501
0.01	-1	160	0	2	0	0.601	0.46	0.49	0.429	0.484	0.495
0.01	-1	160	0	3	1	0.552	0.476	0.519	0.41	0.474	0.474
0.01	-1	240	1	1	-1	0.427	0.457	0.444	0.343	0.400	0.450
0.01	-1	240	1	2	0	0.432	0.445	0.431	0.357	0.430	0.474
0.01	-1	240	1	3	1	0.457	0.418	0.468	0.347	0.472	0.440
0.02	0	80	-1	1	-1	0.725	0.698	0.651	0.492	0.507	0.560
0.02	0	80	-1	2	0	0.655	0.733	0.728	0.527	0.579	0.675
0.02	0	80	-1	3	1	0.74	0.713	0.648	0.503	0.626	0.662
0.02	0	160	0	1	-1	0.607	0.612	0.635	0.53	0.625	0.556
0.02	0	160	0	2	0	0.603	0.648	0.648	0.503	0.659	0.597
0.02	0	160	0	3	1	0.624	0.658	0.676	0.489	0.644	0.575
0.02	0	240	1	1	-1	0.55	0.591	0.507	0.381	0.533	0.550
0.02	0	240	1	2	0	0.52	0.594	0.563	0.394	0.594	0.577
0.02	0	240	1	3	1	0.615	0.582	0.517	0.396	0.551	0.585
0.03	1	80	-1	1	-1	0.693	0.758	0.609	0.89	0.725	0.717
0.03	1	80	-1	2	0	0.659	0.785	0.636	0.836	0.810	0.735
0.03	1	80	-1	3	1	0.684	0.749	0.65	0.883	0.731	0.726
0.03	1	160	0	1	-1	0.594	0.602	0.545	0.67	0.627	0.659
0.03	1	160	0	2	0	0.591	0.593	0.548	0.66	0.633	0.661
0.03	1	160	0	3	1	0.606	0.601	0.578	0.685	0.619	0.672
0.03	1	240	1	1	-1	0.46	0.552	0.532	0.573	0.515	0.560
0.03	1	240	1	2	0	0.436	0.611	0.576	0.608	0.502	0.533
0.03	1	240	1	3	1	0.449	0.55	0.537	0.576	0.489	0.547

YYY ile daha az sayıda deney yaparak problemlerin modellenmesi mümkündür. Tablo 7'de her zımpara taşı için elde edilen deneysel sonuçlardan YYY modellemesi için seçilen deney sonuçları görülmektedir. Yapılan modellemede Box-Behnken metodu kullanılmıştır. Bu modelleme ile 27 adet deney verisi ( $3 \times 3 \times 3 = 27$ ) içinden sistematik olarak 13 adet verisi kullanılmıştır. YYY ile ilgili yapılan çalışmalarda Minitab 17 yazılımı kullanılmıştır.



Box-Behnken tasarım metodu kullanılarak gerçekleştirilen yüzey yanıt yöntemi analizi ile elde edilen sonuçlar her zımpara taşı için ayrı ayrı verilmiştir. Problemlerin çözümlenmesinde tam kuadratik (full quadratic) matematiksel modeli uygulanmıştır. Bu model Denklem 5'te görülmektedir.

$$Ra = \beta_0 + \beta_1 D_c + \beta_2 S_s + \beta_3 F_d + \beta_4 D_c^2 + \beta_5 S_s^2 + \beta_6 F_d^2 + \beta_7 D_c S_s + \beta_8 D_c F_d + \beta_9 S_s F_d \quad (5)$$

**Tablo 7.** *YYY modellemesi için seçilen deney verileri.*

		İlerleme Yönü 1 ( <i>Fd</i> )	İlerleme Yönü 2 ( <i>Fd</i> )	İlerleme Yönü 3 ( <i>Fd</i> )	
Talaş Derinliği ( <i>Dc</i> ) mm	0,01	80	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	
		160	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer	
		240	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	
	0,02	80	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>
		160	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer
		240	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>
	0,03	80	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer
		160	Deneysel Değer (YYY)	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>
		240	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer

Oluşturulan 8 modelin daha iyi sonuçlar elde etmesi için stepwise eliminasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile Denklem 5'te verilen parametrelerden sonuca katkısı olmayan parametreler çıkarılmıştır. Böylelikle hem modellerin tahmin performansının artırılması hedeflenmekte hem de daha yalın matematiksel modeller elde edilmesi hedeflenmektedir.

## A. NK36P5V İÇİN W36-S4 ve W36-S8 MODELLEMESİ ile ELDE EDİLEN VERİLER

Yapılan deneylerde 36 Mesh yapısına sahip NK36P5V isimli taşla yapılan 4 mm yanal kayma (W36-S4) ve 8 mm yanal kayma (W36-S8) modelleri için ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 8'de yapılan ANOVA analizleri görülmektedir.

**Tablo 8.** *W36-S4 ve W36-S8 modellemeleri sonucu elde edilen ANOVA analizi.*

	Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
W36-S4	Model	5	0,09574	0,01915	26,74	0,000
	Doğrusal	3	0,07047	0,02349	32,81	0,000
	<i>Dc</i>	1	0,00033	0,00033	0,45	0,517
	<i>Ss</i>	1	0,06994	0,06994	97,68	0,000
	<i>Fd</i>	1	0,00021	0,00021	0,29	0,601
	Kare	2	0,02526	0,01263	17,64	0,001
	<i>Dc *Dc</i>	1	0,01490	0,01490	20,80	0,001
	<i>Fd*Fd</i>	1	0,00862	0,00862	12,04	0,007
	Hata	9	0,00644	0,00072		
	Uygunsuzluk	7	0,00644	0,00092		
	Net Hata	2	0,00000	0,00000		
Toplam	14	0,10218				

**Tablo 8 (devam ediyor).** W36-S4 ve W36-S8 modellemeleri sonucu elde edilen ANOVA analizi.

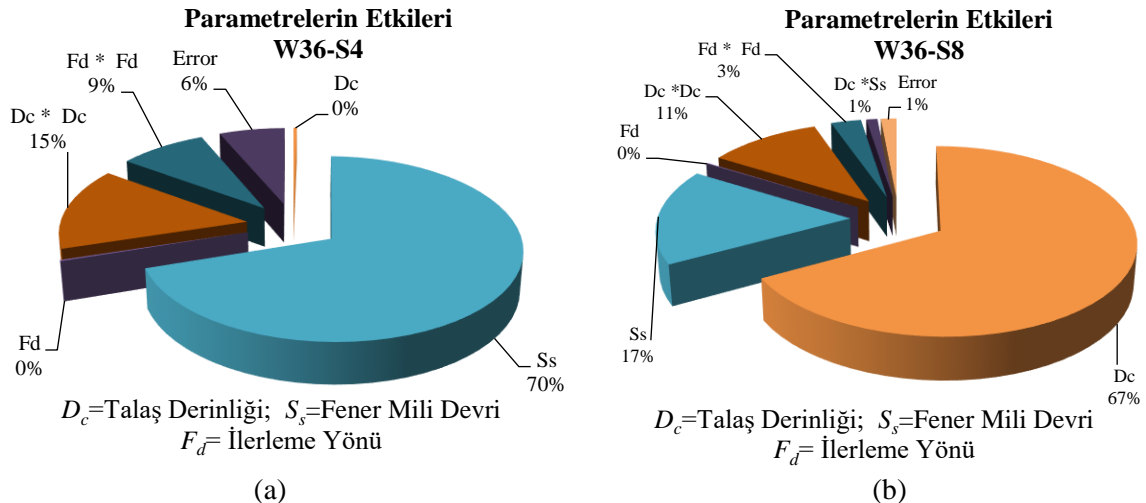
	Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
W36-S8	Model	6	0,24421	0,04070	89,60	0,000
	Linear	3	0,20595	0,06865	151,12	0,000
	Dc	1	0,16474	0,16474	362,64	0,000
	Ss	1	0,04090	0,04090	90,03	0,000
	Fd	1	0,00031	0,00031	0,69	0,431
	Square	2	0,03566	0,01783	39,25	0,000
	Dc*Dc	1	0,02647	0,02647	58,27	0,000
	Fd*Fd	1	0,00705	0,00705	15,53	0,004
	2-Yönlü İterasyon	1	0,00260	0,00260	5,73	0,044
	Dc*Ss	1	0,00260	0,00260	5,73	0,044
	Hata	8	0,00363	0,00045		
	Uygunsuzluk	6	0,00363	0,00061		
	Net Hata	2	0,00000	0,00000		
	Toplam	14	0,24784			

Tablo 8’de görüldüğü gibi aynı zımpara taşı için farklı yanal kayma miktarlarına göre yapılan çalışmalarda ANOVA analizleri farklı sonuçlar üretmektedir. ANOVA analizi sonucu modeller için oluşturulan formüller Tablo 9’da görülmektedir.

**Tablo 9.** W36-S4 ve W36-S8 modellemeleri için elde edilen formüller.

W36-S4	$R_a = 0,7100 + 25,97 \times D_c - 0,001169 \times S_s - 0,1876 \times F_d - 633 \times D_c^2 + 0,0482 \times F_d^2$
W36-S8	$R_a = 0,3985 - 14,32 \times D_c - 0,000256 \times S_s + 0,1806 \times F_d + 844 \times D_c^2 - 0,0436 \times F_d^2 - 0,0319 D_c \times S_s$
	$R_a$ = Yüzey Pürüzlülüğü( $\mu$ m) $D_c$ = Talaş Derinliği (mm)
	$S_s$ = Fener Mili Devri (dev/dak) $F_d$ = İlerleme Yönü

Bu iki eşitlik arasında içerdikleri değişkenler açısından farklılık bulunmaktadır. 4 mm yanal kayma miktarı ile yapılan analizlerde kesme yönü x fener mili devri değişkeni bulunmamaktadır. Bu değişken model yapısına uygun olmadığı için stepwise fonksiyonu ile modelden kaldırılmıştır. Oluşturulan her iki modelde de parametreler farklı etkinliklere sahiptir. ANOVA analizi temel alınarak parametrelerin etkinlikleri araştırıldığında Şekil 5’te görülen grafik ortaya çıkmaktadır.



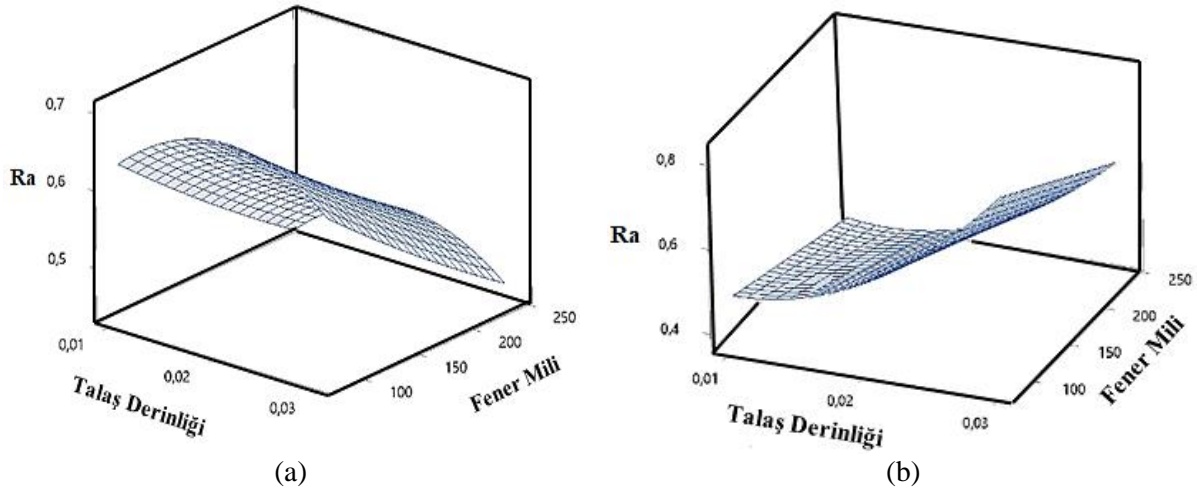
**Şekil 5.** NK36P5V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W36-S4 (b) W36-S8.

Şekil 5 incelendiğinde parametrelerin etkinliklerinin yanal kayma miktarına bağlı olarak değiştiği gözlenmektedir. W36-S4 modelinde ana etkiyi fener mili hızı oluşturmaktadır. W36-S8 modelinde ise ana etki taşlama yönü parametresine bağlı olarak şekillenmektedir. Ana etkiyi oluşturan parametreler yaklaşık %70 etkinliğe sahiptir. YYY'de aynı etkiyi Karaşa ve arkadaşı ilerleme ve fener mili olarak bulmuşlardır [18]. Bu çalışmada tabla ilerlemesi sabit seçildiğinden fener milinin en etkili parametre olduğu sonucu, literatür ile paralellik arz etmektedir. Bu sonuç aşağıdaki diğer taş cinslerinde de benzer şekilde ortaya çıkmaktadır.

W36-S4 modelinde talaş miktarı değerinin karesi (%15) ve işleme yönünün değerinin karesi (%9) sonuç üzerinde etkiye sahipken, diğer parametrelerini etkinliği sınırlı olmaktadır. W36-S8 modelinde ise fener mili devri %17 etkinliğe sahiptir. Talaş miktarı değerinin karesi %10 etkinliğe sahipken işleme yönü parametresinin değeri (%3) sınırlı kalmaktadır. Diğer parametrelerin etkinliği ise belirgin değildir.

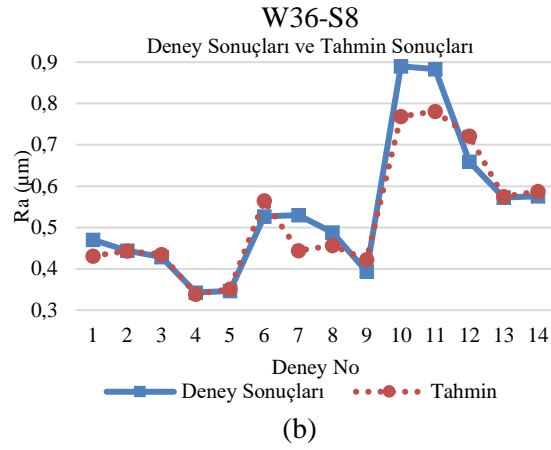
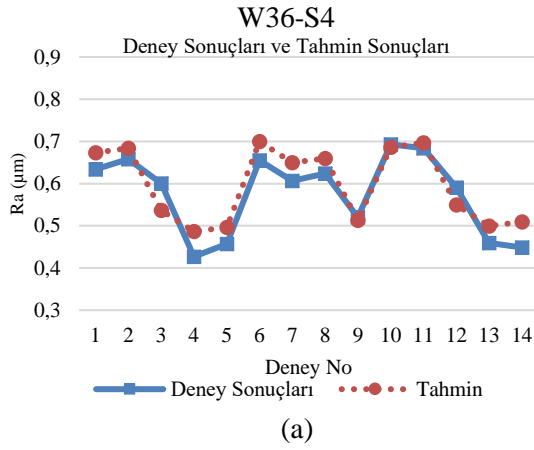
Oluşturulan her iki model ile yapılan analizler sonucu Şekil 6'da görülen grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerde, deneylerde kullanılan parametrelerden en etkin olan talaş derinliği ve fener mili parametrelerinin sonuç üzerinde etkisi görülmektedir. W36-S4 modelinde talaş derinliği sonuç üzerinde çok fazla etkiye sahip değildir. Bununla birlikte artan fener mili devri Ra değerini ciddi şekilde aşağı çekmektedir. W36-S8 modelinde ise fener mili devri sonuç üzerinde ciddi bir etkiye sahip değilken artan talaş miktarı Ra değerini etkin şekilde bozmaktadır. Taş çevre hızının artması ile tane kesme derinliği azalır ve taş daha sert görümlü olur. Azalan taş çevre hızı, tane kesme derinliğini artırır ve taş daha yumuşak görümlü olur [24].

Aynı şartlarda ve değişik taş sertliklerinde yapılan taşlama işlemlerinde kesme derinliğinin artmasıyla taşlama kuvvetlerinin 5,2-6,9 kat arttığı görülmüştür [25], [12], [19], [20]. Talaş derinliği ile Ra arasında doğrusal ilişki buradaki sonuçlara benzer olarak sonraki konu başlıklarındaki incelenen taş cinsleri ve taşlama parametrelerinde görülmektedir ve literatüre paralel bulgular bulunmuştur.



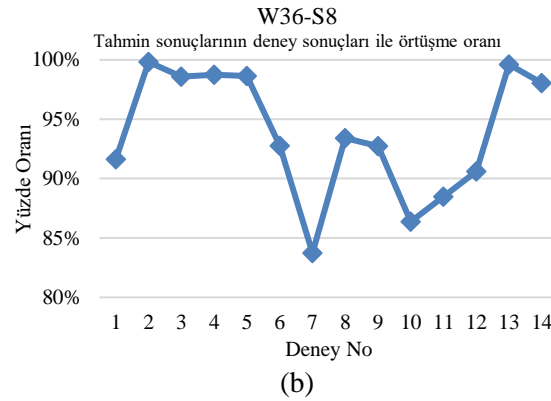
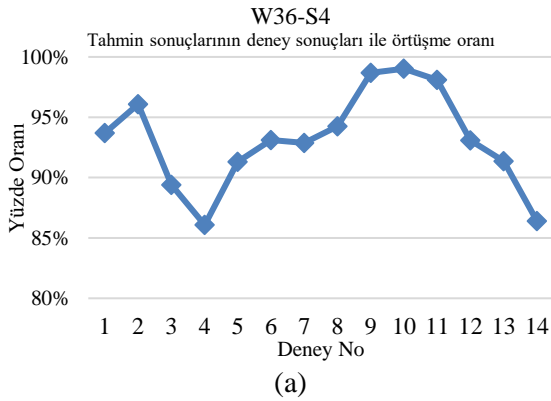
Şekil 6. Parametrelerin sonuç üzerindeki etkileri (a) W36-S4 (b) W36-S8.

Oluşturulan YYY modelleri 27 deney verisinden 15 tanesini kullanarak sonuca ulaşmayı hedeflemektedir. Bu modeller ile istatistiki olarak yüksek  $R^2$  değerlerine ulaşılmaktadır. W36-S4 modelinde 0.954  $R^2$  değerine ulaşılmaktadır. Aynı  $R^2$  hesaplamasının W36-S8 modelinde yapıldığında ise 0.986  $R^2$  değerine ulaşılmaktadır. YYY'nin tahmin yeteneğinin anlaşılabilmesi için her iki modelinde kullanmadığı 14 veri için tahmin yapılmıştır. Bu zımpara taşı ile ilgili oluşturulan iki modele ait tahmin sonuçları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. NK36P5V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W36-S4 (b) W36-S8.

Şekil 7 incelendiğinde her iki modelde de yapılan tahminlerin deney sonuçlarına yakın tahminler elde ettiği görülmektedir. Oluşturulan modellerin tahmin yeteneğinin daha iyi analiz edilmesi için deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının benzerliği yüzdelerle grafik olarak oluşturulmuştur. Oluşturulan bu grafik Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Tahmin sonuçlarının deney sonuçları ile örtüşme oranı (a) W36-S4 (b) W36-S8.

Tahmin sonuçlarının deney sonuçları ile örtüşme oranının gösteren yüzde grafiği (Şekil 8) incelendiğinde YYY modelleri tarafından yapılan tahminlerin büyük çoğunluğu %90- %100 aralığında gerçekleşmektedir. Her iki grafikte de yalnızca 3 tahmin sonucu %85-%90 tahmin aralığında sonuç üretmiştir. Bununla birlikte W36-S8 modeli ile yapılan tahminlerden bir tanesi deney sonucu ile %84 benzerlik göstermiştir. Bu sonuç her iki YYY modeli ile elde edilen en olumsuz uyumu göstermektedir. Tüm tahmin sonuçlarının ortalama uyumu ise W36-S4 modeli için %93, W36-S8 modeli için %94 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca tahmin sonuçlarının deney sonuçları ile uyumu da istatistiksel olarak  $R^2$  testi ile kontrol edilmiştir. Bu kapsamda yapılan  $R^2$  testinde W36-S4 deneyleri için 0,843 ve W36-S8 deneyleri için 0,912 değerleri elde edilmiştir.

## B. NK46O5V İÇİN W46-S4 ve W46-S8 MODELLEMESİ İLE ELDE EDİLEN VERİLER

Deney tasarım metodunda kullanılan mesh yapısı 46 olan NK46O5V zımpara taşı ile iki modelleme yapılmıştır. 4 mm yanıl kayma (W46-S4) ve 8 mm yanıl kayma (W46-S8) modelleri için ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 10’da Yapılan ANOVA analizleri görülmektedir.

**Tablo 10.** W46-S4 ve W46-S8 modellemeleri sonucu elde edilen ANOVA analizi.

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
Model	6	0,109	0,018	45,54	0,000
Doğrusal	3	0,082	0,027	68,65	0,000
<i>D<sub>c</sub></i>	1	0,039	0,039	98,80	0,000
<i>S<sub>s</sub></i>	1	0,042	0,042	107,05	0,000
<i>F<sub>d</sub></i>	1	0,000	0,000	0,09	0,771
Kare	3	0,026	0,008	22,43	0,000
<i>D<sub>c</sub> *D<sub>c</sub></i>	1	0,016	0,016	42,10	0,000
<i>S<sub>s</sub>*S<sub>s</sub></i>	1	0,004	0,004	10,84	0,011
<i>F<sub>d</sub>*F<sub>d</sub></i>	1	0,004	0,004	12,14	0,008
Hata	8	0,003	0,000		
Uygunsuzluk	6	0,003	0,000		
Net Hata	2	0,000	0,000		
Toplam	14	0,112			

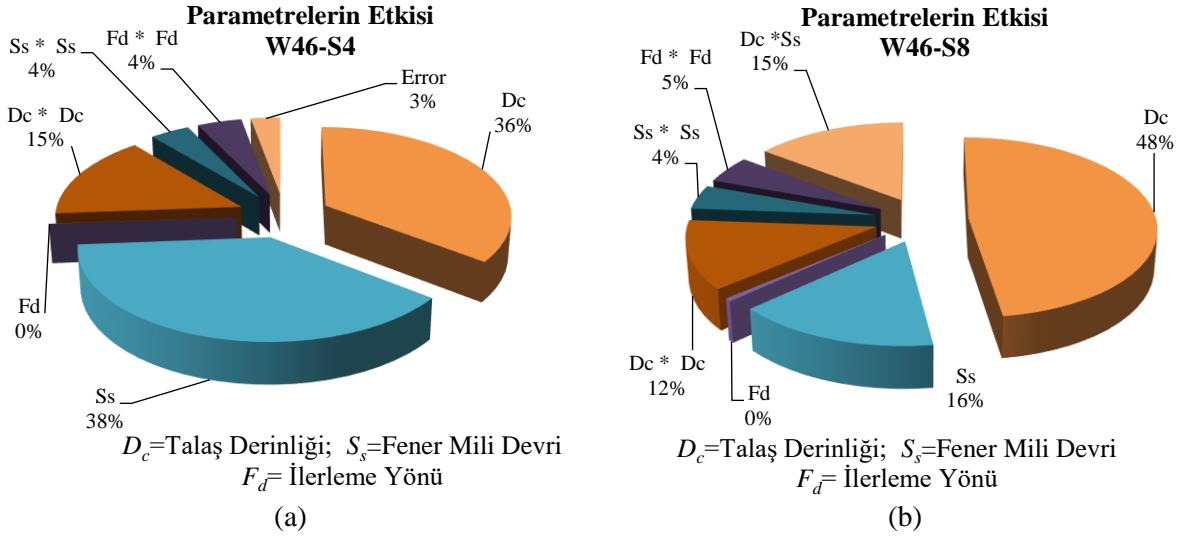
Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
Model	7	0,148	0,021	19,63	0,000
Doğrusal	3	0,097	0,032	30,04	0,000
<i>D<sub>c</sub></i>	1	0,072	0,072	67,38	0,000
<i>S<sub>s</sub></i>	1	0,023	0,023	21,95	0,002
<i>F<sub>d</sub></i>	1	0,000	0,000	0,78	0,408
Kare	3	0,028	0,009	8,90	0,009
<i>D<sub>c</sub>*D<sub>c</sub></i>	1	0,018	0,018	17,37	0,004
<i>S<sub>s</sub>*S<sub>s</sub></i>		0,006	0,006	6,12	0,043
<i>F<sub>d</sub>*F<sub>d</sub></i>	1	0,007	0,007	6,87	0,034
2-Yönlü İterasyon	1	0,022	0,022	20,64	0,003
<i>D<sub>c</sub>*S<sub>s</sub></i>	1	0,022	0,022	20,64	0,003
Hata	7	0,007	0,001		
Uygunsuzluk	5	0,007	0,001		
Net Hata	2	0,000	0,000		
Toplam	14	0,156			

Her iki model için de oluşturulan ANOVA analizi incelenmiştir. W46-S8 modeli ile yapılan analizde daha fazla parametre analizde yer almaktadır. Her iki model için de modeller için oluşturulan formüller Tablo 11’de görülmektedir.

**Tablo 11.** W46-S4 ve W46-S8 modellemeleri için elde edilen formüller.

W46-S4	$R_a = 0,3800 + 34,02 \times D_c - 0,002627 \times S_s - 0,1429 \times F_d - 675 \times D_c^2 + 0,000005 \times S_s^2 - 0,0363 \times F_d^2$	
W46-S8	$R_a = -0,377 + 53,05 \times D_c - 0,003306 \times S_s - 0,1897 \times F_d - 714 \times D_c^2 + 0,000007 \times S_s^2 - 0,0449 \times F_d^2 - 0,0934 \times D_c \times S_s$	
	$R_a =$ Yüzey Pürüzlülüğü(µm)	$D_c =$ Talaş Derinliği (mm)
	$S_s =$ Fener Mili Devri (dev/dak)	$F_d =$ İlerleme Yönü

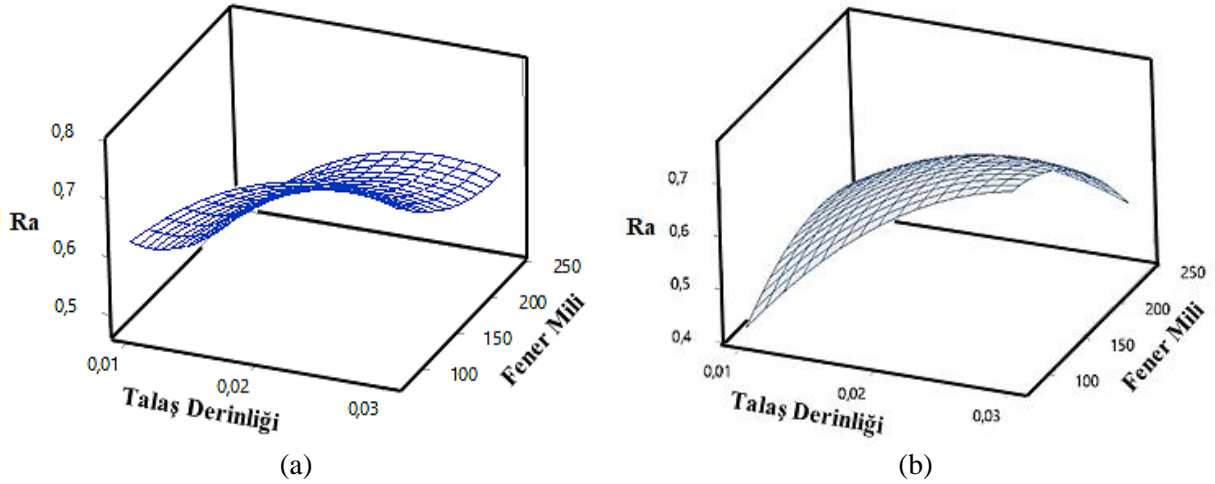
Modellemeler sonucunda elde edilen formüller ve ANOVA analizinden parametrelerin etkinliklerinin farklı olduğu görülmektedir. Bu nedenle Şekil 9’da parametrelerin etkinliği grafik olarak verilmiştir.



Şekil 9. NK4605V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W46-S4 (b) W46-S8.

Her iki modelde de parametrelerin etkinliği Şekil 9’da görülmektedir. Talaş miktarı parametresi her iki modelde de ana etkiyi oluşturmaktadır. Bununla birlikte talaş miktarı 4 mm yanıl kayma ile oluşturulan modelde %36 etkinliğe sahipken 8 mm yanıl kayma miktarı ile yapılan model de %48’lik etkiye sahiptir. İkincil etki ise fener mili devrine bağılı olarak gerçekleşmektedir. W46-S8 modelinde talaş miktarı ve fener mili parametrelerin etkileşimi en etkin 3. parametre olarak görülmektedir. Aynı parametre W46-S4 modelinde ise bulunmamaktadır. Talaş miktarı değerinin talaş miktarı ile etkileşimi de kayda değer etki oluşturmaktadır. Diğer parametrelerin her iki modelde de etkinliği sınırlıdır.

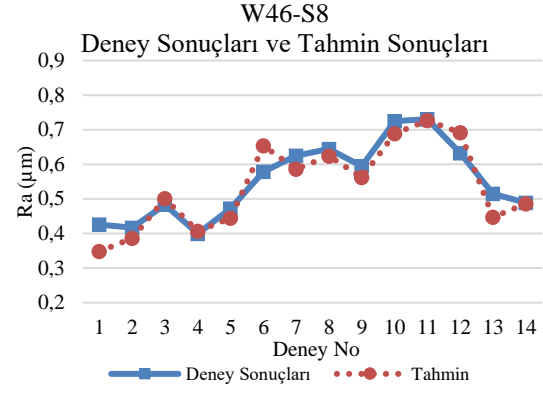
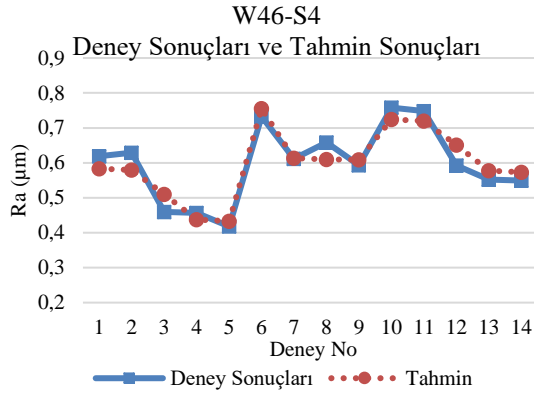
Yapılan modelleme sonucunda parametrelerin etkinliği tespit edilmiştir. Bununla birlikte etkin olan bu parametrelerin değişiminin Ra üzerindeki etkisinin incelenmesi için Şekil 10’da görülen grafik hazırlanmıştır.



Şekil 10. Parametrelerin sonuç üzerindeki etkileri (a) W46-S4 (b) W46-S8.

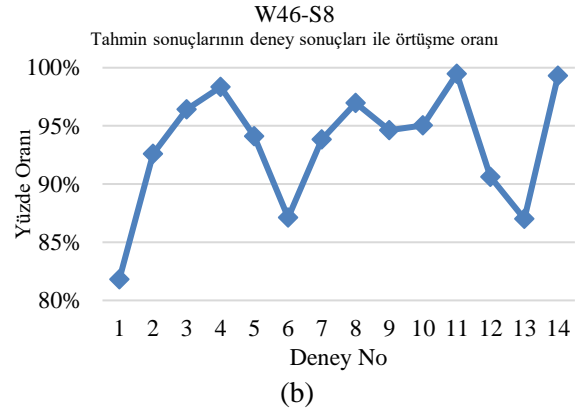
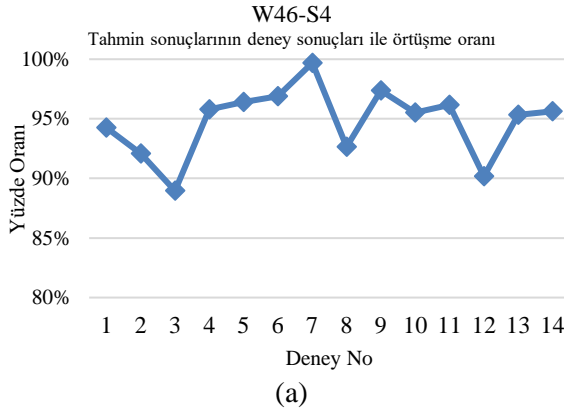
Oluşturulan modellerde talaş derinliğine bağılı olarak Ra değeri negatif etkilenmektedir. Özellikle 0,01 mm talaş miktarı ile 0,02 mm talaş miktarı değerleri arasında ciddi farklılaşma görülmektedir. Fener mili devrinin artmasına bağılı olarak Ra iyileşmektedir. Bununla birlikte W46-S8 modelinde düşük talaş miktarı seçildiğinde bu etki sınırlı olmaktadır.

YYY ile modellenen bu problemde tahmin yeteneğinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla veri girişi yapılmayan toplam 14 deney için tahminler oluşturulmuştur. Bu 14 deney için modellerin oluşturduğu tahminler Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. NK46O5V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W46-S4 (b) W46-S8.

Oluşturulan her iki modelinde deney sonuçlarına yakın tahminler geliştirdiği görülmektedir. Bu durum yüksek  $R^2$  değerlerine ulaşılmasının bir sonucudur. Oluşturulan W46-S4 modeli 0,972  $R^2$  değerlerine W46-S8 modeli ise 0,952  $R^2$  değerlerine ulaşmaktadır. Modellerin tahmin yeteneğinin sonuca yaklaşma yüzdesi de hesaplanarak Şekil 12’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 12. Tahmin sonuçlarının deney sonuçları ile örtüşme oranı (a) W46-S4 (b) W46-S8.

Deney sonuçlarının tahmin sonuçları ile benzerliğinin verildiği Şekil 12 incelendiğinde W46-S4 modelinde yüksek tutarlılık görülmektedir. Bu modelde deney verilerinin büyük kısmı %95-%100 aralığında oluşmaktadır. Yalnızca bir deney verisi %89 tahmin yeteneği ile sınırlı sonuç üretmektedir. Ortalama tahmin yeteneği ise %95 olarak hesaplanmaktadır. W46-S8 modelinde ise %93 ortalama tahmin yeteneği gözlemlenmektedir. Bununla birlikte 1, 6 ve 13 numaralı deney verileri %90 dan düşük performans sergilemiştir. Özellikle modellenin oluşturduğu 1 numaralı tahmin %82 ile düşük tutarlılığa sahiptir. Tahmin sonuçlarının deney sonuçları arasındaki istatistiksel uyum ise  $R^2$  testi ile kontrol edilmiştir. Bu kapsamda yapılan  $R^2$  testinde W46-S4 deneyleri için 0,889 ve W36-S8 deneyleri için 0,888 değerleri elde edilmiştir.

### C. NK60N5V İÇİN W60-S4 ve W60-S8 MODELLEMESİ ile ELDE EDİLEN VERİLER

Mesh yapısı 60 olan NK60N5V model zımpara taşı kullanılarak yapılan deneyler sonrası yapılan iki modellenme yapılmıştır. Bu modellemeler ile oluşturulan ANOVA yapıları Tablo 12’de görülmektedir.

**Tablo 12.** W60-S4 ve W60-S8 modellemeleri sonucu elde edilen ANOVA analizi.

	Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
W60-S4	Model	7	0,07289	0,01041	80,58	0,000
	Linear	3	0,04478	0,01493	115,52	0,000
	Dc	1	0,01037	0,01037	80,24	0,000
	Ss	1	0,03367	0,03367	260,58	0,000
	Fd	1	0,00074	0,00074	5,74	0,048
	Square	3	0,02427	0,00809	62,60	0,000
	Dc*Dc	1	0,01639	0,01639	126,84	0,000
	Ss*Ss	1	0,00105	0,00105	8,14	0,025
	Fd*Fd	1	0,00937	0,00937	72,51	0,000
	2-Yönlü İterasyon	1	0,00384	0,00384	29,75	0,001
	Dc*Ss	1	0,00384	0,00384	29,75	0,001
	Hata	7	0,00090	0,00013		
	Uygunsuzluk	5	0,00090	0,00018		
	Net Hata	2	0,00000	0,00000		
	Toplam	14	0,07379			
	Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
W60-S8	Model	2	0,05944	0,02972	18,93	0,000
	Linear	2	0,05944	0,02972	18,93	0,000
	Dc	1	0,03823	0,03823	24,35	0,000
	Ss	1	0,02122	0,02122	13,52	0,003
	Hata	12	0,01884	0,00157		
	Uygunsuzluk	10	0,01884	0,00188		
	Net Hata	2	0,00000	0,00000		
	Toplam	14	0,07828			

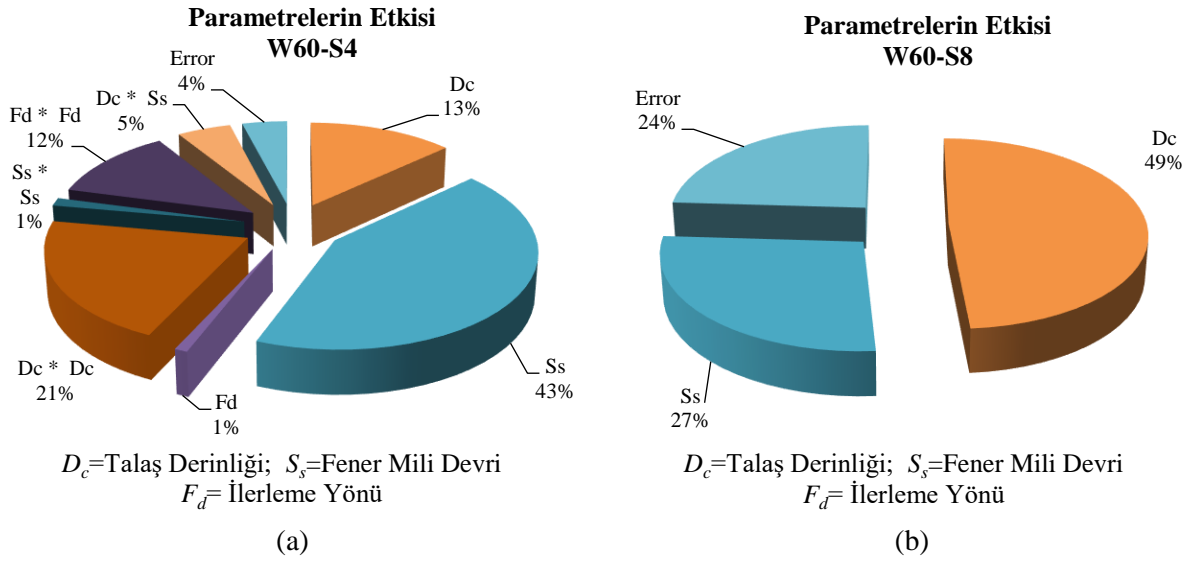
Daha önce verilen modellerde kullanılan stepwise fonksiyonu ile modelde bulunan ve modele katkı sunmayan parametreler silinmişti. Benzer W60-S4 modeli ve W60-S8 modelinde de sonuç üzerinde etkisi olmayan parametreler silinmiştir. Bununla birlikte W60-S8 modelinde bulunan birçok parametre silinmiştir. Böylelikle bu model lineer yapıya dönüşmüştür. Her iki model için oluşturulan formüller aşağıda Tablo 13'te verilmiştir.

**Tablo 13.** W60-S4 ve W60-S8 modellemeleri için elde edilen formüller.

W60-S4	$R_a = 0,2750 + 24,05 \times D_c - 0,00742 \times S_s + 0,2111 \times F_d - 663 \times D_c^2 - 0,000003 \times S_s^2 - 0,05037 \times F_d^2 + 0,03875 \times D_c \times S_s$	
W60-S8	$R_a = 0,5510 + 6,91 \times D_c - 0,000644 \times S_s$	
	$R_a =$ Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )	$D_c =$ Talaş Derinliği (mm)
	$S_s =$ Fener Mili Devri (dev/dak)	$F_d =$ İlerleme Yönü

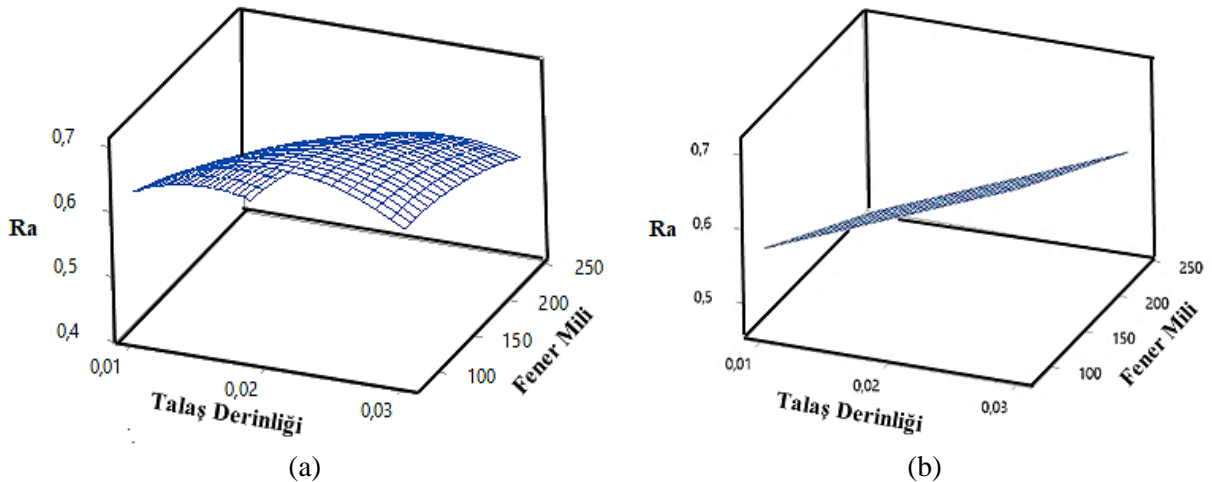
Oluşturulan formüller ve ANOVA sonuçlarına göre yüzde-pay grafiği ile parametrelerin etkinliği oranlanmıştır. Yapılan işlem Şekil 13'te görülmektedir.





Şekil 13. NK60N5V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W60-S4 (b) W60-S8.

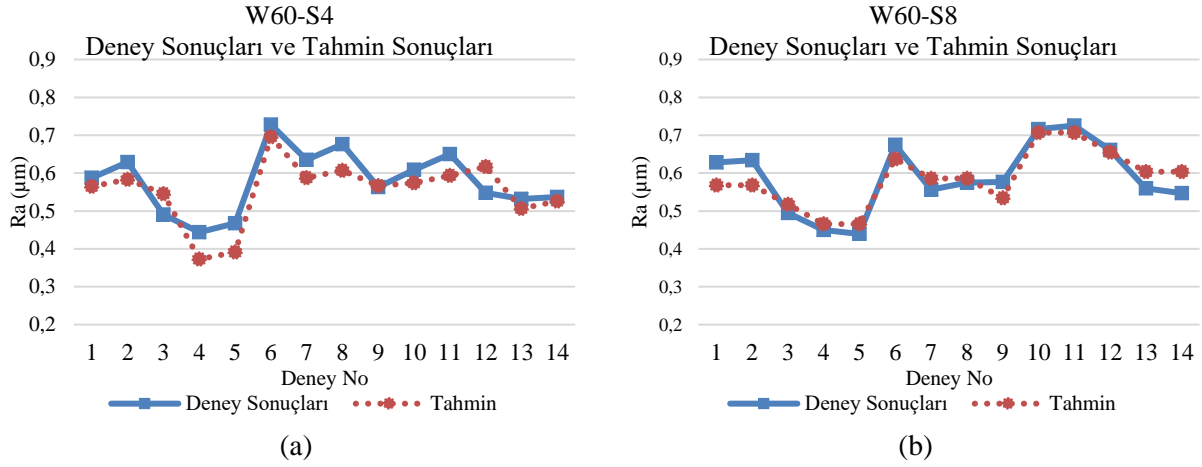
Modeller üzerinde etkisi olan parametreler Şekil 13'te görülmektedir. W60-S4 modelinde fener mili devri sayısı ana etkiyi oluşturmaktadır. Talaş miktarı %13 etkiye, talaş miktarı ile talaş miktarının ilişkisi %21 etkiye sahiptir. Bu model 0,988  $R^2$  değerlerine ulaşmaktadır. W60-S8 modelinde ise birçok parametre modele dahil edilmemiştir. Bu model ile 0,76  $R^2$  değerlerine ulaşmıştır. Bu değer tüm modeller arasında en düşük başarıma sahip modeldir. Ayrıca oluşturulan modelde iki parametrenin etkinliği gözlenmektedir. Talaş miktarı parametresi %49 ile en etkin parametredir. Fener mili devri ise %27 ile ikincil etkiye sahiptir. Bu modelde %24 hata oranı tespit edilmiştir. Burada, W60-S8 modelinde yanıl kayma miktarı 8 mm, W60-S4 modelinde 4 mm'dir. Yanıl kayma miktarı artışı ile kaldırılan talaş miktarı da artmaktadır. Bu durum NK60O5V taşındaki W60-S4 modelinde en etkin olan fener mili devrini (Şekil 13a) W60-S8 modelinde talaş derinliğine doğru değiştirmektedir (Şekil 13b). Bu durum diğer tüm taşlar (NK36P5V ve NK46O5V) içinde geçerlidir ve literatüre [25, 2, 12, 13] paralel bir durum söz konusudur. Parametrelerin etkilerinin parametrelerin değişime bağlı olarak değişimi Şekil 14'te görülmektedir.



Şekil 14. Parametrelerin sonuç üzerindeki etkileri (a) W60-S4 (b) W60-S8.

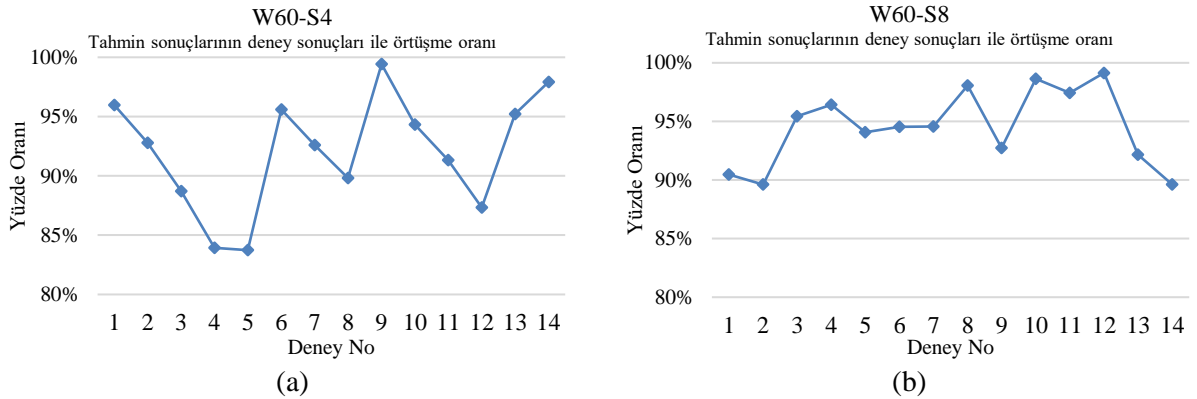
Şekil 14'te de görüldüğü üzere, W60-S4 modelinde özellikle düşük talaş derinliği ile yapılan deneylerde fener mili sayısının artması ortalama Ra'yı düşürmektedir. Talaş derinliği parametresinin artışına bağlı olarak fener mili devri artışı sınırlı tepki üretmektedir. W60-S8 modelinde ise fener mili devri etkin bir parametre olmamaktadır. Bu modelde Ra değerleri talaş derinliği miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Her iki model içinde yapılan tahmin performans değerlendirmesinde toplam 14 veri için tahmin yeteneği ölçülmüştür. Yapılan bu tahmin sonuçları Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. NK60N5V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W60-S4 (b) W60-S8.

Oluşturulan W60-S4 ve W60-S8 modellerinde de deney sonuçları ile tahmin sonuçları birbirine paralel eğriler oluşturmaktadır. Bu modeller kullanılarak oluşturulan yüzde yakınlık oranları Şekil 16'da grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 16. Tahmin sonuçlarının deney sonuçları ile örtüşme oranı (a) W60-S4 (b) W60-S8.

Deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının kıyaslanmasında yüzde benzerlik oranı kullanılmıştır. W60-S4 modellemesinde daha önce yapılan modellemelere kıyasla daha düşük performans alınmıştır. Toplam 5 adet deney tahmini %90 başarımlar seviyesinin altında gerçekleşmiştir. Ortalama başarımlar %92 seviyesinde oluşmuştur. W60-S8 modeli ise en düşük  $R^2$  değerine sahip olmasına rağmen (çok ilginç bir şekilde) yüksek yüzde benzerlik oranına ulaşmaktadır. Bu modelde ortalama yüzde benzerlik oranı %95 olmaktadır. Bununla birlikte tahminlerin genel olarak tutarlı olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum  $R^2$  değeri ile çelişmektedir. Bu noktada oluşturulan model için kullanılan deney verilerinin bazılarının deney şartlarına bağlı olarak olması gereken dışında sonuç ürettiği düşünülmektedir. Yapılan incelemede 4 numaralı deney verisi 9 numaralı deney verisi normalin dışında sonuç üretmiştir. Modelde kullanılan verilerdeki bu farklılık modelin analizinde düşük  $R^2$  değerine sebep olmaktadır. Modelde bulunan bu iki veri analiz edip deney verilerine uygun hale getirildiğinde  $R^2$  değeri 0,76 değerinden 0,95 seviyesine çıkmaktadır. Bu durum deney şartlarından kaynaklanan hatalar nedeniyle 4. ve 9. verinin hatalı olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte tahmin için kullanılan verilerin ise daha tutarlı veriler olması yüksek yüzde benzerlik oranına ulaşmasını sağlamıştır. Ayrıca sadece tahmin sonuçları ile deney sonuçlarının uyumunun kontrolü için de istatistiksel olarak  $R^2$  testi yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan  $R^2$  testinde W60-S4 deneyleri için 0,743 ve W36-S8 deneyleri için 0,825 değerleri elde edilmiştir. Tahmin sonuçları ile deney sonuçlarının uyumunun istatistiksel olarak

nispeten düşük çıkması yukarıda ifade edildiği gibi iki deney verisinin (4. ve 9.) beklenenden farklı sonuçlar üretmesi ile açıklanabilir.

Genel olarak taş dokusu parametresi incelendiğinde düşük taş dokusunda, talaş derinliği ve fener mili etkisinin daha yüksek oranda olduğu görülmektedir. Bu durum bu iki parametrenin Ra üzerinde taş dokusuna bağlı olarak etkili olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara paralel olarak başka bir çalışmada [25], artan taş dokusu ile Ra değerlerinde önemli artışlar olmakla birlikte taşlama kuvvetlerinde belirgin bir değişiklik görülmemiştir. En büyük taşlama kuvveti en yüksek kesme derinliğinde en küçük taş dokusuna sahip taşla yapılan taşlama işlemi esnasında kaydedilmiştir. Taş dokusunun, Ra değeri üzerinde etkisinin belirgin olduğu görülmüştür. AISI 1050 numunelerini taşlama işleminde kesme derinliğinin artırılmasıyla ortalama Ra değerlerinde %44–68 artma olmuştur. Taş dokusuna göre en kararlı Ra değerleri ve taşlama kuvvetleri, orta sıklıkta dokuya sahip 60M5 taşında oluşmuştur [25].

## **IV. SONUC**

Farklı zımpara taşları kullanılarak yapılan ikincil eksenli taşlama işleminin YYY ile analiz edildiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Problemin çözümü için oluşturulan altı YYY modelinde de başarı ile kullanılabilceği ve tutarlı sonuçlar üretebileceği görülmüştür.
- Oluşturulan modellerde ana etkiyi talaş derinliği ve fener mili parametrelerinin oluşturduğu görülmektedir. Bununla birlikte işleme yönü parametresinin bu deney şartları için anlamlı değişim sağlamadığı görülmektedir. Bu durum kullanılan taşlama yöntemindeki ikincil eksen hareketinin işleme yönünden bağımsız olarak her yönde eşit düzeyde yüzey pürüzlülüğü sağladığı anlamını da taşımaktadır.
- Zımpara taşları ile yapılan modellemeler de  $R^2$  değerleri 0,95 değerinin üstüne çıkmaktadır. Bununla birlikte 60 tane boyutuna sahip W60-S8 modelinde 0,76  $R^2$  değeri diğer modelleme sonuçları ile çelişmektedir. Bu durum modelleme işlemlerinde kullanılan iki deney verisinin deney şartlarından kaynaklanan sebeplerle hatalı olduğu göstermektedir. 60 tane boyutunda olan taşlama taşında sistem performansı ve rijitlik problemlerinden dolayı da bu kararsızlığın oluşabileceği de tahmin edilmektedir.
- YYY ile yapılan modeller kullanılarak yapılan tahminlerde yüksek tutarlılıklar görülmektedir.

Bu veriler ışığında ikincil eksenli taşlama yönteminin (GMASRA) modellendiği bu problem için uygun bir modelleme yöntemi olduğu anlaşılmaktadır.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] Kalpakjian, S., Schmid, S., *Manufacturing Process for Engineering Materials*, Sixth Edition, Addison-Wesley, pp. 145-152, 2017.
- [2] Demir, H. ve Güllü, A., “Taşlama Parametrelerinin Taşlama Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 7, ss. 189-198, 2001.
- [3] Tonshoff, H. K., Karpuschewski, B. and Mandrysch, T. “Grinding Process Achievements and their Consequences on Machine Tools Challenges and Opportunities,” *Annals of the CIRP*, vol. 47, pp. 651-668, 1998.

- [4] Adıyaman, O., “Geliştirilen İkincil Dönel Eksenli Taşlama Mekanizması ile Düzlem Yüzey Taşlama İşleminde Kesme Parametrelerinin Araştırılması,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2015.
- [5] Shin, Y. C., Chen, Y.T, Kumara, S., “Framework of an Intelligent Grinding Process Advisor,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 3, pp. 135-148, 1992.
- [6] Rowe, B. W., “An Intelligent Multiagent Approach for Selection of Grinding Conditions,” *Annals of the CIRP*, vol. 46, pp. 233-238, 1997.
- [7] Mohamed, A. M. O., Bauer, R., Warkentin, A., “Application of Shallow Circumferential Grooved Wheels to Creep-Feed Grinding,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 213 no. 5, pp. 700-706, 2013.
- [8] Suzuki, K., Uematsu, T. and Nakagawa, T., “Highly Efficient Finishing of Ceramics by Helical Scan Grinding Proceedings of the International Conference on Machining of Advanced Materials,” *National Institute of Standards and Technology*, vol. 847, pp. 17, 1993.
- [9] Savas V., Ozay Ç., “Analysis of The Surface Roughness of Tangential Turn-Milling for Machining with End Milling Cutter,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 186, pp. 279–283, 2007.
- [10] Güllü, A. “Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımı ile Optimizasyonu,” Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 1995.
- [11] Ohmori H., Katahira K., Komotori J., Mizutani M., “Functionalization of Stainless Steel Surface Through Mirror-Quality Finish Grinding,” *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, vol. 57, pp. 545–549, 2008.
- [12] Jae-Seob Kwak, Sung-Bo Sim, Yeong-Deug Jeong., “An Analysis of Grinding Power and Surface Roughness in External Cylindrical Grinding of Hardened Scm440 Steel Using the Response Surface Method,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 46, pp. 304–312, 2006.
- [13] Krajnik, P., Kopac, J., Sluga, A., “Design of Grinding Factors Based on Response Surface Methodology,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 162, pp. 629-636, 2005.
- [14] Günay, E., Yurdakul, M., İç, Y. T., Mızrak, H. V., Güneş, S., “Kam Makarasının Dış Çap Yüzey Taşlama İşleminde Etkili Olan Faktörlerin Deney Tasarımı Kullanılarak En İyilenmesi,” *Politeknik Dergisi*, c. 21, s. 1, ss. 27-37, 2018.
- [15] Shaji, S., Radhakrishnan, V., “Analysis of Process Parameters in Surface Grinding with Graphite as Lubricant Based on the Taguchi Method,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 141, no. 1, pp. 51-59, 2003.
- [16] Dhavlikar, M. N., Kulkarni, M. S., Mariappan, V., “Combined Taguchi and Dual Response Method for Optimization of a Centerless Grinding Operation,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 132, no.1-3, pp. 90-94, 2003.
- [17] Agarwal, S., “Optimizing Machining Parameters to Combine High Productivity with High Surface Integrity in Grinding Silicon Carbide Ceramics,” *Ceramics International*, vol. 42, no. 5, pp. 6244-6262, 2016.


- [18] Karaş, B. S., Ünver, H. Ö., “Yüksek Hassasiyetli Taşlama İşleminde Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Modeli Oluşturma ve Çok Amaçlı Genetik Algoritma ile İşlem Optimizasyonu,” 9. *Talaşlı İmalat Kongresi (UTIS)*, Antalya, Türkiye, 2018, ss. 183-195.
- [19] Adıyaman, O., Savaş, V., “İkincil Dönel Eksenli ile Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmalarının Deneysel Araştırılması,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 11, s. 4, ss. 21-36, 2014.
- [20] Adıyaman, O., Fikret, S., “Yeni Tip Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin İncelenmesi,” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 215-225, 2020.
- [21] Adıyaman, O., Savaş, V., “Yeni Bir Tip Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizması ile Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne (Ra) Etkisinin Araştırılması,” *Politeknik Dergisi*, c. 20, s. 4, ss. 815-825, 2017.
- [22] “Yüzey kalitesi nasıl sağlanır.” <http://aydintaslama.net/yuzey-kalitesi-nasil-saglanir/> (Erişim Tarihi: 21/08/2021).
- [23] Adıyaman, O., “İkincil Dönel Eksenli ile Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi,” *Technological Applied Sciences*, c. 11, s. 1, ss. 10-23, 2016.
- [24] Bağcı, M., Erişkin, Y., Aslaner, M., *Taşlamacılık ve Alet Bileme Teknolojisi Kitabı*, Milli Eğitim Basımevi Birinci Baskı, İstanbul, Türkiye, 1982, ss. 97-101.
- [25] Demir, H., Güllü, A., “Taş Sertliği ve İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 3, ss. 577-284, 2008.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

## Magnezyum ve Magnezyum Esaslı Malzemelerde Korozyon

 Fevzi KELEN<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Van Meslek Yüksekokulu, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [fkelen@yyu.edu.tr](mailto:fkelen@yyu.edu.tr)  
DOI: 10.29130/dubited.1004053

### ÖZET

Düşük yoğunluk, yüksek spesifik mukavemet, kolay geri kazanım ve mükemmel sönümlenme kapasitesi gibi karakteristikleri ile modern hafif araçlar için en dikkat çekici yapısal malzemeler olarak ön plana çıkan magnezyum ve magnezyum esaslı malzemeler otomotiv ve havacılık gibi ulaşım dalları için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Yakıt verimliliğinin artırılması ve karbondioksit salınımının en aza indirgenmesinin amaçlandığı bu alanlarda direksiyon simidi, gösterge paneli, torpido kapağı ve karter gibi birçok uygulamaları bulunmaktadır. Bilhassa otomotiv endüstrisinde tüketim hacimleri her geçen gün artmaktadır. Fakat düşük korozyon dayanımları kullanımlarını gerek otomotiv sektöründe gerekse de endüstride demir, çelik ve alüminyuma kıyasla önemli oranda kısıtlamaktadır. Bu bağlamda yüksek korozyon dayanımlı magnezyum esaslı malzemelerin geliştirilmesi başlıca beklenti haline gelmiştir. Bu çalışmada yakıt tasarrufu ve düşük emisyon bakımından en umut verici yapısal malzemeler olan magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerin korozyon özelliklerine ve korozyon dayanımlarının nasıl iyileştirilebileceğine dikkat çekilmek istenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Magnezyum ve magnezyum esaslı malzemeler, Hafif alaşım ve kompozitler, Otomotiv malzemeleri, Korozyon

## Corrosion in Magnesium and Magnesium Based Materials

### ABSTRACT

Magnesium and magnesium-based materials, which stand out as the most striking structural materials for modern light vehicles with their characteristics as low density, high specific strength, easy recovery and excellent damping capacity, constitute an important potential for transportation branches like automotive and aerospace. It has many applications such as steering wheel, instrument panel, glove box cover and crankcase in these areas where it is aimed to increase fuel efficiency and minimize carbon dioxide emissions. In the automotive industry, its particularly consumption volumes are increasing day by day. However, their low corrosion resistance significantly limits their use in both the automotive and industry compared to iron, steel and aluminum. In this context, the development of magnesium-based materials with high corrosion resistance has become the main expectation. In this study, it is aimed to draw attention to the corrosion properties and how their corrosion resistance can improve of magnesium and magnesium-based materials which are the most promising structural materials in terms of fuel economy and low emissions.

**Keywords:** Magnesium and magnesium-based materials, Lightweight alloys and composites, Automotive materials, Corrosion

## I. GİRİŞ

Sera gazları ve yanma sonu açığa çıkan emisyonlar hava kirliliği, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bu gazların önemli bir kısmını karbondioksit salınımı oluşturmaktadır. Karbondioksit üretiminde sanayi, termik santraller, konut ısıtmaları vb. birçok parametre olmasına karşın ana etken fosil kökenli yakıtların enerji kaynağı olarak kullanıldığı içten yanmalı motorlardır. XX. yüzyıl sonlarında otomotiv endüstrisi karbondioksit salınımının %30 oranında azaltılması amacı ile taşıtlarda yakıt verimliliğini iyileştirme kararı almıştır. Yakıt ekonomisini geliştirmede motor ve transmisyon etkinliğinin artırılması, aerodinamik tasarım, silindir bloğu ve araç ön alanının küçültülmesi, motor, dişli ve lastiklerdeki sürtünmelerin asgari düzeye indirilmesi gibi birçok faktör bulunmasına rağmen en etkili ve en ekonomik yöntem taşıt kütlesinin azaltılmasıdır. Zira araç ağırlığında 1 kg'lık hafifleme karbondioksit üretiminde 20 kg'lık bir düşüş sağlamaktadır [1]-[4].  $1.738 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  düşük yoğunluğu ile tüm yapısal malzemeler arasında en hafifi olan magnezyum, otomotiv endüstrisi için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Magnezyum ve magnezyum esaslı malzemeler otomobillerin iç donanım, karoseri, şasi, araç ön alanı ve güç aktarma organları gibi temel sistemlerinde kullanılarak yakıt verimliliği iyileştirilip, karbondioksit salınımı en aza indirgenebilir. Nitekim taşıtlarda direksiyon simidi, gösterge paneli, debriyaj muhafazası ve radyatör gibi birçok uygulamaları bulunmaktadır. Fakat bu malzemelerin temel kullanımlarının araç ağırlığının önemli bir kısmını meydana getiren motor, transmisyon ve diferansiyel kutusu gibi güç aktarma organları bileşenleri olduğu düşünülmektedir [5]-[7]. Ne yazık ki düşük korozyon dayanımları gerek otomotiv uygulamalarında gerekse de endüstride demir, çelik ve alüminyuma göre daha az tercih edilmelerine neden olmaktadır. Mevcut çalışmada magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerin korozyon özellikleri ve korozyon mukavemetlerinin nasıl geliştirilebileceğine dikkat çekilmek istenmiştir.

## II. MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ESASLI MALZEMELERDE KOROZYON

Otomotiv endüstrisinde kullanım hacimleri sürekli olarak artan magnezyum esaslı malzemelerin zayıf korozyon dayanımları oksijensiz ortamlarda dahi korozyon oluşumuna yol açan yüksek elektronegatif potansiyeli ve birçok sulu veya nemli çevrelerde yüzeyde kararlı bir yapı sergilemeyen koruyucu oksit/hidroksit tabakadan kaynaklanmaktadır [8]-[9]. Tablo 1'de magnezyum ve önemli bazı metallerin standart elektrot potansiyel değerleri verilmiştir. Oda koşullarında magnezyum yüzeyinde meydana gelen gri oksit tabaka nemli ortamlarda magnezyum hidroksite dönüşmektedir.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  bazik şartlarda korozyon oluşumunu engellemesine karşın suda çözünebilir özellikte olmasından dolayı uzun süreli koruma sağlayamaz. Magnezyum ile yüzeyinde teşekkül eden oksit tabakanın bağıl hacimleri oranı birden küçük olması malzeme yüzeyinde gözenekli ve kararsız bir tabakanın oluşumuna neden olmaktadır. Bu oran alایش elementleri kullanılarak iyileştirilebilir. Tablo 2'de korozyon oluşumu sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonları verilen magnezyumun genel korozyon tepkimesinde her matris atomu için bir hidrojen molekülü üretilmektedir. Ayrıca reaksiyon esnasında indirgenen hidrojen ve yükseltgenen hidroksit iyonları pH değerinin artmasına yol açarak hidroksit tabakanın oluşumuna katkı sağlamaktadır [10]-[12].  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  sulu ortamlarda metali korozyon oluşumuna karşı uzun süre koruyamaz. Klorür, bromür, sülfat ve perklorat gibi iyonların mevcudiyeti özellikteki magnezyum tuzlarının teşekkülüne neden olup hidroksit tabakanın çözünmesine yol açmaktadır. Tablo 3'te magnezyum elektrotların çeşitli sulu çözeltilerdeki korozyon potansiyel değerleri verilmiştir. Şekil 1a'daki Pourbaix diyagramında korozyon oluşumu sırasında meydana gelen tüm kimyasal tepkimeler tanımlanmamaktadır. Bu durum magnezyumun sulu çözeltiler içerisindeki korozyonu sırasında oluşan bileşiklerin kararlılık alanları dikkate alındığında Perrault'a ait ve Şekil 1b'de verilen yeni bir diyagramın türemesine neden olmuştur. Perrault diyagramında kırk sekiz farklı reaksiyon tanımlanmakta ve farklı bölgeleri birbirinden ayıran kararlı haldeki kimyasal tepkimeler numaralandırılarak gösterilmektedir. Perrault  $\text{MgH}_2$  ve  $\text{Mg}^+$  iyonu için Pourbaix diyagramının termodinamik verileri içermesi gerektiğine

inanmasına karşın bunları göz önünde bulundurduğunda sulu çözeltiler ile temas halinde olan magnezyum elektrotu için termodinamik dengenin mevcut olmadığı kanısına varmıştır [13]-[15].

**Tablo 1.** Önemli bazı metallerin standart elektrot potansiyel değerleri (25°C'de normal hidrojen elektrotuna göre) [13].

Elektrot	Reaksiyon	Potansiyel, V
Li, Li <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Li	-3.02
K, K <sup>+</sup>	K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → K	-2.92
Na, Na <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Na	-2.71
<b>Mg, Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup> + e<sup>-</sup> → Mg</b>	<b>-2.37</b>
Al, Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup> + e <sup>-</sup> → Al	-1.71
Zn, Zn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup> + e <sup>-</sup> → Zn	-0.76
Fe, Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup> + e <sup>-</sup> → Fe	-0.44
Cd, Cd <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup> + e <sup>-</sup> → Cd	-0.40
Ni, Ni <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup> + e <sup>-</sup> → Ni	-0.24
Sn, Sn <sup>2+</sup>	Sn <sup>2+</sup> + e <sup>-</sup> → Sn	-0.14
Cu, Cu <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup> + e <sup>-</sup> → Cu	0.34
Ag, Ag <sup>+</sup>	Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Ag	0.80

**Tablo 2.** Magnezyum yüzeyinde korozyon oluşumu sırasında meydana gelen kimyasal tepkimeler [14].

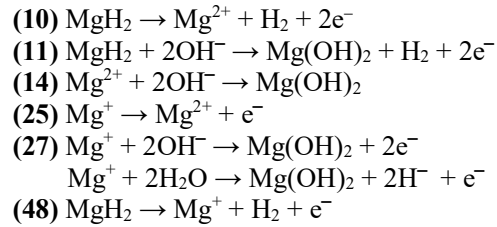
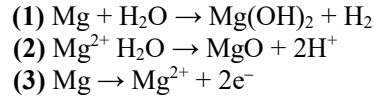
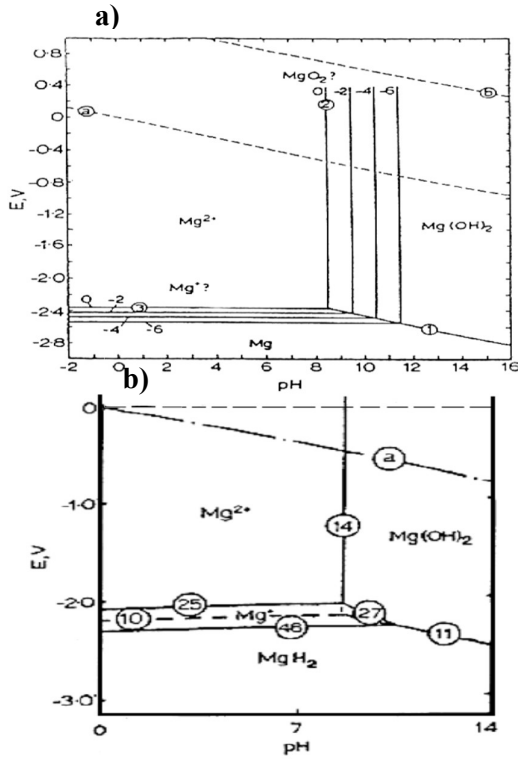
Reaksiyon adı	Reaksiyon oluşumu
Anodik	$2Mg \rightarrow 2Mg^{+} + e$
Katodik	$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$
Kimyasal	$2Mg^{+} + 2H_2O \rightarrow 2Mg^{++} + 2OH^{-} + H_2$
Toplam	$2Mg + 2H^{+} + 2H_2O \rightarrow 2Mg^{++} + 2OH^{-} + 2H_2$
Ürün oluşumu	$Mg^{2+} + 2OH^{-} \rightarrow Mg(OH)_2$
Genel	$Mg + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + H_2$

**Tablo 3.** Magnezyum elektrotların çeşitli sulu çözeltilerdeki korozyon potansiyelleri [10].

Elektrolit	E <sub>kor</sub> (NHE)
N NaCl	-1.72
N Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-1.75
N Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	-0.96
N HCl	-1.68
N HNO <sub>3</sub>	-1.49
N NaOH	-1.47
N NH <sub>3</sub>	-1.43
Ca(OH) <sub>2</sub> doymuş	-0.95
Ba(OH) <sub>2</sub> doymuş	-0.88

N: Normal



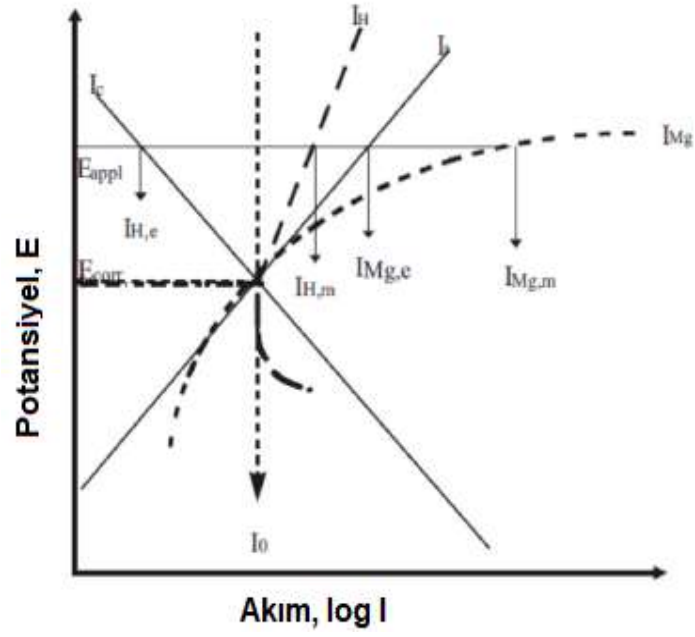


Şekil 1. a) Pourbaix ve b) Perrault'a ait Pourbaix diyagramları, (a-25°C'de Mg-H<sub>2</sub>O sistemi, b-H<sub>2</sub> moleküllerinin mevcudiyetinde Mg-H<sub>2</sub>O sistemindeki denge durumu) [14].

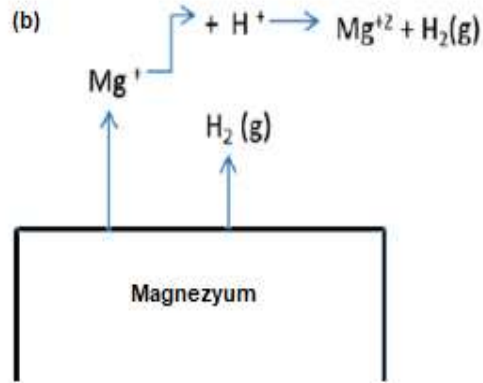
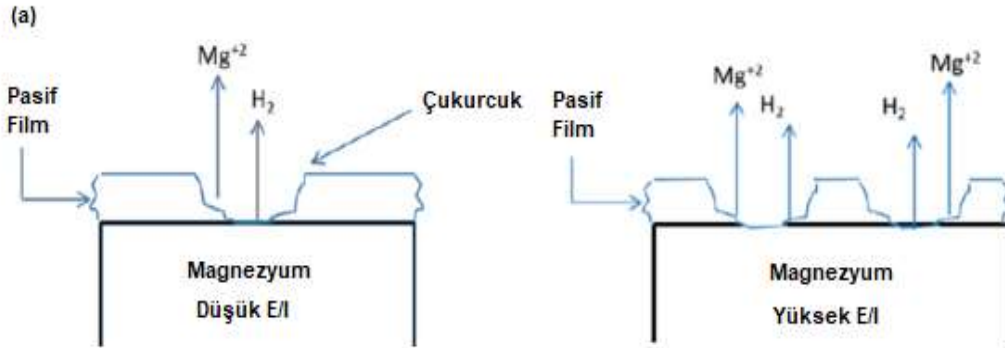
## A. NEGATİF FARK ETKİSİ (NFE)

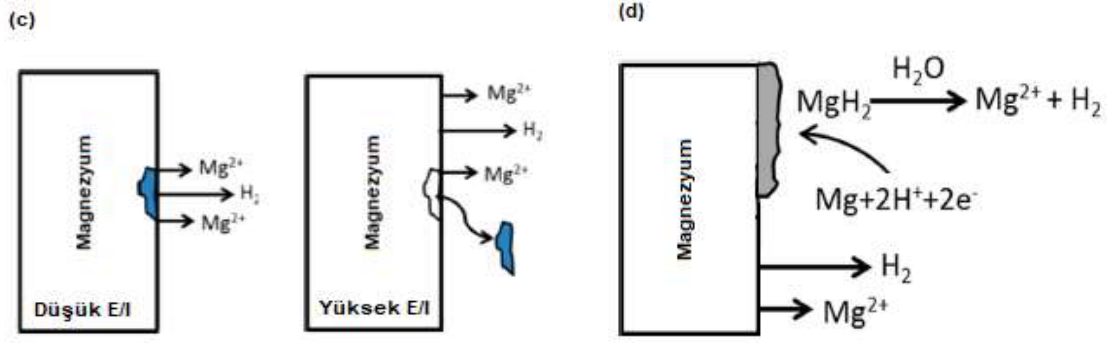
Elektrokimyasal açıdan anodik ve katodik olarak iki farklı gruba ayrılan korozyon reaksiyonları normal şartlar altında uygulanan potansiyelin artması ile birlikte anodik tepkime artmakta katodik reaksiyon ise azalmaktadır. Magnezyumda farklılık arz eden ve negatif fark etkisi olarak adlandırılan bu durum, korozyon teşekkülü sırasında anodik akımın artmasıyla hem korozyon hızı hem de hidrojen oluşumu artmaktadır. Faraday yasalarına göre metalin beklenenden daha fazla korozyona uğramasına yol açan bu davranış neticesinde korozyon potansiyeli ile anodik polarizasyon sonucu elde edilen katodik reaksiyon akım yoğunlukları arasındaki fark negatif olmaktadır [16]-[18]. Şekil 2'de verilen negatif fark etkisinin şematik gösteriminde normal anodik ve katodik tepkimeler  $I_a$  ve  $I_c$  çizgileri ile sembolize edilirken reaksiyonların hızı ise korozyon potansiyel değerlerine ( $E_{corr}$ ), karşılık gelen  $I_0$  değerleri ile gösterilmektedir. Birçok metalik malzemede elektrokimyasal polarizasyon davranışı, potansiyelin daha soy değerler alması halinde anodik tepkime hızının  $I_a$  eğrisi boyunca  $I_{Mg,e}$  değerine yükselmesi, katodik reaksiyon hızının ise  $I_c$  eğrisi boyunca  $I_{H,e}$  değerine düşmesi şeklinde gerçekleşirken magnezyumda potansiyel arttıkça korozyon hızı  $I_{Mg}$  ve hidrojen oluşum hızı  $I_H$  değerleride artmaktadır. Dolayısıyla  $E_{appl}$  potansiyeli için katodik reaksiyon hızı  $I_{H,m}$  değeri olup, bunun  $I_0$ 'dan büyük olması negatif fark etkisine sebep olmaktadır. Ayrıca  $E_{appl}$  potansiyeli için anodik reaksiyon hızı  $I_{Mg,m}$  değeridir.  $I_{Mg,m}$  ise, Şekil 2'de de görülebileceği üzere, korozyon akımından,  $I_{Mg,e}$ , daha büyüktür. Magnezyum ve alaşımlarında meydana gelen negatif fark etkisi dört farklı şekilde açıklanmaktadır. İlk olarak yüzeyde meydana gelen kısmi koruyucu tabakanın anodik tepkime sırasında hasara uğramasına isnat edilmektedir. Tabakanın koruyuculuk özelliği uygulanan potansiyel veya akım yoğunluğu ile ters orantılı olarak değişmektedir (Şekil 3a). İkincisinde; anodik polarizasyonda açığa çıkan  $Mg^+$  iyonunun reaksiyona girmesi sonucu oluşan hidrojene atfedilmektedir (Şekil 3b). Üçüncüsünde; korozyon teşekkülü sırasında matrisle nazaran daha soy karakterde olan ikincil fazların yapıdan koparak ayrılmasına dayandırılmaktadır. Zira intermetalik bileşiklerin bünyeden ayrılması sonucu oluşan ağırlık kaybı, elektrokimyasal çözünme neticesinde meydana gelen ağırlık kaybından daha fazla olmaktadır (Şekil 3c). Dördüncüsünde

ise, yüzeyde oluşan magnezyum hidrür,  $MgH_2$ , tabakanın suda oldukça reaktif olması ve parçalanarak  $Mg^{+2}$  ile  $H_2$  bileşenlerine ayrılması ile ilişkilendirilmektedir (Şekil 3d) [19]-[23].



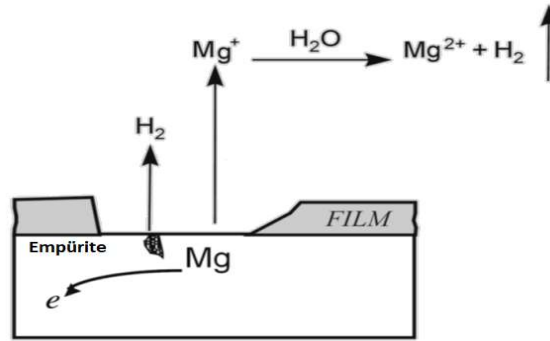
Şekil 2. Negatif fark etkisinin şematik gösterimi [18].





Şekil 3. a; Kısmi koruyucu yüzey film, b;  $Mg^+$ , c; Yapı içerisinde ayrılan partikül ve d;  $MgH_2$  modelleri [19].

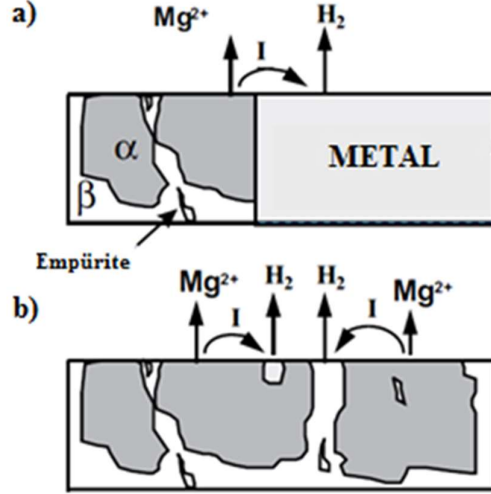
Korozyon dayanımı ile doğrudan ilişkili olan negatif fark etkisi için önerilen bu mekanizmalar magnezyum ile aynı davranışı sergileyen alaşımları içinde geçerlidir. Genellikle zayıf korozyon dirençli alaşımlarda güçlü bir negatif fark etkisi gözlenmektedir. Bunlar haricinde öne sürülen ve Şekil 4'te gösterilen diğer bir mekanizmada ise uygulanan potansiyel ya da akım yoğunluğunun artmasıyla yüzeyde koruyucu tabaka bulunmayan alanın arttığı, bu kısımlarda  $Mg^+$  ve  $H_2$  oluşumu ile korozyon teşekkülünün gerçekleştiğidir. Potansiyel veya akım yoğunluğunun negatif olması halinde tabakanın zarar görmediği, dolayısıyla, anodik çözünmenin çok küçük düzeylerde gerçekleştiği saptanmıştır. Diğer taraftan metal yüzeyindeki koruyucu tabakada hidrojen oluşumu devam etmektedir. Fakat potansiyelin oyuklanma potansiyelinden küçük olması hidrojen oluşumunu yavaşlatmaktadır. Potansiyelin oyuklanma potansiyel değerine ulaşması ile birlikte koruyucu tabaka parçalanmaya başlamakta ve film olmayan bölgelerde hidrojen oluşumu ve çözünme kolaylaşmaktadır. Potansiyelin artması ile koruyucu tabaka olmayan bölgeler büyümekte ve anodik çözünme hızı artmaktadır [14], [24].



Şekil 4. Elektrokimyasal korozyon ve metal yüzeyinde meydana gelen NFE [14].

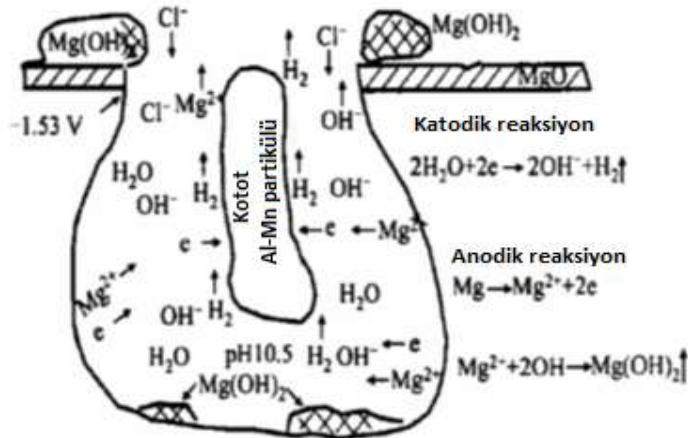
## B. MAGNEZYUMDA MEYDANA GELEN KOROZYON TÜRLERİ

Magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerin korozyon davranışı bileşim, empüriteler, ikincil fazlar, galvanik çiftler, sıcaklık, yüzey işlemleri, mikro yapı, gerilme ve çevresel koşullar gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Yüksek elektronegatif potansiyelden dolayı magnezyum galvanik korozyona uğrar. Anot/katod arasında yetersiz mesafe, büyük potansiyel fark, fazla katot/anot alanı oranı ve elektrolitteki yüksek iletkenlik galvanik korozyon hızının artmasına yol açar. Potansiyel farkın minimize edilmesi ve devre direncinin maksimuma çıkarılması ile bu korozyon hızı düşürülebilir. Ayrıca tasarımda katodik polarizasyon eğiliminin artmasına neden olan metaller tercih edilerek galvanik korozyon oluşumu azaltılabilir. Matris içerisinde yer alan düşük hidrojen fazla voltajına sahip Fe, Ni ve Cu gibi empüriteler veya ikincil fazlar şiddetli mikrogalvanik korozyona sebep olur. Al, Zn, Cd ve Sn gibi metaller ise aktif korozyon potansiyeline ve yüksek hidrojen fazla voltajına sahip olup daha az korozyon teşekkülüne yol açmaktadır [15], [25]-[27]. Şekil 5'te makro ve mikro galvanik korozyon mekanizmaları görülmektedir.



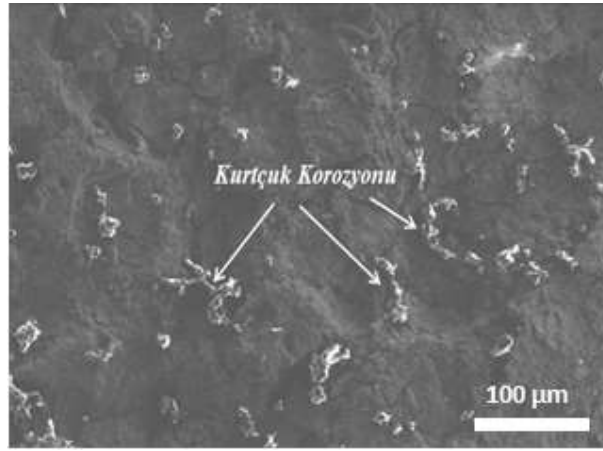
Şekil 5. Galvanik korozyon mekanizmaları a) Makro galvanik korozyon ve b) Mikro galvanik korozyon [14].

Ortamdaki Cl<sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> gibi agresif iyonların pasif film tabakasındaki süreksizliklere nüfus etmesi ve bu bölgelerdeki artan konsantrasyonları magnezyum yüzeyinde çukurcuk (pitting) korozyonu oluşumuna neden olmaktadır. Bu korozyon türünün klorür yoğunluğu ağırlığının 2·10<sup>-3</sup>–2·10<sup>-2</sup>M NaCl değerlerinde gözlemlendiği belirtilmiştir. Genellikle çukurcuk korozyonunun koruyucu tabaka altındaki ikincil fazlara komşu hatalarda başladığı ve intermetaliklerin katot, matris fazın ise anot olarak hareket etmesi sonucu korozyon hızının buralarda arttığı tespit edilmiştir. Örneğin normal atmosfer koşullarında yüzeyinde magnezyum oksit, MgO, oluşan AM60 magnezyum alaşımı NaCl çözeltisine maruz bırakıldığında Cl<sup>-</sup> iyonları Al-Mn partiküllerinin sınırında yer alan Mg-α bölgelerine adsorbe olmaktadır. Pasif filmin bozunma potansiyeli korozyon potansiyeline ulaşması ile birlikte anodik karakter sergileyen matris çözünmekte ve intermetaliklerin çevresinde çukurcuklar teşekkül etmeye başlamaktadır. Şekil 6'da çukurcuk korozyonu mekanizması görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda magnezyum bazlı malzemelerin klorlu çözeltilere maruz kalmaları durumunda çukurcuk korozyonu şeklinde hasara uğradıkları ifade edilmektedir. Ayrıca çukurcuk korozyonu türü hakkında yapılan araştırmalarda katı fazda yapılan sinterlemelerde proses sıcaklığı ve mikro yapıdaki porozitelerin çukurcuk morfolojisi üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [28]-[33]. Magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerde çukurcuk korozyonu ile birlikte kurtçuk (filiform) korozyonu da gözlenmektedir. Bu korozyon türü çukurcukların teşekküllü sonrası oyuklardan dışarı doğru uzanan dar ve yarı silindirik iplikçikler şeklinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6. AM60 magnezyum alaşımında teşekkül eden çukurcuk korozyonu mekanizması [25].

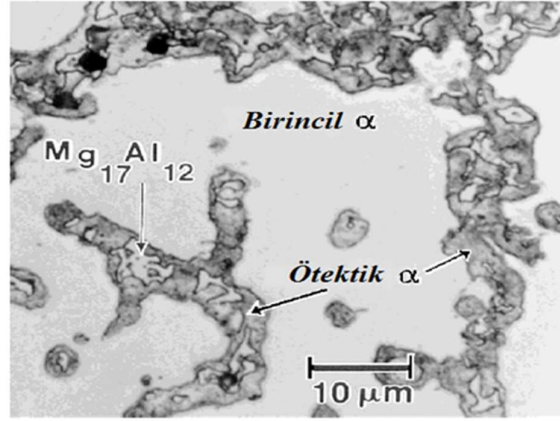
Kurtçuk korozyonunun iplikçiğin uç kısmındaki gaz oluşumu ile başlayarak yayıldığı ve arka kısmının ise hemen pasifleştiği tespit edilmiştir. Çukurcuk korozyonuna göre daha düşük klorür konsantrasyonlarında meydana gelmektedir. Literatürde magnezyum esaslı malzemelerin NaCl çözeltisi içerisinde çukurcuk korozyonu ile birlikte kurtçuk korozyonuna da maruz kaldığı gözlenmiştir [31-33, 34-35]. Şekil 7'de magnezyum matrisli kompozit malzemede oluşan kurtçuk korozyonu görülmektedir. Koroziif ortamlarda magnezyum esaslı malzemelere uygulanan yükler sonucu gerilmeli korozyon çatlağı meydana gelmektedir. Bu korozyon tipi ile meydana gelen kırılma taneler arası (intergranular) ve tane boyunca (transgranular) olmak üzere iki gruba ayrılır. Taneler arası gerilmeli korozyon çatlağı tane sınırında yer alan sürekli bir intermetalik faz,  $\beta$ , tarafından kaynaklanırken tane boyunca gerilmeli korozyon çatlağı ise matristeki hidrojenin etkileşimi sonucu tezahür etmektedir. Magnezyuma alüminyum veya çinko ilavesi gerilmeli korozyon çatlağını artırır. Bu elementleri ihtiva eden alaşım serileri ise hava veya tuzlu çözeltilerde gerilmeli korozyon çatlağına karşı oldukça duyarlı hale gelmektedir. 25°C'de %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde saf magnezyum ve AZ91D, AM50, AS21 alaşımları ile yapılan çalışmalarda düşük katışık içeriği ve intermetalik fazlar nedeni ile gerilmeli korozyon çatlağının yeterli düzeyde iyileştiği ve artan test sıcaklıklarına karşın korozyon hızının yavaşladığı saptanmıştır [36-38].



Şekil 7. Magnezyum matrisli kompozitlerde meydana gelen kurtçuk korozyon türü [31].

### C.MAGNEZYUMUN KOROZYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Genellikle yapısal uygulamalarda tercih edilmeyen saf magnezyumun düşük mekanik özellikleri ve zayıf korozyon dayanımını iyileştirmek amacıyla alüminyum, çinko, mangan, kalsiyum ve nadir toprak elementleri gibi katışık öğeleri sıklıkla kullanılmıştır. Alüminyum ile alaşımlamalarda korozyon dayanımının arttığı ancak meydana gelen intermetalik,  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>, fazdan dolayı süneklığın ciddi oranda düştüğü saptanmıştır.  $\beta$  fazın korozyon dayanımı üzerinde iki önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Matris malzemesi yüksek elektronegatif potansiyeli nedeni ile daha fazla hasara uğrar ve intermetalik faz ile arasında teşekkül eden mikro galvanik çiftler korozyon hızını artırır. Diğer taraftan  $\beta$  fazının korozyon dayanımı daha yüksek ve katodik tepkime oluşturma eğilimi daha fazladır. Dolayısıyla matris faz içerisinde düşük korozyon hızı sebebi ile bir bariyer görevi görerek korozyon oluşumunu engelleyebilir. Şekil 8'de AZ91D alaşımın tipik mikro yapısı verilmiştir. Çinko ilavelerinde meydana gelen ikincil fazlar magnezyumun yüksek sıcaklıklarda korozyon hızının artmasına neden olurken düşük çinko içeriklerinde bu etki azalmaktadır. Bakır matris fazda oluşturduğu bakırca zengin intermetalikler ile malzemenin korozyon dayanımını iyileştirir. Mangan yapı içerisindeki empüritelere etkisini en aza indirmesinin yanı sıra özellikle AZ alaşım serilerinde korozyon mukavemetini geliştirir. Kalsiyum, berilyum ve nadir toprak elementlerinin korozyon dayanımı üzerinde pozitif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir [39-40]. Şekil 9'da empürite ve alaşım elementlerinin korozyon davranışı üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



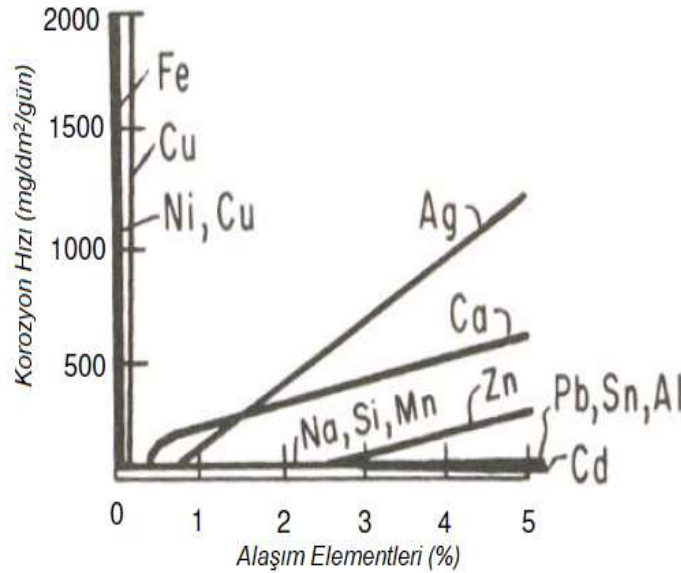
**Şekil 8.** AZ91D alaşımının tipik mikro yapısı [24].

Magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerin korozyon davranışı üzerinde önemli tesire sahip ikincil fazların korozyon potansiyel değerleri Tablo 4'te verilmiştir. AZ alaşım serilerinde Fe ana alaşım elementi ile reaksiyona girerek  $Al_3Fe$  intermetalliği oluşturur. Bu bileşik matris fazın tane sınırlarında süreksizlikler meydana getirerek etkin bir katot gibi hareket eder. Matris faz içerisinde hacimsel orana ( $f=V_\beta/V_\alpha$ ) bağlı olarak alaşımın korozyon direncini etkileyen  $\beta$  fazı büyük anot/katod alan oranlarında galvanik bir katot gibi davranarak malzemenin korozyon dayanımını düşürürken küçük oranlarda korozyon mukavemetini geliştirmektedir.  $AlMn$ ,  $Mg_{17}Al_{12}$ 'den daha korozif iken  $FeAl$  en zararlı katodik fazlardan biridir.  $Mg_2Pb$  fazı çukurcuk korozyonu oluşumuna,  $Mg_{24}Y_5$  intermetalliği ise korozyon hızının artmasına yol açar.  $Mg_{12}Nd$  bileşiği yapı içerisinde katot olarak hareket eder.  $Mg_2Si$  intermetalliğin korozyon davranışı üzerinde bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için korozyon mukavemetleri istenilen düzeyde olmayan magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerin korozyon dayanımı saf suda önemli oranda sıcaklığa bağlı iken kuru veya nemli ortamlarda sıcaklık ile nispeten daha az değişim göstermektedir. Saf magnezyumun  $100^\circ C$  sıcaklıktaki korozyon hızının saf suda  $16 \text{ mm/yıl}$  olduğu saptanmıştır. AZ61 magnezyum alaşımının korozyon hızının aynı şartlarda  $500 \text{ } \mu\text{m/yıl}$ 'dan  $25 \text{ } \mu\text{m/yıl}$ 'a gerilediği gözlenmiştir [25], [41]. Magnezyum esaslı malzemelerin korozyon hızı sıcaklıkla lineer olarak artmasına rağmen alüminyum içeren alaşımların  $437^\circ C$  ötektik sıcaklıkta farklı bir davranış sergilediği saptanmıştır. Malzemenin kimyasal özellikleri ve matristeki fazların hacimsel oranından kaynaklanan bu durum esnasında  $\beta$  intermetalik bileşiği eriyerek küreselleşmekte ve mikro yapının daha homojenize olmasını sağlayarak korozyon direncini artırmaktadır.

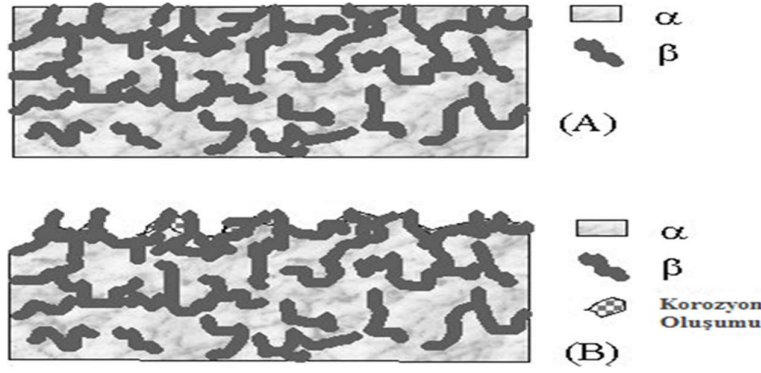
**Tablo 4.** Mg ve yaygın magnezyum ikincil fazlarının 2 saat sonrasında pH değeri 10,5 olan %5 NaCl çözeltisindeki korozyon potansiyeli değerleri [24].

Metal	$E_{corr}, V_{SCE}$
Mg	-1.65
$Mg_2Si$	-1.65
$Al_6Mn$	-1.52
$Al_4Mn$	-1.45
$Al_8Mn_5$	-1.25
$Mg_{17}Al_{12} (\beta)$	-1.20
$Al_8Mn_5(Fe)$	-1.20
Beta-Mn	-1.17
$Al_4MM$	-1.15
$Al_6Mn(Fe)$	-1.10
$Al_6(MnFe)$	-1.00
$Al_3Fe(Mn)$	-0.95
$Al_3Fe$	-0.74

$\beta$  fazının dağılımı ve miktarı gibi tane boyutu, gözeneklik ve kompozisyonunda korozyon dayanımı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Örneğin optimize edilmiş tane boyutu ve sınırı zararlı ikincil fazların oluşumunu kısıtlayarak korozyon mukavemetini iyileştirir. Yüksek soğuma hızları ile tane boyutu küçültülerek daha düzgün dağılıma sahip mikro yapılar elde edilebilir. Yarı katı döküm teknolojisi ile üretilmiş AZ91D alaşımın korozyon hızı basınçlı dökümle imal edilmiş kıyasla %35 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. AZ91D ile yapılan farklı korozyon çalışmalarında iç bölgelerdeki korozyon hızının yüzeydekine nazaran ortalama 10 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Yüzeydeki düşük korozyon hızı, küçük taneli  $\alpha$  yapısı, düşük gözenek miktarı ve yüksek orandaki  $\beta$  fazına atfedilmiştir.  $\alpha$  fazının küçük taneli olması gerek gözenek oluşumunu engellemekte gerekse de  $\beta$  intermetalik bileşiğin sürekli bir doku halini almasını sağlamaktadır. Yüzeyde teşekkül eden sürekli  $\beta$  fazı alaşımın korozyon mukavemetini artırmaktadır [42]-[44]. Şekil 10'da magnezyum esaslı malzemenin yüzey kompozisyonundaki değişimlerinin korozyon davranışı üzerindeki etkisi görülmektedir. Magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerin korozyon dayanımı çevresel koşullarda bağıl nem, karbondioksit konsantrasyonu, ortam sıcaklığı ve klor iyonlarının varlığına bağlı olarak değişmektedir. Bu dört faktörden bağıl nem yüksek oranlarda malzeme yüzeyinde elektrolit tabaka kalınlığının artmasına yol açarak korozyon dayanımının düşmesine neden olur. %10 bağıl nem içeren ortamlarda 1.5 yıl sonra dahi korozyonun oluşmadığı, %30 olması halinde yüzeyde az miktarda korozyonun gözlemlendiği, %80 seviyelerinde ise korozyon teşekkülünün belirginleştiği ve tüm yüzeyin %30'unu kapladığı saptanmıştır. %93 ve üzeri bağıl nem ihtiva eden çevrelerde metal yüzeyinde  $Mg(OH)_2$  tabaka meydana gelmektedir. Fakat uygun atmosfer koşullarında yüzeyde oluşan korozyonun hidroksit veya güçlü hidrat içerdiğine inanılır. AZ91, AM20 ve AM50 alaşım serileri ile yapılan deneylerde klorün neden olduğu atmosferik korozyonun uygun karbondioksit konsantrasyonu tarafından engellendiği tespit edilmiştir.  $CO_2$  yokluğunda korozyon oluşumu lokal, varlığında ise üniform olmaktadır. 350 ppm'den düşük konsantrasyonlarda korozyon hızı üç kat artmaktadır. Karbondioksitin korozyon dayanımını iyileştirmesindeki temel etken yüzeyde karbonat ihtiva eden ince bir koruyucu tabaka oluşturmasıdır. Karbonatça zengin bölgeler yalıtkan olmalarından dolayı bir bariyer gibi davranarak malzemenin korozyon hızını düşürmektedir. Koruyucu tabaka morfolojisi artan  $CO_2$  konsantrasyonu ile değişiklik sergilemektedir. Sıcaklık artıkaça magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerin korozyon dayanımı zayıflar. Pasif film tabakasında hasara yol açan klor iyonları ise korozyon hızının artmasına neden olur [45]-[48].



Şekil 9. Empürite ve alaşım elementlerinin korozyon hızı üzerindeki etkisi [46].

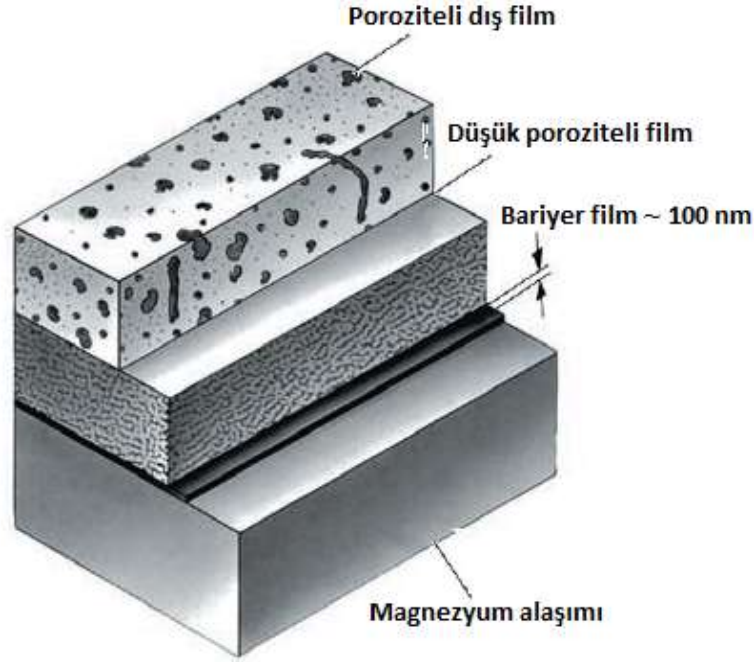


Şekil 10. Yüzey kompozisyonundaki değişimlerin korozyon davranışı üzerindeki etkisi a) İlk ve b) Son yüzey [24].

### III. MAGNEZYUMUN KOROZYONA KARŞI KORUNMASI

Magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerin korozyon dayanımı yüksek saflıkta yeni alaşım serileri geliştirme, homojen mikroyapı oluşturma ve yüksek korozyon mukavemetli intermetalikler kullanma gibi farklı metotlar ile iyileştirilebilir. Ayrıca bu malzemelerin korozyon direnci yüzey işlemlerinden doğrudan etkilenmektedir. Yüzey temizleme, taşlama ve kaplama olarak adlandırılan bu işlemler korozyon dayanımını önemli ölçüde artırabilir. Zımparalama, alkalın temizleme, asitle dağlama gibi temizleme işlemleri ile korozyona oldukça dayanıklı yüzeyler elde edilebilir. Taşlama ile pürüzsüz, metalik kalıntılardan arındırılmış, ince taneli ve düşük tane yönelimine sahip yüzeyler meydana getirilerek korozyon direnci iyileştirilebilir. Kaplama işlemleri ile malzemenin dış ortam ile teması önlenerek korozyona sebep olan etkenler asgari düzeye indirgenebilir. Endüstride kullanılan birçok farklı kaplama tekniği bulunmaktadır. Bu yöntemlerden elektrokimyasal kaplama ile malzemenin iletkenliği, aşınma mukavemeti ve korozyon direnci geliştirilmektedir. Elektro (electroplating) ve elektriksiz (electroless plating) kaplama olarak ikiye ayrılan elektrokimyasal kaplamada belli özelliklerdeki bir metal istenilen alana uygulanarak işlem gerçekleştirilmektedir. Elektrolitteki metal tuzu malzeme yüzeyinde metal forma indirgenmektedir. Redüksiyon için gerekli elektronlar ya bir dış kaynaktan ya çözeltideki kimyasal indirgeyiciden yâda altlık malzemesinden elde edilir. Genellikle spor araçların iç kısmında yer alan parçaların dekoratif amaçlı kaplanmasında tercih edilmektedir. Magnezyumun korozyon mukavemetini geliştirmenin yanı sıra boyama esaslı özelliklerini iyileştirmek içinde uygulanan dönüşüm kaplamalarında altlık metal oksitleri, kromatları, fosfatları veya yüzeye kimyasal olarak bağlanan diğer bileşiklerden meydana gelen bir tabaka teşkil edilerek malzeme yüzeyinin kimyasal ya da elektrokimyasal olarak işlem görmesi sağlanmaktadır. Kromat, fosfat - permanganat ve florozirkonat gibi türleri olan dönüşüm kaplama yöntemlerinden kromatlama otomotiv uygulamalarında elektro kaplamadan önce tatbik edilmektedir. Ancak heksavalent kromun kanserojen olması hasebiyle kullanımları kısıtlıdır. Bundan dolayı daha az zarar içeren fosfat – permanganat ve florozirkonat kaplama teknikleri kullanılmaktadır. Krom esaslı dönüşüm kaplamalarına alternatif olarak geliştirilen hidrür kaplama tekniğinde katot olarak davranan magnezyum subsrat, alkali metal hidroksit, amonyum tuzları veya benzeri alkali metaller ilave edilerek hazırlanan bir alkalın solüsyonda elektrokimyasal işleme tabi tutulmaktadır. Magnezyum yüzeyinde kalın ve kararlı bir tabaka meydana getirilerek boya tutulabilirliğinin ve pasifleştirme eğiliminin geliştirilmesi amacıyla uygulanan anodizasyon işleminde ise malzeme/kaplama ara yüzeyinde ince bir tabaka ile bu yapıyı izleyen hücresel formdaki diğer bir katman elde edilmektedir. Magnezyum esaslı malzemelere Dow 17, ANOMAG, MAGOXID ve Keronite gibi uygulanan farklı anodizasyon metotları bulunmaktadır. Bunlardan otomotiv endüstrisinde kullanılan MAGOXID, yoğurma ve basınçlı döküm yöntemi ile imal edilenlere, Keronite ise kaporta panellerine ön işlem olarak uygulanmaktadır. Şekil 11'de MAGOXID kaplama yönteminin şematik gösterimi verilmiştir. Düşük sıcaklık metotları tercih edilerek kimyasal buhar biriktirme yöntemi magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelere tatbik edilir iken fiziksel buhar biriktirme ile yüzey daha yüksek korozyon dayanımına sahip farklı malzemeler ile kaplanabilmektedir [49]-[54].





Şekil 11. MAGOXID kaplamanın şematik olarak gösterimi (kalınlık ~ 25 µm) [25].

#### IV. SONUÇ

Düşük yoğunluk, yüksek spesifik mukavemet, kolay geri kazanım ve mükemmel sönümlenme kapasitesi gibi karakteristikleri ile modern hafif araçlar için en dikkat çekici yapısal malzemeler olarak ön plana çıkan magnezyum ve magnezyum esaslı malzemeler otomotiv ve havacılık gibi ulaşım dalları için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Özellikle düşük yoğunluğun kritik bir parametre olduğu otomotiv uygulamalarında kullanımları her geçen gün artmaktadır. Fakat düşük korozyon dayanımları gerek otomotiv sektöründe gerekse de endüstride demir, çelik ve alüminyuma göre daha az tercih edilmesine neden olmaktadır. Magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerin zayıf korozyon direnci yeni alaşım elementleri, ince taneli mikroyapı, yüksek korozyon dayanımlı intermetalik bileşikler ve yüzey işleme teknikleri ile geliştirilebilir. Bu yöntemlerden yeni alaşım elementleri ve yüksek korozyon dayanımlı intermetalikler kullanma ve ince taneli homojen mikroyapılar oluşturma ile hem düşük korozyon direnci hem de akma mukavemeti, çekme dayanımı, elastik modül ve süneklik gibi mekanik özelliklerde iyileştirilebilir. Yüzey işleme metodlarından temizleme, taşlama ve kaplama ile korozyon mukavemetleri önemli oranda artırılabilir. Bilhassa kaplama yöntemleri ile malzemenin dış ortamla teması en aza indirgenerek korozyon oluşumu için yeterli koruma sağlanabilir. Bu tekniklerden basit geometrik yüzeyler için elektro, homojen katmanlı yapılar meydana getirmek için akımlı, yeterli korozyon ve aşınma direnci sağlamak amacıyla kombine edilmiş tabakalar için dönüşüm ve ticari açıdan en yaygın ve geniş alaşım yelpazesine uygulanabilen anodizasyon yöntemleri ile korozyon dayanımları arzulanan düzeylere getirilebilir. Ayrıca çevresel açıdan daha güvenilir olan modifiye edilmiş yüzeyler veya sol-jel gibi organik kaplamalar ile korozyon mukavemetleri artırılabilir. Düzgün, üniform, gözeneksiz ve güçlü matris/kaplama arayüzey bağına sahip kaplamalar ile yüksek korozyon dirençli yapılar elde edilebilir. Dolayısıyla magnezyum ve magnezyum esaslı malzemelerin korozyon dayanımları bu metotlar ile geliştirilerek otomotiv endüstrisindeki kullanımları artırılmalıdır. Böylece otomobil ağırlığında sağlanacak önemli hafifleme ile hem yakıt sarfıyatı hem de yanma sonucu açığa çıkan insan sağlığı ve çevre kalitesi açısından son derece tehlikeli egzoz emisyonları minimize edilebilir. Zira taşıt ağırlığında meydana gelen hafifleme yakıt verimliliğinde önemli bir iyileşme, toplam ağırlıkta küçük bir azalma ise karbondioksit üretiminde ciddi bir düşüş sağlamaktadır.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] F. Kelen, "Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri," *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 19, s. 1-2, ss. 80-87, 2014.
- [2] E. Aghion, B. Bronfin, D. Eliezer, "The role of the magnesium industry in protecting the environment," *Journal of materials processing technology*, vol. 117, no. 3, pp. 381-385, 2001.
- [3] F. Kelen, "Magnezyum ve alaşımlarının otomotiv endüstrisindeki önemi ve uygulamaları," *Journal of the Institute of Science and Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 548-562, 2021.
- [4] H. Friedrich, S. Schumann, "Research for a "new age of magnesium" in the Automotive Industry," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 117, no. 3, pp. 276-281, 2001.
- [5] K. U. Kainer, F. Von Buch, "The current state of technology and potential for further development of magnesium applications," in *Magnesium-Alloys and Technology*, K. U. Kainer, Ed., WILEY-VCH Verlag, 2003, pp. 1-22.
- [6] R. Fink, "Die-casting magnesium," in *Magnesium-Alloys and Technology*, K. U. Kainer, Ed., WILEY-VCH Verlag, 2003, pp. 23-44.
- [7] A. A. Luo, "Applications: aerospace, automotive and other structural applications of magnesium," in *Fundamentals of Magnesium Alloy Metallurgy*, Woodhead Publishing, Philadelphia, USA, 2013, pp. 66-316.
- [8] G. Song, D. H. StJohn, "Corrosion of magnesium alloys in commercial engine coolants," *Materials and Corrosion*, vol. 56, no. 1, pp. 15-23, 2005.
- [9] M. Esmaily, J. E. Svensson, S. Fajardo, N. Birbilis, G. S. Frankel, S. Virtanen, R. Arrabal, S. Thomas, L. G. Johansson, "Fundamentals and advances in magnesium alloy corrosion," *Progress in Materials Science*, vol. 89, pp. 92-193, 2017.
- [10] B. A. Shaw, "Corrosion resistance of magnesium alloys," in *ASM handbook*, vol. 13A, 2003, pp. 692-696.
- [11] N. Winzer, A. Atrens, G. Song, E. Ghali, W. Dietzel, K. U. Kainer, N. Hort, C. Blawert, "A critical review of the stress corrosion cracking (SCC) of magnesium alloys," *Advanced Engineering Materials*, vol. 7, no. 8, pp. 659-693, 2005.
- [12] F. Cao, G. L. Song, A. Atrens, "Corrosion and passivation of magnesium alloys," *Corrosion Science*, vol. 111, pp. 835-845, 2016.
- [13] A. Froats, T. K. Aune, D. Hawke, W. Unsworth, J. Hillis, "Corrosion of Magnesium and magnesium alloys," *ASM Handbook*, vol. 13, pp. 740-754, 1987.
- [14] G. L. Song, A. Atrens, "Corrosion mechanisms of magnesium alloys," *Advanced Engineering Materials*, vol. 1, no. 1, pp. 11-33, 1999.
- [15] W. A. Ferrando, "Review of Corrosion and corrosion control of magnesium alloys and composites," *Journal of Materials Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 299-313, 1989.
- [16] A. Froats, T. K. Aune, D. Hawke, W. Unsworth, J. Hillis, "Corrosion of magnesium and magnesium alloys," *ASM Handbook*, vol. 13, 1987, pp. 740-754.

- [17] M. Liu, P. J. Uggowitzer, A. V. Nagasekhar, P. Schmutz, M. Easton, G. L. Song, A. Atrens, “Calculated phase diagrams and the corrosion of die-cast Mg–Al alloys,” *Corrosion Science*, vol. 51, no. 3, pp. 602-619, 2009.
- [18] G. Song, A. Atrens, D. Stjohn, J. Nairn, Y. Li, “The electrochemical corrosion of pure magnesium in 1 N NaCl,” *Corrosion Science*, vol. 39, pp. 855–875, 1997.
- [19] M. Peron, J. Torgersen, F. Berto, “Mg and its alloys for biomedical applications: exploring corrosion and its interplay with mechanical failure,” *Metals*, vol. 7, no. 7, pp. 252, 2017.
- [20] T. Zhang, Y. Li, F. Wang, “Roles of  $\beta$  phase in the corrosion process of AZ91D magnesium alloy,” *Corrosion Science*, vol. 48, no. 5, pp. 1249-1264, 2006.
- [21] G. G. Perrault, “Potentiostatic study of the magnesium electrode in aqueous solution,” *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, vol. 27, no. 1, pp. 47-58, 1970.
- [22] G. O. Seçgin, “İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilmiş Az31 magnezyum alaşımının korozyon davranışının incelenmesi,” Doktora Tezi, Böl. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, İTÜ Üniv., İstanbul, Türkiye, 2012.
- [23] F. Kelen, “TiNi ile takviye edilmiş Mg/AZ91 matrisli kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu,” Doktora Tezi, Böl. Makine Mühendisliği ABD, Atatürk Üniv., Erzurum, Türkiye, 2018.
- [24] G. Song, A. Atrens, “Understanding magnesium corrosion—a framework for improved alloy performance,” *Advanced engineering materials*, vol. 5, no. 12, pp. 837-858, 2003.
- [25] R. C. Zeng, J. Zhang, W. J. Huang, W. Dietzel, K. U. Kainer, C. Blawert, K. E. Wei, “Review of studies on corrosion of magnesium alloys,” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 16, pp. 763-771, 2006.
- [26] F. Czerwinski, “Magnesium and its alloys,” in *Magnesium Injection Molding*, 2008, Springer, USA, pp. 1-80.
- [27] K. W. Guo, “A review of magnesium/magnesium alloys corrosion and its protection,” *Recent Patents on Corrosion Science*, vol. 2, pp. 13-21, 2010.
- [28] E. Ghali, W. Dietzel, K. U. Kainer, “General and localized corrosion of magnesium alloys: a critical review,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 13, no 1, pp.7-23, 2004.
- [29] L. Wang, T. Shinohara, B. P. Zhang, “Influence of chloride, sulfate and bicarbonate anions on the corrosion behavior of AZ31 magnesium alloy,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 496, pp. 500-507. 2010.
- [30] R. Lindström, L. G. Johansson, G. E. Thompson, P. Skeldon, J. E. Svensson, “Corrosion of magnesium in humid air,” *Corrosion Science*, vol. 46, no. 5, pp. 1141-1158, 2004.
- [31] F.Kelen, T. Aydoğmuş, M. Gavgalı, B. Dikici, “Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş magnezyum matrisli kompozitlerin korozyon duyarlılıkları,” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, cilt. 8, sayı 3, ss. 914-920, 2018.
- [32] F.Kelen, T. Aydoğmuş, M. Gavgalı, “Tek eksenli sıcak presleme tekniği ile imal edilen magnezyum matrisli kompozit malzemelerin korozyon davranışlarının incelenmesi,” *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, cilt. 11, sayı 4, ss. 999-1014, 2021.

- [33] F.Kelen, T. Aydoğmuş, M. Gavgalı, “AZ91 Magnezyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Korozyon Özelliklerinin Araştırılması,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, cilt. 9, sayı 4, ss. 1015-1029, 2021.
- [34] E. Ghali, “Performance and corrosion form of magnesium and its alloys,” in *Corrosion resistance of aluminum and magnesium alloys, understanding, performance and testing*, 2010, Jogh Wiley & Sons., USA, pp. 321-480
- [35] E. Ghali, “Corrosion and protection of magnesium alloys,” *Materials Science Forum*, vol. 350, pp. 261-272, 2000.
- [36] P. Kurze, 2003. “Corrosion and corrosion protection of magnesium,” in *Magnesium-Alloys and Technology*, K. U. Kainer, Ed., WILEY-VCH Verlag, Weinheim, Germany, 2003, pp. 218-225.
- [37] H. J. Martin, C. Walton, K. Bruce, A. Hicks, M. F. Horstemeyer, W. R. Whittington, P. T. Wang, “Corrosion-stress relaxation effects on tensile properties of an AZ61 magnesium alloy,” in *Magnesium Technology*, M. Alderman, V. M. Manuel, N. Hort, N. R. Neelameggham, Ed., The Minerals, Metals and Materials Society (TMS), USA, 2014, pp. 351-356.
- [38] Y. B. Unigovski, L. Riber, E. M. Gutman, “Corrosion stress relaxation in pure magnesium and die-cast Mg alloys,” *Journal of Metals, Materials and Minerals*, vol. 17, no. 1, pp. 1-7, 2007.
- [39] M. C. Zhao, M. Liu, G. Song, A. Atrens, “Influence of the  $\beta$ -phase morphology on the corrosion of the Mg alloy AZ91,” *Corrosion Science*, vol. 50, no. 7, pp. 1939-1953, 2008.
- [40] C. E. C. Londono, 2014. “Cerium-based conversion coatings on magnesium alloys,” Ph.D. dissertation, Dept. Materials Science and Engineering, Missouri University of Science and Technology, USA, 2014.
- [40] Q. Tan, A. Atrens, N. Mo, M. X. Zhang, “Oxidation of magnesium alloys at elevated temperatures in air: A review,” *Corrosion science*, vol. 112, pp. 734-759, 2016.
- [41] G. Ballerini, U. Bardi, R. Bignucolo, G. Ceraolo, “About some corrosion mechanisms of AZ91D magnesium alloy,” *Corrosion Science*, vol. 47, no. 9, pp. 2173-2184, 2005.
- [42] F. Czerwinski, “Factors affecting the oxidation nature of magnesium alloys,” *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, vol. 56, no. 5, pp. 29-31, 2004.
- [43] J. Hillis, “Corrosion,” in *Magnesium Technology*, H. E. Friedrich, B. L. Mordike, Ed., Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2006, pp. 469-498.
- [44] H. Hu, X. Nie, Y. Ma, “Corrosion and surface treatment of magnesium alloys,” in *Magnesium Alloys-Properties in Solid and Liquid States*, F. Czerwinski, Ed., InTech, 2014, pp. 67-108.
- [45] A. Atrens, G. L. Song, M. Liu, Z. Shi, F. Cao, M. S. Dargusch, “Review of recent developments in the field of magnesium corrosion,” *Advanced Engineering Materials*, vol. 17, no. 4, pp. 400-453, 2015.
- [46] G. L. Makar, J. L. Kruger, “Corrosion of magnesium,” *International Materials Reviews*, vol. 38, no. 3, pp. 138-153, 1993.
- [47] N. S. McIntyre, C. Chen, “Role of impurities on Mg surfaces under ambient exposure conditions,” *Corrosion Science*, vol. 40, no. 10, pp. 1697-1709, 1998.


- [48] R. Arrabal, E. Matykina, A. Pardo, M. C. Merino, K. Paucar, M. Mohedano, P. Casajús, “Corrosion behaviour of AZ91D and AM50 magnesium alloys with Nd and Gd additions in humid environments,” *Corrosion Science*, vol. 55, pp. 351-362, 2012.
- [49] R. Arrabal, B. Mingo, A. Pardo, E. Matykina, M. Mohedano, M. C. Merino, A. Rivas, A. Maroto, “Role of alloyed Nd in the microstructure and atmospheric corrosion of as-cast magnesium alloy AZ91,” *Corrosion Science*, vol. 97, pp. 38-48, 2015.
- [50] J. E. Gray, B. Luan, “Protective coatings on magnesium and its alloys - a critical review,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 336, pp. 88-113, 2002.
- [51] P. Gregg, “Plating of magnesium – new developments,” presented at 6th Int. *Magnesium, Proceedings of 6th International Conference Magnesium Alloys and Their Applications, 2004*, Germany, 2004.
- [52] I. Nakatsugawa, “Surface modification technology for magnesium products,” in: International Magnesium Association, 1996, pp. 24.
- [53] I. Nakatsugawa, “Cathodic protective coating on magnesium or its alloys and method of producing the same,” U.S. Patent 6,117,298, Sep.12 2000.
- [54] M. R. Islam, M. A. Al Mamun, M. A. Hossain, “Improving corrosion resistance in magnesium and its alloys,” *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 165-143, 2021.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## An Assessment of Chromium (VI) Removal from Aqueous Solution Using Gelatin/PAAm-based IPN Hydrogels

 Gülen Oytun AKALIN<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Aksaray Üniversitesi, 68100 Aksaray, Turkey

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [gulenoynunakalin@hotmail.com](mailto:gulenoynunakalin@hotmail.com)

DOI: 10.29130/dubited.949714

### ABSTRACT

In this work, gelatin (G)-polyacrylamide (PAAm)-based interpenetrating polymer network (IPN) hydrogels involving maleic acid (MA) was prepared using by free radical polymerization. Full-IPN and semi-IPN hydrogels were synthesized by using glutaraldehyde and ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) as a crosslinker. The water absorbency of hydrogels was investigated, and the values increased with MA and G. The chemical structures of IPN hydrogels were tested by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Morphological test was done by using Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX). Thermal properties were examined with Differential scanning calorimeter (DSC) analyzer and Thermogravimetric analysis (TGA). The mechanical analysis was performed with Universal Testing Machine. The degradation behavior of hydrogels was investigated against pH. According to the results, IPN hydrogels had good water absorbency capability, degradation, mechanical, and thermal stabilities. The values of full-IPN hydrogel were higher than semi-IPN. The efficiency of adsorption parameters (contact time, initial feed concentration, and pH) on Chromium (VI) ion adsorbing property of IPN hydrogels were also determined. The adsorption increased with increasing initial Cr (VI) concentration from 30 to 150 mg/L. The adsorption was influenced with pH and the maximum adsorption was obtained at pH 6 at 25°C and 80 mg/L Cr (VI) concentration. The effect of contact time on the adsorption was also performed at same conditions. A remarkable increase in Cr (VI) adsorption occurred up to 300 min and then reached at constant value. The adsorption data obeyed Langmuir and Freundlich sorption isotherms. Langmuir isotherm was a better mathematical fit for equilibrium data than Freundlich isotherm, depended on its higher correlation coefficient. Langmuir adsorption capacity ( $Q$ ) was determined to be 555.55 and 322.58 mg/g for semi-IPN and full-IPN, respectively. Freundlich constants ( $K_f$ ), an adsorption capacity, were found to be 15.44 and 18.47 for semi-IPN and full-IPN, respectively. According to these results, it can be said that the hydrogel surface was homogeneous, and the adsorption of Cr (VI) occurred in a monolayer.

**Keywords:** Polyacrylamide, Gelatin, Hydrogel, Adsorption, chromium (VI), Metal removal

## Jelatin/PAAm-tabanlı IPN Hidrojelleri Kullanarak Sulu Çözeltiden Krom (VI) Uzaklaştırmasının Değerlendirmesi

### ÖZET

Bu çalışmada, jelatin (G) -poliakrilamid (PAAm) bazlı, maleik asit (MA) içeren iç içe geçen polimer ağı (IPN) hidrojelleri, radikal polimerizasyon kullanılarak hazırlanmıştır. Tam-IPN ve yarı-IPN hidrojeller, çapraz bağlayıcı olarak glutaraldehit ve etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) kullanılarak sentezlendi. Hidrojellerin su emiciliği incelendi ve değerler MA ve G ile arttı. Tam IPN ve yarı IPN hidrojellerin kimyasal yapıları Fourier Dönüşümü

Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile test edildi. Taramalı Elektron Mikroskobu/ Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (SEM/EDX) kullanılarak morfolojik test yapıldı. Termal özellikler Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizörü ve Termogravimetrik analiz (TGA) ile incelenmiştir. Mekanik analiz, Universal Test Makinesi ile yapıldı. Hidrojellerin bozunma davranışı pH'a karşı incelenmiştir. Sonuçlara göre, IPN hidrojellerinin iyi su emme kapasitesi, bozunma, mekanik ve termal kararlılığa sahipti. Tam IPN hidrojelin değerleri yarı IPN'den daha yüksekti. Adsorpsiyon parametrelerinin (temas süresi, başlangıç besleme konsantrasyonu ve pH) IPN hidrojellerinin Krom (VI) iyonu adsorplama özelliği üzerindeki etkinliği de belirlendi. Adsorpsiyon, başlangıç Cr (VI) konsantrasyonunun 30'dan 150 mg/L'ye artmasıyla arttı. Adsorpsiyon pH'dan etkilenmiş ve maksimum adsorpsiyon pH 6'da 25°C'de ve 80 mg/L Cr (VI) konsantrasyonunda elde edilmiştir. Temas süresinin adsorpsiyon üzerindeki etkisi de aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. 300 dakikaya kadar Cr (VI) adsorpsiyonunda kayda değer bir artış meydana geldi ve daha sonra sabit değere ulaştı. Adsorpsiyon verileri Langmuir ve Freundlich sorpsiyon izotermine uymuştur. Langmuir izotermi, daha yüksek korelasyon katsayısına bağlı olarak, denge verileri için Freundlich izoterminden daha iyi bir matematiksel uyumdu. Langmuir adsorpsiyon kapasitesi (Q), yarı-IPN ve tam-IPN için sırasıyla 555.55 ve 322.58 mg/g olarak belirlendi. Bir adsorpsiyon kapasitesi olan Freundlich sabitleri (Kf), yarı-IPN ve tam-IPN için sırasıyla 15.44 ve 18.47 olarak bulundu. Sonuçlara göre, hidrojel yüzeyinin homojen olduğu ve Cr (VI) adsorpsiyonunun bir tek tabakada meydana geldiği söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Poliakrilamid, Jelatin, Hidrojel, Adsorpsiyon, krom (VI), Metal uzaklaştırma

## **I. INTRODUCTION**

Hydrogels involving polymer backbone (s), crosslinker(s), and water are high molecular weight three-dimensional network structures. Their most characteristic feature is that they can swell in water and shrink in the lack of water. Swelling depends on the crosslink density and hydrophilicity of the structure [1]. Generally, ionizable functional groups (such as carboxylic acid) increase the hydrophilicity and so, the swelling capacity enhances. The increment of counter ions produces an additional osmotic pressure. Due to these structural properties, hydrogels can absorb large amounts of aqueous solutions. They can be utilized in several fields including drug delivery systems, enzyme systems, medical supplies [2].

Full-Interpenetrating polymer networks (full-IPN) hydrogels are consisting of two crosslinked polymers, while semi-Interpenetrating polymer networks (semi-IPN) hydrogels are contained one crosslinked polymer. The thermal and mechanical stabilities of polymeric material can be advanced by preparing IPNs. IPNs have certain inimitable features like easy production into different geometric forms. For this reason, they are used in some biomedical practice; stability against biological fluids, minimal irritation to surrounding tissues, soft and rubbery tissue production, etc. They are also used for controlled release kinetic and the control of hydrophilicity [3]- [5].

Adsorption study is used for the removal of heavy metal ions, due to the economic aspects, ease of operation, convenience, and removal effectiveness. In recent years, the crosslinked polymeric materials, which have functional groups such as carboxylic acid, hydroxyl amine, and sulfonic acid groups, have been used as a support material for the removal of metal ions from aqueous solutions. These functional groups within the polymeric matrix bind with the metal ions to provide the formation of complex structures and so, heavy metal ions easy remove from the environment. For this purpose, ionic polyacrylamide (PAAm) gels have been widely used in recent years [6]. Additionally, it is used as the main ingredient in hydrogels designed for drug release, due to its high biocompatibility and easy manufacturing property. It has good permeability to hydrophobic and hydrophilic substances [2], [7]. Depending on the crosslinking density, it can increase the mechanical strength of structure. Biopolymers such as gelatin (G) are commonly used for adsorption studies to obtain low-cost and non-toxic adsorbent materials. It has biodegradable nature, easy availability, bioadhesive, and gelation properties. According to literature, its functional groups (hydroxyl, amino, and carboxyl) act as an active site for the target ionic species [8], [9]. These groups play a fundamental role in bonding with ionic species such as metal ions. The ionic or polar interaction between functional groups and metal ions ensures the removal of metal ions from the environment [9]. Thus, G has a good bioadsorbent properties. G has been used in many studies to remove Chromium (VI) ions as a bioadsorbent [10]-12]. It is widely worked because of

its biodegradability, low cost, non-immunogenic, and biocompatibility qualities [2]. It is extremely utilized in biomedical industry such as adsorbent pad, wound dressing, microspheres, hard and soft capsules etc. It is easily chemically crosslinked with crosslinker due to having the several number of functional groups [7], [13], [14]. Maleic acid (MA) is a dicarboxylic acid, and it is utilized as a pH adjuster and fragrance ingredient, especially in cosmetics. MA is disclosed as legal indirect ingredient in the food industry [15]. It is commonly used the removal of heavy metal ions. According to the literature, the carboxyl groups of maleic acid can be easily bonded with heavy metal ions by electrostatic interaction [16]. Thus, heavy metal ions easily remove from the environment [17].

Effective uptake of heavy metal ions from water is a vital environmental research topic. Chromium (VI) is one of the high toxic metal ions even at extremely low concentrations. It enters the environment from the industries process like leather tanning, electroplating, paint, cement, dyes, ink, and textiles. Furthermore, it causes health risks such as dermatitis, gastrointestinal ulcers, and liver damage. Many methods such as reverse osmosis, chemical reduction, precipitation, electro dialysis and ion exchange are used to remove chromium (VI) [18]. These methods have some disadvantages, for example, such as the formation of large contents of toxic waste sludge, incomplete metal removal, and high energy requirements.

In this study, it was aimed to synthesize effectual hydrogel that could exactly the remove of Cr (VI) metal ion from water. PAAm and PAAm/G, full-IPN (PAAm/G/MA-1) hydrogel, and semi-IPN (PAAm/G/MA-2) hydrogel were prepared. The characterization of hydrogels was performed by FTIR, SEM/EDX, TGA, DSC and Universal Testing Machine. The water absorbency and degradation behavior of hydrogels were also researched. Full-IPN and semi-IPN hydrogel were utilized as an adsorbent for the removal of Cr (VI) from aqueous solution by the assessment of initial feed concentration, contact time and pH parameters.

## **II. MATERIALS AND METHODS**

### **A. MATERIALS**

Gelatin (G; Type B, 280 Bloom, from pig skin), acrylamide (Aam; for molecular biology, purity $\geq$ 99%), maleic acid (MA; ~99%, analytical reagent grade), glutaraldehyde (25% aqueous solution, GA), ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA; ~98%), ammonium persulfate ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, ACS reagent,  $\geq$ 98.0%), and sodium metabisulfite (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, reagent grade, 97%) were obtained from Sigma-Aldrich. Double deionized water was utilized in the synthesis procedure of IPN hydrogels and metal adsorption test [19].

### **B. METHODS**

#### **B. 1. Full-IPN and Semi-IPN Hydrogels Preparation**

Full-IPN and Semi-IPN hydrogels were synthesized by radical polymerization. The reaction was started by using (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>/Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> redox pair at 25°C for both hydrogel synthesis. While the full-IPN hydrogel had two crosslinking agents (GA and EGDMA), semi-IPN hydrogel was involved one crosslinking agent, only EGDMA. GA was used for crosslinking of G and EGDMA was utilized for crosslinking of PAAm.

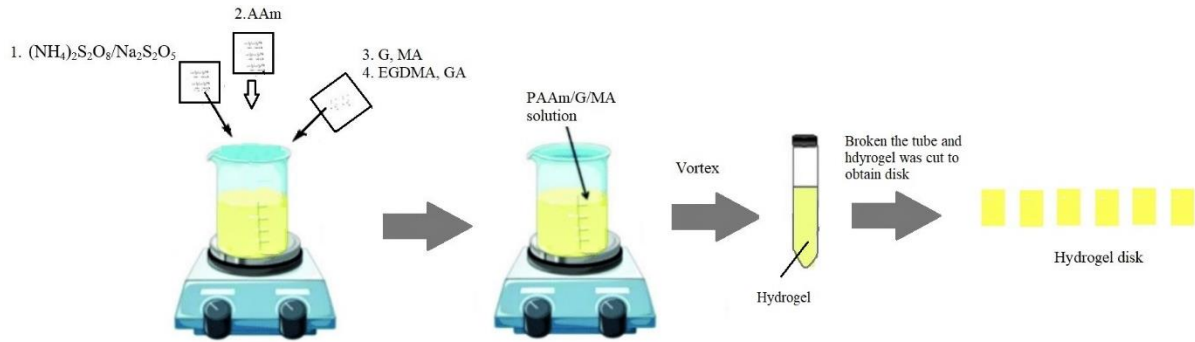
Synthesize Procedure: Around 4.00 mL of 6.0 M AAm solutions was added into 10% G solutions and MA (0.08 g) with different volumes of crosslinkers. After the adding two initiators (0.02/0.02 g/g), the mixture was taken into tubes. The mixture was left at room conditions for 24 h to complete the reaction. The tubes were broken and then samples were cut to obtain pieces with a length of 0.5 cm. After washing process, the cylindrical type hydrogels were dried at 25°C and then, at 40°C in a vacuum oven. Dried



samples were stored at room temperature. The contents of components are presented in Table 1. The Full-IPN hydrogel preparation method is given schematically in Fig. 1.

**Table 1.** The contents of components used for hydrogel synthesis procedure.

Hydrogel	AAm (g)	G (ml)	MA (g)	EGDMA (ml)	GA (ml)
PAAm	1.70	-	-	0.04	-
PAAm/G	1.70	1.28	-	0.04	-
(PAAm/G/MA)-1	1.70	1.28	0.08	0.04	-
(PAAm/G/MA)-2	1.70	1.28	0.08	0.04	0.3



**Figure 1.** Schematic diagram of formation of Full-IPN hydrogel.

## B. 2. Characterization

FTIR, SEM, thermal and mechanical tests were performed at Duzce University Scientific and Technological Application and Research Center.

### B. 2. 1. FTIR analysis

FTIR spectrum of AAm, G, MA, (PAAm/G/MA)-1 and (PAAm/G/MA)-2 samples were obtained from FT-IR Shimadzu IR-Prestige 21. Approximately 1 mg of the pounded samples were blended with KBr. The hydraulic press was utilized for generation of pellets. The pressure was arranged at 600 kg/cm<sup>2</sup>. Spectrum were scanned between 400 and 4000 cm<sup>-1</sup> [7], [13].

### B. 2. 2. Water absorbency test

Dry hydrogels of known weight ( $w_d$ ) were placed in distilled water (at 25°C and pH 7.0). The swollen hydrogels that were taken at different times were weighed ( $w_s$ ) after wiping with filter paper. The weighing was done by the time it reached a constant weight. The experiment was repeated three times. Equation (1) is used to calculate the water absorbency [2], [7]:

$$\text{Water absorbency (\%)} = \frac{(w_s - w_d)}{w_d} \times 100 \quad (1)$$

### B. 2. 3. Degradation test

The in vitro degradation studies of hydrogels were performed in phosphate buffer solution (PBS) at different pH [20]. Samples were placed in vials, each containing 25 mL PBS. At predetermined time, hydrogels were picked out of PBS, the residual water was wiped off from the sample surface and then,

the samples were weighted [21]. The weighing was performed at 25°C and 120 h (according to water absorbency results).

The degradation (%) was determined as follows [21], [22]:

$$\text{Degradation (\%)} = \frac{(m_i - m_f)}{m_f} \times 100 \quad (2)$$

where  $m_f$  is the final mass and  $m_i$  is the initial mass.

#### B. 2. 4. SEM/EDX analysis

Surface properties of samples were observed with FEI QUANTA FEG 250 Scanning Electron Microscope (SEM). Investigation of the hydrogels coated with Au/Pd was carried out under 10 kV accelerating voltage [2], [5]. The presence of Cr into the Cr(VI)-loaded (PAAm/G/MA)-2 hydrogel was determined using an Octane Pro Ametek energy-dispersive X-ray (EDX).

#### B. 2. 5. Thermal analysis

The alteration of the physical properties with temperature was performed by thermal analysis. The mass change of hydrogels was detected with thermogravimetric analysis (TGA). The thermal test was performed by DTG 60 H Shimadzu Simultaneous DTA-TG Apparatus analyzer under dynamic nitrogen atmosphere. Measurements were done at from 20 to 700°C at heating speed of 10°C.min<sup>-1</sup> [23], [24].

The amount of heat required to increase the temperature of a sample and a reference is determined in Differential scanning calorimetry (DSC) as a function of temperature. DSC-60 Shimadzu Differential Scanning Calorimeter was utilized for this analysis. The range of temperature was 20–700°C (10°C.min<sup>-1</sup>) under nitrogen gas atmosphere. The mass losses were evaluated as a function of time and temperature [23], [25].

#### B. 2. 6. Tensile test

The percentage of elongation at break and the tensile strength of the samples were examined using Universal Testing Machine Type Z 0.5. The elongation values (%) at break were calculated by dividing the sample by the initial length and multiplying by 100. Tensile strength (unit MPa) was found by dividing by the maximum load (N) by the sample cross-section (mm<sup>2</sup>). Equation (3) and Equation (4) was used to determine the elongation at break (%) and tensile strength [26].

$$\text{Elongation at break (\%)} = \frac{\text{Displacement at break} \times 100}{\text{Gauze Length}} \quad (3)$$

$$\text{Tensile strength (MPa)} = \frac{\text{Load (N)}}{\text{Thickness (mm)} \times \text{Width (mm)}} \quad (4)$$

### B. 3. Adsorption Studies

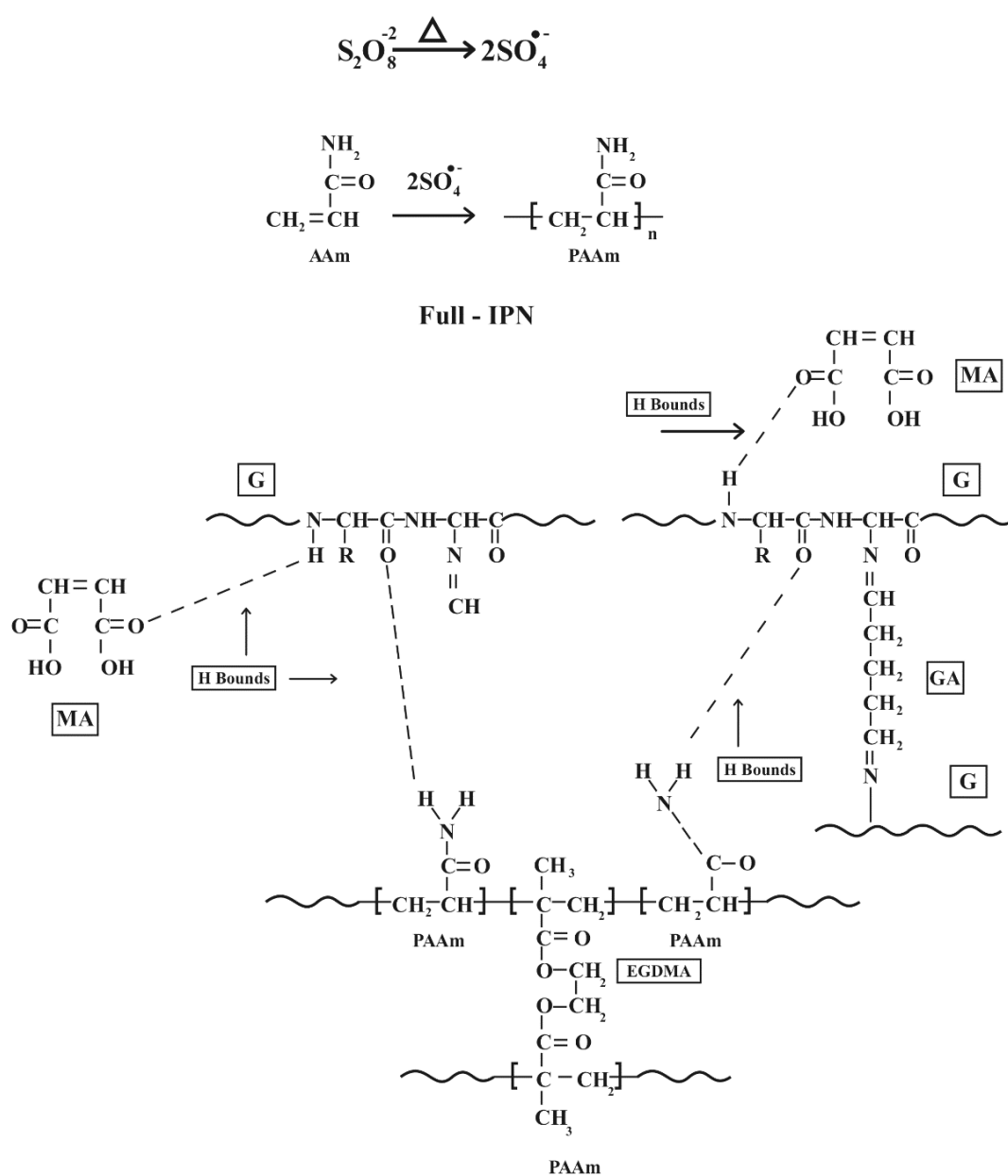
A series of experiments were conducted to research the influence of pH, contact time, and initial concentration of metal solution on adsorption. The stock 1000 mg/L of Chromium (VI) solution was obtained by dissolving K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> in double distilled water. 50 mg of full-IPN and semi-IPN hydrogels were put into 50 mL of Cr (VI) solution (80 mg/L) [27]. The pH was adjusted with 0.1N NaOH and 0.1N HCl [28]. The solution was shaken continuously at 120 rpm in shaker water bath at 25°C. A certain amount of sample was removed from the solution at certain time intervals for determining of Cr (VI) concentration. The experiment was continued until the equilibrium value was observed. The metal contents were detected by a Shimadzu-18A UV-Visible spectrophotometer) at 540 nm. The adsorbed Cr (VI) ions per unit weight of sample at time  $t$ ,  $Q$  (mg/g), was found from the weight balance equation as [18]:

$$Q = \frac{(C_0 - C_t)V}{W} \quad (5)$$

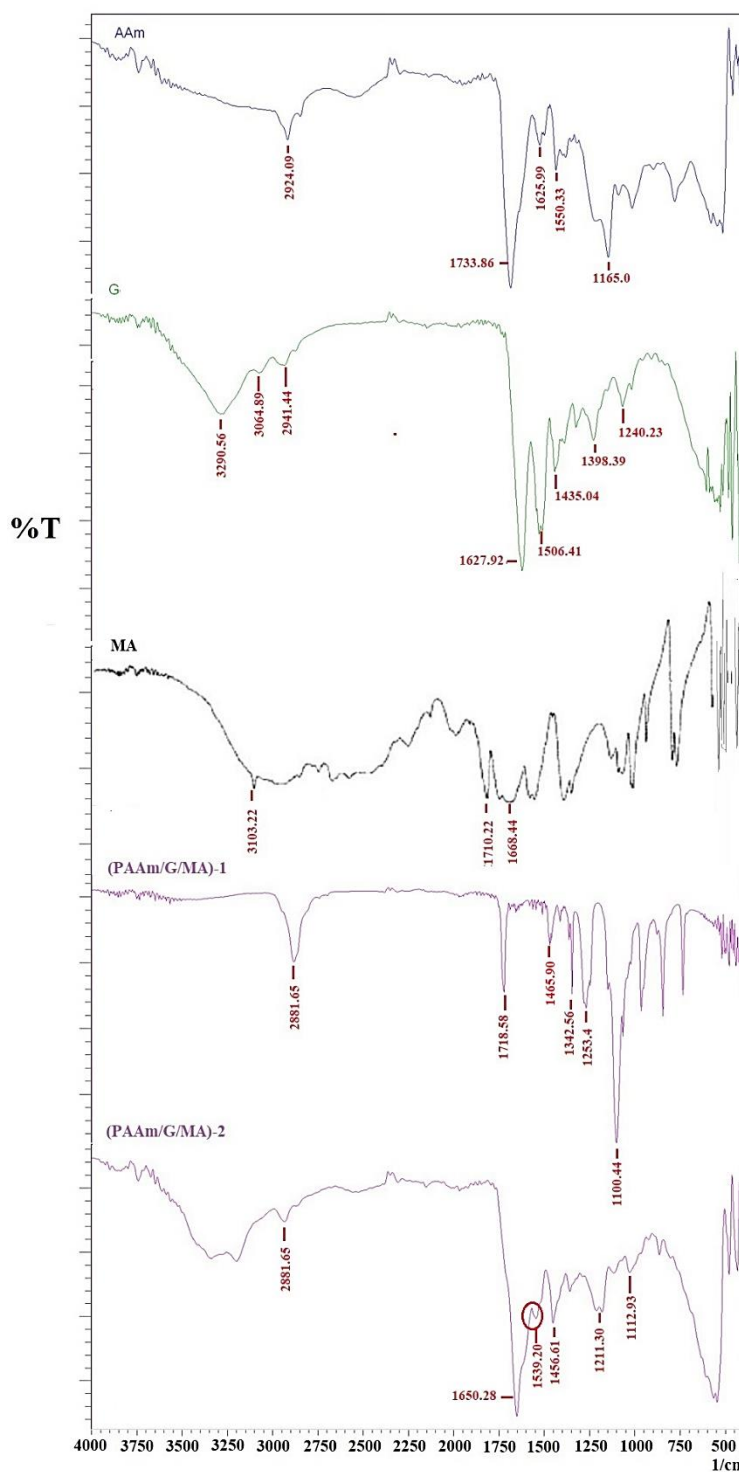
where  $C_t$  and  $C_0$  are the equilibrium and initial Cr (VI) concentration (mg/L), respectively,  $W$  (g) is the weight of sample and  $V$  (L) is the volume of solution.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

The mechanism of full-IPN and semi-IPN hydrogels is given in Figure 2. Initially the reduction of the persulfate to the anion radical ( $\text{SO}_4$ ) $^{\cdot-}$  was formed and then, the generation of vinyl radical from the monomer took place. Finally, the radical polymerization were occurred. In semi-IPN structure, G was the guest polymer and PAAm was host polymer. The polymer chains were crosslinked with EGDMA. In full-IPN structure, both polymers (G and PAAm) were crosslinked with their crosslinker.



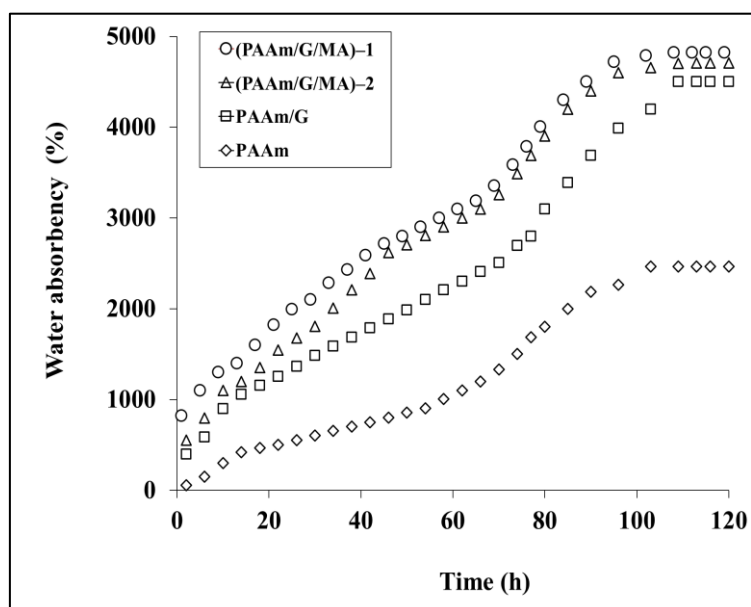
**Figure 2.** The formation of full-IPN and semi-IPN hydrogels mechanisms.



**Figure 3.** FTIR spectra of AAm, G, MA, full-IPN and semi-IPN hydrogels.

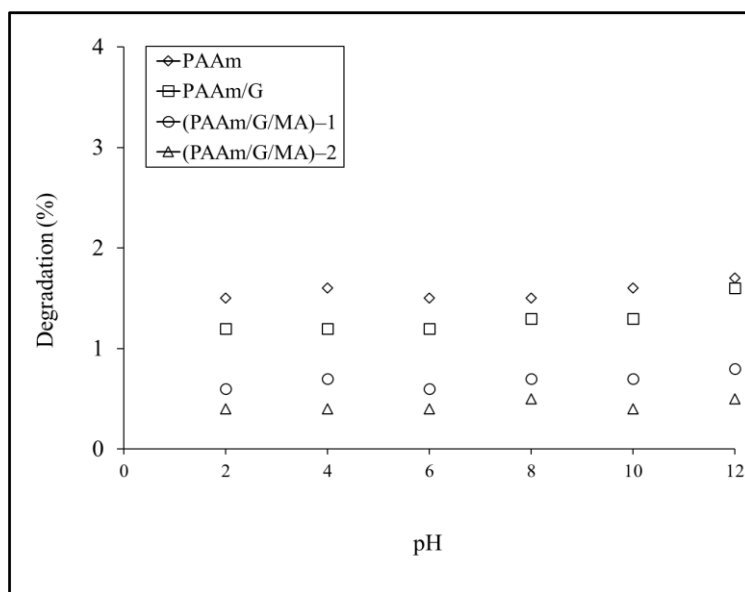
In order to detect the chemical structure of G, AAm, MA, and P(AAm/MA/G) hydrogels, FTIR analysis was performed (Figure 3). MA spectrum displayed the specific absorption broad bands at 3400–2400  $\text{cm}^{-1}$  of hydroxyl (-OH) stretch; at 3103.2  $\text{cm}^{-1}$  of (vinyl) C-H stretch, at 1668.44 and 1710.22  $\text{cm}^{-1}$  of conjugated C=C and C=O [29]. AAm spectrum displayed specific bands at 2924.09, 1625.99 and 1550.33  $\text{cm}^{-1}$  because of the existence of C-H aliphatic, C=O and primary amine (N-H bend), respectively [30,31]. In FTIR spectrum of G, the band at 3290.56  $\text{cm}^{-1}$  ascribed to the existence of -H

bond of hydroxyl group and -H bond of amide. At  $1627.92\text{ cm}^{-1}$  peaks accorded to the existence of amide-I, at  $1506.41\text{ cm}^{-1}$  pointed amide-II, band at  $1240.23\text{ cm}^{-1}$  pointed out the amide-III, the peaks range from  $1435.04\text{ cm}^{-1}$  to  $1398.39\text{ cm}^{-1}$  were attributed to the symmetric and asymmetric bending vibrations of  $-\text{CH}_3$  group [30,31]. (PAAm/G/MA)-1 spectra showed the characteristic bands at  $2881.65$  and  $1718.58\text{ cm}^{-1}$  due to the existence of C-H aliphatic and C=O group, respectively. The absorption band of C-H and O-H bends were observed at  $1465.90$  and  $1342.56\text{ cm}^{-1}$ . The peaks at  $1100.44\text{ cm}^{-1}$  were attributed to C–O stretch [7], [32]. The absorption bands at  $\sim 3100\text{ cm}^{-1}$  (C-H stretch of vinyl group) and  $\sim 1600\text{ cm}^{-1}$  (conjugated C=C) were disappeared. This result can be explained by the formation of semi-IPN hydrogel through  $\text{CH}_2=\text{CH}-$  of AAm,  $-\text{NH}_2$  groups of G, and conjugated C=C of MA. Unlike semi-IPN hydrogel, the peak at  $\sim 1540\text{ cm}^{-1}$  was observed in the spectra of full-IPN hydrogel. This result can be explained by the formation of imine bonds ( $-\text{C}=\text{N}$ ) because of the crosslinking between the amino group in G and the aldehyde group in GA [31].



**Figure 4.** The water absorbency (%) of hydrogels with time.

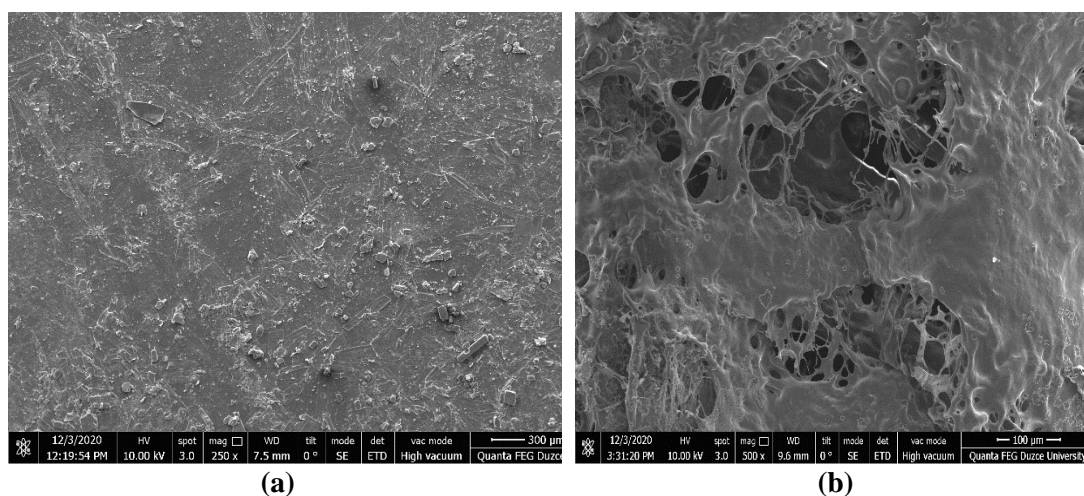
The water absorbency values were researched, and they were found by plotting as a function of time in Figure 4. When a dried hydrogel is immersed in distilled water, the water penetrates the structure. The diffusion rate depends on chemical and physical properties of the gel sample. In Figure 4, the maximum value was obtained to be nearly 4822% for (PAAm/G/MA)-1 hydrogel, whereas the minimum value was found to be nearly 2466% for PAAm hydrogel. Water absorbency increased rapidly in 10 h, then reached equilibrium value in 120 h. The water absorbency increased with the enhancing of the presence of ionic groups in the structure like diprotic acid. In other words, absorbency increased with the presence of G and MA [5]. This can be explained by the repulsive force that occurs between the electron pair of the N atom and the negatively charged  $\text{COO}^-$  groups in G and AAm. The full-IPN hydrogel had less water absorption than semi-IPN hydrogel. This can be explained by using two crosslinkers in the full IPN type hydrogel. The presence of two crosslinkers made the structure tighter and this limited the diffusion of water into the structure [33], [34].

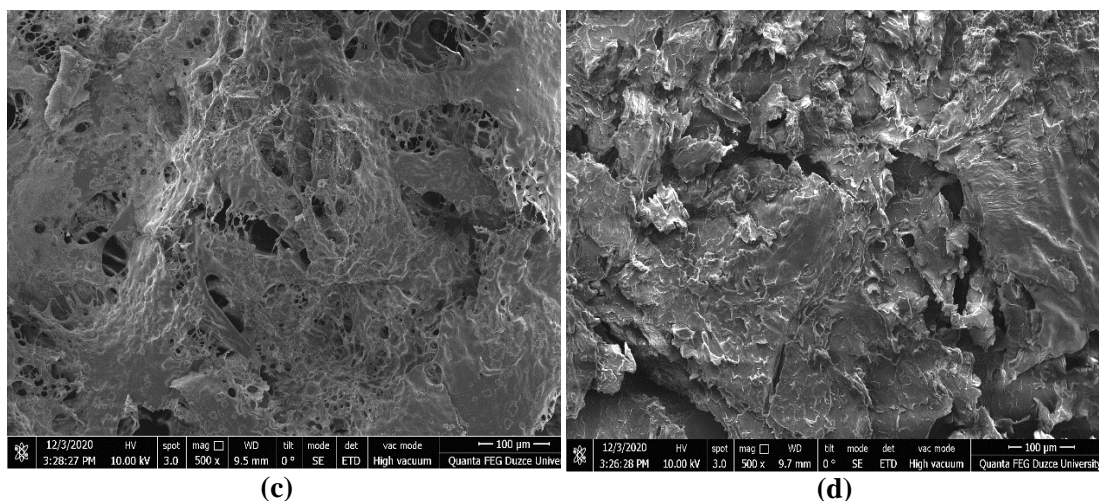


**Figure 5.** The degradation behavior (%) of hydrogels with pH (at 25°C, 120 h).

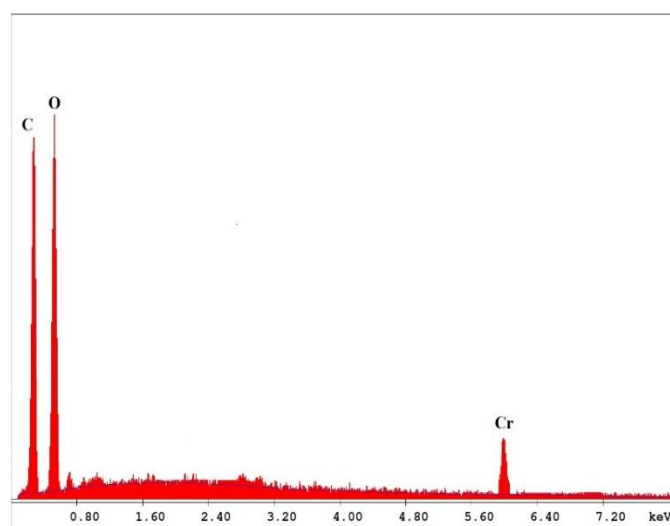
The degradation behavior of hydrogels with pH is shown in Figure 5. The degradation (%) were ranged from 0.43% to 1.71%. As pH was increased from 2 to 12, the values were nearly constant. It can be clearly said that all hydrogels had resistant to degradation with pH. Especially, full-IPN hydrogels had high resistance compared to other hydrogels. It can be said that the presence of two crosslinkers in hydrogel structure increases the degradation stability [35,36].

SEM images of dried hydrogel, semi-IPN and full-IPN hydrogels are displayed in Figure 6. The morphological distinctness between dry and swollen samples is obviously appeared. While the surface of swollen samples had pores, dried hydrogel exhibited a nonporous smooth surface. The porosity ensures easy absorption and diffusion of water into structure. The smallest and largest pores were obtained for full-IPN and semi-IPN, respectively. It can be said that the sizes decreased with using two crosslinkers in hydrogel synthesis process. SEM results were in good agreement with water absorbency results. The EDX spectra of the adsorption of Cr (VI) in (PAAm/G/MA)-2 hydrogel is shown in Figure 7. The weight and atomic fraction values are given in Table 2. It has been proven that Cr (VI) adsorbed to the hydrogel.





**Figure 6.** The surface SEM images of a) dried hydrogel, b) swollen (PAAm/G/MA)-1 hydrogel, c) swollen (PAAm/G/MA)-2 hydrogel d) Chromium(VI)-loaded (PAAm/G/MA)-2 hydrogel.



**Figure 7.** EDX analysis of Chromium(VI)-loaded (PAAm/G/MA)-2 hydrogel.

**Table 2.** The weight and atomic fraction values of Chromium(VI)-loaded (PAAm/G/MA)-2 hydrogel.

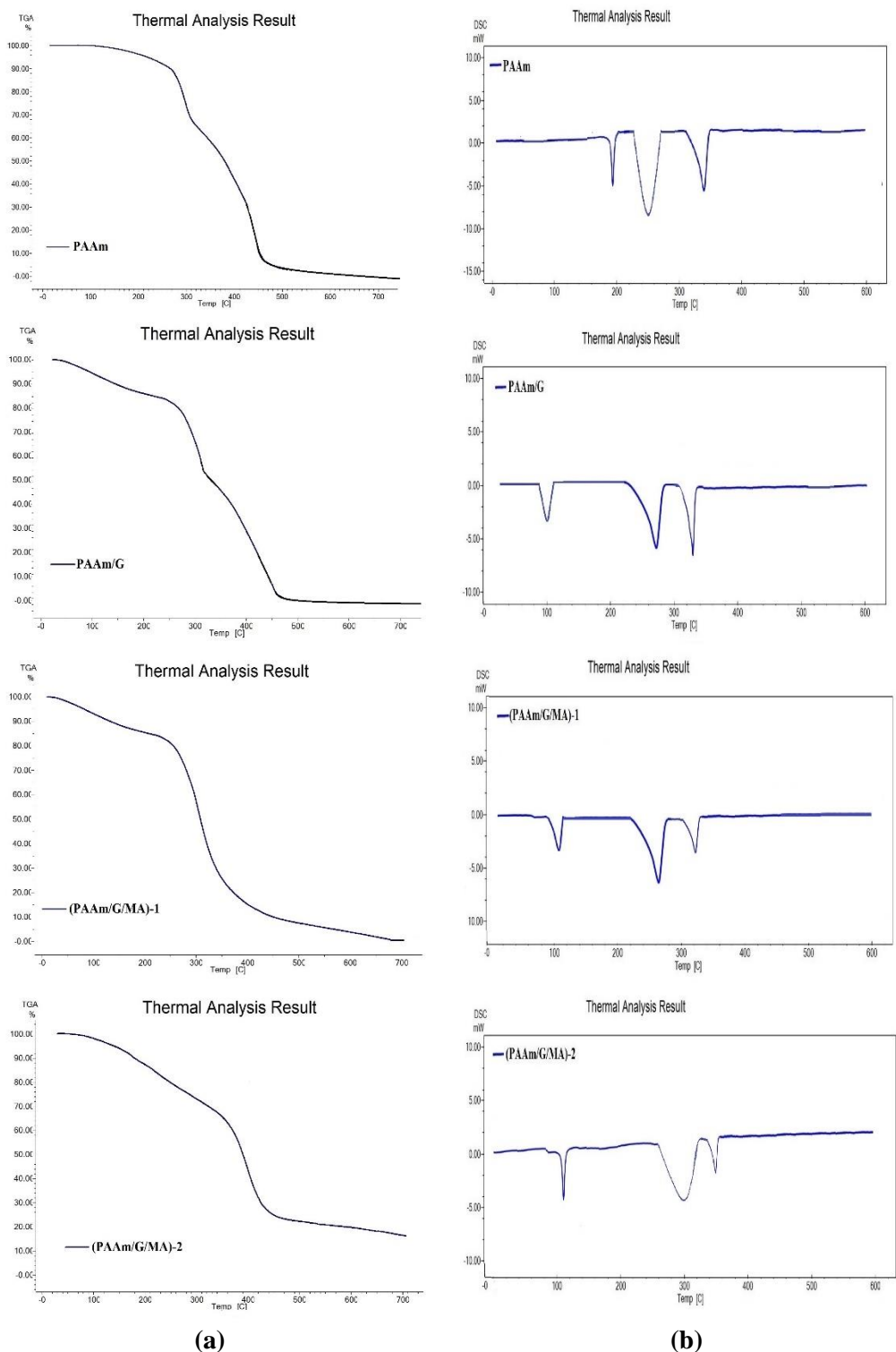
Element	Wt %	At %
C K	39.7	35.1
O K	50.1	53.5
Cr K	10.2	11.4

The TGA curves of PAAm, PAAm/G, (PAAm/G/MA)-1 and (PAAm/G/MA)-2 hydrogels are shown in Figure 8a. The thermal degradation of the PAAm formed via three stages process. The first stage at 155-220°C was associated with the separation of water absorbed or moisture. The second stage from to 220-298°C was related to the loss of NH<sub>2</sub> of amide side groups in ammonia form by imidization. The third level at 298-455°C was ascribed to the process the main chain dissociation. The degradation of PAAm/G was resembled PAAm. The curves of PAAm/G had three thermal decomposition steps. The first weight loss occurred ranged at 0-155°C because of the elimination of moisture. The second stage was ensued at 165–307°C, the weight loss was associated with thermal decomposition of G and the loss of ammonia by imidization [37]. The third decomposition ranged at 307–460°C was attributed the main chain dissociation. Semi-IPN (PAAm/G/MA)-1 hydrogel had slightly lower thermal stability than

PAAm/G. It exhibited three degradation steps. The first degradation step, was under 230°C, could be related to moisture and the elimination of the carboxylic groups of MA. The second step, from 230 to 326°C was associated with ammonia via dehydration and imidization [38]. The main chain dissociation process occurred in the third stage above 326°C. Full-IPN (PAAm/G/MA)-2 hydrogel degraded in a similar manner. The first weight loss occurred ranged at 0-285°C because of the elimination of the carboxylic groups of MA, and the separation of moisture. The second weight loss, from 285 to 422°C was associated with ammonia via dehydration and imidization. The main chain dissociation process occurred in the third stage above 422°C. Semi-IPN hydrogel completely degraded at 700°C, whereas the full-IPN hydrogel did not completely degraded. It can be said that the generation of full-IPN structure enhanced the thermal stability. The strength of the covalent bond between the atoms formed in the structure may be affected the thermal stability of the polymer material. Therefore, it can be said that the increased thermal stability is evidence of the presence of two crosslinkers in the structure and the formation of covalent bonds.

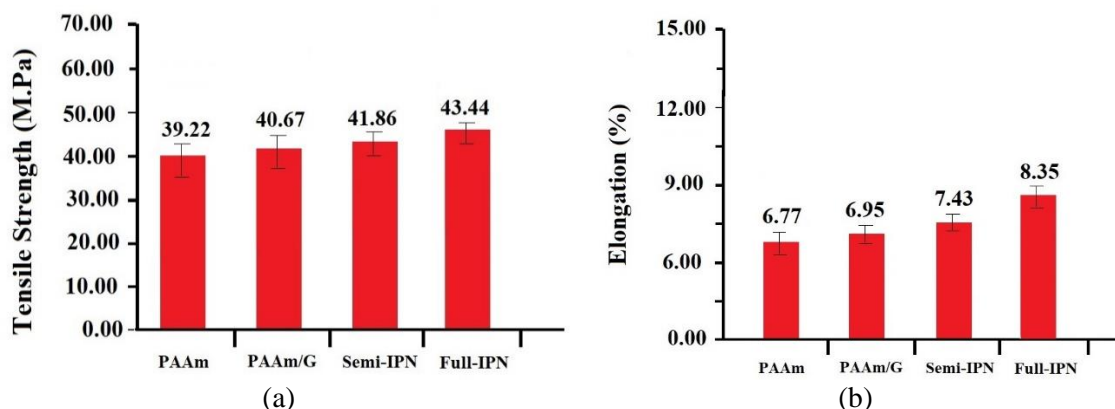
The DSC curves of PAAm, PAAm/G, (PAAm/G/MA)-1 and (PAAm/G/MA)-2 hydrogels show in Figure 8b. The DSC thermograms were detected to be accordance with the TGA results. Three endothermic peaks were obtained for PAAm. The first endothermic peak was observed at 170°C due to moisture. The second endothermic broad peak may have arisen from the loss of ammonia via imidization in the structure at 230-285°C. According to the literature, the melting temperature ( $T_m$ ) of PAAm is 273°C and the generation of imide groups occur in this temperature. The third endothermic peak occurring at 320-360°C can be correlated with the glassy temperature ( $T_g$ ) of the new imide groups of PAAm. In literature,  $T_g$  of new imide groups was occurred at 324°C after imidization of PAAm [36]. Three endothermic peaks were obtained for PAAm/G. The first endothermic peak at 100-120°C may have been occurred due to  $T_g$  of G and the moisture content in structure. The result was in accordance with the literature. G has low  $T_g$  at 116°C and multi high  $T_g$  at 145-230°C [39]. The second endothermic broad peak at 220-280°C may have occurred because of the multi  $T_g$  of G and imidization. It may have been formed because of phase distinction between G and PAAm or due to the bond disconnection of amino acids with glycine, hydroxyproline and proline in G matrix and generation of imide groups. With respect to literature, the low  $T_g$  of G was attributed to the devitrification of the soft blocks  $\alpha$ -amino acids with glycine, hydroxyproline and proline while the multi high  $T_g$  of G transition was assigned to the devitrification of the rigid amino acids with glycine, hydroxyproline and proline. The third endothermic peak at 330-365°C may be  $T_g$  of new imide groups in PAAm matrix [40]. Three endothermic peaks were obtained for semi-IPN hydrogel. The initial broad endotherm temperature at 110 to 125°C could be due to low  $T_g$  of G, and moisture content [29]. The second endothermic broad peak at 225-285°C may have occurred because of the multi  $T_g$  of G and imidization. The third endothermic peak at 325-345°C may be  $T_g$  of new imide groups. Full-IPN hydrogel had three endothermic peaks like semi-IPN hydrogel. The degradation with temperature was slower than semi-IPN, so shift of peaks was observed in the thermogram. Semi-IPN hydrogel was completely degraded at 700°C, whereas the mass loss of full-IPN was observed nearly %90 at 700°C. Therefore, it can be said that full-IPN hydrogel was more resistant to temperature than semi-IPN hydrogel.





**Figure 8.** a) TGA and b) DSC curves of PAAm, PAAm/G, (PAAm/G/MA)-1 and (PAAm/G/MA)-2 hydrogels.

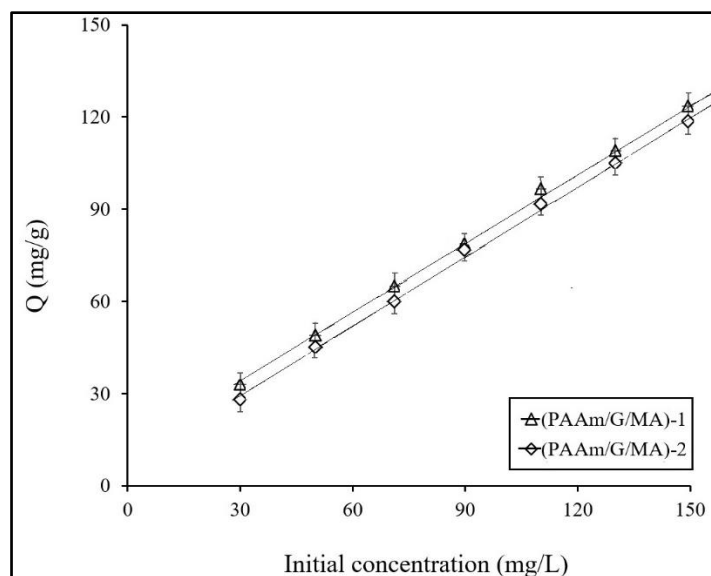
The mechanical properties of PAAm, PAAm/G, (PAAm/G/MA)-1 and (PAAm/G/MA)-2 hydrogels were examined. Figure 9 displays the elongation (%) at break of hydrogels and tensile strength (M.Pa). No major differences were observed. With preparing full-IPN hydrogel, the tensile strength enhanced from 39.22 MPa to 43.44 MPa and the elongation (%) aroused from 6.77% to 8.35%. It can be said that the addition of crosslinker developed the mechanical stability. This can be explained by the possible molecular interaction that forms when two crosslinking reactions occurs in structure. The intense molecular interactions may be strengthening the structural integrity by enhancing tensile strength [24].



**Figure 9.** The mechanical properties of hydrogels (a) tensile strength (M.Pa) and (b) elongation (%). Results shown are mean  $\pm$  standard deviation,  $n = 3$ .

According to characterization results, the highest thermal and mechanical stability, and good water absorbency were observed for (PAAm/G/MA)-1 and (PAAm/G/MA)-2 hydrogels. These hydrogels were chosen for the adsorption capacity study due to their characterization properties and MA contents. There are many studies in which MA is used to remove heavy metal ions [41]-[43]. According to literature, its carboxyl groups are responsible for the metal binding [41]. The electrostatic interaction occurs between the carboxylic groups of MA and heavy metal ions [44], [17]. This interaction form through the ion exchange mechanism. In addition, the oxygen in the carbonyl group of MA plays a role in the interaction of the metal ion with the polymer through the coordination bond [41], [43]. Therefore, the binding of metal ions to the polymer is proceed with the combined action of coordination, electrostatic interaction, and ion exchange [41]. Due to these properties, MA is frequently used in the removal of heavy metal ions.

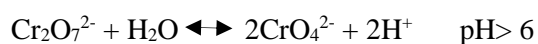
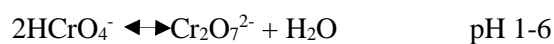
The effects of different initial feed Cr (VI) concentrations ( $C_i$ ) on the adsorption capacity of (PAAm/G/MA)-1 and (PAAm/G/MA)-2 hydrogels were investigated in a range from 30 to 150 mg/L at pH 1.0 for a period of 15h. The adsorption values ( $Q$ ) of hydrogels are given in Figure 10. The adsorption increased directly with  $C_i$ , so it can be said that the adsorption depends on  $C_i$ . The results are compatible with the literature [44]. The number of adsorbed metal ions increases with an increase in  $C_i$ , so  $Q$  values are increased. No major differences were observed between the  $Q$  values of the (PAAm/G/MA)-1 and (PAAm/G/MA)-2 hydrogels.  $Q$  value of (PAAm/G/MA)-2 ranged from 28 to 117 mg/g, while  $Q$  value of (PAAm/G/MA)-1 ranged from 33 to 121 mg/g. This difference can be explained by the increment of crosslinking density in the structure slows down the penetration of water containing metal ion into the structure and so, the adsorption rate reduces [45].

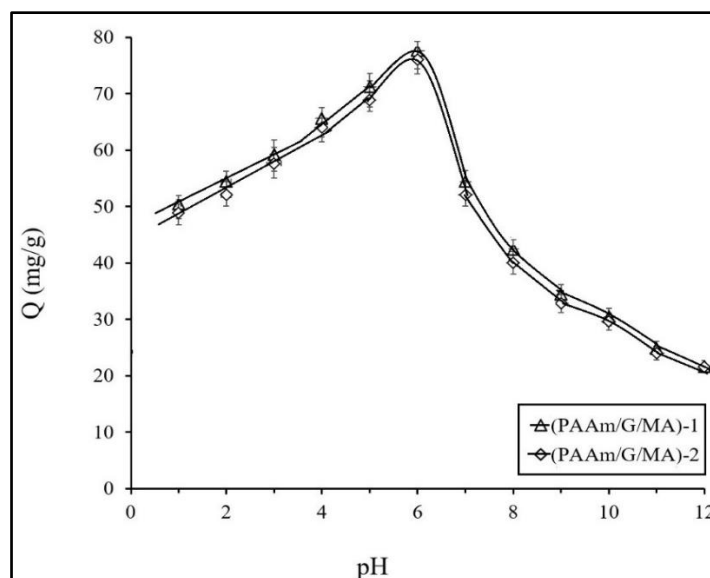


**Figure 10.** The effect of initial concentration on the adsorption of Cr(VI) ions (under the conditions pH=1, temperature 25°C in period of 900 min). Results shown are mean  $\pm$  standard deviation, n = 3.

pH is an important factor for adsorption methods. The effect of pH on the adsorption efficiency of (PAAm/G/MA)-1 and (PAAm/G/MA)-2 hydrogels, in the pH range 2–10, is given in Figure 11. Hydrogel was added to 50 mL of Cr (VI) solutions (80 mg/l) of different pH values. Initially, the adsorption increased speedily until pH 6. The maximum adsorption reached at pH 6. The adsorption steadily decreased thereafter. Similar findings for the adsorption of Cr (VI) with pH has been reported by Rengaraj et al. (2003) and Khan et al. (2017) with maximum adsorption reaching at pH 6 and 7, respectively [45], [46].

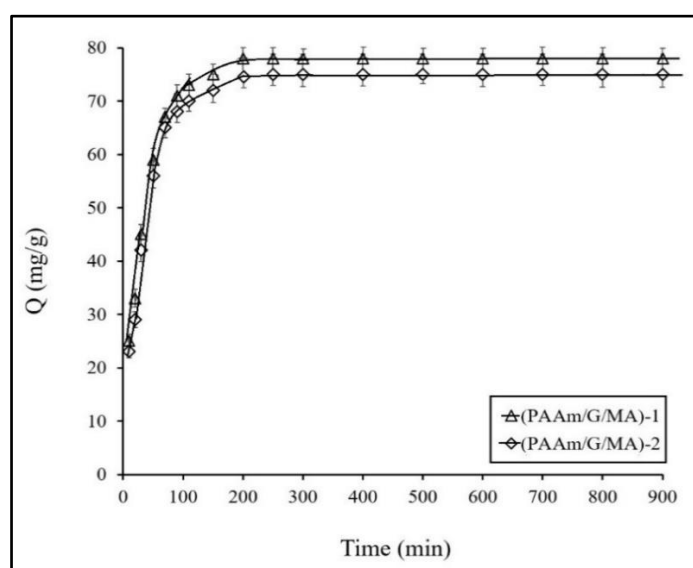
According to literature, Cr (VI) exists in various oxoanionic forms in aqueous solution at different pH values [43], [45]. Below pH 1.0, it is in the form of  $\text{H}_2\text{CrO}_4$ . Between pH 1–6, Cr (VI) is in the form of  $\text{HCrO}_4^-$ , which dimerizes to  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  with the release of a water molecule into the environment [43], [46]. Cr (VI) is in the form of  $\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-}$  above pH 6. In other words, at higher pH values the ionized form is adsorbed, while at low pH the molecular form is adsorbed [47]. At pH 6, the reducing the  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  and  $\text{HCrO}_4^-$ , and the forming of  $\text{CrO}_4^{2-}$  form is occurred; then, the electrostatic attraction is increased, and the adsorption capacity is enhanced too [47], [48]. Cr (VI) are adsorbed by the positively charged adsorbent surface up to pH 6. The decrease in the adsorption capacity after pH 6, dominant species are  $\text{HCrO}_4^-$  and  $\text{CrO}_4^{2-}$ , can be explained by charge changes of the hydrogels from positive to negative, thus decreasing the electrostatic interaction between hydrogel to metal ions [46]-[48].





**Figure 11.** The effect of pH on the adsorption of Cr(VI) ions (under the conditions initial Cr(VI) concentration of 80 mg/L, temperature 25°C in period of 900 min). Results shown are mean  $\pm$  standard deviation,  $n = 3$ .

The efficiency of contact time on the adsorption was researched and the equilibrium adsorption value was determined. It was clearly seen that time had a vital effect on adsorption. The results are displayed in Figure 12. The initial adsorption rate was high for both hydrogels. As the contact time increased, the metal ion uptake rate slowed down and then it reached a constant value. The results are compatible with the literature. According to literature, initially the functional groups of the hydrogels interact with metal ion easily. Thus, initial rate of adsorption is very high [49]. As the interaction continues, the adsorption rate slows down over time and eventually reaches a constant value. This time is defined as the equilibrium time [50]. During this time, a dynamic equilibrium occurs between the hydrogel and the solution; the adsorption rate is equal to the desorption rate from the hydrogel in the water, and the adsorption reaches equilibrium [49], [50]. The  $Q$  values of hydrogels increased gradually till 110 min and then the rate slowed down. The equilibrium adsorption value was found to be 75 mg/g for (PAAm/G/MA)-2 hydrogel, while the equilibrium adsorption value was found to be 78 mg/g for (PAAm/G/MA)-1 hydrogel.

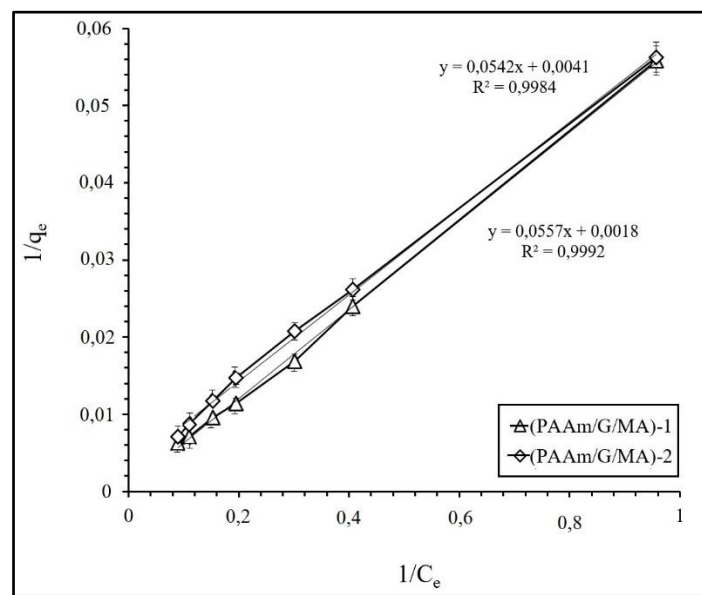


**Figure 12.** The effect of contact time on the adsorption of Cr(VI) ions (under the conditions initial Cr(VI) concentration of 80mg/L, temperature 25°C and pH=1). Results shown are mean  $\pm$  standard deviation,  $n = 3$ .

Langmuir isotherm model was utilized with determining the adsorption isotherm [51], [52]. This Langmuir isotherm equation is given in Equation 5:

$$1/q_e = \frac{1}{Q^o b x c_e} + \frac{1}{Q^o} \quad (5)$$

In Equation, the content of metal adsorbed is  $q_e$  (mg/g), the equilibrium concentration is  $C_e$  (mg/L),  $b$  and  $Q^o$  is Langmuir constants associated with energy of adsorption and adsorption capacity, respectively. The adsorption isotherm is given in Figure 13. If a plot of  $1/q_e$  versus  $1/C_e$  is plotted and a straight line is obtained and the calculated high correlation coefficient ( $R^2$ ) of the graph is remarkably close to 1, the adsorption behavior can be assumed to fit the Langmuir isotherm. The intercept and the slope of this line then yield the constants  $b$  and  $Q^o$ , respectively.  $Q^o$  was found to be 555.55 and 322.58 mg/g for semi-IPN and full-IPN, respectively, while  $b$  was calculated as 0.0323 and 0.0563 L/mg for semi-IPN and full-IPN, respectively. The correlation coefficient ( $R^2$ ) was found to be 0.9992 and 0.9984 for semi-IPN and full-IPN, respectively. The correlation coefficient displays a good accordance between parameters and indicates monolayer adsorption of metal ions on the adsorbent surface [51], [52].

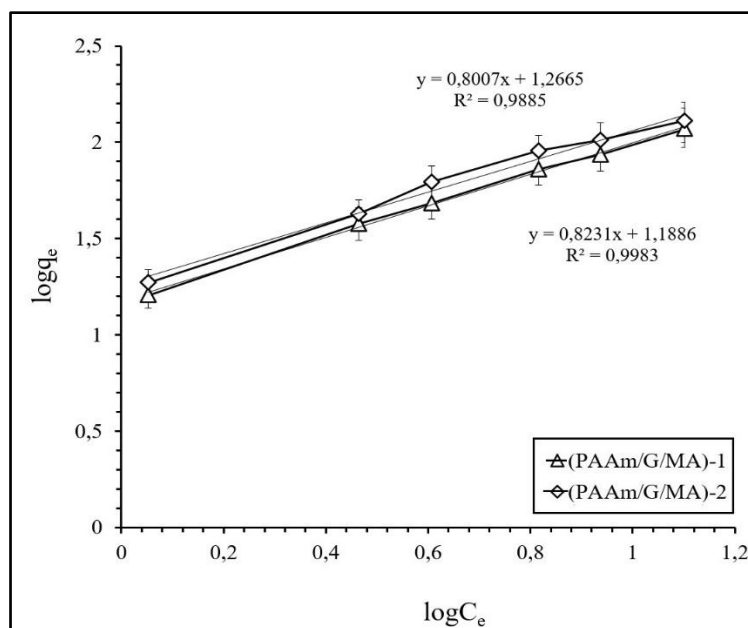


**Figure 13.** Langmuir isotherm for adsorption of Cr (VI) ions (under the conditions pH=6, temperature 25°C in period of 900 min).

Freundlich isotherm displays in Equation 6 [9], [14]:

$$\log q_e = \log K_f + n \log C_e \quad (6)$$

In Equation, the Freundlich constant is  $K_f$ , an adsorption capacity, depends on the binding energy. Freundlich coefficient is  $n$ , a heterogeneity factor, links to the deviation of adsorption from linearity. It can be detected from the plot of  $\log q_e$  vs.  $\log C_e$ . The isotherm is displayed in Figure 14.  $n$  was found to be 0.8231 and 0.8007 mg/g for semi-IPN and full-IPN, respectively, while  $K_f$  was calculated as 15.44 and 18.47 for semi-IPN and full-IPN, respectively. The correlation coefficient ( $R^2$ ) was found to be 0.9983 and 0.9885 for semi-IPN and full-IPN, respectively.  $R^2$  values were over 0.96 indicating that the adsorption of Cr (VI) ions by semi and full-IPN hydrogel fitted also well on Freundlich isotherm. It can be said that the monolayer adsorption of the metal ions was occurred on the adsorbent surface [52]. Langmuir isotherm proved to be a better mathematical fit for equilibrium data than Freundlich model, based on the higher  $R^2$  value.



**Figure 14.** Freundlich isotherm for adsorption of Cr (VI) ions (under the conditions pH=6, temperature 25°C in period of 900 min).

## IV. CONCLUSION

In this study, the gelatin (G)-polyacrylamide (PAAm)-based interpenetrating polymer network (IPN) hydrogels containing maleic acid (MA) was synthesized by free radical polymerization. The so-prepared hydrogel was utilized for removal of Cr (VI) from its aqueous solutions. The hydrogels were characterized by FTIR, TGA, DSC and SEM/EDX analysis. The degradation and mechanical behavior of hydrogels was also investigated. It was detected that IPN hydrogels had good water absorbency capability, degradation, mechanical, and thermal stabilities. Factors affecting the adsorption process such as pH, contact time, and initial concentration were extensively researched. It was observed that the extent of Cr (VI) adsorption increased with increasing initial Cr (VI) concentration within the range studied. It was found that adsorption of Cr (VI) by hydrogels was influenced by the increasing of the crosslinking amount in structure. Also, it was observed that the adsorption is pH-dependent and maximum sorption was obtained at pH 6. According to the study of the influence of contact time on the adsorption, a remarkable increase in Cr (VI) adsorption occurred up to 300 min. The adsorption data was determined to accord both Langmuir and Freundlich sorption isotherms, but Langmuir isotherm demonstrated to be a better mathematical fit for equilibrium data than Freundlich model, based on the higher the correlation coefficient value. The Langmuir adsorption capacity ( $Q$ ) was determined to be 555.55 and 322.58 mg/g for semi-IPN and full-IPN, respectively. Freundlich constants,  $K_f$ , were found to be 15.44 and 18.47 for semi-IPN and full-IPN, respectively. According to results, it can be said that the synthesized IPN hydrogel could be utilized as metal adsorbents from aqueous solutions.

## V. REFERENCES

- [1] P. Souda and L. Sreejith, "Poly (acrylate-acrylic acid-co-maleic acid) hydrogel: a cost effective and efficient method for removal of metal ions from water," *Separation Science and Technology*, c. 48, s. 18, ss. 2795-2803, 2013.
- [2] R. Torres-García, J. Flores-Estrada, J. V. Cauich-Rodríguez, M. Flores-Reyes and M. V. Flores-Merino, "Design of a polyacrylamide and gelatin hydrogel as a synthetic extracellular matrix." *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, ss. 1-12, 2020.

- [3] A. Martínez-Ruvalcaba, F. Becerra-Bracamontes, J. C. Sánchez-Díaz and A. González-Alvarez, "Polyacrylamide-gelatin polymeric networks: effect of pH and gelatin concentration on the swelling kinetics and mechanical properties," *Polymer Bulletin*, c. 62, s. 4, ss. 539-548, 2009.
- [4] H. Ferfera-Harrar, N. Aiouaz and N. Dairi, "Synthesis and properties of chitosan-graft polyacrylamide/gelatin superabsorbent composites for wastewater purification.," *Polymer*, c. 6, s. 9, ss. 757-764, 2015.
- [5] M. Jaiswal, V. Koul, A. K. Dinda, S. Mohanty and K.G. Jain, "Cell adhesion and proliferation studies on semi-interpenetrating polymeric networks (semi-IPNs) of polyacrylamide and gelatin," *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, c. 98, s. 2, ss. 342-350, 2011.
- [6] H. Kaşgöz, S. Özgümüş and M. Orbay, "Modified polyacrylamide hydrogels and their application in removal of heavy metal ions," *Polymer*, c. 44, s. 6, ss. 1785-1793, 2003.
- [7] O.V. Maikovich, N.G. Nosova, M.V. Yakoviv, À. Dron, A.V. Stasiuk, V.Ya. Samaryk, S.M. Varvarenko, S.A. Voronov, "Composite materials based on polyacrylamide and gelatin reinforced with polypropylene microfiber," *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, c. 1, ss. 45-54, 2021.
- [8] C. V. T. Rigueto, M. T. Nazari, L. A. Massuda, B. E. P. Ostwald, J. S. Piccin and A. Dettmer, "Production and environmental applications of gelatin-based composite adsorbents for contaminants removal: a review," *Environmental Chemistry Letters*, ss. 1-22, 2021.
- [9] H. S. Jamwal, S. Ranote, D. Kumar, G. S. Chauhan, and M. Bansal, "Gelatin-based mesoporous hybrid materials for Hg<sup>2+</sup> ions removal from aqueous solutions," *Separation and Purification Technology*, c. 239, ss. 116513, 2020.
- [10] K. Sangeetha, G. Vidhya G. Vasugi, E.K. Girija, "Lead and cadmium removal from single and binary metal ion solution by novel hydroxyapatite/alginate/gelatin nanocomposites," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, c. 6, ss. 1118–1126, 2018.
- [11] M. E. Mahmoud, R. H. A. Mohamed, "Biosorption and removal of Cr (VI)–Cr (III) from water by eco-friendly gelatin biosorbent," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, c. 2, s. 1, ss. 715-722, 2014.
- [12] S. Perumal, R. Atchudan, D.H. Yoon, J. Joo, I. W. Cheong, "Graphene oxide-embedded chitosan/gelatin hydrogel particles for the adsorptions of multiple heavy metal ions," *Journal of Materials Science*, c. 55, s. 22, ss. 9354-9363, 2020.
- [13] A. K. Bajpai and H. Bundela, "Influence of gelatin on the properties of hydroxyapatite–polyacrylamide nanocomposite as a potential bone substitute," *Composite Interfaces*, c. 15, s. 7-9, ss. 709-729, 2008.
- [14] M. P. Das, P. R. Suguna, K. Prasad, J. V. Vijaylakshmi and M. Renuka, "Extraction and characterization of gelatin: a functional biopolymer," *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, c. 9, s. 239, ss.10-22159, 2017.
- [15] Y. C. Lin, C. C. Wang and C. W. Tung, "An in silico toxicogenomics approach for inferring potential diseases associated with maleic acid," *Chemico-Biological Interactions*, c. 223, ss. 38-44, 2014.
- [16] A. G. Ibrahim, A. S. Saleh, E. M. Elsharma, E., Metwally and T. Siyam, "Chitosan-g-maleic acid for effective removal of copper and nickel ions from their solutions," *International Journal Of Biological Macromolecules*, c. 121, ss. 1287-1294, 2019.

- [17] W. Maatar and S. Boufi, "Poly (methacrylic acid-co-maleic acid) grafted nanofibrillated cellulose as a reusable novel heavy metal ions adsorbent," *Carbohydrate Polymers*, c. 126, ss. 199-207, 2015.
- [18] A. M. Patel, R. G. Patel and M. P. Patel, "Super Absorbent Hydrogel Based on Poly [acrylamide/maleic acid/2-methacryloxy ethyl trimethylammonium chloride]: Synthesis, Characterization and their Application in the Removal of Chromium (VI) from Aqueous Solution," *Journal of Macromolecular Science, Part A*, c. 48, s. 5, ss. 339-347, 2011.
- [19] E. Helvacioğlu, V. Aydın, T. Nugay, N. Nugay, B. G. Uluocak and Şen, S, "High strength poly (acrylamide)-clay hydrogels," *Journal of Polymer Research*, c. 18, s. 6, ss. 2341-2350, 2011.
- [20] M. A. Paul, C. Delcourt, M. Alexandre, P. Degée, F. Monteverde and P. Dubois, "Polylactide/montmorillonite nanocomposites: study of the hydrolytic degradation," *Polymer Degradation and Stability*, c. 87, s. 3, ss. 535-542, 2005.
- [21] E. A. Kamoun, E. R. S. Kenawy, T. M. Tamer, M. A. El-Meligy and M. S. M. Eldin, "Poly (vinyl alcohol)-alginate physically crosslinked hydrogel membranes for wound dressing applications: characterization and bio-evaluation," *Arabian Journal of Chemistry*, c. 8, s. 1, ss. 38-47, 2015.
- [22] M. A. Paul, C. Delcourt, M. Alexandre, P. Degée, F. Monteverde and P. Dubois, "Polylactide/montmorillonite nanocomposites: study of the hydrolytic degradation," *Polymer Degradation and Stability*, c. 87, s. 3, 535-542, 2005.
- [23] T. Caykara, C. Özyürek, Ö. Kantoğlu and B. Erdoğan, "Thermal behavior of poly (2-hydroxyethyl methacrylate-maleic acid) networks," *Polymer Degradation and Stability*, c.80, s. 2, ss. 339-343, 2003.
- [24] B. Grabowska, M. Holtzer, S. Eichholz, K. Hodor, and A. Bobrowski, "Thermal analysis of a sodium salt of the maleic acid-acrylic acid copolymer used as a polymeric binder," *Polimery*, c. 56, s. 2, ss. 151-155, 2011.
- [25] A. Enumo Jr, I. P. Gross, R. H. Saatkamp, A. T. Pires and A. L. Parize, "Evaluation of mechanical, thermal and morphological properties of PLA films plasticized with maleic acid and its propyl ester derivatives," *Polymer Testing*, c. 88, s.106552, ss. 1-9, 2020.
- [26] G. O. Akalin, O.O. Taner and T. Taner, "The preparation, characterization and antibacterial properties of chitosan/pectin silver nanoparticle films," *Polymer Bulletin*, ss. 1-18, 2021.
- [27] J. Maity, and S. K. Ray, "Enhanced adsorption of Cr (VI) from water by guar gum based composite hydrogels," *International journal of biological macromolecules*, c. 89, ss. 246-255, 2016.
- [28] T.A. Khan, M. Nazir, I. Ali and A. Kumar, "Removal of chromium (VI) from aqueous solution using guar gum-nano zinc oxide biocomposite adsorbent," *Arabian Journal of Chemistry*, c. 10, ss. 2388-2398, 2017.
- [29] M. Eid, M. A. Abdel-Ghaffar and A. M. Dessouki, "Effect of maleic acid content on the thermal stability, swelling behaviour and network structure of gelatin-based hydrogels prepared by gamma irradiation," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, c. 267, s. 1, ss. 91-98, 2009.
- [30] A. B. D. Nandiyanto, R. Oktiani and R. Ragadhita, "How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material," *Indonesian Journal of Science and Technology*, c. 4, s. 1, ss. 97-118, 2019.



- [31] A. Jafari, S. Hassanajili, F. Ghaffari and N. Azarpira, "Modulating the physico-mechanical properties of polyacrylamide/gelatin hydrogels for tissue engineering application," *Polymer Bulletin*, ss. 1-22, 2021.
- [32] S. Belkadi, H. Bendaikha, F. Lebsir and S. Ould-Kada, "Synthesis, characterization and swelling study of poly (methacrylic acid-co-maleic acid) hydrogels," *Oriental Journal of Chemistry*, c. 34, s. 2, ss. 948-954, 2018.
- [33] M. M. Ghobashy, B. K. El-Damhougy, N.Nady, H. Abd El-Wahab, A. M. Naser and F. Abdelhai, "Radiation crosslinking of modifying super absorbent (polyacrylamide/gelatin) hydrogel as fertilizers carrier and soil conditioner," *Journal of Polymers and the Environment*, c. 26, s. 9, ss. 3981-3994, 2018.
- [34] S. Bennour and Louzri, F, "Study of swelling properties and thermal behavior of poly (N, N-dimethylacrylamide-co-maleic acid) based hydrogels," *Advances in Chemistry*, ss. 1-10, 2014.
- [35] Y. F. Buys, A. N. A. Aznan, and H. Anuar, Mechanical properties, morphology, and hydrolytic degradation behavior of polylactic acid/natural rubber blends," *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, c. 290, s., ss.1-8. 2018.
- [36] E. A. Kamoun, E. R. S. Kenawy, T. M. Tamer, M. A. El-Meligy and M. S. M. Eldin, "Poly (vinyl alcohol)-alginate physically crosslinked hydrogel membranes for wound dressing applications: characterization and bio-evaluation," *Arabian Journal of Chemistry*, c. 8, s. 1, ss. 38-47, 2015.
- [37] C. Xiao, Y. Lu, Z. Jing, L. Zhang, "Study on physical properties of blend films from gelatin and polyacrylamide solutions," *Journal of Applied Polymer Science*, c. 83, s. 5, ss. 949-955, 2002.
- [38] J. Filipović, L. Katsikas, I. Popović, S. Veličković, T. Djakov and D. Petrović-Djakov, "The thermal degradation of some alkali metal salts of poly (itaconic acid)," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, c. 49, s. 1, ss. 335-341, 1997.
- [39] M.C. Chandy, V.N. Pillai, "Water sorption and water binding properties of crosslinked polyacrylamides: effect of macromolecular structure and crosslinking," *Polymer International*, c. 37, s. 1, ss. 39-45, 1995.
- [40] A.N. Fraga, R.J., Williams, "Thermal properties of gelatin films," *Polymer*, c. 26, s. 1, ss. 113-118, 1985.
- [41] A. G. Ibrahim, A. S. Saleh, E. M. Elsharma, E. Metwally, and T. Siyam, "Chitosan-g-maleic acid for effective removal of copper and nickel ions from their solutions," *International Journal of Biological Macromolecules*, c. 121, ss. 1287-1294, 2019.
- [42] Y. R. Qiu and L. J. Mao, "Removal of heavy metal ions from aqueous solution by ultrafiltration assisted with copolymer of maleic acid and acrylic acid," *Desalination*, c. 329, ss. 78-85, 2013.
- [43] A. R. Allafchian, A. Shiasi and R. Amiri, "Preparing of poly (acrylonitrile co maleic acid) nanofiber mats for removal of Ni (II) and Cr (VI) ions from water," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, c. 80, ss. 563-569, 2017.
- [44] J. Maity, and S. K. Ray, "Enhanced adsorption of Cr (VI) from water by guar gum based composite hydrogels," *International Journal of Biological Macromolecules*, c. 89, ss. 246-255, 2016.
- [45] S. Rengaraj, C. K. Joo, Y. Kim and J. Yi, "Kinetics of removal of chromium from water and electronic process wastewater by ion exchange resins: 1200H, 1500H and IRN97H," *Journal of Hazardous Materials*, c. 102, s. 2-3, ss. 257-275, 2003.

- [46] T. A. Khan, M. Nazir, I. Ali and A.Kumar, "Removal of chromium (VI) from aqueous solution using guar gum–nano zinc oxide biocomposite adsorbent," *Arabian Journal of Chemistry*, c. 10, ss. 2388-2398, 2017.
- [47] K. G. Bhattacharyya and S. Sen Gupta, "Adsorption of chromium (VI) from water by clays," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, c. 45, s. 21, ss. 7232-7240, 2006.
- [48] Y. Lei, H. Su, F. Tian, "A novel nitrogen enriched hydrochar adsorbents derived from salix biomass for Cr (VI) adsorption," *Scientific reports*, c. 8, s. 1, ss. 1-9, 2018.
- [49] J. Maity, S. K. Ray, "Enhanced adsorption of Cr (VI) from water by guar gum based composite hydrogels," *International journal of biological macromolecules*, c. 89, ss. 246-255, 2016.
- [50] S. K. Bajpai, S. Johnson, "Poly (acrylamide-co-maleic acid) hydrogels for removal of Cr (VI) from aqueous solutions, Part 1: Synthesis and swelling characterization," *Journal of Applied Polymer Science*, c. 100, s. 4, ss. 2759-2769, 2006.
- [51] Ö. B. Üzümlü, S. Kundakci, and E. Karadağ, "Uranium ion uptake from aqueous solutions by chemically cross-linked polyelectrolyte CAMA hydrogels," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, c. 46, s. 8, ss. 775-780, 2007.
- [52] I. Langmuir, "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum," *Journal of the American Chemical Society*, c. 40, s. 9, ss. 1361-1403, 1918.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Veri Ölçekleme ve Eksik Veri Tamamlama Yöntemlerinin Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Başarısına Etkisinin İncelenmesi

 Mesut POLATGİL<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Bilişim Sis ve Tek Bölümü, Şarkışla Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, TÜRKİYE*

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [mesutpolatgil@cumhuriyet.edu.tr](mailto:mesutpolatgil@cumhuriyet.edu.tr)  
DOI:10.29130/dubited.948564

### ÖZ

Teknoloji ve bilişim alanındaki yenilikler ile elde edilen verinin büyüklüğü ve çeşitliliği artarak bu verilerin kaydedilmesi ve paylaşılması da kolaylaşmıştır. İnsan eli ile analiz edilmesi oldukça zor olan bu verilerin analizinde bilgisayarlar ve özellikle makine öğrenmesi algoritmaları büyük rol oynamaktadır. Bu analiz sürecinde veri ön işleme aşaması veri üzerinde yapılan çalışmalarda kilit rol oynamaktadır. Veri ön işleme aşamasında eksik verilerin tamamlanması ve veri ölçekleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Literatürde eksik veri tamamlaması ile veri ölçekleme yöntemlerinin algoritmalar üzerindeki etkisini ayrı ayrı gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Fakat bu iki önemli aşamanın bir arada değerlendirilmesi de gerekmektedir. Bu çalışmada Hepatoselüler Karsinoma (HCC) hastalığı veri seti üzerinde eksik verilerin tamamlanması ve veri ölçekleme yaklaşımlarının Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makinaları ve Rassal Orman Algoritmalarının sınıflandırma başarılarına etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda en iyi sınıflandırmanın eksik verilerin tamamlanmasında ortalama yaklaşımı kullanılması ve min-max veri ölçeklemesi ile gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca sınıflandırma açısından Rassal Orman algoritmasının diğer algoritmalara göre daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Eksik veri, Hepatoselüler Karsinoma, Veri Ölçekleme, Makine öğrenmesi.*

## Investigation of The Effects of Data Scaling and Imputation of Missing Data Approaches on The Success of Machine Learning Methods

### ABSTRACT

With the innovations in technology and informatics, the size and diversity of the data obtained has increased and it has become easier to record and share this data. Computers and especially machine learning algorithms play a major role in the analysis of this data, which is very difficult to analyze by human hands. In this analysis process, the data preprocessing stage plays a key role in studies on data. In the data preprocessing stage, the missing data is completed and the data scaling process is carried out. In the literature, there are studies that show the effects of missing data completion and data scaling methods on algorithms separately. However, these two important stages need to be evaluated together. In this study, the completion of missing data on the Hepatocellular Carcinoma (HCC) disease data set and the effect of data scaling approaches on the classification success of Artificial Neural Networks, Support Vector Machines and Random Forest Algorithms were investigated. As a result of the research, it was determined that the best classification was achieved by using the mean approach to complete the missing data and min-max data scaling. In addition, it has been determined that the random forest algorithm is more successful than other algorithms in terms of classification.

**Keywords:** *Missing data, Hepatocellular Carcinoma, Data Scaling, Machine learning*

# I. GİRİŞ

Bilgi toplumuna geçilmesi ile birlikte, verinin üretilerek depolanması ve paylaşılmasını kolaylaştırmış ve bilgi daha da önem kazanmıştır. Başta bulut bilişim gibi gelişen bilişim teknolojisi araçları ile büyük veriler rahatlıkla saklanabilmektedir. Bu büyüklükteki verilerin insan eli ile analiz edilmesi ise oldukça güçtür. Kolaylıkla saklanabilen ve ulaşılabilen büyük verilerden anlamlı bilgiler çıkarmak veri madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleri ile mümkün hale gelmiştir. Bu sayede kredi risk analizi, dolandırıcılık tespiti, müşteri analizi ve tıbbi teşhis gibi birçok alanda başarılı sonuçlar alınması mümkün olmuştur. Bilişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ile teknolojinin hayatımızdaki yerinin artması kaydedilen ve saklanan veri miktarını ve çeşitliliğini artıracaktır. Bu durum verinin işlenmesi ve anlamlı bilgiler çıkarılması noktasında gerçekleştirilen çalışmaların artarak devam edebileceğini göstermektedir. Ayrıca başta sağlık hizmetleri olmak üzere önemli alanlarda birçok önemli kararın verilerden anlamlı sonuçlar çıkarabilen makineler ve yapay zekâ tarafından verilmesi günümüzde kullanılmakta ve giderek yaygınlaşmaktadır.

Makine öğrenme algoritmaları toplanan veriler ile çalışmaktadır. Kurulan modellerin başarısı büyük oranda bu verilerin tam ve doğru olması ile mümkün olabilmektedir. Verilerde, yanlış kayıtlar ya da rassal olarak meydana gelen eksik veriler sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Kayıp veri olması durumunda istatistiksel temellere dayanan makine öğrenme algoritmalarının sonuçları etkilenmektedir [1]. Eksik verinin tamamlanması ile ilgili farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bunlardan en temel olanları eksik verinin yerine ortalama, medyan ya da mod gibi istatistiksel verilerin kullanılması, bir önce ve bir sonraki verinin kaydırılması ya da eksik veri kaydının silinmesidir [2]. Eksik veri problemi çözüldükten sonra belirlenmesi gereken bir diğer önemli husus ise verilerin ölçeklenmesidir. Veri ölçeklenmesi özellikle özniteliklerin farklı değer aralıklarında olduğu durumlarda daha da önem kazanmaktadır. Örneğin bir veri setinde yaş ya da kilo gibi değişkenler ile sigara içip içmeme durumu, bir dokuya ait ölçü verisi farklı aralıklarda yer alabilir ve bu farklı aralık durumu algoritmaların başarısını etkileyebilir. Bu yüzden verilerin ölçeklendirilmesi gerekmektedir ve bu noktada farklı ölçekleme yaklaşımları bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar; Min-Max, Medyan ve Z-Score gibi yaklaşımlardır [3].

Hepatosellüler karsinom (HCC) hastalığı karaciğer organında oldukça sık karşılaşılan bir kanser çeşididir. Erkeklerde en sık görülen 5. ve kadınlarda ise en sık görülen 7. tümördür. Ayrıca dünyada en sık görülen dördüncü kanser türüdür ve karaciğer kanserlerinin %80'nini oluşturmaktadır. Tip II diyabet, obezite ve alkol tüketimi bu kanser türünün ortaya çıkmasında önemli faktöre sahiptir. Böylesine önemli bir hastalığın son yıllarda diyabet ve alkol tüketiminin artmasına bağlı olarak görülme sıklığının artabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

HCC hastalığına yönelik olarak gerek tıp alanında gerekse makine öğrenmesi ve veri modellemesi noktasında birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar özellikle eksik veri ve veri ölçeklemesi konularında olması bakımından incelenerek sunulmuştur. Hepatitis C virüsü tarafından uyarılan HCC hastalığına yönelik olarak eksik verilerin Beklenti Maksimizasyonu, Markov Zinciri Monte Carlo (MCMC), Regresyon, ve Yordayıcı Ortalama Eşleşme (predictive mean matching) eksik veri tamamlama yöntemleri kullanılmıştır. Genelleştirilmiş Tahmin Denklemleri, Zaman Bağımlı Cox Regresyon, ve Birleşik Modelleme yöntemleri istatistiksel çıkarım için kullanılmıştır. Sonuç olarak çoklu veri tamamlama yöntemlerinin eksik veriler ile çıkarım yapmada daha etkili olduğunu göstermişlerdir [4]. HCC hastalığına yönelik olarak eksik verilerin tamamlanması için 5 farklı yöntem medyan, mod, ortalama, karar ağacı tabanlı regresyon ve lineer regresyon uygulamışlar ve sonuç olarak karar ağacı tabanlı regresyon yönteminin daha başarılı olduğunu tespit etmişlerdir [5]. Kayıp veriler ile gereğinden fazla öznitelik olması durumuna yönelik olarak yeni bir yöntem önerilen çalışmada 0.9879 sınıflama başarısı elde edilmiştir [6]. Zincir Denklemleri Algoritmasında çok değişkenli veri tamamlama yönteminin tanıtıldığı çalışmada önerilen yöntemin etkinliği kalp hastalıkları ve HCC veri seti üzerinden gösterilmiştir [7]. Hastalar arasındaki farklılıkları dikkate alarak makine öğrenmesine dayalı yeni bir örnekleme yönteminin önerildiği çalışmada ise eksik veri tamamlama ön işleme sürecinde kullanılmış ve yöntemin etkinliği gösterilmiştir [8].

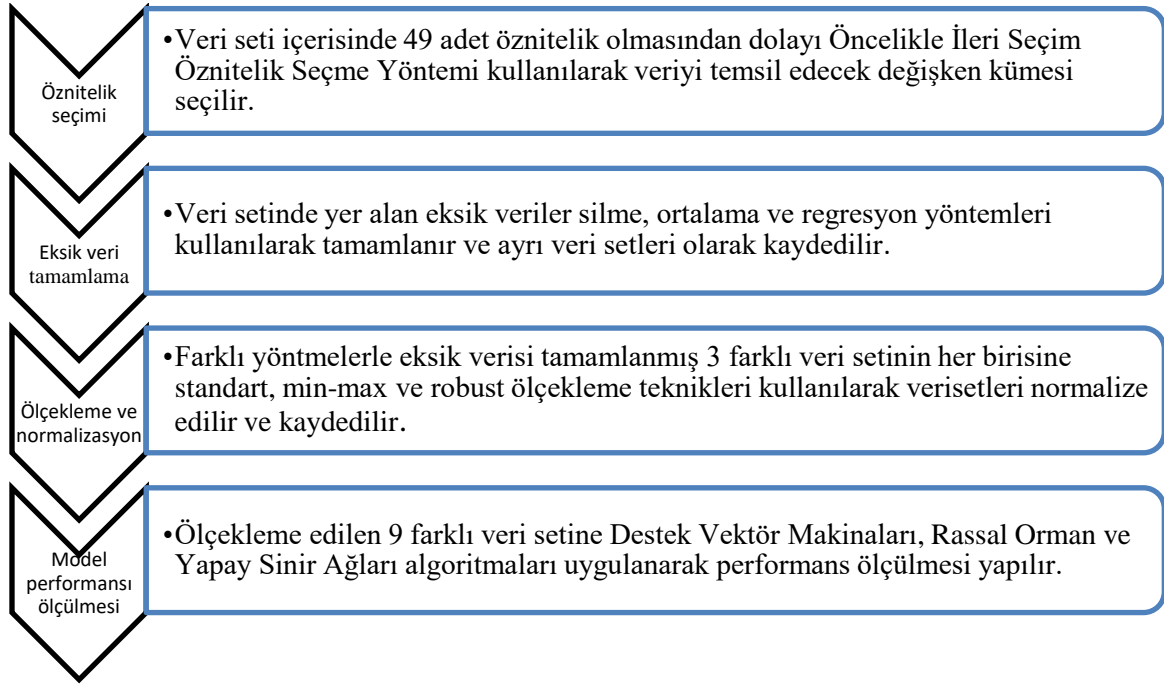
HCC hastalığı dışında literatürde veri ölçekleme ile eksik veri tamamlama üzerinde çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle şeker hastalığında hastaneye geri yatış olasılığının tahmin edildiği çalışmada veri ölçekleme ve öznitelik mühendisliği ön işlem adımları uygulanarak model başarısında ciddi artış sağlanmıştır [9]. Yağış miktarının tahmin edildiği çalışmada ise eksik veri tamamlama ve normalizasyon yöntemlerinin ön işleme adımında kullanılması ile farklı sınıflandırıcılar üzerinde başarılı olduğu gösterilmiştir [10]. Dış ortam kirliliğinin ciddi ölümlere neden olduğu ve partikül maddelerin tespit edilmesi noktasında veri ön işleme adımlarının etkililiği araştırılmıştır. Bu bağlamda öznitelik seçimi, boyut azaltışı, veri ölçekleme ve eksik veri tamamlama adımları uygulanarak partikül tahmininde iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir [11]. Gen ifade profilleri için veri ön işleme adımlarının başarısını inceleyen çalışmada ise log2 ve Z-Score normalizasyon yöntemleri farklı eksik veri tamamlama yöntemlerinin makine öğrenmesi yöntemleri üzerindeki etkileri incelenmiştir [12]. Parkinson hastalığının tahmininde eksik veri olması durumunda Copulas teorisini kullanarak eksik veri tamamlama yöntemi önerilmiş ve bu yöntem 7 farklı eksik veri tamamlama yöntemi ile karşılaştırılarak sonuçlar verilmiştir [13]. Eksik verilerin tamamlanması ile ilgili merkez noktalar ve en yakın komşulara dayalı yeni bir paradigmanın önerildiği çalışmada ise z-skor değerleri temel alınarak eksik veriler tamamlanmış sonuçlar verilmiştir [14]. Çalışma [15] ise missing value olarak bilinen kayıp veri olması durumunda bu verilerin tamamlanmasının PV jeneratörlerinin tahmini üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmalar da farklı ölçekleme ve kayıp veri tamamlama noktasında yöntemlerin performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma [16]'da farklı ölçekleme ve normalizasyon işlemlerinin makine öğrenmesi algoritmalarının sonuçlarını nasıl değiştirdiği gösterilmiştir. Hava durumu tahmini üzerinde gerçekleştirilen çalışmada normalize etmenin Yapay Sinir Ağları performansını ciddi anlamda değiştirebildiği gösterilmiştir.

Fakat literatürde ölçekleme işlemleri ve eksik veri tamamlama işlemlerinin birlikte değerlendirilerek makine öğrenmesi algoritmalarına etkisinin incelenmediği görülmektedir. Kanser hastalığı gibi önemli bir hastalık veri seti üzerinde hem veri ölçekleme hem de eksik veri tamamlama işlemlerinin algoritmalar üzerindeki etkisinin gösterilmesi noktasında literatüre katkı sağlamak amacı ile bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

## **II. YÖNTEM**

Bu çalışmada Portekiz'de University Hospital tarafından toplanan ve UCI veri tabanından ulaşılan HCC Survival Data Set kullanılmıştır. Veri tabanında 49 öznitelik ve 165 örnek yer almaktadır. Kayıp veri içeren bir veri setidir. Eksik veriler tüm veri setinin yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır. Bağımlı değişken olan hastaların yaşayıp yaşamadığını ifade eden değişken ise 'class' değişkeni binary olarak kodlanmıştır.

Çalışma kapsamında izlenen yöntem Şekil 1'de gösterilmiştir.



*Şekil 1. Çalışma kapsamında izlenen yol.*

## A. ÖZİNİTELİK SEÇİMİ

Veri setinde 49 adet değişken olması nedeniyle öncelikle öznitelik seçim işlemi uygulanmıştır. Öznitelik seçimi için İleri Seçim (Forward Selection) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin seçilme nedeni ise sınıflandırma işlemlerinde oldukça yüksek başarı göstermesidir [17]. Bağımlı değişken ile ilgili olan en önemli değişken ile model başlar. Yani başlangıçta sadece bir değişken vardır modelde. Diğer değişkenler modele sırasıyla eklenir. Eğer eklenen değişken modelin performansında artış sağlıyorsa modele dâhil edilir. Bütün değişkenler bu yolla kontrol edilerek model son halini alır. İleri seçim yöntemi ile seçilen öznitelikler ve bu özniteliklere ait eksik veriler Tablo 1’de gösterilmiştir.

*Tablo 1. İleri seçim yöntemi ile seçilen öznitelikler ve bu özniteliklere ait eksik veri değerleri*

Seçilen değişkenler	Eksik veri sayısı
46.Bil	44
2.Sym	18
42.Prot	11
41.Alk	3
1.Gen	0

## B. EKSİK VERİ TAMALAMA

Seçilen değişkenler kullanılarak yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setine öncelikle eksik veri tamamlama işlemi uygulanmıştır. Eksik veri tamamlama yaklaşımlarından silme, ortalama ve regresyon yöntemleri kullanılarak 3 farklı veri seti elde edilmiştir. Silme işleminde veri setinden eksik veri bulunan gözlem satırı veri setinden çıkarılır. Ortalama yönteminde ise eksik verinin bulunduğu gözlem ilgili özniteliliğin ortalaması ile tamamlanır. Regresyon yönteminde ise eksik veri tam olan veriler ile kurulan regresyon yöntemi ile tamamlanır [2].

## C. ÖLÇEKLEME

Eksik verileri tamamlanmış veri setlerine sonraki aşamada ölçekleme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen 3 farklı veri setine 3 farklı ölçekleme yönteminin uygulanması ile 9 farklı veri seti elde edilmiştir. Çalışmalarda sıklıkla kullanılan standart, min-max ve robust ölçekleme yöntemleri veri setlerine uygulanmıştır [13], [18].

Min-max ölçekleme: Eşitlik 1’de verilen bu yöntemde veriler 0-1 aralığına indirgenir. Verinin dağılımında herhangi bir değişiklik olmaz.

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

$x'$  : ölçeklenen edilmiş öznitelik

$x_{min}$  : Özniteliğin en küçük değeri

$x_{max}$  : Özniteliğin en büyük değeri

Standart Ölçekleme: Eşitlik 2’de verilen bu yöntemde-öznitelik değerleri ortalamasından çıkarılarak standart sapmasına bölünme yolu ile ölçeklenir. Öznitelik değer aralığında bir sınır olmamasına rağmen genellikle değerlerin -3 ve +3 aralığında olduğu görülür.

$$x' = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma} \quad (2)$$

$x'$  : ölçeklenen edilmiş öznitelik

$\mu_i$  : Özniteliğin ortalaması

$\sigma$  : Özniteliğin standart sapması

Robust Ölçekleme: Eşitlik 3’de verilen bu yöntem ise veride özellikle aykırı değer bulunması durumunda daha kullanışlıdır. Çünkü ortalama yerine medyan değerini ve değer aralığı yerine ise kartil aralığını kullanır. Kartil aralığı IQR (Interquartile Range) olarak bilinir ve 1. ve 3. Kartil aralığı arasındaki farka göre ölçekleme yapılır [2].

$$x' = \frac{x_i - medyan}{p_{75} - p_{25}} \quad (3)$$

$x'$  : ölçeklenen edilmiş öznitelik

*medyan*: Özniteliğin medyanı

$p_{75}$ : Özniteliğin 3. Kartil değeri

$p_{25}$ : Özniteliğin 1. Kartil değeri

## D. SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARI

Üç farklı ölçekleme ve üç farklı eksik veri tamamlama yöntemi ile HCC veri setinden dokuz farklı veri seti elde edilmiştir. Bu dokuz farklı veri setine makine öğrenmesi çalışmalarında sıklıkla kullanılan üç farklı algoritma uygulanmıştır. Algoritmaların başarı ölçümlerinde hiperparametre optimizasyonu yapılmamış varsayılan değerler kullanılmıştır. Burada eksik veri tamamlama ve ölçekleme yaklaşımlarının performans sonuçlarına nasıl etki ettiği üzerine odaklanılmıştır. Çalışmada Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör makinaları ve Rassal Orman algoritmalarının kullanılma sebebi özellikle veri normalizasyonu ve eksik veri ile ilgili çalışmalarda bu yöntemlerin tercih edilmesidir.

## E. SINIFLANDIRMA BAŞARISI İÇİN KULLANILAN ÖLÇÜMLER

Sınıflandırma algoritmalarının performansının ölçülmesinde Eşitlik 4-7 arasında gösterilen ifadeler yardımı ile hesaplanan F1 skoru, kesinlik, duyarlılık ve doğruluk ölçüleri kullanılmaktadır.

$$\text{Doğruluk} = (TP+TN)/(TP+TN+FN+FP) \quad (4)$$

$$\text{Kesinlik} = TP/(TP+FP) \quad (5)$$

$$\text{Duyarlılık} = TP/(TP+FN) \quad (6)$$

$$F1 = (2*\text{Kesinlik}*\text{Duyarlılık})/(\text{Kesinlik}+\text{Duyarlılık}) \quad (7)$$

Burada TP doğru pozitif (True Positives), TN doğru negatif (True Negatives), FP yanlış pozitif (False Positives) ve FN yanlış negatif (False Negatives) değerlerini göstermektedir.

Veri setinde bulunan eksik verilerin ortalama yöntemi ile doldurulması sonrasında uygulanan ölçekleme yöntemlerinin performans üzerindeki etkisi Tablo 2-4'de verilmiştir.

## III. BULGULAR

Veri setinde bulunan eksik verilerin ortalama yöntemi ile doldurulması sonrasında uygulanan ölçekleme yöntemlerinin performans üzerindeki etkisi Tablo 2-4'de verilmiştir.

*Tablo 2. Eksik veri tamamlama için ortalama, ölçekleme için standart ölçekleme yöntemi kullanılması*

Algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	Doğruluk	F1
Destek Vektör	0,683	0,841	0,663	0,754
Rassal Orman	0,711	0,842	0,684	0,765
Yapay Sinir Ağı	0,722	0,786	0,678	0,749

*Tablo 3. Eksik veri tamamlama için ortalama, ölçekleme için min-max yöntemi kullanılması*

Algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	Doğruluk	F1
Destek Vektör	0,675	0,862	0,661	0,751
Rassal Orman	0,711	0,842	0,685	<b>0,767</b>
Yapay Sinir Ağı	0,681	0,863	0,666	0,756



**Tablo 4.** Eksik veri tamamlama için ortalama, ölçekleme için Robust Ölçekleme yöntemi kullanılması

Algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	Doğruluk	F1
Destek Vektör	0,629	0,912	0,612	0,741
Rassal Orman	0,705	0,843	0,679	0,763
Yapay Sinir Ağı	0,711	0,814	0,678	0,755

Tablo 2-4 incelendiğinde veri setinde bulunan eksik verilerin ortalama yöntemi ile doldurulması sonrasında yapılan ölçekleme yöntemlerinin makine öğrenmesi yöntemleri üzerinde ciddi farklılıklar yaratmadığı gözlemlenmiştir. F1 skoru ölçütüne göre en yüksek başarı eksik verilerin ortalama ile doldurulması durumunda min-max ölçekleme yönteminden elde edilmiştir.

Veri setinde bulunan eksik verilerin silme yöntemi ile doldurulması sonrasında uygulanan ölçekleme yöntemlerinin performans üzerindeki etkisi Tablo 5-7’de verilmiştir.

**Tablo 5.** Eksik veri tamamlama için silme, ölçekleme için standart ölçekleme yöntemi kullanılması

Algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	Doğruluk	F1
Destek Vektör	0,742	0,64	0,649	0,669
Rassal Orman	0,683	0,704	0,631	0,68
Yapay Sinir Ağı	0,717	0,67	0,661	0,682

**Tablo 6.** Eksik veri tamamlama için silme, ölçekleme için min-max yöntemi kullanılması

Algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	Doğruluk	F1
Destek Vektör	0,716	0,601	0,639	0,646
Rassal Orman	0,683	0,704	0,631	0,68
Yapay Sinir Ağı	0,689	0,584	0,592	0,611

**Tablo 7.** Eksik veri tamamlama için silme, ölçekleme için Robust Ölçekleme yöntemi kullanılması

Algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	Doğruluk	F1
Destek Vektör	0,576	0,912	0,572	0,7
Rassal Orman	0,683	0,704	0,631	0,68
Yapay Sinir Ağı	0,66	0,616	0,6	0,62

Tablo 5-7 incelendiğinde veri setinde bulunan eksik verilerin silinmesi yöntemi ile doldurulması sonrasında yapılan ölçekleme yöntemlerinin makine öğrenmesi yöntemleri bazı farklılıklar yarattığı gözlemlenmiştir. Örneğin Destek Vektör Makinaları algoritmasında **robust ölçekleme** yöntemi kullanılırsa doğruluk % 57 olurken, aynı yöntem standart ölçekleme kullanıldığında % 65 başarı gösterebilmektedir. Aynı durum kesinlik değeri için de ortaya çıkmıştır. Fakat F1 skor değerlerinde birbirine yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Veri setinde bulunan eksik verilerin regresyon yöntemi ile doldurulması sonrasında uygulanan ölçekleme yöntemlerinin performans üzerindeki etkisi Tablo 8-10’da verilmiştir.

**Tablo 8.** Eksik veri tamamlama için regresyon, ölçekleme için standart ölçekleme yöntemi kullanılması

Algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	Doğruluk	F1
Destek Vektör	0,668	0,844	0,642	0,742
Rassal Orman	0,677	0,836	0,648	0,743
Yapay Sinir Ağı	0,7	0,794	0,66	0,74

**Tablo 9.** Eksik veri tamamlama için regresyon, ölçekleme için min-max yöntemi kullanılması

Algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	Doğruluk	F1
Destek Vektör	0,651	0,909	0,642	0,756
Rassal Orman	0,677	0,836	0,648	0,743
Yapay Sinir Ağı	0,661	0,831	0,636	0,733

**Tablo 10.** Eksik veri tamamlama için regresyon, ölçekleme için Robust Ölçekleme yöntemi kullanılması

Algoritma	Kesinlik	Duyarlılık	Doğruluk	F1
Destek Vektör	0,625	0,932	0,612	0,746
Rassal Orman	0,677	0,836	0,648	0,743
Yapay Sinir Ağı	0,686	0,80	0,654	0,738

Tablo 8-10 incelendiğinde veri setinde bulunan eksik verilerin regresyon yöntemi ile doldurulması sonrasında yapılan ölçekleme yöntemlerinin makine öğrenmesi yöntemleri üzerinde özellikle duyarlılık anlamında ciddi iyileştirmeler olduğu görülmektedir.

## **IV. SONUC**

Bu çalışmanın amacı veri madenciliği çalışmalarında veri ön işleme sürecinde kullanılan eksik veri tamamlama ve veri ölçekleme yöntemlerinin makine öğrenmesi algoritmaları performansına etkisinin incelenmesidir. Bu inceleme için HCC kanser türü için oluşturulmuş bir veri seti kullanılmıştır.

Çalışmada bir veri seti üzerinde veri ön işleme aşamalarında farklı yaklaşımlar kullanmanın farklı sonuçlar vereceği gösterilmiştir. Literatürde farklı ölçekleme ya da normalizasyon tekniklerinin algoritmalar üzerinde farklı sonuçlar vereceğini gösteren çalışmalarla bu sonuçlar benzerlik göstermektedir [13], [18]. Benzer şekilde eksik veri tamamlama yöntemlerinin algoritmaların performansını etkileyebileceğini gösteren çalışma sonuçları ile bu çalışmada elde edilen bulgular benzerlik göstermektedir [1], [2], [20], [21].

Veri seti üzerinde en başarılı sınıflandırma işleminin eksik verilerin ortalama yöntemi ile tamamlanması ve sonrasında min-max ölçekleme işleminin yapılması ile edildiği görülmüştür. Bu sonuçlar insan beynindeki anomalilerin tespitinde eksik veri ile çalışılmasında ortalama yönteminin etkisini gösteren çalışma ile benzerlik göstermektedir [22]. Bu çalışmada ortalama ile eksik veri tamamlama yöntemi en iyi sonucu vermiştir fakat literatürde farklı yaklaşımların daha başarılı olduğu da gösterilmiştir [16], [23], [24].

Ayrıca çalışmada eksik verilerin silinmesi durumunda ölçekleme yaklaşımlarının bazı performans değerlerinde ciddi değişiklik gösterebileceği tespit edilmiştir. Bu durum özellikle robust ölçekleme

durumunda başarıyı azaltırken, standart ölçekleme durumunda ise başarıda artırıcı bir etki olarak ortaya çıkmıştır.

Makine öğrenme algoritmalarının performansı açısından bakıldığında eksik veri tamamlama ve veri ölçeklemede farklı yaklaşımlar kullanılsa da genel olarak Rassal Orman algoritmasının yapay sinir ağları ve Destek Vektör Makinaları algoritmasına göre daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bunun yanında literatürde benzer sonuçlar veren çalışmalar bulunmaktadır [25]–[27]. Fakat bazı çalışmalar bu sonuçları desteklememektedir [28], [29]. Bu çalışmalarla sonuçların desteklenmeme nedeni bu araştırmada eksik veri ve ölçekleme yaklaşımları ile algoritmaların performansının incelenmesi fakat diğer çalışmaların veri seti üzerinde direk olarak çalışılması olabilir.

Veri ön işleme süreci özellikle veri bilimi ve makine öğrenmesi çalışmalarında çok önemli bir yere sahiptir. Bu aşamada yapılan her işlem çalışmanın seyrini önemli derecede değiştirebilir. Bu çalışmada da veri ön işleme aşamasında uygulanan farklı yaklaşımların sonuçları ne derecede değiştirebileceği gösterilmiştir. HCC kanser veri seti üzerinde üç farklı eksik veri tamamlama yöntemi ile üç farklı ölçekleme yönteminin üç farklı makine öğrenmesi algoritmasının performansının değiştirdiği gözlemlenmiştir.

Bu bağlamda veri bilimi ve makine öğrenmesi alanında yapılacak çalışmalarda veri ön işleme aşamasında bulunan farklı yaklaşımları yarı ayrı denemeleri ve en iyi performansı gösteren yaklaşımın seçilmesinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] E. Sezgin and Y. Çelik, “Veri madenciliğinde kayıp veriler için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması,” *XV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Antalya, Türkiye, 2013, ss.194-198.
- [2] T. Jayalakshmi and A. Santhakumaran, “Statistical Normalization and Back Propagation for Classification”, *International Journal of Computer Theory and Engineering* vol.3, no.1, pp.793-8201, 2011
- [3] S. H. Caldwell, D. M. Crespo, H. S. Kang, and A. M. S. Al-Osaimi, “Obesity and hepatocellular carcinoma”, *In Gastroenterology*, vol. 127, no.5, pp.97–103, 2004.
- [4] J. Jose, G.K. Vishwakarma, A. Bhattacharjee, “Illustration of missing data handling technique generated from hepatitis C induced hepatocellular carcinoma cohort study”, *Journal of King Saud University - Science*. vol.33, no.4, 2021.
- [5] M. Yumus, M. Apaydin, A. Degirmenci, O. Karal, “Missing data imputation using machine learning based methods to improve HCC survival prediction”, *28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Gaziantep, Türkiye, 2020, ss.1-4.
- [6] F.B. Demir, T. Tuncer, A.F. Kocamaz, F. Ertam, “A survival classification method for hepatocellular carcinoma patients with chaotic Darcy optimization method based feature selection”, *Medical Hypotheses*, vol.139, 2020.
- [7] S. Han, A.C. Andrei, K.W. Tsui, Multiple imputation for competing risks survival data via pseudo-observations, *Communications for statistical applications and methods*, vol.25 , pp. 385–396, 2018.
- [8] M.S. Santos, P.H. Abreu, P.J. García-Laencina, A. Simão, A. Carvalho, A new cluster-based

oversampling method for improving survival prediction of hepatocellular carcinoma patients, *Journal of Biomedical Informatics*, vol.58 pp.49–59, 2015.

[9] E.H. Zaky, M.M. Soliman, A.K. Elkholy, N.I. Ghali, “Enhanced predictive modelling for 30-day readmission diabetes patients based on data normalization analysis”, *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*. vol.14, pp.204–216, 2021.

[10] K. Varada Rajkumar, D.K. Subrahmanyam, “A novel method for rainfall prediction and classification using neural networks”, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. vol.12, pp. 521–528, 2021.

[11] D.H. Djarum, Z. Ahmad, J. Zhang, “Comparing Different Pre-processing Techniques and Machine Learning Models to Predict PM10 and PM2.5 Concentration in Malaysia”, *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Malaysia, 2021, pp.353–374.

[12] I. Duran, R. Leandro, J. Guevara-Coto, “Analysis of different pre-processing techniques to the development of machine learning predictors with gene expression profiles”, *Proceedings - 4th Jornadas Costarricenses de Investigacion En Computacion e Informatica*, JoCICI, San Pedro, Costa Rica, 2019.

[13] R. Houari, A. Bounceur, T. Kechadi, A.K. Tari, R. Euler, “Missing data analysis using multiple imputation in relation to Parkinson’s Disease”, *BDAW '16*, 2016.

[14] G. Madhu, G. Nagachandrika, “A new paradigm for development of data imputation approach for missing value estimation”, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. Vol.6, no.6, pp.3222–3228, 2016

[15] T. Kim, W. Ko, and J. Kim, “Analysis and impact evaluation of missing data imputation in day-ahead PV generation forecasting,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 204, 2019.

[16] S. Yavuz and M. Deveci, “İstatiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağı performansına etkisi” *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, c. 0, s. 40, ss. 167-187, 2012.

[17] P. Cihan, O. Kalipsız, and E. Gökçe, “Hayvan hastalığı teşhisinde normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağı ve özellik seçim performansına etkisi,” *Turkish Stud.*, c. 12, s. 11, ss. 59–70, 2017.

[18] Scikitlearn. (2021, May 27) “sklearn.preprocessing.RobustScaler — scikit-learn 0.24.2 documentation,[Online].Available:”<https://scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.RobustScaler.html#sklearn.preprocessing.RobustScaler>.

[19] R. Bakış and S. Göncü, “Akarsu Debi Ölçümlerinde Eksik Verilerin Tamamlanması: Zap Suyu Havzası Örneği,” *Anadolu Univ. J. Sci. Technol. Appl. Sci. Eng.*, c. 16, s. 1, ss. 63, 2015

[20] A. Farhangfar, L. Kurgan, and J. Dy, “Impact of imputation of missing values on classification error for discrete data,” *Pattern Recognit.*, vol. 41, no. 12, pp. 3692–3705, 2008.

[21] M. K. Markey, G. D. Tourassi, M. Margolis, and D. M. DeLong, “Impact of missing data in evaluating artificial neural networks trained on complete data,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 36, no. 5, pp. 516–525, 2006.

[22] D. Bertsimas, C. Pawlowski, and Y. D. Zhuo, “From Predictive Methods to Missing Data Imputation: An Optimization Approach,” *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 18, pp. 1–39, 2018.

- [23] G. e. a. p. a. Batista and M. C. Monard, "An analysis of four missing data treatment methods for supervised learning," *Appl. Artif. Intell.*, vol. 17, no. 5–6, pp. 519–533, 2003.
- [24] S. A. Naghibi, K. Ahmadi, and A. Daneshi, "Application of Support Vector Machine, Random Forest, and Genetic Algorithm Optimized Random Forest Models in Groundwater Potential Mapping," *Water Resour. Manag.*, vol. 31, no. 9, pp. 2761–2775, 2017.
- [25] P. Thanh Noi and M. Kappas, "Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery," *Sensors (Basel)*, vol. 18, no. 1, p. 18, 2017..
- [26] T. Han, D. Jiang, Q. Zhao, L. Wang, and K. Yin, "Comparison of random forest, artificial neural networks and support vector machine for intelligent diagnosis of rotating machinery," *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. 40, no. 8, pp. 2681–2693, 2018.
- [27] M. a. m. Hasan, M. Nasser, B. Pal, and S. Ahmad, "Support Vector Machine and Random Forest Modeling for Intrusion Detection System (IDS)," *J. Intell. Learn. Syst. Appl.*, vol. 06, no. 01, pp. 45–52, 2014.
- [28] I. Ahmad, M. Basher, M. J. Iqbal, and A. Rahim, "Performance Comparison of Support Vector Machine, Random Forest, and Extreme Learning Machine for Intrusion Detection," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 33789–33795, 2018.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

## Yaşlılık ve Giyilebilir Teknolojiler

 Öykü GÖKÇEN<sup>a\*</sup>,  Zümrüt BAHADIR ÜNAL<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: oykugokcen95@gmail.com

DOI:10.29130/dubited.953407

### ÖZ

Yaşlılık, yaşam sürecinin çocukluk, erişkinlik gibi doğal adımlarından biri olup doğumla başlayan ve ölümden önceki hem zihinsel hem de fiziksel olarak bağımsızlıktan bağımlı hale geçilen dönemdir. Yaşlı giysileri; hareketleri kısıtlamayan, giyilip çıkarılması rahat, temizlik ve bakımı kolay olmalıdır. Teknolojik ve toplumsal açıdan 2015-2025 yılları, "Giyilebilir Çağ" olarak tanımlanmaktadır. Bu dönem, disiplinler arası çalışmalarla giyilebilir ürünlerin tasarlanmasına ve bunların günlük yaşamda kullanılabilir hale gelmesine olanak sağlamıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte sağlık sorunlarının kontrol altına alınması ve hayat kalitesinin artırılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmayla birlikte artan yaşlı nüfusa yönelik yapılan akıllı giysi uygulamaları incelenmiş ve bu giysilerin sağladığı avantajlar araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yaşlılık, Giysi sorunları, Giyilebilir elektronikler, Akıllı tekstiller

## Aging and Wearable Technologies

### ABSTRACT

Old age is one of the natural steps of the life process such as childhood and adulthood, and it is the period that begins with birth and becomes dependent from independence both mentally and physically before death. Elderly clothes; it should not restrict movements, be comfortable to wear and take off, and be easy to clean and maintain. Technologically and socially, the years 2015-2025 are defined as the "Wearable Age". This period enable the design of wearable products through interdisciplinary studies and to make them usable in daily life. With the developing technology, efforts to control health problems and increase the quality of life have gained momentum. With this smart clothing applications for the increasing elderly population, it has been examined and the advantages of these clothes have been investigated.

**Keywords:** Old age, Clothing problems, Wearable electronics, Smart textiles

# I. GİRİŞ

Yaşlılık, kişinin iş ve sosyal hayatından çekildiği, fiziksel gücün zayıflamasıyla dış çevreye uyumunun azaldığı ve bağımlılığın arttığı dönemdir. Bu dönemde bağışıklık sisteminin bozulmasıyla hastalıklara ve ilaç kullanmaya olan yatkınlık artmaktadır. Bu nedenle yaşlılık; sağlık alanı, sosyal ve ekonomik sistem gibi sektörlerde multidisipliner olarak incelenmelidir.

Yaşlılık, biyolojik, kronolojik, psikolojik, sosyal ve kültürel değerlerle açıklanabilen bir yaşam kesitidir. Biyolojik yaşlılık, bireyin vücut fonksiyonlarının azaldığı hücre ve doku kayıplarının arttığı dönemdir. Kronolojik yaşlılık, kişinin dünyaya geldiği andan ölüme kadar geçen sürenin sayısal verileridir. Psikolojik yaşlılık kişinin hissettiği yaş olarak tanımlanabilir. Sosyal ve kültürel yaşlılık ise bireyin sosyal statüsünü kaybettiği, çevresi tarafından da yaşlı olarak nitelendirildiği dönemdir [1].

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) yaşlılığı; “çevresel faktörlere uyum sağlama yetisinin zamanla azalması” şeklinde tanımlamış ve 3 evrede incelemiştir. Bunlar erken yaşlılık, (65-75 yaş), orta yaşlılık (75-85 yaş) ve ileri yaşlılık evreleridir (85 yaş ve ötesi) [2].

İlerleyen yaşla birlikte sağlık, giderek kötüleşmekte ve bireyler başkalarına bağımlı hale gelmeye başlamaktadırlar. Kronikleşen hastalıklar, fizyolojik bozukluklar, azalan fiziksel ve sosyal aktiviteler, yaşlıların bağımsızlıklarını yitirmelerine neden olmaktadır. Dolayısıyla bakmakla yükümlü kişiler için oldukça külfetli bir dönem başlamaktadır.

Tablo 1’de bazı ülkelerin 2018 yılına ait yaşlı nüfus sayıları ve bu sayıların toplam nüfusa oranları verilmiştir. Tablo incelendiğinde en yüksek yaşlı nüfus oranı %33,2 ile Monako iken en düşük yaşlı nüfus oranı %3 ile Etiyopya’dır. Dolayısıyla ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişmişlik düzeylerinin, yaşlıların toplam nüfus içindeki oranlarını önemli derecede etkilediği söylenebilir.

**Tablo 1. Ülkelere göre 2018 yılı yaşlı nüfusu oranları (TÜİK, 2018)**

Ülke	Toplam Nüfus	Yaşlı Nüfus	Yaşlı Nüfus Oranı (%)
Etiyopya	108 386 391	3 215 809	3
Libya	6 754 507	299 275	4,4
Güney Afrika	55 380 210	3 218 173	5,8
Hindistan	1 296 834 042	82 839 517	6,4
Azerbaycan	10 046 516	684 223	6,8
Fas	34 314 130	2 385 322	7
Endonezya	262 787 403	19 076 753	7,3
Brezilya	208 846 892	17 982 274	8,6
Türkiye	82 003 882	7 186 204	8,8
Dünya	7 503 828 180	680 204 019	9,1
Kuzey Kore	25 381 085	2 410 386	9,5
Çin	1 384 688 986	156 105 900	11,3
Güney Kore	51 418 097	7 483 576	14,6
Rusya	142 122 776	20 842 106	14,7
Lüksemburg	605 764	91 552	15,1
ABD	329 256 465	52 766 466	16
Ukrayna	43 952 299	7 246 482	16,5
İngiltere	65 105 246	11 840 331	18,2

**Tablo 2(devam). Ülkelere göre 2018 yılı yaşlı nüfusu oranları (TÜİK, 2018)**

Belçika	11 570 762	2 172 877	18,8
Sırbistan	7 078 110	1 343 381	19
Hollanda	17 151 228	3 275 770	19,1
Kanada	35 881 659	6 847 500	19,1
Danimarka	5 809 502	1 127 937	19,4
Macaristan	9 825 704	1 915 711	19,5
Fransa	67 364 357	13 350 421	19,8
İsveç	10 040 995	2 045 156	20,4
Yunanistan	10 761 523	2 275 230	21,1
İtalya	62 246 674	13 501 149	21,7
Almanya	80 457 737	17 991 838	22,4
Japonya	126 168 156	35 802 774	28,4
Monako	30 727	10 187	33,2

Türkiye’de 2014 yılında yaşlı nüfusun sayısı TÜİK tarafından 6 milyon192 bin 962 olarak açıklanmıştır. 2018 yılında bu sayı 7 milyon 186 bin 204 kişi olarak açıklanmış olup %16’lık bir artış olduğu hesaplanmıştır [3].

Bu çalışma kapsamında yaşlılıkta meydana gelen değişimlerin yanında; özellikle yalnız yaşayan yaşlıların sağlık durumlarının takibi amacıyla geliştirilmiş olan akıllı giysi uygulamalarına yönelik yapılan çalışmalar incelenmiştir. Literatürde yaşlı ve bakıma muhtaç kişilerin sorunlarının çözümüne yönelik geliştirilen ürün ve mevcut çalışmaların değerlendirilmesi ve gelecek çalışmalar için örnek oluşturması amaçlanmıştır. Bu nedenle yaşlılara yönelik yapılan araştırmalar, ana başlıklar altında toplanarak değerlendirilmiştir.

## **II. YAŞLILIKLA MEYDANA GELEN FİZİKSEL DEĞİŞİMLER**

Yaşlılık, insan hayatının kaçınılmaz bir dönemidir. Bu dönemde fizyolojik fonksiyonlar ve organ rezervleri azalırken, hastalıklara yatkınlık ve fonksiyonel gerileme artış göstermektedir. Ünal ve Şamlı (2019), yaşam kalitesinin azalması gibi çeşitli sorunlarla karşılaşılan yaşlılık döneminde vücut yapısının, önemli ölçüde değiştiği konusuna değinmişlerdir. Vücuttaki su oranının ve motor fonksiyonlarının belirgin şekilde azaldığını buna bağlı olarak kıkırdak esnekliğinin azalması, kemiklerin uçlarında bozulmalar ve eklemlerde meydana gelen bazı değişikliklerin reflekslerin zayıflamasına yol açtığını ve bu durumun travmatik etkilere ve hareket zorluklarına neden olduğunu söylemişlerdir. Boy kısalması, vücut duruşunun öne eğilmesi ve omuzların daralması gibi genel vücut görünümünde değişiklikler de fiziksel hareketlerin daha da azalmasına neden olmaktadır [4].

Amarya ve arkadaşları (2018), yaptıkları araştırmada yaşlanmanın karakteristik özelliklerinden birisinin kas ve kemik kütlesi azalırken yağ kütlesindeki artış olduğuna değinmişlerdir. Ayrıca kemik kütlesinde azalmanın kırılma riskine yol açtığından bahsetmiş ve bu nedenle yaşlı bireylerde kemik kırılmalarının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir [5].

Yerli (2017), yaptığı araştırmada 2012 yılında Atina’da düzenlenen “Yaşlanma, Uzun Ömür, Olağanüstü Ömür ile Genetik ve Genetik Olmayan Belirtilerin İlişkisi” konulu toplantıda cinsiyet, kültür farklılıkları, çevresel etmenler, ekonomik ve sosyal düzey gibi etmenlerin bireylerin kronolojik



olarak aynı yaşta olmalarına rağmen biyolojik yaşlanma açısından oldukça farklılık gösterdiği sonucuna ulaşmıştır [6].

Şener ve Maraba (2016), yaşlanmayla birlikte bölgesel yağlanma ve bölgesel sarkma problemleri, kas ve iskelet sisteminin zayıflamasının yanında hormonal sorunlar ve aşırı kilo problemleri gibi fiziksel sorunların da meydana geldiğini vurgulamışlardır [7].

### **III. AKILLI TEKSTİL UYGULAMALARI**

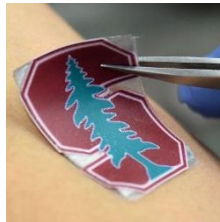
Yaşlı bireylerde hastalıkların önceden teşhis edilmesi veya var olan hastalığın düzenli takip edilmesi, hayati önem taşımaktadır. Bilim insanları, yaşlılarda sağlık takibini kolaylaştırmak için akıllı tekstillerin çözüm olabileceği kanısına varmışlardır. Böylelikle yaşlı giyim ürünlerini akıllı tekstil ürünleri ile entegre etmişlerdir.

Gelişen ve değişen teknoloji ile teknolojinin kullanım alanları artmış ve giyilebilir akıllı tekstil ürünleri üretilmeye başlanmıştır. Akıllı tekstiller, teknik tekstiller içinde katma değeri en yüksek alanlardan biridir. Aynı zamanda en ileri ve en yüksek teknolojiyi kullanma kapasitesine sahip bir alandır. Gelişen teknoloji ve değişen ihtiyaçlar doğrultusunda akıllı tekstillerin gelecekte tekstil ve hazır giyim sektörünün en değerli alanını oluşturacağı öngörüler arasındadır. Normal tekstil ürünlerine entegre edilen sensörler sayesinde gelen etkiyi algılayıp bunu tepkiye dönüştürme yeteneğine sahip tekstil ürünlerine akıllı tekstiller denmektedir. Bu ürünler, kişinin kalp ritmi, solunum hızı, ateş gibi yaşamsal aktivitelerini ölçüp bu verileri kaydetme özellikleri sayesinde bazı hastalıkların tedavi ve/veya takibini kolaylaştırmaktadır.

Pınar (2019), yaptığı araştırma sonucunda kişilerin genellikle kullanımı kolay ve akıllı telefonları ile uyumlu giyilebilir teknoloji ürünlerini tercih ettikleri gözlemlemiştir. [8].

Büyüköze (2019), insan vücuduna doğrudan yapıştırılabilen, içerisinde sensörler bulunan ürünlerin giyilebilir sensör yamaları olarak kategorize edildiğine ve bu ürünlerin genellikle tek kullanımlık olduğuna değinmiştir. Ancak sensörleri çok kullanımlık giysilere de entegre etmek mümkündür. Bu sensörler, giysinin yıkanması gerektiğinde çıkarılabileceği gibi sıvı geçirmeyen haznelere monte edildikleri takdirde giysilerin yıkanmasına da engel oluşturmamaktadır [9].

Stresi algılamak için birçok giyilebilir teknoloji üretilmiştir. Bu ürünler kan basıncı, solunum ve nabız gibi parametreleri ölçerek bir stres seviyesi belirlemektedir. Fakat bu parametrelerin tek değişim nedeni stres değildir. İnsan vücudundaki kortizol seviyesi sadece stres ile değişen bir parametredir. Tekla (2018), Stanford Üniversitesi'nde yaptığı bir çalışmada kişinin vücudundaki kortizol miktarı değişiminin ölçülmesiyle stres seviyesinin belirlenmesini sağlayan stres yamasını geliştirmiştir [10].



**Şekil 1.** Stres yaması (Stanford University /Science Advances)

Sönmez ve arkadaşları (2018), akıllı bilekliklerin kişinin vücut sıcaklığı, nabız ve solunum sayılarını, kas aktivitelerini, adım sayılarını ölçmekte ve bunları kaydedilebildiğini belirtmişlerdir. Giysiyle entegre olabilen bu sağlık ürünleri, tansiyon ve şeker aletlerinin yerine kullanılabilir. Dolayısıyla hem sağlık takibi yapılabilen hem de sağlık personeli ya da bakıcıya olan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır [11].

Adamm (2018) tarafından geliştirilen bir cihaz ile solunum hızı, kalp hızı, vücut ısısı ve öksürük oranı ölçülebilmektedir. Adamm bu cihazın geliştirilmesindeki asıl amacın astım ile ilgili semptomların ölçülmesi ve bu verilerin cep telefonu uygulaması ile doktora iletilebileceğini belirtmiştir. Aynı zamanda hastanın günlük verileri kayıt altına alınabilmektedir. Tehlikeli durumlarda hastadan sorumlu kişilere bir titreşim ile bildirim gönderilerek oluşabilecek astım krizlerinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Dolayısıyla hastaya zamanında müdahale edilebilmesi mümkün olabilmektedir [12].



**Şekil 2.** Akıllı Astım Yönetim Cihazı (Healt Care Originals)

Duygulara tepki veren akıllı giysi tasarımları ‘Emotive Technology’ olarak adlandırılmaktadır. Duyguları algılayıp tepki veren giysilerde renk veya koku (aroma) değişikliği olmaktadır. Renk değişikliği fiberoptik kumaşlarla veya kumaş içerisine yerleştirilen LED ışıkları sayesinde gerçekleşmektedir. Duygulara tepki veren akıllı giysiler; genellikle vücut sıcaklığı, solunum hızı, nabız hızı ve kan basıncı ölçümü yapmakta ve giysi üzerinde bulunan özel kontrol panelleri sayesinde etkiye göre tepki vermektedir. Duyguları algılayabilen ve tepki verebilen firma tasarımları, kullanılan teknik malzemeler ve giysi formları açısından incelenmiştir. Sensor Design Lab (korku, endişe, heyecan ve panik duygularını algılayarak tepkiler veren bir sistem), Philips (duygulara göre renk değiştiren led ışıklarını içeren iki katmandan oluşan yapılar), eScent (aromaterapi yöntemiyle kişinin duygu değişimine göre iyileştirici koku salınımı yapan ürünler) tasarımlarını geliştirmişlerdir [13].

Piwek ve arkadaşları (2016), kandaki oksijen seviyesi, nabız hızı, fiziksel aktivite ve uyku düzeni gibi günlük faaliyetlerin bir yüzük, akıllı bileklik veya vücut üzerinde taşınabilecek bir aksesuar içine yerleştirilen sensörler ile ölçülebilirliğinin mümkün olduğunu söylemişlerdir [14].

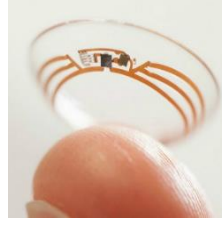
Frost&Sullivan (2016) tarafından geliştirilen Leaf Patient Monitoring System yardımıyla hastanın pozisyonu takip edilmekte ve uzun süre aynı pozisyonda kalan hasta uyarılmaktadır. Dekübit (bası) ülseri, özellikle geriatri hastalarında sıkça görülen bir hastalık çeşididir. Bireyin ölümü ile sonuçlanabilecek kadar ciddi bir hastalık olmakla birlikte tedavisi de oldukça masraflıdır [15].



**Şekil 3.** Hasta İzleme Sistemi (Wound Source Academy)

Nanoparçacık Araştırma Merkezi’nde Koreli bilim adamları tarafından diyabetin izlenmesi ve gerekli durumlarda vücuda metamorfin salgılanması amacıyla diyabeti ölçen yama geliştirilmiştir. Bu yamanın malzemesi grafit ve altından oluşmaktadır. İnsan terlemesi ile diyabet ölçümü gerçekleştirilmektedir [16].

Google (2014), göz yaşından kan şekeri seviyesini ölçmeyi sağlayan akıllı bir lens geliştirmiştir. Lensin içerisinde bulunan glikoz sensörü kan şekerini ölçmekte ve çipler sayesinde akıllı cihazlara aktarmaktadır. Aynı zamanda geliştirilen bu küçük lens, gözünde miyop olan bireylerin düzgün görmesini de sağlamaktadır [17].



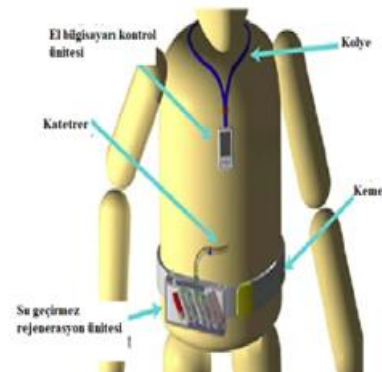
**Şekil 4.** Akıllı Lens (Health in Technology)

Varadan (2011), tarafından geliştirilen e-nanoflex teknolojisi, giysilerin üzerine entegre edilen nano yapılarla kalp ritmi düzenli olarak ölçülebilmekte ve verileri kaydedilebilmektedir. Bu sistem, EKG cihazı tarafından yapılabilen tüm işlemleri yapabilme yeteneğine sahiptir [18].



**Şekil 5.** E-Nanoflex (Rob Aid)

Ronco ve Fecondini (2007), VİWAK (Vicenza Wearable Artificial Kidney) adındaki giyilebilir böbrek cihazı ile kronik böbrek hastalığına sahip bireylerin hayatlarını kolaylaştırmayı hedeflemişlerdir. Bu sistem ile kronik böbrek rahatsızlığı olan bireylerin ihtiyaç duydukları zaman diyaliz işlemini herhangi bir sağlık kuruluşuna gitmeden gerçekleştirebilmeleri hedeflenmiştir [19].



**Şekil 6.** Giyilebilir Böbrek Cihazı (VİWAK) (Semantic Scholar)

## **IV. YAŞLILAR İÇİN TASARLANAN AKILLI GİYSİLER**

Ker (2017), kullanıcının zihnindeki komutları algılayabilen ve bu komutları doğrudan internet bağlantısına sahip ev aletlerine iletebilen bir ara yüz geliştirmiştir. Basite indirildiğinde, ham beyin sinyallerini bilgisayar mesajlarına dönüştüren bir çeviri cihazına benzetilebilecek olan kablosuz beyin bilgisayar arayüz sistemleri, hâlihazırda Emotive firmasının ‘EEG Headset’ adıyla satışa sunduğu kulaklıklarda kullanılmıştır. Jolimont Capital isimli Avustralya teknoloji firmasının beyin bilgisayar arayüz teknolojisiyle geliştirdiği akıllı şapka (Smart Caps) ise Avustralyalı maden işçilerinin beyin dalgalarını izlemek için kullanılmaktadır [22].



*Şekil 7. EEG Kulaklık ve Akıllı Şapka (Omnia Health and Smart Cap Technology)*

Terkeş ve Bektaş (2016), teknolojik sistemlerin gelişmesiyle yaşlı bireylerin 7/24 kontrol edilebileceklerini hem evlerinde hem de ev dışında bağımsız olarak hayatlarını sürdürebilmelerinin mümkün olacağını belirtmişlerdir [23].

Stoppa ve Chiolerio (2014), farklı değişkenlere duyarlı sensörlerin tekstillere adaptasyonu konusunda yaptıkları çalışmalar sonucunda esnek sensörleri geliştirmişlerdir. Bedenle temas ederek vücut parametrelerini algılayan bu sensörler, kullanıcının sağlığıyla ilgili veriler toplayabilmektedir [24]. Sensörlerin esnek olması, ürünlerin kullanım konforunu artırmıştır.

Lee ve arkadaşları (2013), kablosuz beyin-bilgisayar arayüz sistemleri (Wireless Brain-Computer Interface Systems) ile gelecekte insan beynini okumanın mümkün olacağını savunmaktadırlar. İnsan elektroensefalogramının (EEG) nörofizyolojik sinyallerini ölçen beyin-bilgisayar arayüz sistemleri, insan kullanıcının intensitesini çözmek ve harici cihazları veya bilgisayar uygulamalarını kontrol etmek için komutlar üretmek üzere tasarlanmıştır [25].



*Şekil 8. Kablosuz Beyin- Bilgisayar Arayüz Sistemleri (Intech Open)*

## **V. YAŞLI KİŞİLERE YÖNELİK FONKSİYONEL GİYSİLER**

Normalde giysi tasarımları, sağlıklı kişiler dikkate alınarak yapılmaktadır. Ancak özel fiziksel rahatsızlığı olan ya da yaşlılara yönelik üretilen giysi modelleri oldukça sınırlıdır. Yurt dışında özellikle tekerlekli sandalyede olan kişiler için giysi markaları bulunmaktadır. Ülkemiz, bu giysileri üretebilir konumda olmasına rağmen muhtemelen hedef kitlenin düşük olduğu varsayılmakta ve bu konuda iç piyasa üretimi bulunmamaktadır.

Dezavantajlı kişilere yönelik olarak tasarlanıp üretilen giysilere adaptif giysiler denmektedir. Bu giysilere “uyarlanabilir giysiler” demek de mümkündür. Engelli, yaşlı, rehabilitasyon hastaları, özel ihtiyaçlı çocuklar ve yetişkinler için üretilmektedir. Adaptif giysilerin üretim amacı, bireylerin kendi kendilerine ya da minimum yardımla giyinip soyunabilmeleridir. Bu giysiler sayesinde bakıma muhtaç kişilerin bakımları da kolaylaşmaktadır [26].

Adaptif giysi uygulamalarında kapamaların türü, giysinin giyilip çıkarılmasının kolay olması açısından çok önemlidir. Sınırlı erişime ve hareket mesafesine sahip kişiler için giysinin önden açılması tercih edilir. Giysinin arkadan açılması, bu gibi kısıtlamaları olmayanlar ve sınırlamaları olanlar için bile zordur. Kapamaların kolay açılıp kapanması hem zamandan kazanç sağlar hem de giyinme sürecinden kaynaklanan stresi azaltır. Eli ve kolunda işlev sorunu olanlar için, açıklıklar, kişilerin ihtiyaçlarına uygun bağlantı elemanları ile kullanışlı el ve kollara kolayca erişebilecekleri şekilde yerleştirilmelidir.

Özel ihtiyaçlara yönelik tasarlanan giysiler, vücut şekli, büyüklüğü, hareketliliği ve el becerisi “normal insan” dan önemli ölçüde farklı olan, engellilerin yaşam kalitesini iyileştirmek için geliştirilen fonksiyonel giysilere adaptif giysiler denir. Çalışmalar, bu grupların giydikleri giysilere ve genel kişisel görünümüne çok duyarlı olduklarını göstermiştir. Bu kişilerin ihtiyaçları kendilerine özgü ve farklıdır. Bu nedenle, gereksinimlere göre özel olarak tasarlanmış giysilere ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarımlarda değişken vücut şekilleri, hareket sınırlamaları, psikolojik ve sosyal ihtiyaçlar dikkate alınmalıdır [27].

## **VI. SONUC**

İnsan hayatında fizyolojik, psikolojik ve sosyolojik birtakım değişikliklere neden olan yaşlılık, doğal bir süreçtir. Tüm bireyler günlük giysilerinden konfor, rahatlık ve kullanım kolaylığı beklemektedir. Fakat bu durum yaşlılar için öncelikli beklentiler arasında yer almaktadır. Yaşlı bireyler, giysilerde küçük düğmeler yerine büyük düğme, cırt bant veya iri dişli fermuar kullanılmasını, pantolonlarda beli lastikli ürünler üretilmesini, giysilerin daha esnek kumaşlardan yapılmasını talep etmektedirler. Ütülenmesi kolay, leke tutmayan, sıcak tutan uzun ömürlü giysiler de beklentiler arasındadır. Ancak yaşlıların yaşam standartlarının iyileştirilebilmesi için bu basit çözümlerin yanında bazı teknolojilerin giysilerle entegre edilmesi gerekmektedir. Özkendirici (2018), yaptığı araştırmada giyilebilir teknolojilerin günlük giysilere entegre edildiğinde kullanıcının giysiden beklentisine engel olmayacağına belirtmiştir [28].

Dehghani ve arkadaşları (2018), farklı sektörlerde giyilebilir teknolojiler kategorisine uygun tam 427 tane cihaz üretildiğini belirtmiştir. Günümüzde bu sayının arttığı gözle görünür bir gerçektir. Bu ürün sayısındaki artış oranı, ürünlerin gerçekten fayda sağladığını göstermektedir [29]. Yaşlılar için geliştirilen akıllı giysiler, günümüz teknolojileriyle eşleştirilerek disiplinler arası çalışmalar sayesinde günlük giysilere dahil edilebilmektedir. Günümüzde bu rakam, katlanarak artış göstermeye devam etmektedir. Giyilebilir teknolojiler, çok çeşitli alanlarda kullanılmak üzere geliştirilebilmektedir. Sağlık sektörü, bu alanların öncüsü durumundadır.

Tıbbi giysilerin ilk amacı koruma, bakım veya tıbbi konularda kullanıcıya yardımcı olmaktır Aynı zamanda hastalıkların önceden fark edilip erken müdahale edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Kişinin rahatlığı ve özgürlüğünün yanı sıra günümüzde giyilebilir elektroniklerle bakıma muhtaç hastaların takibinin kolay bir şekilde yapılabilmesini sağlayan ürünler ile ilgili bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Gelecekte birçok işi yapan insanın robot olacağı öngörülmektedir. Yakın gelecekte ise bu çalışmalardan elde edilen ürünler yaygınlaşarak herkesin rahatlıkla erişebileceği duruma gelecektir. Böylece gelecekte yaşlı ya da bakıma muhtaç kişilerin daha kolay takibi ve gereğinde müdahale işlemi kolaylaşacaktır. Adaptif kıyafetler ise giyinme süresini kısaltıp ikinci kişilere

bağımlılığı ortadan kaldıracağı için bireylerin daha mutlu, özgür ve huzurlu hissetmelerini sağlayacaktır.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: FHD-2020-22396).

## **VII. KAYNAKLAR**

- [1] M. Aközer, C. Nuhurat, Ş. Say, “Türkiye’de Yaşlılık Dönemine İlişkin Beklentiler,” *Aile ve Toplum Eğitim-Kültür ve Araştırma Dergisi*, c. 7, s. 27, ss. 103-128, 2012.
- [2] Y. Tümerdem, “Gerçek Yaş,” *Turkish Journal of Geriatrics*, c. 9, s. 3, ss. 195-196, 2006.
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu. (2018, 10 Mart), *İstatistiklerle Yaşlılar* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=İstatiklerle-Yaslilar-2020-37227>
- [4] Z. Bahadır Ünal, E., Şamlı, “Yaşlı Kadınların Giysi Sorunlarının Araştırılması,” Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilimlerde Gelişmeler Sempozyumu, Ankara, 2019.
- [5] S. Amarya, S. Kalyani, M. Sabharwal, “Ageing Process and Physiological Changes,” *Intech*, pp.1-24, 2018.
- [6] G. Yerli, “Yaşlılık Dönemi Özellikleri ve Yaşlılara Yönelik Sosyal Hizmetler,” *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, c. 10, s. 52, ss. 1278-7287, 2017.
- [7] F. Şener, B. Maraba, “Yaşlılık Döneminde Vücut Formu Değişimlerine Bağlı Olarak Kadın Giyiminde Yaşanılan Sorunlar,” *Yaşlı Sorunları Araştırma Dergisi*, c. 9, ss. 20-32, 2016.
- [8] R., Bölükbaş Pınar, *Yaşlanma Teorileri ve Geriatrik Değerlendirme*, 1.Baskı, İstanbul, Türkiye, İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi Yayıncılık, ss. 1-394, 2019.
- [9] S. Büyükgöze, E. Dereli, “Dijital Sağlık Uygulamalarında Yapay Zeka,” Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi, Ankara, 2019.
- [10] S. Tekla, (2018, Jul 20), *New Wearable Sensor Detects Stress Hormone in Sweat* [Online]. Available:<https://spectrum.ieee.org/view-from-the-valley/biomedical/diagnostics/new-wearable-sensor-detects-stress-hormone-in-sweat>
- [11] F. Sönmez, A. Aytekin, F. Tümeçin, “Nesnelerin İnterneti ve Giyilebilir Teknolojiler,” *Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri Dergisi*, c. 4, s. 5, ss. 84-95, 2018.
- [12] Adam, (2018, May 21), *Healthcare Originals* [Online]. Available: <http://healthcareoriginals.com/solutions#adamm-rsm>
- [13] S. Ağaç, M. Balkış, “Duyulara Tepki Veren Akıllı Moda Tasarımları,” *Uluslararası Kültürel ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, c. 4, s. 1, ss. 1-12, 2018.
- [14] L. Piwek, D. Ellis, S. Andwers, A. Joinson, “The Rise of Consumer Health Wearables Promises and Barriers,” *PLoS Med*, vol. 13, no. 2, 2016.

- [15] Frost, Sullivan, (2018, May 21), *North American Pressure Ulcer Prevention New Product Innovation Award* [Online]. Available:[https://www.frost.com/files/65145858/2856/Leaf\\_Healthcare\\_Award\\_Write\\_up.pdf](https://www.frost.com/files/65145858/2856/Leaf_Healthcare_Award_Write_up.pdf)
- [16] Diabetesqld, (2016, April), *Wearable patch technology* [Online]. Available:<https://www.diabetesqld.org.au/media-centre/2016/april/wearable-patch-technology.aspx>
- [17] M. Senior, “Novartis Sing up for Google Smart Lens,” *Nature Biotechnology*, vol. 32, no. 9, pp. 856, 2014.
- [18] V. Varadan, “An EKG in Your Underwear: Nanostructured Sensors, Smartphones and Cloud Computing Promise a New Platform for Everyday Medical Monitoring,” *Mechanical Engineering*, vol. 133, no. 10, pp. 37, 2011.
- [19] C. Ronco, “The Vicenza Wearable Artificial Kidney for Peritoneal Dialysis,” *Blood Purif*, vol. 25, no. 4, pp. 383-388, 2007.
- [20] C. Linti, H. Horter, P. Osterreicher, H. Planck, “Sensory Baby vest for The Monitoring of Infants,” *Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, pp. 1-3, 2016.
- [21] B. Yang, S. Rhee, “Development of The Ring Sensor for Healthcare Automation,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 30, no. 3, pp. 279-281, 2000.
- [22] P. Ker, (2017, May 28), *Jolimont buys stake in Brain monitoring Smart Cup* [Online]. Available:<http://www.afr.com/technology/kolimont-buys-stake-in-brain-monitoring-smartcup-20170523-gwaxg6/>
- [23] N. Terkeş, H. Bektaş, “Yaşlı Sağlığı ve Teknoloji Kullanımı,” *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, c. 9, s. 4, ss. 153-159, 2016.
- [24] M. Stoppa, A. Chiolerio, “Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review,” *PMC US National Library of Medicine National Institutes of Health*, vol. 14, no. 7, pp. 11957-11992.
- [25] S. Lee, Y. Ship, S. Woo, K. Kim, H. Lee, “Brain Computer Interface Systems-Recent Progress and Future Prospects, Review of Wireless Brain-Computer Interface Systems,” *Intech*, pp. 215-238, 2013.
- [26] N.Poonia, Pinki, “Adaptive Clothing for Disabled People,” *International Journal of Home Science*, vol. 6, no. 2, pp. 238-241, 2020.
- [27] D. Gupa, “Functional clothing – Definition and classification,” *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, vol. 36, pp. 321-326, 2011.
- [28] B. Özkendirici, “Bilimsel Çalışmaların Geleceğin Giyim Tasarımına Olası Etkileri,” *Inonu University Journal of Art and Design*, vol. 8, no. 18, pp. 67-81, 2018.
- [29] M. Dehghani, R. M. Dangelico, “Will smartwatches last? Factors contributing to intention to keep using smart wearable technology”, *Telematics and Informatics*, v. 35, n. 2, pp. 480-490, 2018.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Düzce İli Karasal Karbon Kapasitesinin Belirlenmesi

 Ahmet Salih DEĞERMENCI<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ahmetdegermenci@duzce.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1023712

### ÖZ

Karasal ekosistemler içinde en önemli karbon havuzları ormanlardır. Özellikle orman alanlarındaki canlı biyokütle ve orman toprağı yoğun miktarda karbon depolamaktadır. Biyokütle miktarları meşcere tiplerinin hektardaki ağaç serveti verilerinden hareketle belirlenmektedir. Bu çalışmada biyokütle verisinin doğruluğunu artırmaya yönelik ağaç kapalılık yüzdesi haritası ile çakıştırılması yapılmış ve nihai biyokütle haritası elde edilmiştir. Biyokütle haritası ve topraktaki organik karbon miktarları da uydu görüntülerinden belirlenerek Düzce ilinin karasal karbon stoğu ortaya koyulmuştur. Çalışma alanında ağaç türü bazında en fazla biyokütle ve karbon birikimi Kn ağaç türünde ve toplam biyokütle ve karbonun yaklaşık ¾'ünü depoladığı belirlenmiştir. En düşük biyokütle ve karbon miktarı ise Düzce'deki yayılışı sınırlı olan Çm ağaç türünde tespit edilmiştir. Orman alanlarındaki toplam karbonun %69.7'si canlı biyoküttele depolanırken, %30.3'ü ise toprakta depolanmıştır. Orman dışı alanlardaki özellikle toprakta tutulan karbon miktarları da değerlendirildiğinde tüm karbonun %84.6'sı orman alanlarında depolanırken, %14.5'lik kısmı ise tarım alanlarındaki toprakta ve %0.9'luk kısım da diğer arazi sınıflarında depolanmıştır. Orman ve orman dışı alanlar birlikte değerlendirildiğinde toplam depolanan karbon miktarının %41'i toprakta depolanırken, %59'u ise canlı biyokütle üzerinde depolandığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Biyokütle, Karbon, Düzce, Orman*

## Determination of Terrestrial Carbon Capacity of Duzce

### ABSTRACT

The most important carbon pools in terrestrial ecosystems are forests. Living biomass and soil, especially in forest areas, store a large amount of carbon. Biomass amounts are determined from the volume data of stand types per hectare. In this study, the biomass data was matched with the percentage tree cover map to increase the accuracy and the final biomass map was obtained. The terrestrial carbon stock of Düzce was revealed by determining the biomass map and the amount of organic carbon in the soil from satellite images. It has been determined that the highest biomass and carbon stored on the basis of tree species in the study area is in the Kn tree species and it stores ¾ of the total biomass and carbon. The lowest biomass and carbon stored were determined in Çm tree species, which has a limited distribution in Duzce. While 69.7% of the total carbon is stored in living biomass, 30.3% is stored in the soil. Considering the amount of carbon retained in the soil, especially in non-forest areas, it was observed that 84.6% of all carbon was stored in productive forest areas, while 14.5% was stored in the soil in agricultural areas and 0.9% of it was stored in other land classes. When forest and non-forest areas are evaluated together, it was determined that 41% of the total stored carbon amount is stored in the soil, while 59% is stored on living biomass.

**Keywords:** *Biomass, Carbon, Duzce, Forest*



# I. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar enerji ihtiyacının karşılanmasında petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil enerji kaynaklarının yoğun şekilde kullanımı, bu enerji kaynaklarının hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Özellikle günümüzde Avrupa ve birçok ülkede baş gösteren enerji krizlerine de yine bu enerji kaynaklarının plansız ve düzensiz bir şekilde kullanılması neden olmaktadır. İnsanoğlu bu enerji krizinden çıkabilmek için özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Fosil enerji kaynakları giderek azalmakta ve özellikle tüketiminin doğamız açısından sera gazlarının artışına sebep olarak, küresel ısınma gibi çok ciddi olumsuzluklara neden olmaktadır. Fosil enerjilerin bu olumsuzlukları ve yenilenemeyen kıt kaynak olması da ilgiyi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir [1]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında özellikle çevre açısından değerlendirildiğinde çevreye zararı en az olan ve yeşil bitkilerin fotosentezi ile üretilen orman biyokütlesi önemli bir yere sahiptir [2].

Biyokütle, belirli büyüklükteki orman alanında ağaç, ağaççık, kök, dal, kabuk, yaprak gibi odunsu ve odunsu olmayan toplam kütle miktarı olarak tanımlanmaktadır [3]. Dünya’da biyokütlenin yaklaşık %90’ını ormanlarda bulunan ağaç gövdeleri, dallar, ibreler ve yapraklar, toprak üzerindeki ölü örtü ve bu ölü örtüde yaşayan mikroorganizmalar oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda Dünya ormanlarındaki yıllık toplam biyolojik üretimin yaklaşık  $50 \times 10^{19}$  ton olduğu tahmin edilmektedir [4], [5].

Orman ekosistemleri üzerinde yapılan biyokütle çalışmaları farklı amaçlara yönelik olabilmektedir. Ormanlardaki biyokütlenin belirlenmesi ile ortamda bulunan bitki besin elementleri, toprağın organik madde veya mineral madde kayıp veya birikmesi arasındaki ilişkiler ortaya koyulabilirken bunun yanında özellikle son dönemlerde popüler olan küresel ısınma ve dünyadaki karbon döngüsü ve dengesi üzerinde önemli rolü bulunan orman ekosistemlerinin üretimleri belirlenebilmektedir [6]. Artan karbon salınımı ve karasal ekosistemlerde en fazla karbon depolayan ve bunu çok uzun süre tutabilen orman ekosistemleri, karbonu toprak üstü ve toprak altı canlı biyokütle ile orman toprağında biriktirmektedir. Bu bağlamda orman toprağı ve biyokütle atmosferde biriken sera gazlarını absorbe ederek bu gazların yönetimine önemli ölçüde katkı yapmaktadır [7].

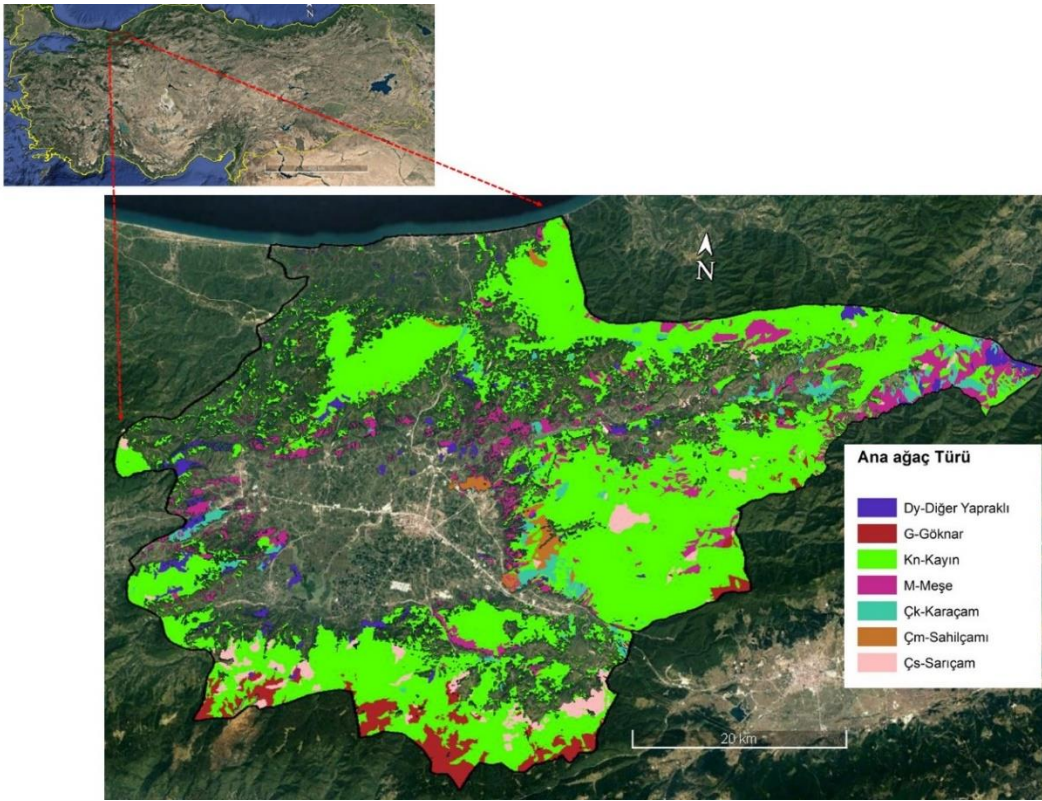
Orman ekosistemlerinin karbon depolama kapasitelerinin ortaya koyulabilmesinde kullanılacak en önemli parametre biyokütledir [8]. Orman amenajman planları için yapılan ağaç serveti ve artımı envanterinde özellikle her bir meşcere tipi için belirlenen hektardaki hacim verilerinin kullanımı biyokütleyi belirlemede kullanılacak en iyi yaklaşım tarzıdır. Ulusal bazda %99’u devlete ait olan orman ekosistemlerinin envanter verileri sağlıklı bir şekilde elde edilebilmekte ve biyokütle bu veriler üzerinden hesaplanabilmektedir [9], [10]. Meşcere servetleri yardımıyla servete bağlı dönüştürme katsayıları veya çapa bağlı olarak daha önce yapılmış olan çalışmalarla elde edilen ilişkilerden [9], [11], [12] ve [13] faydalanılarak toprak üstü ve toprak altı biyokütle miktarları hesaplanmaktadır. Biyokütle miktarları üzerinden çeşitli dönüşüm katsayılarının yardımıyla orman alanlarının karbon depolama kapasiteleri tahmin edilebilmektedir [14], [15].

Bu çalışmada Düzce ili karasal alanlarından olan orman alanları ve topraktaki toplam karbon miktarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla amenajman planlarından alınan meşcere tipleri birim alan (ha) hacim değerleri üzerinden biyokütle miktarları hesaplanmıştır ve bu veriler uzaktan algılama teknikleri ile Landsat uydu görüntüleri üzerinden oluşturulmuş olan ağaç kapallılık yüzdesi haritasına entegre edilerek daha güvenilir ve doğru olacak şekilde birim alandaki (ha) toplam biyokütle belirlenmiştir. Toplam biyokütle üzerinden canlı biyokütledeki karbon hesaplanırken, topraktaki karbon miktarlarının belirlenmesinde ise FAO tarafından üretilen toprak organik karbonu haritasından faydalanılmıştır. Özetle, uzaktan algılamanın yersel ölçümlerle kombine edilmesinin yapılan çalışmaların doğruluğunu arttırdığı düşünüldüğünden, bu çalışmada yersel ölçümlerle elde edilen verilerin uzaktan algılama teknikleriyle oluşturulan verilerle karşılaştırılması yapılmış ve oluşturulan son haritalar üzerinden biyokütle ve karbon miktarları belirlenmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin kuzeybatısında bulunan, İstanbul ve Ankara gibi metropollerin arasında kalan Düzce ili seçilmiştir. Düzce coğrafi konum olarak 40°53'29" - 41°00'19" N Kuzey enlemleri ile 31°16'58" - 31°12'37" D, Doğu boylamları arasında ve WGS84 UTM ZONE 36-6°'lik koordinat diliminde kalmaktadır (Şekil 1). Özellikle güney ve kuzey yönlerden dağlar ile çevrelenmiş olan Düzce, I. sınıf alüvyial topraklardan oluşan ova üzerine kurulmuş bir kenttir. Doğal bitki örtüsü bakımından son derece zengindir. Tarım alanlarının ve ormanlık alanların yoğun bir yayılış gösterdiği ilin, denize kıyısı bulunmaktadır ve deniz seviyesinden 1850 m'lere kadar da rakıma sahiptir. Düzce Ovası'nı çevreleyen dağların düşük rakımlarında kayın, gürgen ve meşe gibi geniş yapraklı ağaç türleri, yüksek rakımlarda ise karaçam, sarıçam ve göknar gibi ibreli ağaç türleri yayılış göstermektedir. Düzce'de Karadeniz iklimi hâkimdir ve özellikle kışın yaprağını döken ağaç türlerinden oluşan ormanlar çok geniş alanları kaplamaktadır.



Şekil 1 Çalışma alanı coğrafi konumu

Toplam 242.340 hektar alana sahip ilin %51'ine denk gelen 122.712 hektarlık kısım ormanlardan oluşmaktadır. Ormanlarda başta kayın (Kn) olmak üzere, gürgen (Gn), kestane (Ks), çınar (Çn), meşe (M), ıhlamur (Ih), dişbudak (Dş), titrek kavak (Kv) ve söğüt (Sö) gibi yapraklı türler bulunur. Yaklaşık 600 m rakımdan sonra iğne yapraklı ağaç türleri görülmeye başlar. Göknar (G), sarıçam (Çs), karaçam (Çk), sahilçamı (Çm) ormanlarda görülen iğne yapraklı ağaçlardandır. Yıllık sıcaklık ortalaması 13,0 °C, yıllık toplam yağışların ortalaması 839,4 kg/m<sup>2</sup> olup, ortalama nispi nem %76'dır [18].

Çalışma alanı olarak Düzce il sınırı baz alınmıştır. Orman işletme şeflik sınırları dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla, Adapazarı, Bolu ve Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı orman işletme şefliklerine ait orman alanları da Düzce il sınırı içinde bulunmaktadır ve Düzce İl sınırı içinde kalan

meşcere tipleri de çalışma alanına dâhil edilmiştir. Amenajman planına ulaşılamayan meşcere tipleri için komşu şefliklerin amenajman planlarından aynı meşcere tiplerine ait bilgilerden faydalanılmıştır.

### A. 1. Biyokütle Miktarının Belirlenmesi

Ormanlarda bulunan ağaç ve ağaççıkların kök, gövde ve dal odunu ile birlikte odunsu olmayan kabuk ve yapraklarının oluşturduğu kütle bütün orman biyokütlesi olarak anılmaktadır. Ormanın ölçülen zamandaki kapasitesini ifade eden biyokütle, toprak altı ve toprak üstü olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır. Toprak üstü canlı biyokütle, gövde, dallar ve kabuktan oluşurken, toprak altı canlı biyokütle ise ağacın köklerini içermektedir [19] ve [20].

Orman alanlarının biyokütle miktarının belirlenmesinde birim alan yöntemi, orta ağaç yöntemi ve regresyon yöntemi olmak üzere üç farklı yöntemden faydalanılmaktadır [21]. Bu çalışma kapsamında biyokütle tahmini için birim alan yönteminden faydalanılmıştır. Düzce ilinde bulunan tüm meşcere tipleri için 2008-2012 yılları arasında yapılmış olan amenajman planlarındaki hektardaki servet miktarları kullanılmıştır. Bu yaklaşımla birlikte öncelikle çalışma alanının toprak üstü biyokütle (TÜB) miktarı belirlenmekte ve toprak üstü biyokütle miktarına bağlı olarak da toprak altı biyokütle (TAB) miktarı hesaplanmaktadır. Toplam toprak üstü ve toprak altı biyokütlenin hesaplanmasında daha önce yapılan ve kabul görmüş çalışmalardan olan [9], [21],[22], [23], ve [24]'ten faydalanılarak Denklem 1'deki eşitlik kullanılmıştır.

$$\Sigma B = (V \times Bef \times WD) \times (1+R) \quad (1)$$

Denklemden;  $\Sigma B$ ; TÜB+TAB biyokütle toplamını,  $V$ ; Düzce iline ait meşcere tipleri hektardaki hacimlerini,  $Bef$ ; Ağaç türlerinin firın kurusu ağırlıklarını,  $WD$ ; odun yoğunluklarını ve  $R$ ; toprak üstü kütle için toprak altı kütle dönüşüm katsayısını ve  $CF$  karbon faktörünü ifade etmektedir.

Çalışma alanında bulunan ana ağaç türlerine göre kullanılan  $Bef$  ve  $WD$  değerleri daha önce yapılan çalışmalardan alınmıştır ve kullanılan değerler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1** Ağaç türlerine göre  $WD$  ve  $Bef$  katsayıları

Ağaç Türü	$WD$	$Bef$	Kaynak
Gök nar	0.350	1.195	[25]
Kayın	0.530	1.228	[26]
Karaçam	0.470	1.701	[25]
Sarıçam	0.426	1.276	[24]
Sahilçamı	0.430	1.220	[27] ve [28]
Meşe	0.570	1.324	[26]
Diğer Yapraklılar	0.638	1.240	[27]

Toprak üstü biyokütlenin belirlenmesinden sonra toprak altı biyokütlenin belirlenmesi için de  $R$  katsayısı kullanılmıştır.  $R$  katsayısı ormanın ibrelili veya yapraklı oluşuna ve toplam biyokütlenin miktarına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Bu çalışma kapsamında Mokany ve ark. [29] tarafından yapılan çalışmayla belirlenen  $R$  katsayıları kullanılmıştır.

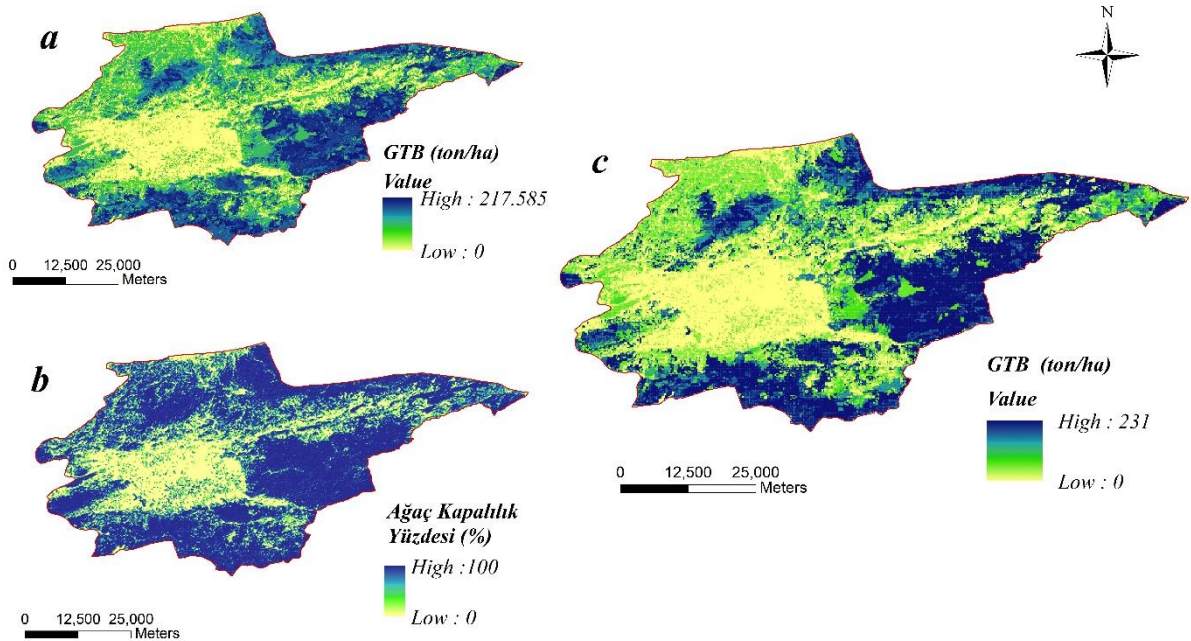
**Tablo 2** Çalışmada kullanılan  $R$  katsayıları [29]

Bitki Örtüsü	Toprak Üstü Biyokütle ( $mg/ha^{-1}$ )	$R$
İbrelili Ormanlar	<50	0.40
	50-150	0.29
	>150	0.20
Yapraklı Ormanlar	<75	0.46
	75-150	0.23
	>150	0.24

Toprak üstü ve toprak altı biyokütle hesaplandıktan sonra toprak üstü ölü ve diri örtüdeki biyokütle (TÜÖDB) hesabı için de Asan [30], [31], tarafından yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemle göre, 0.40 katsayısı ile toprak üstü ve toprak altı biyokütle toplamı çarpılarak hesaplama yapılmıştır. Genel toplam biyokütle (GTB) de hesaplanan TÜB, TAB ve TÜÖDB'nin toplanmasıyla elde edilmiştir.

GTB'nin hesaplanmasından sonra özellikle biyokütle üzerinden ormanlarda depolanan karbon miktarının hesaplanmasında, güvenilirlik ve doğruluğun artırılması adına, ormanların yayılışlarını temsil eden ağaç kapalılık haritalarının kullanılması önem arz etmektedir [32], [33]. Ağaç kapalılık haritaları, küçük alanlarda yahut küresel ölçekte karbon dinamiklerinin ve buna bağlı olarak karbon modellemesinin güvenilirliğinin ve doğruluğunun artırılması için kullanılan en etkin yöntemlerden birisidir [32]. Ağaç kapalılık yüzdesi haritası bitki örtüsünün yoğunluğuna göre 0 ile 100 arasında değerler almaktadır. Maryland Üniversitesi Coğrafya Bölümü tarafından hazırlanan ve küresel düzeyde orman kayıplarını veya kazançlarını belirleyebilmek adına 2000-2012 yıllarını kapsamakta ve orman vejetasyonunun yoğunluğunu yüzde cinsinden ifade etmektedir. 30 m çözünürlüğe sahip Landsat uydu görüntüleri üzerinden Hansen ve ark.[16] 2013 yılında yaptıkları çalışma ile doğal bitki örtüsünün yatay ve dikey olarak yayılışı ve örtücülüğünü yüzde cinsinden ağaç kapalılık haritaları ile ortaya koymuştur. Bu çalışma kapsamında da Hansen ve arkadaşlarının 2013 yılında oluşturdukları ağaç kapalılık yüzdesi haritası kullanılmıştır.

Her bir meşcere için hesaplanan TÜB, TAB ve TÜÖDB değerleri (ton/ha), ArcGIS 10.4<sup>TM</sup> yazılımıyla raster formatına dönüştürülmüş ve çözünürlükleri (100 m) eşitlenen ağaç kapalılık ve biyokütle haritaları, ArcGIS 10.4<sup>TM</sup> yazılımı Map algebra hesaplama aracıyla çakıştırılmış ve nihai biyokütle haritası elde edilmiştir (Şekil 2).

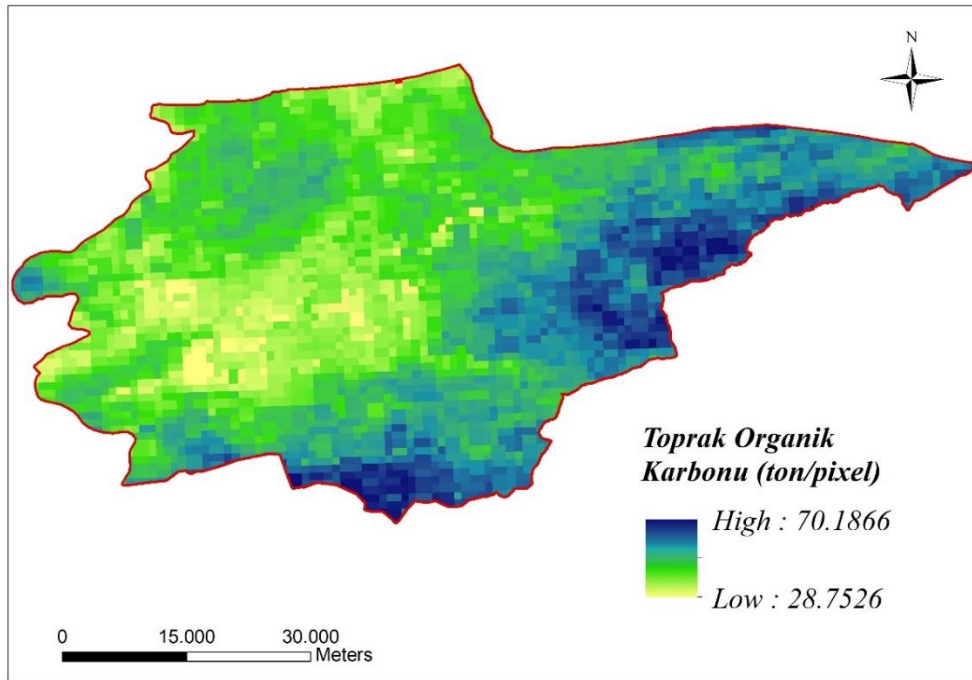


**Şekil 2.** Çakıştırılan hektardaki biyokütle(a), ağaç kapalılık haritası (b) ve elde edilen nihai hektardaki biyokütle haritası (c)

Biyokütle miktarlarının hesaplanmasından sonra biyokütlerdeki karbon miktarının belirlenmesinde IPCC [22] kılavuzunda belirlenen karbon dönüşüm faktörü (CF) değerlerinden faydalanılmıştır ve ibrelili ormanlar için 0.51, yapraklı ormanlar için 0.48 katsayıları kullanılmıştır ve toplam biyokütlerdeki karbon miktarları belirlenmiştir.

## A. 2. Toprak Organik Karbonunun Belirlenmesi

Karasal karbon depolarından bir diğeri olan orman toprağındaki karbon miktarının belirlenmesinde FAO tarafından yürütölen “Küresel Toprak Organik Karbon Haritası” (GSOCmap-<http://54.229.242.119/GSOCmap/>) isimli proje kapsamında tüm dünya ölkeleri için topraktaki organik karbon miktarlarının tahmin edildiğı haritalar kullanılmıştır [17]. Oluşturulan bu haritalar ilk 30 cm’deki karbon miktarlarını vermektedir ve yaklaşık 1 km çözünürlüğe sahiptir. Bu çalışma kapsamında Düzce ili için bu toprak organik karbon haritası üzerinden topraktaki karbon miktarları belirlenmiştir (Şekil 3). Raster formatında olan toprak verisi haritası da nihai biyokütle haritasının çözünürlüğüne (100 m) dönüştürölmüş ve hem biyokütledeki hem de topraktaki karbon miktarlarını içeren katmanlar ArcGIS Map algebra aracı ile çakıştırılarak hesaplamalar yapılmıştır ve sonuçta da Düzce ili için karasal karbon miktarları belirlenmiştir.



Şekil 3. FAO tarafından üretilen Düzce ili toprak organik karbon haritası. [17]

## III. BULGULAR

Düzce ili için karasal karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi adına öncelikle biyokütle miktarları ele alınacaktır. Sonra toplam biyokütledeki karbon miktarları ile topraktaki karbon miktarları ele alınacaktır.

### B. 1. Düzce İli Biyokütle Miktarlarına İlişkin Bulgular

Çalışma alanı olan Düzce ili orman varlığı bakımından zengindir ve tüm alanın yaklaşık %51’i orman alanlarıyla kaplıdır. Her bir meşcere için ana ağaç türü baz alınmıştır ve meşcere tipinin hektardaki toplam serveti üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Düzce ilinde en fazla biyokütleyle sahip olan tür Kn ağaç türüdür. Toplam biyokütlenin %78.2’si Kn ağaç türünün saf ve ana tür olduğu orman alanlarında bulunmaktadır. En az biyokütle miktarı ise %0.9 ile Çm ağaç türünde bulunmuştur. Kn ağaç türünden sonra en fazla biyokütleyle sahip türler %8.7 ile M ve %3.9 ile G ağaç türlerinde bulunmuştur. Ayrıca toplam biyokütlenin %3.5’i Çk, %2.3’ü Çs ve %2.5’i de Dy ağaç türlerinde bulunmaktadır (Tablo 3). Kn ağaç türü hem yayılış alanı olarak en fazla yayılış alanına sahip (% 73.8) hem de hektardaki

ortalama biyokütle miktarı bakımından en yüksek miktarda biyokütle (45 ton/ha) sahip olduğundan diğer türlere göre çok yüksek oranda biyokütleyle sahip olmuştur. En az yayılış alanına sahip tür olan Çm ise en düşük alansal dağılım (%0.9) ve en düşük hektardaki ortalama biyokütleyle sahip olduğundan en az biyokütlenin bulunduğu tür olmuştur. Ağaç kapalılık yüzdesi haritası ile genel toplam biyokütle haritasının karşılaştırılmasıyla elde edilen nihai biyokütle haritasında ortalama biyokütlelerde artış olmuştur. Yani ağaç kapalılık yüzdesi haritasının biyokütle miktarları üzerinde az da olsa artırıcı etkisi olmuştur.

**Tablo 3.** Ağaç türlerine göre toplam hacim ve toplam biyokütle miktarları

Ağaç Türü	Nihai Biyokütle (ton/ha)	Toplam Biyokütle(ton)	%	Toplam Alan	%
Çk	40.3	340149.9	3.5	8442.8	3.7
Çm	28.1	85150.3	0.9	3029.3	1.3
Çs	29.0	223473.3	2.3	7718.1	3.4
Dy	34.4	246627.4	2.5	7160.1	3.1
G	36.7	380414.0	3.9	10362.4	4.6
Kn	45.0	7573213.1	78.2	168170.6	73.8
M	36.7	838745.2	8.7	22861.8	10.0
<b>Toplam</b>		<b>9687773.2</b>	<b>100.0</b>	<b>227745.3</b>	<b>100.0</b>

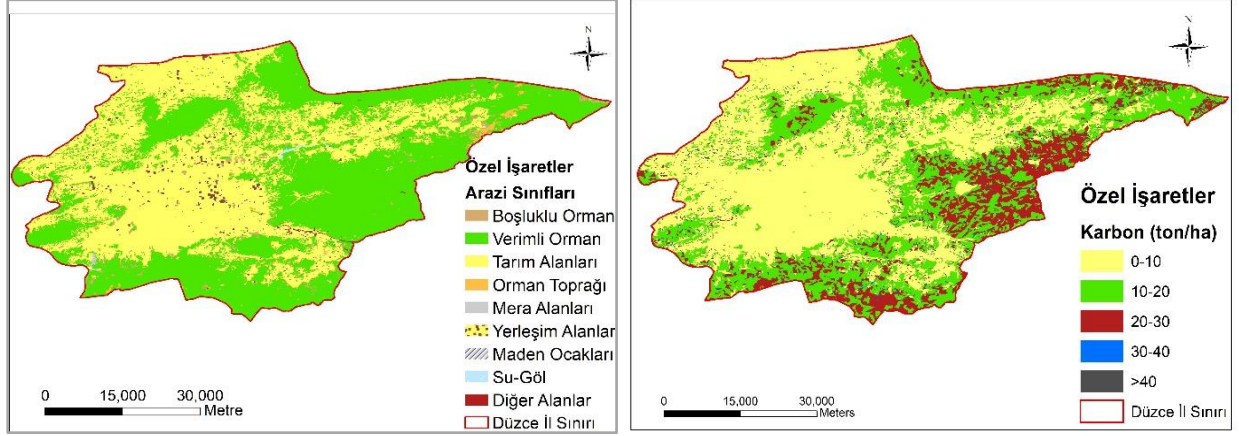
## B. 2. Biyokütlerdeki ve Topraktaki Karbon Miktarları

Ağaç türü bakımından toplam biyokütlenin karbona dönüştürülmesi ile biyokütlerdeki karbon miktarları belirlenmiştir. Toplam biyokütle içindeki karbon miktarlarına bakıldığında biyokütle miktarını bünyesinde en fazla depolayan tür olan Kn türünün en fazla karbonu (3,64 Mt (milyon ton)) da depoladığı görülmüştür. Topraktaki organik karbon bakımından da yine en fazla karbonun Kn ağaç türünün hâkim olduğu orman topraklarında depolandığı (1,5 Mt) tespit edilmiştir. Toplam biyokütlerde depolanan karbonun %77.7'si ve orman topraklarında depolanan toplam karbonun %73.6'sı Kn ağaç türünde gerçekleşmiştir. Toplam biyokütlerdeki karbonun %8.6'sı M ve %4.1'i de G ağaç türünde bulunurken, orman toprağındaki organik karbon miktarı bakımından da %10'u M, %5.2'si G ağaç türlerinin hâkim olduğu alanlarda depolanmıştır. Biyokütlerdeki ve topraktaki karbon miktarları diğer türlerde daha düşük miktarlarda bulunmaktadır. Toplam depolanan karbon miktarı bakımından da %76.4 ile Kn ağaç türü en fazla karbon depolanmıştır. Çm ağaç türünde %1.0 ile en az karbonun depolandığı ağaç türü olmuştur. Çalışma alanındaki ormanlık alanlarda yaklaşık 6.71 Mt karbon depolandığı belirlenmiştir. Bu toplam karbonun %69.7'si orman alanlarında depolanan biyokütlerde tutulurken, %30.3'ü ise orman toprağındaki organik karbon miktarından oluşmaktadır (Tablo 4).

**Tablo 4.** Toplam biyokütle ve topraktaki toplam karbon miktarları

Ağaç Türü	Toplam Biyokütlerdeki Karbon (ton)	%	Topraktaki Organik Karbon (ton)	%	Toplam Karbon (ton)	%
Çk	173476.4	3.7	73028.9	3.6	246505.3	3.7
Çm	43426.7	0.9	21430.8	1.1	64857.5	1.0
Çs	113971.4	2.4	74680.0	3.7	188651.4	2.8
Dy	118381.1	2.5	58411.2	2.9	176792.3	2.6
G	194011.2	4.1	104890.4	5.2	298901.6	4.5
Kn	3635142.3	77.7	1495899.5	73.6	5131041.8	76.4
M	402597.7	8.6	202884.4	10.0	605482.1	9.0
<b>TOPLAM</b>	<b>4681006.8</b>	<b>100.0</b>	<b>2031225.2</b>	<b>100.0</b>	<b>6712232.0</b>	<b>100.0</b>
%	69.7		30.3		100.0	

Orman alanları üzerinden hektardaki hacim miktarları baz alınarak biyokütle hesabı yapıp depolanan karbon miktarları hesaplanmış ve bu biyokütlerdeki karbon miktarları da belirlenmiştir. Orman dışı alanlarda biyokütle hesabı yapılamadığından dolayı yukarıdaki verilen değerlerde orman dışı alanlar bulunmamaktadır. Fakat özellikle toprakta tutulan karbon miktarları uydu görüntüsünden elde edildiği için orman dışı alanların toprak organik karbonları da hesaplanabilmektedir. Çalışma alanında belirlenen arazi sınıfları ve arazi sınıflarına göre hektardaki karbon miktarlarının konumsal dağılımları Şekil 4’te verilmiştir.



**Şekil 4.** Düzce ili arazi kullanım durumu (solda) ve hektardaki ortalama toprak organik karbon miktarları (sağda) dağılımı

Arazi durumlarına göre toplam biyokütlerdeki ve topraktaki karbon miktarları değerlendirildiğinde, en fazla karbonun verimli (%10 ve üzerinde kapalılığa sahip) orman alanlarında (%83.6) depolandığı belirlenmiştir. Karbon miktarı bakımından verimli orman alanlarını tarım alanlarının takip ettiği ve tutulan tüm karbonun %14.5’inin bu arazi sınıfında depolandığı görülmüştür. Boşluklu kapalı orman alanlarında da %1,0 oranında karbon depolanmıştır ve diğer arazi sınıflarında %1’in altında depolama gerçekleşmiştir (Tablo 5). Tüm Düzce ili orman ve orman dışı alanlar birlikte değerlendirildiğinde yaklaşık 7.94 Mt karbonun depolandığı tespit edilmiştir. Bu depolanan karbon miktarının da %59’u canlı biyokütleyi oluşturan orman ağaçlarında depolanırken, %41’i ise toprakta depolanmıştır.

**Tablo 5.** Arazi Sınıflarına göre toplam karbon miktarları dağılımları

Arazi Durumu	Toplam Biyokütlerdeki Karbon (ton)	%	Topraktaki Organik Karbon (ton)	%	Toplam Karbon (ton)	%
Boşluklu Orman Alanları	17189.3	0.4	59482.5	1.8	76671.8	1.0
Verimli Orman Alanları	4663817.5	99.6	1971742.7	60.5	6635560.2	83.6
Tarım Alanları	0.0	0.0	1154671.6	35.4	1154671.6	14.5
Yerleşim Alanları	0.0	0.0	26807.4	0.8	26807.4	0.3
Mera Alanları	0.0	0.0	2669.0	0.1	2669.0	0.0
Orman Toprağı	0.0	0.0	33267.2	1.0	33267.2	0.4
Su-Göl	0.0	0.0	2762.9	0.1	2762.9	0.0
Maden Ocakları	0.0	0.0	1653.6	0.1	1653.6	0.0
Diğer Alanlar	0.0	0.0	5033.6	0.2	5033.6	0.1
<b>TOPLAM</b>	<b>4681006.8</b>	<b>100</b>	<b>3258090.6</b>	<b>100</b>	<b>7939097.4</b>	<b>100</b>
%	59.0		41.0		100.0	

## **IV. SONUC VE ÖNERİLER**

Düzce ili karasal karbon kapasitesinin belirlenmesi adına, canlı biyokütlerdeki karbonun belirlenmesi için amenajman planlarındaki meşcere tiplerinin hektardaki hacimleri üzerinden hesaplamalar yapılmış, topraktaki karbon miktarının belirlenmesi için de coğrafi bilgi sistemleri tekniklerinden faydalanılmıştır. Özellikle bu çalışma ile yoğun şekilde kullanılan biyokütle denklemleriyle karbonun belirlenmesinde, doğruluğun artırılması adına ağaç kapalılık yüzdesi verisinin kullanımı sağlanmıştır. Çalışma alanına ilişkin elde edilen nihai biyokütle haritası kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda ağaç türü bazında en fazla biyokütlenin Kn ağaç türünde depolandığı belirlenmiştir. Biyokütlenin karbona dönüştürülmesiyle de en fazla karbonun da yine Kn ağaç türünde olduğu tespit edilmiştir. Hem biyokütlenin hem de karbon miktarının en fazla olduğu Kn ağaç türü Düzce ilinde ormanlık alanların %73.8'inde saf veya karışıma katılarak yayılış yapmaktadır. Ayrıca hektardaki ortalama biyokütle bakımından da en yüksek miktarlar yine Kn ağaç türünde elde edilmiştir. Bu sebeplerden dolayı da Kn ağaç türü diğer türlere göre çok yüksek miktarda biyokütle ve karbon miktarına sahip tür olmuştur. Ağaç türü bazında en düşük biyokütle ve karbon miktarları ise Çm ağaç türünde belirlenmiştir. Çm ağaç türü diğer ağaç türlerine göre yayılışı daha sınırlıdır ve bu yüzden düşük biyokütle ve karbon değerleri elde edilmiştir. Orman topraklarında depolanan karbon miktarı bakımından da en fazla yayılışı gösteren tür olan Kn alanlarında en fazla karbon depolanmıştır. En az yayılış alanına sahip Çm ise toprakta tutulan karbon miktarı bakımından da son sırada yer almıştır. Özellikle orman alanlarında depolanan toplam karbonun %69.7'sinin canlı biyokütlerde tutulduğu, %30.3'ünün ise orman toprağında depolandığı belirlenmiştir. Durkaya ve ark.[34], Bartın Orman İşletme Müdürlüğü bazında yaptıkları çalışmada farklı karbon depolama yöntemlerini karşılaştırmış ve orman alanlarında tutulan karbon miktarlarını belirlemiştir. Bu çalışmada bulunan karbon miktarları ve Düzce İli için hesaplanan karbon miktarı değerleri yakın olmakla beraber, depolanan toplam karbon miktarı bakımından Düzce ili karbon miktarları daha düşüktür. Mirici ve ark.[35], Kozan ilçesinde yaptıkları çalışmada orman alanlarında biyokütle ve toprakta depolanan karbon miktarını belirlemiştir ve toplam karbonun büyük kısmının bu çalışmada olduğu gibi canlı biyokütlerde tutulduğunu tespit etmişlerdir.

Orman dışı alanlarda biyokütlenin olmaması bu arazi sınıflarında karbon depolanmıyor algısı oluşturabilir fakat bu algı doğru değildir ve orman dışı alanlarda da karbon depolanmaktadır [36], [37]. Uydu görüntüsü üzerinden arazi sınıflarına göre yapılan değerlendirmede özellikle tarım alanlarındaki toprakta depolanan karbon miktarının verimli orman alanlarından sonra geldiği tespit edilmiştir. Özellikle toprakların işlenmesiyle topraktaki karbon miktarında azalma meydana gelmektedir. Bu olumsuz duruma rağmen tarım alanlarındaki topraklarda biriken karbon miktarı tüm karbon miktarının yaklaşık %27'sine tekabül etmektedir [36]. Düzce il bazında, orman ve orman dışı alanlar birlikte değerlendirildiğinde toprakta depolanan karbon miktarının tüm karbonun %41'ini oluşturduğu görülmektedir. %59'luk kısım ise özellikle canlı biyokütle dediğimiz ormanlardaki toprak üstü ve toprak altı ağaç elemanlarında tutulmaktadır.

Özellikle son dönemlerde sürekli gündemde olan küresel ısınma ve bunun olası etkilerinin azaltılmasına yönelik, atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarını, karbon salınımını önleyici tedbirler alınmalıdır. Orman alanlarının azaltılmamasına yönelik koruyucu tedbirler alınmalı, ormanlara yapılan baskılar azaltılmalıdır. Boşluklu orman alanları rehabilite edilip verimli ormana dönüştürülerek hem toprak üstü hem de toprakta tutulacak karbon miktarları artırılabilir. Karışık ormanların kuruluşlarını destekleyici silvikültürel müdahaleler yapılmalı ve ağaçlandırmalar artırılarak orman alanlarında karbon depolamayı artırıcı faaliyetler yapılmalıdır. Biyokütle miktarlarının klasik yöntemle belirlenmesinin yanında uzaktan algılama teknikleriyle biyokütlenin tahmin edilmesine yönelik araştırmalar, çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca karbon miktarlarının belirlenmesinde toprak üstü biyokütlenin belirlenmesinde sadece meşcerenin sahip olduğu ağaç servetinden değil, o meşceredeki ağaç ve ağaççıkların yanında diri örtü elemanlarının da hesaba katılması önem arz etmektedir. Aynı şekilde karışık meşcerelerde ana türe göre yapılan hesaplamalarla net durum tam anlamıyla ortaya konulamamaktadır. Bu durumun düzeltilmesi için de karışıma giren her bir ağaç türüne ait ağaç



serveti dikkate alınmalıdır. Tarım alanlarında ise, karbonun depolanmasını artırmak için sürüm yapılmadan, polikültür ürün deseninin kullanılması ve nadasa bırakmadan bütün yıla yayılan bitkisel üretimin yapılması teşvik edilmelidir. Karasal karbon havuzlarından en önemli karbon deposu olan ormanların sürekli baskı altında olması, üzerindeki vejetasyonun yok edilmesi veya farklı arazi kullanımına dönüştürülmesi de tutulan karbon miktarında ciddi azalmalara sebep olmaktadır. Bu bağlamda tüm dünyada karbon salınımını azaltmaya yönelik yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artırılmalı ve özellikle orman alanlarını ve karbon depolama kapasitesi yüksek olan bitki türleriyle ağaçlandırmaların yapılması önem arz etmektedir. Karbon depolayan karasal alanların korunmasına yönelik politikaların geliştirilmesi gerekmektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] A. Başçetinçelik, C. Karaca ve H.H. Öztürk, “Bazı Avrupa Birliği ülkelerinde biyokütle politikaları” *V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, Türkiye, 2004. ss. 439-448.
- [2] D.O. Hall, F. Rosillo-Calle, R.H. Williams, and J. Woods. “Biomass for energy: supply projects, In *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*”, Washington DC, *Island Press*, pp. 593-651, 1993.
- [3] N. Saraçoğlu, “Biyokütleden enerji üretiminde enerji ormancılığının önemi”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, Türkiye, 2008, ss. 265-271.
- [4] N. Saraçoğlu, “Enerji ormancılığının kırsal kalkınmaya katkısı”. *Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi Bildiriler Kitabı*, Ilgaz, Türkiye, 2006. ss. 7-12.
- [5] N. Saraçoğlu, *Küresel İklim Değişimi, Biyoenerji ve Enerji Ormancılığı*, Ankara, Türkiye, Efil Yayınevi Yayıncılık, 2010, 1. baskı, ss. 110.
- [6] A. Tüfekçioğlu ve M. Küçük, “Saf sarıçam meşcerelerinde kök kütlesi, kök üretimi ve kök karbon depolama miktarlarının yaş sınıflarına göre değişimi”. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Trabzon, Türkiye, 2010, ss. 1030-1037.
- [7] R. Lal, “Soil carbon sequestration”, SOLAW Background Thematic Report - TR04B, FAO, Rome, İtalya, 2011.
- [8] S. Backeus, P. Wikström and T. Lamas, “A model for regional analysis of carbon sequestration and timber production”. *Forest Ecology and Management*, vol. 216, pp. 28–40, 2005.
- [9] S. Brown, *Estimating biomass and biomass change in tropical forests: A primer*. FAO Forestry Paper 134. Rome, Italy, 1997.
- [10] S. Brown, P. Schroeder, J. Kern, “Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA” *Forest Ecology and Management*, vol. 123, pp. 81–90, 1999.
- [11] H.A. Yolastıgımaz, “Orman ekosistem amenajmanı kavramı ve Türkiye’de uygulaması”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, K.T.Ü, Trabzon, Türkiye, 2004.

- [12] S. Keleş, ve E.Z. Başkent, “Orman ekosistemlerindeki karbon değişiminin orman amenajman planlarına yansıtılması: kavramsal çerçeve ve bir örnek uygulama (1. Bölüm)”, *Orman ve Av Dergisi*, c. 83, s. 2, ss. 36-41, 2006.
- [13] F. Sivrikaya, S. Keleş ve G. Çakır, “Spatial distribution and temporal change of carbon storage in timber biomass of two different forest management units”. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 132, pp. 429-438, 2007a.
- [14] F. Sivrikaya, ve N. Bozali, “Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi:Türkoğlu planlama birimi örneği”, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, c. 14, Özel Sayı, ss. 69-76, 2012.
- [15] A.S. Değermenci, H. Zengin. “Ormanlardaki karbon birikiminin konumsal ve zamansal değişiminin incelenmesi: Daday planlama birimi örneği”. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 17, s. 2, ss. 177-187, 2016.
- [16] M.C. Hansen, P.V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S.J. Goetz, T.R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. Justice, and J.R.G. Townshend,, “High-resolution global maps of 21st-century forest cover change”, *Science* .Vol. 342, pp. 850–53, 2013.
- [17] FAO, (2019).“Global soil organic carbon map. contributing countries”.[Online] Available: <http://54.229.242.119/GSOCmap/>
- [18] OGM, Orman amenajman planları, Ankara, Türkiye, 2010.
- [19] İ. Alemdağ, “Aboveground-mas equations for six hardwood species from natural stands of the research forest at Petawawa. Canada”, *Environmental Science*. 1981.
- [20] S. Ashton, L. McDonell, and K. Barnes, “Wood biomass desk guide & toolkit. United State of America”, *U.S. Department of Interior and the USDA Forest Service*. 2010.
- [21] O. E. Sakıcı, İ. Ercanlı, “Klasik biyokütle tahmin yöntemleri ve yeni yaklaşımlar”. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, c. 3, s. 4, ss. 165-171, 2004.
- [22] IPCC, Guidelines for national greenhouse gas inventories, Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 4, Rome, İtaly, 2006.
- [23] FRA, “Guidelines for country reporting to global forest resources assessment” Rome, İtaly, 2008.
- [24] D. Tolunay, “Total carbon stock and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey”.*Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, s. 35, ss, 265-279, 2011.
- [25] A. Çömez, “Sündiken Dağları'ndaki (Eskişehir) sarıçam (*Pinus slyvestris* L.) meşcerelerinde karbon birikiminin belirlenmesi”. *Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitü Müdürlüğü*, Eskişehir, Türkiye, Yayın no.6, Teknik Bülten No.2, 2011.





- [26] GEF, "Integrated approach to management of forests in Turkey, with demonstration in high conservation value forests in the mediterranean region project report" Global Environment Facility Investing in Our Planet. Washington, USA. 2012.
- [27] FRA, "Global forest resource assessment country report". Forest Department Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, İtaly, 2010.
- [28] N. As, H. Koç, D. Doğu, C. Atik, B. Aksu ve S. Erdinler, "Türkiye'de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fizik, mekanik ve kimyasal özellikler," *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. c, 51, s. 1, ss, 71-88, 2001.
- [29] K. Mokany, R. J. Raison and A.S. Prokushkin, "Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes", *Global Change Biology*, vol, 12, pp. 84-96, 2006
- [30] Ü. Asan, "Global iklim değişimi ve Türkiye ormanlarında karbon birikimi", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 41, s. 1-2, ss. 23-38, 1995.
- [31] Ü. Asan, "Climate change, carbon sinks and the forests of Turkey. proceedings of the international conference on tropical forests and climate change: status, issues and challenges" *TFCC '98*, Phillippines, 1999. pp. 157-170.
- [32] H. Rokhmatuloh, K. Al-Bılbısı, T. Arıhara, D. Kobayashi, B. Nitto, K. Erdene, T.A. Hirabayashi, S.A. Javzandulam, E. Lee, N. Migita, Y. Solıman, M. Ouma and R. Tateishi. "Application of regression tree method for estimating percent tree cover of asia with quickbird images as training data." 2005.
- [33] S. Berberoğlu, C. Dönmez, P.J. Curran, "Quantifying forest ecosystem productivity of eastern mediterranean using envisat merıs data", *European Space Agency Environment Satellite Symposium*, Switzerland. 2007.
- [34] B. Durkaya, A. Durkaya, S. Kaptan, "Karbon birikiminin farklı yöntemlerle hesaplanması, Bartın Orman İşletme Müdürlüğü örneği" *International Symposium On Environment And Morals*, Bosnia, Herzegovia, 2018.
- [35] M.E. Mirici, S. Berberoğlu, A.Çilek, "Karasal karbon depolama kapasitesinin orman düzeyinde tahmin edilmesi amacıyla geomatik teknolojilerden yararlanılması" *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*. c. 7, s. 3, ss. 21-33, 2015.
- [36] ÇEM, "Toprak organik karbonu projesi, teknik özet", Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye. 2018.
- [37] R. Koçyiğit, "Karasal ekosistemde karbon yönetimi ve önemi" *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 25, s. 1, ss. 81-85, 2008.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Oranları ile Takviye Edilmiş Al-Cu-Mg Alaşımalarının Sıcak Pres Yöntemi ile Üretimi

 Serhatcan Berk AKÇAY<sup>a</sup>,  Temel VAROL<sup>a,\*</sup>,  Hüseyin Can AKSA<sup>a</sup>,  Onur GÜLER<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Metaller ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE*

\* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: tvarol@ktu.edu.tr*  
DOI:10.29130/dubited.1019419

### ÖZET

Al esaslı alaşımlar havacılık, otomotiv ve savunma sanayi gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Düşük yoğunlukları ve yüksek özgül mukavemet özellikleri, Al ve alaşımlarını mühendislik malzemeleri olarak kullanılabilir hale getirir. Al esaslı alaşımlar seramik partiküller ile takviye edildiğinde yüksek sertlik ve mukavemete sahip yeni nesil mühendislik malzemeleri olarak kullanılabilirler. Bu çalışmada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülleri Al-Cu-Mg matrisine ağırlıkça %10, %20 ve %40 oranında mekanik alaşımlama (MA) yöntemiyle takviye edilmiş ve 560 °C, 500 MPa pres koşullarında sıcak pres (SP) yöntemiyle preslenmiştir. MA işleminden sonra partikül boyutu ölçümleri, partikül boyutlarının azaldığını ortaya çıkarmıştır. Al-Cu-Mg ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin MA işlemi öncesi partikül boyutu ölçüm sonuçları sırasıyla 212,434 µm ve 89,208 µm olarak ölçülmüştür. MA işlemi sonrası partikül boyutları %10, %20 ve %40 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli numuneler için sırasıyla 14,224 µm, 13,747 µm ve 10,885 µm olarak ölçülmüştür. %10, %20 ve %40 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ile üretilen numunelerin sertlik değerleri sırasıyla 146,867 HV (0,5), 165,290 HV (0,5) ve 206,843 HV (0,5) olarak ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al-Cu-Mg, Mekanik Alaşımlama, Metal Matris Kompozit, Toz Metalurjisi

## Production of Al-Cu-Mg Alloys Reinforced with High Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ratios by Hot-Pressing Method

### ABSTRACT

Al-based alloys are used in many sectors such as aerospace, automotive and defense industries. Their low densities and high specific strength properties make Al and its alloys usable as engineering materials. When Al-based alloys are reinforced with ceramic particles, they can be used as new generation engineering materials with high hardness and strength. In this study, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles were reinforced to Al-Cu-Mg matrix by 10%, 20% and 40% by weight by mechanical alloying (MA) method and pressed by hot press (HP) method at 560 °C, 500 MPa pressing conditions. Particle size measurements after the MA treatment revealed that the particle sizes were reduced. The particle size measurement results of Al-Cu-Mg and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles before MA process were measured as 212.434 µm and 89.208 µm, respectively. The particle sizes after MA process were measured as 14.224 µm, 13.747 µm and 10.885 µm for 10%, 20% and 40% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced samples, respectively. The hardness values for the samples produced with 10%, 20% and 40% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content were measured as 146.867 HV (0.5), 165.290 HV (0.5) and 206.843 HV (0.5), respectively.

**Keywords:** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al-Cu-Mg, Mechanical Alloying, Metal Matrix Composite, Powder Metallurgy

# I. GİRİŞ

Yeni nesil malzemeler olarak isimlendirilen metal matrisli kompozit (MMK)'ler, birçok mühendislik alanında kullanılabilecek ve her geçen gün kullanım alanları artan malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Farklı partiküllerin takviye olarak kullanıldığı MMK, çok yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir [1]-[3]. Alüminyum (Al) mühendislik ve bilim alanlarında düşük yoğunluğu ve yüksek spesifik mukavemeti nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Al matrisli kompozitler, farklı seramik partiküller ile takviye edildiklerinde çok yüksek mukavemet, sertlik ve aşınma direnci özelliklerine sahip olabilmektedirler. Bu üstün özellikler, Al matrisli kompozitleri havacılık, otomotiv ve yapısal mühendislik malzemeleri endüstrilerinde kullanılabilir hale getirmektedirler [4]-[6].

Al, birçok farklı alaşım grubuna sahiptir ve bunlardan bir tanesi 2XXX serisi Al alaşımlarıdır. Al ve bakır (Cu) elementlerinin temel alaşım elementi olarak kullanıldığı 2XXX serisi Al alaşımları magnezyum (Mg) elementi de ihtiva etmektedir ve sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle havacılık ve uzay sanayii de olmak üzere birçok farklı mühendislik alanında kullanılmaktadır. Al-Cu-Mg alaşımı alümina ( $Al_2O_3$ ) ile takviye edilebilmektedir ve literatür incelendiğinde bu şekilde birçok çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Sahip oldukları yüksek sertlik ve mukavemet özelliklerinden dolayı  $Al_2O_3$  partikülleri takviye olarak kullanıldıklarında, Al matrisin sertlik ve mukavemetini arttırmaktadırlar [4]-[10].

Literatür incelemelerinde ağırlıkça değişken  $Al_2O_3$  içeriğine sahip Al matrisli kompozitlerin üretilmesi için çeşitli çalışmalar mevcuttur. Prabhu ve diğerleri (2006), yüksek enerjili bilyeli öğütme yöntemi ile 50nm, 150nm ve 5µm partikül boyutunda  $Al_2O_3$  partiküller kullanıp %20, %30 ve %50  $Al_2O_3$  içeriğine sahip Al esaslı MMK üretimi ve karakterizasyonu üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada 20 saat süre ve 10:1 bilye:toz oranı kullanarak yüksek enerjili öğütme işlemi uygulamışlar ve sonuç olarak homojen bir dağılım elde etmişlerdir [11]. Zabihi ve diğerleri (2014) yaklaşık 40 µm partikül boyutuna sahip Al partiküller ile ağırlıkça %2 ve %4 oranında, 3-8 µm partikül boyutuna sahip  $Al_2O_3$  partikülleri kullanarak yüksek enerjili öğütme işlemi uygulamışlardır. Yüksek enerjili öğütme yöntemi ile üretmiş oldukları Al/  $Al_2O_3$  partikülleri 100 MPa ham presleme ve 200 MPa SP işlemine tabii tutmuşlar ve sonrasında 45 dakika boyunca yaklaşık 500 °C sıcaklıkta sinterlemişlerdir. Sinterleme işleminin ardından sıcak haddeleme uygulamışlar ve sonuç olarak  $Al_2O_3$  takviyenin sıcak haddeleme işleminde başlangıçta sertliği olumsuz etkilediği ancak artan takviye oranı ile dislokasyon yoğunluğunun artmasına bağlı olarak sertliğin de artma eğiliminde olduğunu ortaya koymuşlardır [12]. Pramod ve diğerleri (2017) yapmış oldukları çalışmada, yaklaşık 150 µm partikül boyutuna sahip  $Al_2O_3$  partiküllerin Al7075 matris içerisine ağırlıkça %2-%6 oranlarında takviye edilmesi ile MMK üretimi gerçekleştirmişlerdir. Ağırlıkça %6  $Al_2O_3$  takviyesi içeren yapının aşınma direncinin oldukça yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır [13]. Kanca ve Günen (2016), Al6061 matris içerisine 32 ve 66 µm partikül boyutuna sahip  $Al_2O_3$  partikülleri takviye etmişler ve vorteks yöntemi ile MMK üretimi gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda artan  $Al_2O_3$  takviye oranı ile sertlik değerlerinin arttığını, ağırlıkça %20  $Al_2O_3$  takviyeli deney numunesi için yaklaşık 83 HB, bildirmişlerdir [14]. Reddy (2011), %12, %16 ve %20  $Al_2O_3$  takviyeli Al6063 matrisli MMK üretimi ve mekanik özellikleri üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Takviye malzemesinin partikül boyutu 10, 15 ve 20 µm olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmaları neticesinde artan takviye oranının uzama özelliklerini azalttığı ancak sertlik özelliklerini arttırdığını ortaya koymuştur. Bu durumu matris alaşımı ve  $Al_2O_3$  arasındaki yüzey etkileşiminin sertlik özelliklerini arttırmaya katkıda bulunabileceği şeklinde açıklamıştır [15]. Ghanaraha ve diğerleri (2016), ağırlıkça %0, 3, 6, 9 ve 12  $Al_2O_3$  takviyesi ve Al 1100-Mg alaşımı matrisi kullanarak ergiyik karıştırma yöntemi ile MMK üretimi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda artan takviye oranıyla sertlik değerlerinin yaklaşık olarak 85 HRB sertlik değerine ulaştığını ortaya koymuşlardır [16]. Zhang ve diğerleri (2019), ağırlıkça %20, 40 ve 60 oranında  $Al_2O_3$  içeriğine sahip Al-Cu-Mg matrisli MMK üretimini soğuk sprey kaplama yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışma neticesinde, ağırlıkça %20  $Al_2O_3$  takviye oranına sahip yapının basma dayanımı ve yapışma mukavemetinin yüksek olduğunu ancak artan takviye oranı (%40 ve %60) ile yapıdaki kırılmış  $Al_2O_3$  parçacıkların artması nedeniyle yoğunlaşmanın olumsuz

etkilendiği sonucunu ortaya koymuşlardır [17]. Varol ve diğerleri (2016), Al-Cu-Mg matris içerisine ağırlıkça %1-5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesini yeni bir yöntem olan pul benzeri partikül metalurjisi yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Artan öğütme süresi ile görünür yoğunluğun azaldığını, artan takviye oranı ile SP sonrası yoğunluğun azaldığını ortaya koymuşlardır. Sertlik değerlerinin ise artan takviye oranı ile arttığı sonucuna ulaşmışlardır [18].

Yapılan literatür araştırmaları MA yöntemi ile yapılan çalışmalarda kullanılan takviye oranlarının genellikle ağırlıkça düşük oranlarda olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, ağırlıkça yüksek (%10, %20 ve %40 ağırlıkça Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) takviye malzemesi oranları ihtiva eden, Al-Cu-Mg alaşımı metalik tozların matris olarak kullanıldığı partikül takviyeli MMK üretimi ve karakterizasyonu incelenmiştir. Seramik partikül takviyesinin yapı içerisinde ağırlıkça artmasının, Al matrisli MMK malzemenin mikroyapı özellikleri ile sertlik ve yoğunluk değerleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

## **II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Kullanılan Malzemeler**

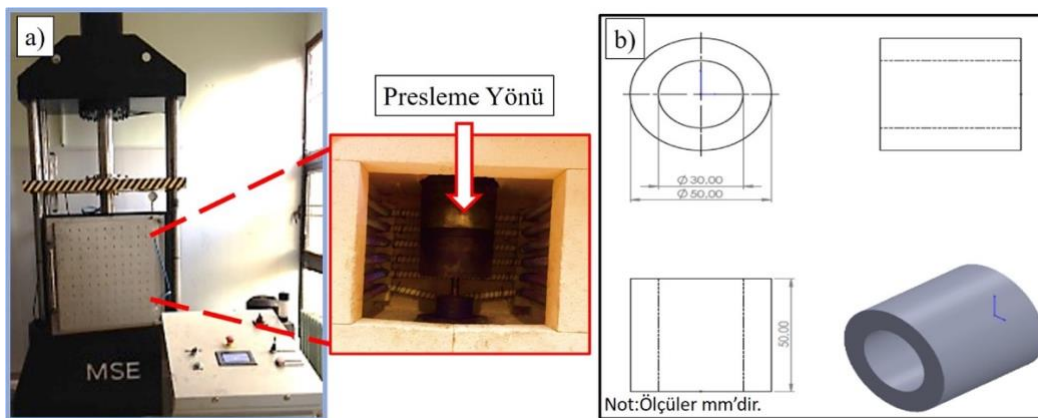
Bu çalışmada matris malzemesi olarak kullanılan Al-Cu-Mg alaşımı partiküller %99,9 saflığa sahiptir ve Alfa Aesar, Haverhill, Massachusetts, ABD'den temin edilmiştir. Al-Cu-Mg alaşımına ait kimyasal kompozisyon verileri Tablo 1'de yer almaktadır. Takviye malzemesi olarak kullanılan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerin saflık değeri de %99,9'dur ve Nanografi, Türkiye'den temin edilmiştir.

*Tablo 1. Al-Cu-Mg alaşımına ait kimyasal kompozisyon.*

Fe	Si	Cu	Cr	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
0,374	0,385	4,85	0,042	0,312	1,78	0,138	0,005	Kalan

### **2.2. Yapılan Deneyler**

Bu çalışmada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye partikülleri, Al-Cu-Mg matris partiküllere ilave edilerek MA yöntemi ile MMK tozları üretilmiş ve bu tozlar kullanılarak, toz metalurjisi yöntemlerinden biri olan SP yöntemi ile MMK kompakt üretimi gerçekleştirilmiştir. MA işleminde 10 mm çapında tungsten karbür (WC) bilyeler ve WC hazne kullanılmıştır. Takviye oranları ve MA ile SP parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen MA deneylerinde hazne ve bilye kaynaklı kirlenmelerin engellenmesi ve yüksek sürtünme nedeniyle açığa çıkan ısıyı uzaklaştırmak amacıyla işlem kontrol katkısı (İKK) olarak metil alkol (CH<sub>3</sub>OH) kullanılmıştır. SP işlemi tek eksenli ve kendinden rezistanslı presleme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SP işlemi için kullanılan presleme cihazına ait görsel ve presleme işlemlerinde kullanılan kalıba ait teknik resim Şekil 1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, kullanılan presleme kalıbı 50 mm dış çapa, 30 mm delik çapına ve 50 mm yüksekliğe sahiptir.



**Şekil 1.** (a) Sıcak presleme cihazına ait fotoğraf ve (b) presleme kalıbına ait teknik resim.

Tablo 2. MA ve SP işlem parametreleri.

Numune Kodu	MA					SP				
	Al-Cu-Mg (% ağı.)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% ağı.)	Bilye:Toz Oranı	Bilye Çapı (mm)	Dönüş Hızı (rpm)	İKK (mL)	Süre (dk)	Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)	Süre (dk)
N1	90	10	10:1	10	400	10	300			
N2	80	20	10:1	10	400	10	300	560	500	180
N3	60	40	10:1	10	400	10	300			

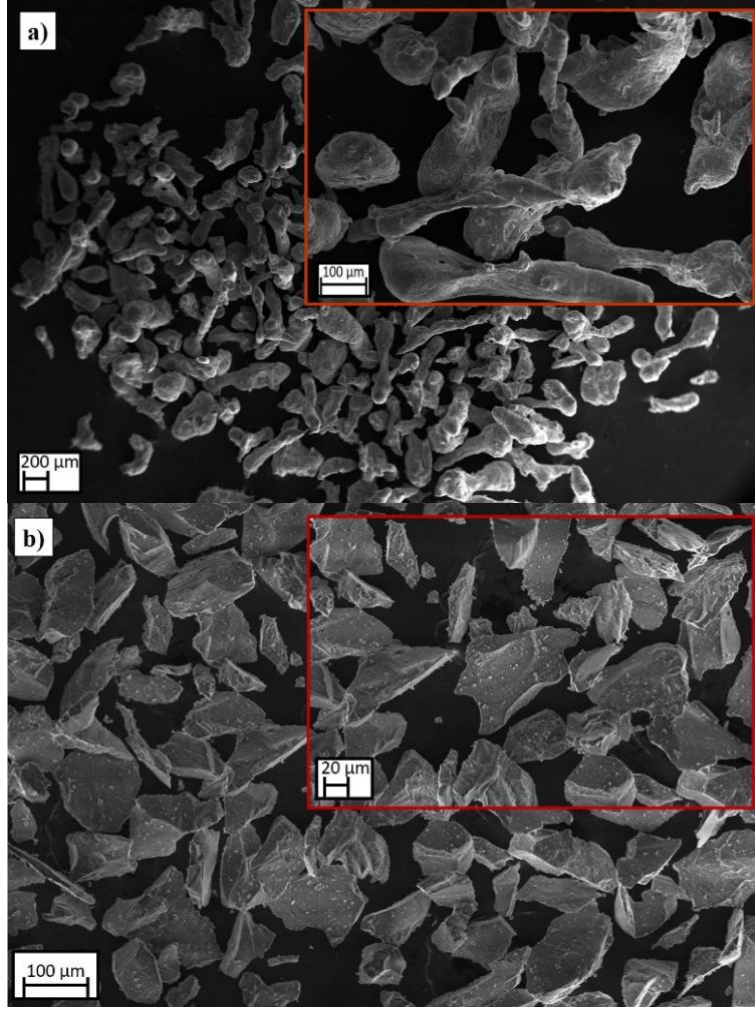
SP yöntemi ile yoğunlaştırma işlemi neticesinde her bir ilave partikül oranına sahip (%10, %20 ve %40 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi) kompakt numuneler Şekil 1’de yer alan teknik resimde verilmiş olan geometrik özelliklere sahip olan kalıp içerisinde 10 mm yüksekliğe sahip ve üçer adet olarak aynı şartlar altında üretilmiştir. Üretilen Al-Cu-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompakt malzemeler çeşitli karakterizasyon yöntemleri ile mikroyapı, faz analizi, sertlik ve yoğunluk özellikleri açısından incelenmiştir. Partikül boyut ölçümleri MasterSizer 2000 marka ve model lazer difraksiyonu partikül boyut analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Partikül morfolojisi ve kompakt malzemelerin mikro yapı incelemeleri, Zeiss Evo LS10 taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik değerleri, her bir kompakt numune için üç ayrı bölgeden üç ayrı sertlik ölçümü yapılarak ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak elde edilmiştir. Sertlik ölçümleri için Nemesis 9000 marka ve model sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Vickers sertlik ölçümleri için deneyler HV/0,5 deney koşullarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kompakt numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre Arşimet yoğunluk ölçümü deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arşimet prensibi doğrultusunda deneysel yoğunluk (DY) hesaplamaları için Denklem 1’de yer alan matematiksel formül kullanılmıştır. Denklem 1’de, deneysel yoğunluk  $d_{deneyse}$ , havanın ağırlığı  $m_{hava}$ , suyun ağırlığı  $m_{su}$ , havanın yoğunluğu  $d_{hava}$  ve suyun yoğunluğu  $d_{su}$  sembolleri ile tanımlanmaktadır.

$$d_{deneyse} = \left( \frac{m_{hava} (gr)}{(m_{hava} (gr) - m_{su} (gr))} \right) \times (d_{su} (gr. cm^{-3}) - d_{hava} (gr. cm^{-3})) + d_{hava} (gr. cm^{-3}) \quad (1)$$

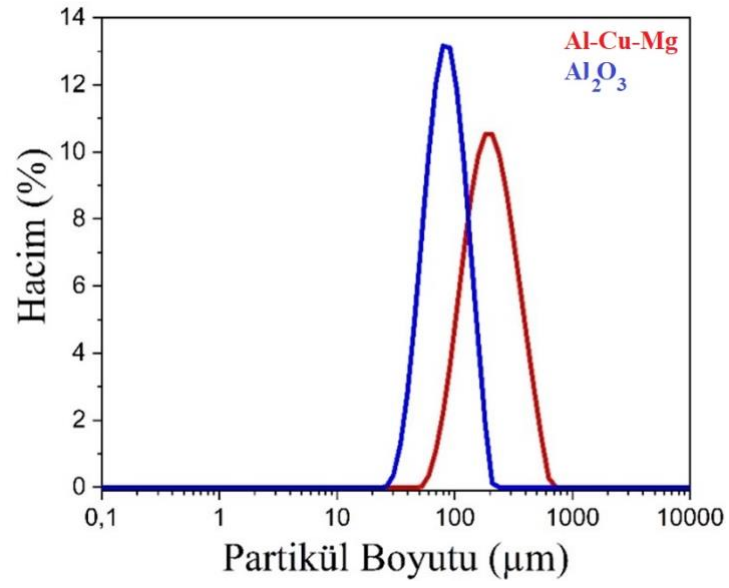
### III. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### A. MORFOLOJİ İNCELEMELERİ ve PARTİKÜL BOYUTU ÖLÇÜMLERİ

Matris (Al-Cu-Mg) ve takviye malzemesi olarak kullanılan partiküllere (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ait morfoloji görüntüleri Şekil 2’de gösterilmektedir. Ayrıca, matris ve takviye malzemesine ait partikül boyutu dağılım eğrileri de Şekil 3’te yer almaktadır. Şekil 2.a’dan anlaşılacağı üzere Al-Cu-Mg alaşımı partiküller başlangıçta çubuksu morfolojiye sahiptir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerin başlangıç morfolojisi Şekil 2.b’de görüldüğü gibi düzensiz ve çoğunlukla köşeli morfolojiye sahiptir. Partikül boyutu ölçüm deneyleri sonucunda Al-Cu-Mg alaşımı partiküllere ait ortalama (D50) partikül boyutunun 212,434 µm, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllere ait D50 partikül boyutunun ise 89,208 µm olduğu belirlenmiştir. Takviye partikülün boyutunun azalmasıyla elde edilen kompozit yapının sertliğinin arttığı literatürde daha önceki çalışmalarda araştırılmış ve deneysel olarak doğruluğu tespit edilmiştir. Ayrıca metal matris içerisine takviye edilen seramik partiküllerin partikül boyutunun azalması yine literatürde yer alan çalışmalarda ortaya konulduğu üzere, kompozit yapının mekanik özelliklerinin geliştirildiği tespit edilmiştir [19-21]. Bu bağlamda, bu çalışmada takviye partiküllerinin boyutu MA ve SP sonrasında elde edilecek kompakt malzemenin mekanik özelliklerinin yükseltilmesi için matris malzemesi partiküllerinden küçük olacak şekilde seçilmiştir.



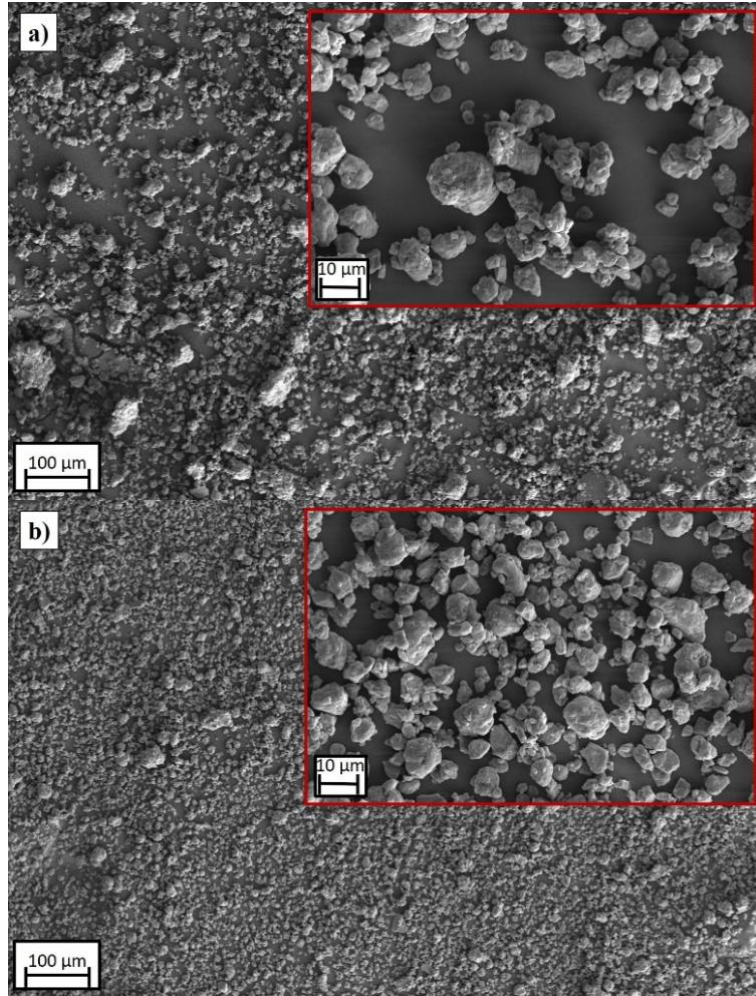
**Şekil 2.** Matris ve takviye partiküllerinin başlangıç morfolojisi incelemelerine ait SEM görüntüleri; Al-Cu-Mg (a) ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (b).

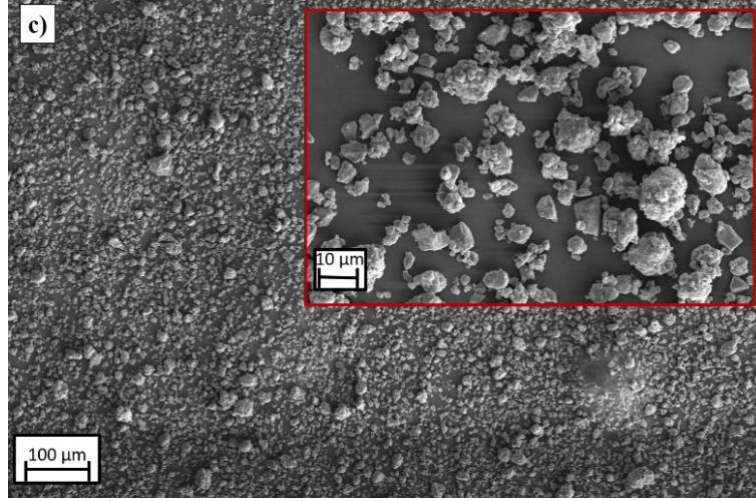


**Şekil 3.** Matris ve takviye partiküllerin partikül boyut ölçümü deney sonuçları.



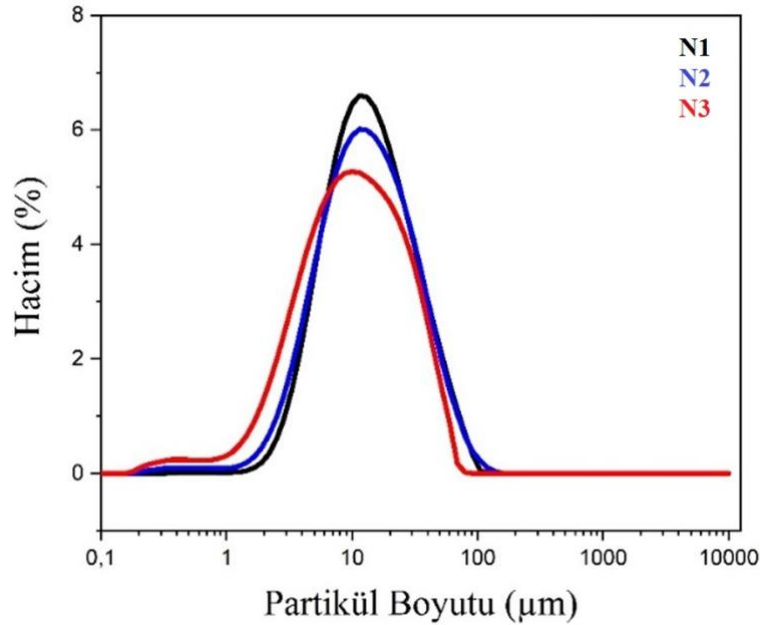
MA işlemi sonrasında elde edilen Al-Cu-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit partiküllere ait morfoloji incelemeleri Şekil 4.a-c’de gösterilmiştir. Şekil 4.a incelendiğinde, başlangıçta çubuk benzeri morfolojiye sahip Al-Cu-Mg ve düzensiz morfolojiye sahip Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküller MA işlemi sonrasında sünek matris partiküllerinin gevrek takviye partiküllerin etrafına sıvanma eğilimine girdiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte partikül boyutunda gözle görülür bir azalmanın mevcut olduğu da elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinden anlaşılmaktadır. Şekil 4.b ve c incelendiğinde, artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı ile elde edilen partiküllerin daha küçük partikül boyutuna sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum literatürde yer alan çalışmalarda ile uyumludur. MA işleminin başlangıç aşamalarında, sünek partiküller MA hücresinde bilyeler, partiküller ve kalıp duvarları arasında meydana gelen plastik deformasyonlardan dolayı genişleyip uzamaya, gevrek partiküller ise parçalanmaya maruz kalmaktadır. İlerleyen aşamalarda, sünek partiküller arasında soğuk kaynak olarak adlandırılan mekanik kenetlenme mekanizması gelişerek parçalanmış gevrek partiküller bu mekanizmanın içerisine hapsolmektedir. İşlemin nihai aşamasında, parçalanmış gevrek partiküller soğuk kaynaklanmış sünek partiküllerin ara yüzlerinde konumlanmakta ve böylece mekanik alaşımlama ile yeni bir kompozit partikül ortaya çıkmaktadır [22-24]. Manooni ve diğerleri (2021) yapmış oldukları çalışmada, literatür çalışmalarına benzer şekilde Al ve NiO partiküller arasındaki reaksiyonlar sırasında sünek-gevrek bir MA sistemi oluştuğu ve buna bağlı olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>3</sub>Ni, AlNi gibi kırılabilir fazların ortaya çıktığını ortaya koymuşlardır. Ortaya çıkan bu yeni fazların ara yüzey sınırlarına yerleşebileceğini ve sünek partiküllerin soğuk kaynak yapmasını engelleyebileceği sonucunu elde etmişlerdir. Ayrıca, gevrek partiküllerin kırılması ve sonrasında sünek partiküllerin ara yüzlerine yerleşmesi ile partikül boyutunun artmasının engellendiğini ve partikül boyutunun azaldığını ortaya koymuşlardır [25].





**Şekil 4.** Al-Cu-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerin MA işlemi sonrası morfoloji incelemeleri; N1 (a), N2 (b) ve N3 (c).

Şekil 5, MA işlemi sonrasında Al-Cu-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllere ait partikül boyutu ölçümü deneyinin sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4.a-c’de gösterilen morfoloji görüntülerine paralel olarak, yapıda ağırlıkça artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ile MA sonrasında artan takviye oranı ile partikül boyutunun azaldığı Şekil 5’ten açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Partikül boyutu ölçümü deneyleri sonucunda elde edilen D50 partikül boyutu ölçüm değerleri N1, N2 ve N3 partikülleri için sırasıyla 14,224 μm, 13,747 μm ve 10,885 μm olarak elde edilmiştir. Bu durum, sünek matris ile gevrek takviyenin MA işlemi sırasında maruz kaldıkları deformasyon ve gevrek partiküllerin yüksek sertliğe sahip olmalarından kesme etkisinden dolayı parçalanma eğiliminde olmaları ile açıklanabilir.

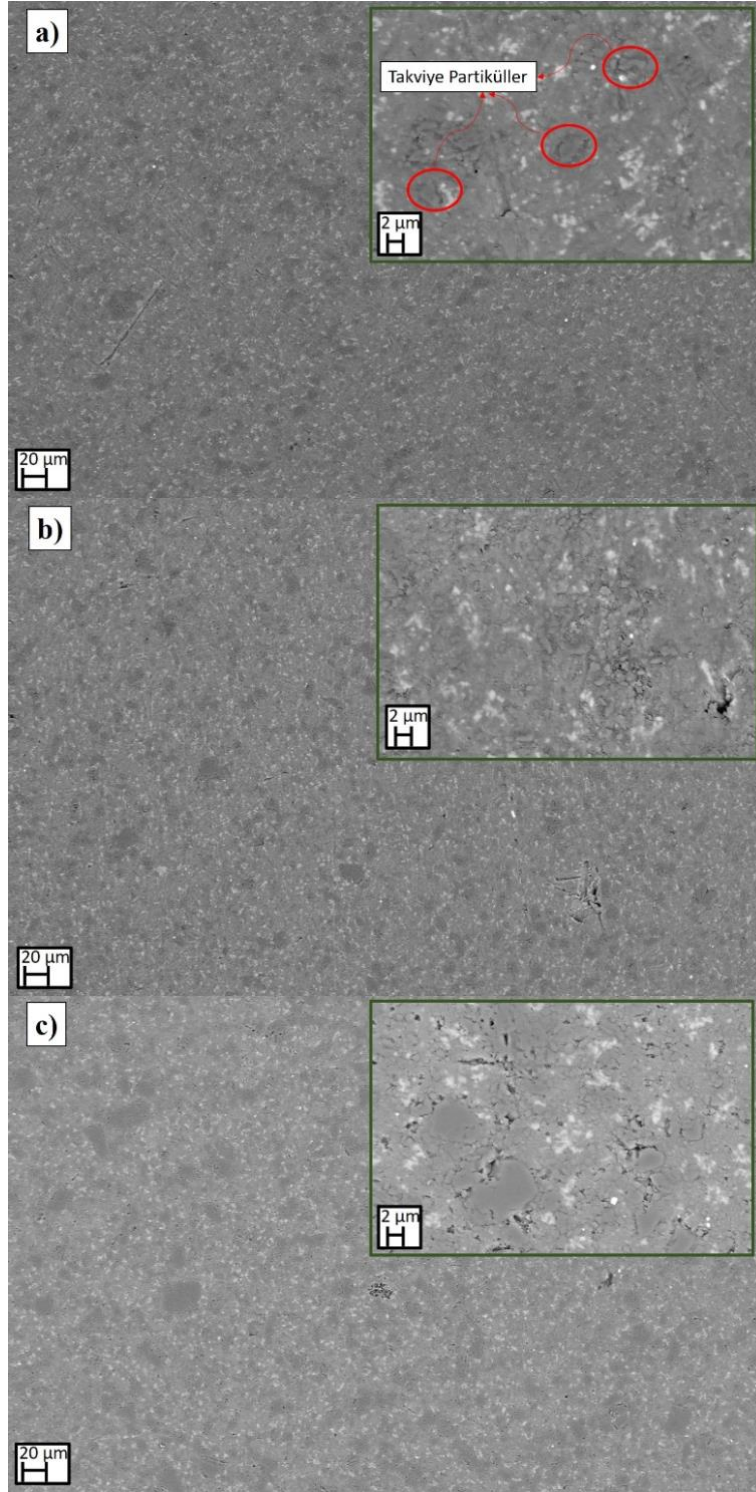


**Şekil 5.** MA sonrası N1, N2 ve N3 partiküllerinin boyut dağılım eğrileri.

## B. MİKROYAPI İNCELEMELERİ ve ELEMENTEL ANALİZ

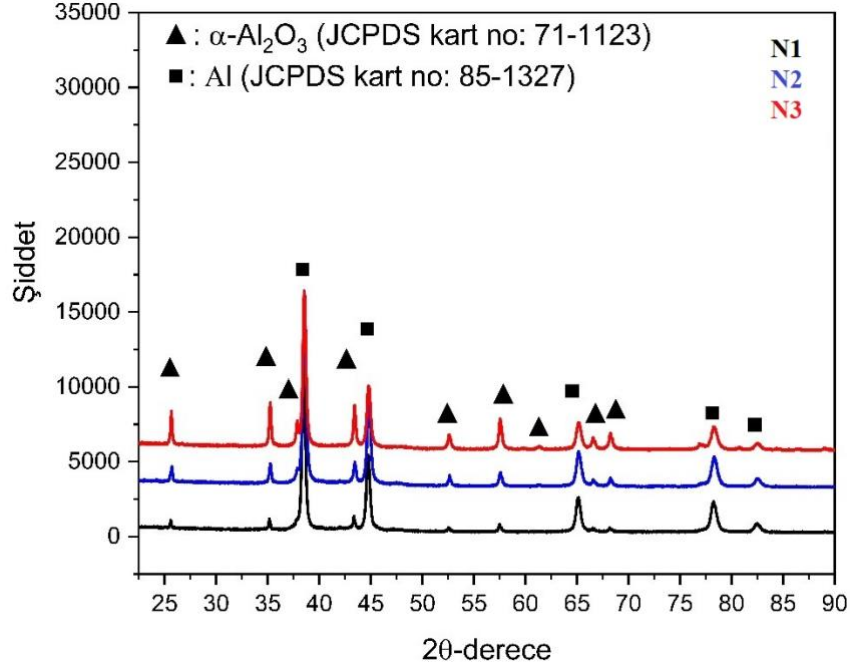
MA işlemi ile üretilen Al-Cu-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküller SP yöntemi yoğunlaştırılmak suretiyle kompakt hale getirilmişlerdir. Kompakt numunelerin mikro yapı incelemelerine ait SEM görüntüleri, Şekil 6.a-c’de gösterilmektedir. Şekil 6’ya göre, ağırlıkça artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı ile yapı içerisinde porozite oluşumunun arttığı görülmektedir. Bu duruma, literatürde yer alan daha önceki çalışmalarda da değinilmektedir. İki

veya daha fazla Al-Cu-Mg esaslı partikül, MA işlemi sırasında boyutu matrise göre daha küçük  $Al_2O_3$  partiküllerin matris partikülleri arasına girmesiyle temas edemez hale gelerek porozite oluşumu meydana gelmektedir. Buna ek olarak, katılan takviye  $Al_2O_3$  fazı sıkıştırılabilir davranışı olmayan bir bileşen olduğundan katkı oranı arttıkça kompozit karışımın sıkıştırılabilir davranışı da zaten düşmektedir. Bu soğuk presleme işlemi yapılan numunelerde boyut farklılığı ile kendini göstermektedir. Böylece, SP ile yoğunlaştırılabilir kabiliyetinde düşüş gözlemlenmektedir [18].



**Şekil 6.** Al-Cu-Mg/ $Al_2O_3$  kompakt numunelerin mikro yapı incelemelerine ait SEM görüntüleri; N1 (a), N2 (b) ve N3 (c).

Al-Cu-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompakt numunelere ait X-ışını kırınım desenleri Şekil 7’de gösterilmektedir. Şekil 7 incelendiğinde, N1, N2 ve N3 kompakt numunelerin tümünde Al ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarına ait desenler açık bir şekilde görülmektedir, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının artmasıyla kendine ait karakteristik piklerin şiddetleri de artmaktadır ve yapıda XRD analizi çözünürlük sınırları içerisinde herhangi bir farklı faza ait desen bulunmamaktadır. XRD desenleri incelendiğinde 37,60°, 45,32°, 65,13°, 78,71° ve 82,65° 'deki 2θ kırınım açısı ve göreceli yoğunluğu JCPDS kart no: 85-1327 ile uyumlu olarak Al fazına karşılık gelmektedir [26]. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazı için numunelerin 25,6°, 35,2°, 37,8°, 43,4°, 52,6°, 57,5°, 61,3°, 66,5° ve 68,2°'deki 2θ kırınım açısı ve göreceli yoğunluğu JCPDS kart no: 71-1123 ile uyumludur [27,28].



Şekil 7. N1, N2 ve N3 numunelerine ait X-ışını kırınım desenleri.

Şekil 7’de gösterilen XRD desenlerine ait veriler ve Denklem 2’de yer alan Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanan kristalin boyutları Tablo 3’te verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde üç numunenin kristalin boyutlarında ağırlıkça artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye oranına bağlı olarak bir azalma görülmektedir. Bu durum, literatürde yer alan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla desteklenmektedir. Bu bağlamda, Danish ve Siddiqui (2012), Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitler üretmişler ve deneysel çalışmaları neticesinde artan öğütme süresi ve artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye miktarı ile kristalin boyutunda azalmanın gözlemlendiğini raporlamışlardır [29]. Jeyasimman ve diğerleri (2015), AA6061 alaşımı ile ağırlıkça sırasıyla %0, %0,5, %1, %1,5 ve %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül takviyeli kompozit malzemeler üretmişlerdir. Üretim sonrası karakterizasyon işlemleri neticesinde yapı içerisinde ağırlıkça artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi ile kristalin boyutunun %0, %0,5, %1, %1,5 ve %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli malzemeler için sırasıyla 88,31 nm, 82,04 nm, 76,60 nm, 70,02 nm ve 57,06 nm olduğunu belirlemişlerdir [30]. Benzer karakterizasyon işlemleri için, bu çalışmada kristalin boyutu belirlemede kullanılan Denklem 2’de yer alan L sembolü kristalin boyutunu, K sembolü Scherrer sabitini, λ sembolü X-ışını dalga boyunu, β sembolü FWHM değerini ve θ sembolü Bragg açısını temsil etmektedir [31].

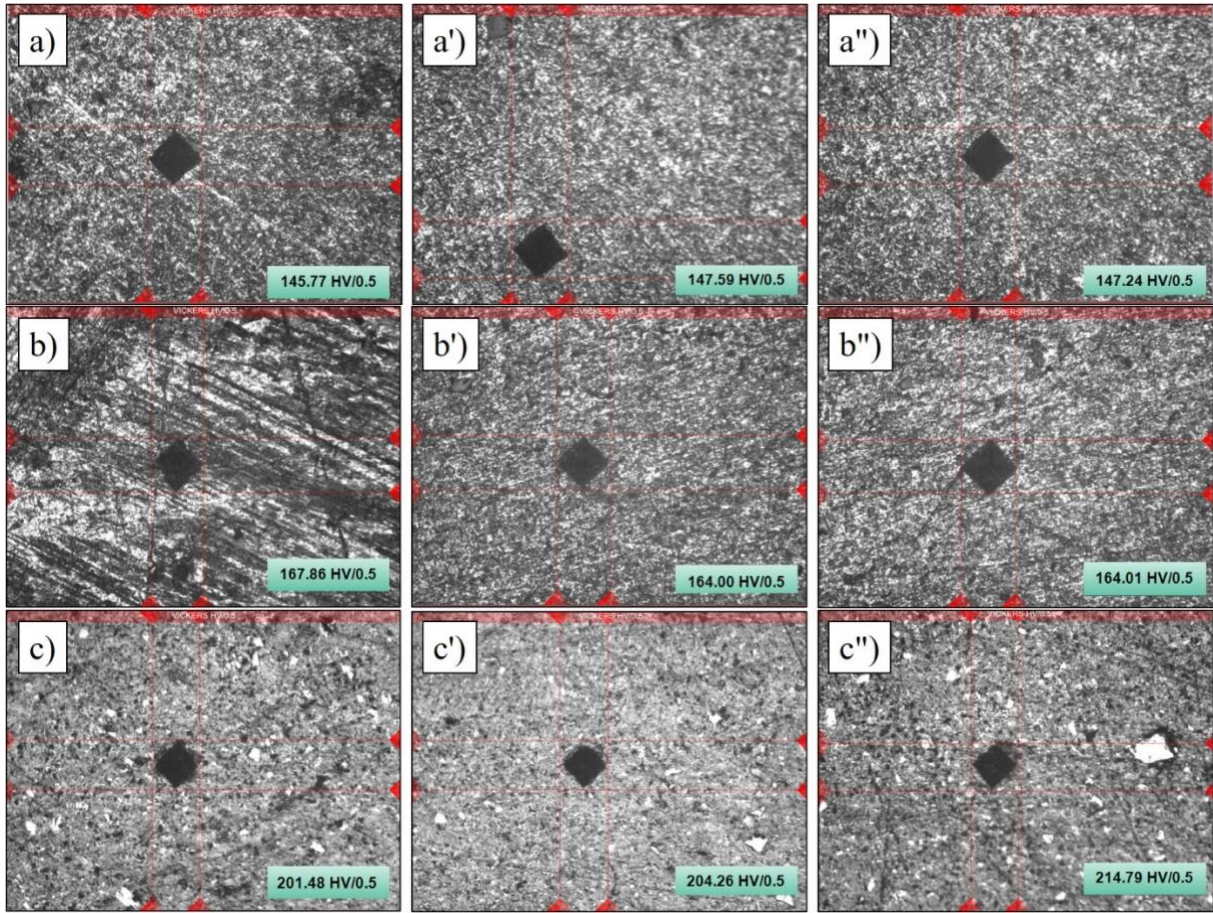
$$L = \frac{K \times \lambda}{\beta \times \cos \theta} \quad (2)$$

Tablo 3. Kompakt numunelere ait kristalin boyutları.

Numune	Kristalin Boyutu (nm)
N1	23,18
N2	21,38
N3	20,03

### C. SERTLİK ÖLÇÜM DENEYLERİ

Şekil 8, ağırlıkça farklı oranlarda  $Al_2O_3$  içeriğine sahip kompakt numunelere ait sertlik ölçüm deneyi sonuçlarını ve sertlik ölçümü sırasında batıcı ucun yüzeyde oluşturduğu izi göstermektedir. Şekil 8.a-a'' incelendiğinde, N1 kompakt malzemenin üç farklı bölgeden alınan sertlik ölçümleri sonucunda homojen bir sertlik dağılıma sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum Şekil 8.b-b'' ve Şekil 8.c-c'' incelendiğinde benzer olarak görülmektedir. N1, N2 ve N3 kompakt numunelerden elde edilen ortalama sertlik değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde en yüksek ortalama sertlik değerine (206,843 HV (0,5)) sahip kompakt numunelerin N3 olduğu belirlenmiştir.  $Al_2O_3$  fazının sert olması ve MA işlemi ile partikül boyutunun artan  $Al_2O_3$  miktarına bağlı olarak azalması, sertlik değerlerinin artan  $Al_2O_3$  miktarı ile artmasını sağlamıştır.



**Şekil 8.** Sertlik ölçüm deney sonuçları; Al-Cu-Mg+%10  $Al_2O_3$  içeren kompakt numune (a, a' ve a''), Al-Cu-Mg+%20  $Al_2O_3$  içeren kompakt numune (b, b' ve b''), Al-Cu-Mg+%40  $Al_2O_3$  içeren kompakt numune (c, c' ve c'').

**Tablo 4.** Deney numunelerine ait ortalama sertlik değerleri.

Numune	Ortalama Sertlik Değeri (HV/0,5)
N1	146,867
N2	165,290
N3	206,843

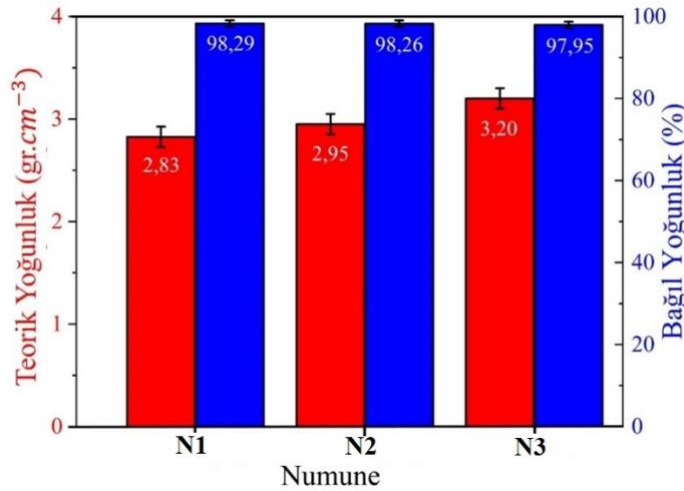
### D. YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ DENEYLERİ

Yoğunluk ölçümü deneyleri sonucunda elde edilen DY değerleri, Al ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için teorik yoğunluk değerleri kullanılarak yapı içerisinde ağırlıkça oranları dikkate alınmış ve hesaplanan teorik yoğunluk ile orantılanarak % olarak hesaplanmıştır. Al için teorik yoğunluk değeri 2,7 gr.cm<sup>-3</sup>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için teorik yoğunluk değeri 3,95 gr.cm<sup>-3</sup>'tür. Bu bağlamda N1, N2 ve N3 numunelerin teorik yoğunlukları Denklem 3'te yer alan teorik yoğunluk hesaplama formülü dikkate alınarak hesaplanmıştır. Denklem 3'te yer alan d sembolü yoğunluğu ifade ederken V sembolü ise hacim değerini ifade etmektedir. Yapılan hesaplama sonrasında N1, N2 ve N3 numunelerine ait teorik yoğunluk değerleri sırasıyla 2,825 gr.cm<sup>-3</sup>, 2,95 gr.cm<sup>-3</sup> ve 3,2 gr.cm<sup>-3</sup> olarak hesaplanmıştır.

$$d_{teorik} = d_{Al_2O_3} \times V_{Al_2O_3} + d_{Al-Cu-Mg} \times V_{Al-Cu-Mg} \quad (3)$$

DY hesaplamaları Arşimet prensibine göre özel bir deney düzeneğinde numunenin havada ve sıvı içindeki ağırlığının tartılması sonrası Denklem 1'de bulunan matematiksel formül kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney oda sıcaklığı koşullarında (25 °C) gerçekleştirilmiştir ve sıvı olarak yoğunluğu 1 gr.cm<sup>-3</sup> olan saf su kullanılmıştır. DY değerleri N1, N2 ve N3 kompakt numuneler için sırasıyla 2,777, 2,899 ve 3,135 gr.cm<sup>-3</sup> olarak hesaplanmıştır.

DY değerleri Arşimet prensibine göre belirlenen numunelerin teorik yoğunlukları ile orantılanarak % olarak hesaplanması sonrasında elde edilen bağıl yoğunluk değerleri Şekil 9'da gösterilmektedir. Şekil 9 incelendiğinde, artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarına göre teorik yoğunluk değerinin arttığı ancak %bağıl yoğunluğun artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı ile azaldığı görülmektedir. Benzer durumlar literatürde vurgulanmakla birlikte artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının MA işlemi sırasında parçalanarak küçülen gevrek partiküllerin sünek partiküllerin ara yüzeylerine yerleşmesi ve iki ya da daha fazla partikülün birbiriyle temas etmesini engelleyerek porozite oluşumuna yol açması şeklinde açıklanmıştır. Ayrıca Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin daha düşük sıkıştırılabilir kabiliyetine sahip olması da %bağıl yoğunluk değerinin azalmasında etkili bir faktördür [18,32,33].



Şekil 9. Numunelerin teorik ve bağıl yoğunluk değerleri.

## IV. SONUÇ

1. Al-Cu-Mg ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküller kullanılarak MA yöntemi ile 300 dk süre ve 10:1 bilye:toz oranı koşullarında başarılı olarak Al-Cu-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit partiküller olarak üretilmiştir. Başlangıç aşamasındaki partikül boyutu ölçümleri ile kıyaslandığında (Al için ortalama partikül boyutu 212,434 µm, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için ortalama partikül boyutu 89,208 µm) MA işlemi sonrasında elde edilen partikül boyutları sert Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin kesme etkisi sayesinde azalmıştır. Bu değerler N1, N2 ve N3 partikülleri için sırasıyla 14,224 µm, 13,747 µm ve 10,885 µm olarak ölçülmüştür.

2. X-ışını kırınım desenleri incelendiğinde bütün deney numunelerinde yalnızca Al ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarına ait desenler tespit edilmiştir. Bu sonuç, MA işlemi ve SP işlemi sırasında yapıda sırasıyla herhangi bir kirlilik, oksitlenme ya da ara yüzey reaksiyonu oluşmadığını ortaya koymuştur. Ayrıca, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının artması ile kompozit kompakt numunelerin kristalin boyutu değerlerinin gerini sertleşmesi ve tane iyileşmesi sonucu azaldığı, bu bağlamda N1, N2 ve N3 kompaktlarda elde edilen kristalin boyutu değerlerinin sırasıyla 23,18 nm, 21,38 nm ve 20,03 nm olduğu tespit edilmiştir.

3. Ağırlıkça artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye oranı ile sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Sertlik değerleri N1 numunesi için 146,867 HV (0,5), N2 numunesi için 165,290 HV (0,5) ve N3 numunesi için 206,843 HV (0,5) olarak ölçülmüştür.

4. Artan takviye oranına bağlı olarak DY değerlerinin N1, N2 ve N3 kompakt numunelerde sırasıyla 2,777, 2,899 ve 3,135 gr.cm<sup>-3</sup> olarak değiştiği belirlenmiştir. Ancak, ağırlıkça artan takviye oranı ile %bağlı yoğunluk değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, artan takviye partikül miktarı ile takviye partiküllerinin gevrek olmasından dolayı kırılma mekanizmasını meydana getirmesi ve sünek matris ara yüzeylerinde konumlanması dolayısıyla yapının yoğunlaşabilme kabiliyetini olumsuz etkilemesi şeklinde açıklanmaktadır.

**TEŞEKKÜR:** Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü, FBA-2020-8478 numaralı proje ile bu çalışmanın yürütülmesinde maddi destek sağlamıştır. Yazarlar, desteklerinden dolayı BAP'a teşekkür etmektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] M. Senthil Kumar & L. Natrayan, “Processing and Characterization of AA2024/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC Reinforced Hybrid Composites Using Squeeze Casting Technique,” *Iranian Journal of Materials Science and Engineering*, vol. 16, no. 2, pp. 55-67, 2019.
- [2] M. Rahimian, N. Ehsani, N. Parvin, H.R. Baharvandi, “The effect of particle size, sintering temperature and sintering time on the properties of Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites, made by powder metallurgy,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol.209, pp. 5387–5393, 2009.
- [3] P. Sharma, S. Sharma, D. Khanduja, “ A study on microstructure of aluminium matrix composites,” *Journal of Asian Ceramic Societies*, vol.3, pp. 240-244, 2015.
- [4] T. Varol, A. Canakci, S. Ozsahin, “Artificial neural network modeling to effect of reinforcement properties on the physical and mechanical properties of Al-Cu-Mg–B<sub>4</sub>C composites produced by powder metallurgy,” *Composites: Part B*, vol.54, pp. 224–233, 2013.
- [5] K.H. Min, S.P. Kang, D.G. Kim, Y.D. Kim, “Sintering, characteristic of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-reinforced 2xxx series Al composite powders,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol.400, pp. 150- 153, 2005.
- [6] Ş. Karabulut, “Optimization of surface roughness and cutting force during AA7039/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrix composites milling using neural networks and Taguchi method,” *Measurement*, vol.66, pp. 139–149, 2015.
- [7] J. Dinwoodie, “Automotive applications for MMCs based on shortstaple alumina fibres, SAE Technical Paper Series,” *International Congress on Exposition*, pp. 23–27, 1987.
- [8] M. Kök, “Abrasive wear of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle reinforced 2024 aluminium alloy composites fabricated by vortex method,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 37, no. 3, pp. 457-464, 2006.

- [9] U. Gökmen, “Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Al 2024 Esaslı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC Parçacık Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Karakterizasyonu,” 2. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu, Kırıkkale, Türkiye, 2017, ss. 80-86.
- [10] E.Y. Chen, L. Lawson, M. Meshii, “The distribution of fatigue microcracks in an aluminum-matrix silicon carbide whisker composite,” *Scripta Metallurgica et Materialia*, vol.30, pp. 737-742, 1994.
- [11] B. Prabhu, C. Suryanarayana, L. An, R. Vaidyanathan, “Synthesis and characterization of high volume fraction Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite powders by high-energy milling,” vol. 425, no. 1-2, pp. 192–200, 2006.
- [12] M. Zabihi, M. R. Toroghinejad, A. Shafyei, “Evaluating the mechanical behavior of hot rolled Al/alumina composite strips using shear punch test,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 618, pp. 490–495, 2014.
- [13] R. Pramod, G.B. Veeresh Kumar, P.S. S. Gouda, A. T. Mathew, “A Study on the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al7075 Metal Matrix Composites Wear behavior using Artificial Neural Networks,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 5, pp. 11376–11385, 2018.
- [14] A.Günen, ve E. Kanca, “Investigations on Machinability of Al Reinforced Al6061 Metal Matrix Composites,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* , vol. 20 no. 3, pp.434-441, 2016.
- [15] C. Reddy, “Evaluation of mechanical behavior of Al-alloy/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrix composites with respect to their constituents using taguchi technique,” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, pp. 26–32, 2011.
- [16] S. Ghanaraja, K. S. Ravikumar, H. P. Raju, B. M. Madhusudan, “Studies on dry sliding wear behaviour of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced Al based metal matrix composites,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, no. 9, pp. 10043-10048, 2017.
- [17] Z. Zhang, F. Liu, E.-H. Han, L. Xu, P. C. Uzoma, “Effects of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the microstructures and corrosion behavior of low-pressure cold gas sprayed Al 2024-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coatings on AA 2024-T3 substrate,” *Surface and Coatings Technology*, 2019.
- [18] T. Varol, A. Çanakçı, S. Özkaya, F. Erdemir, “Determining the effect of flake matrix size and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content on microstructure and mechanical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle reinforced Al matrix composites,” *Particulate Science and Technology*, vol. 36, no.3, pp. 312-323, 2018.
- [19] A. Canakci, F. Arslan “Abrasive wear behaviour of B4C particle reinforced Al-Cu-Mg MMCs,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.63, no.5-8, pp. 785–795, 2012.
- [20] J. M. Wu, Z. Z. Li, “Contributions of the particulate reinforcement to dry sliding wear resistance of rapidly solidified Al–Ti alloys,”. *Wear*, vol. 244, pp. 147–153, 2000.
- [21] R. L. Deuis, C. Subramaniun, J. M. Yellup, “Abrasive wear of aluminium composites—a review,” *Wear*, vol. 201, pp. 132–144, 1996.
- [22] B.J.M. Aikin, T.H. Courtney, “The kinetics of composite particle formation during mechanical alloying,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 24, pp. 647–657, 1993.
- [23] J.S. Benjamin, T.E. Volin, “The mechanism of mechanical alloying,” *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 5, pp. 1929–1934, 1974.




- [24] J.B. Fogagnolo, F. Velasco, M.H. Robert, J.M. Torralba, "Effect of mechanical alloying on the morphology, microstructure and properties of aluminium matrix composite powders," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 342, no.1-2, pp. 131–143, 2003.
- [25] S. Mamnooni, E. Borhani, D. Bovand, "In-Situ Synthesis of Aluminum Matrix Composite from Al–NiO System by Mechanical Alloying," *Metals and Materials International*, vol. 27, pp. 1631–1638, 2021.
- [26] V. Piriyawong, V. Thongpool, P. Asanithi, and P. Limsuwan, "Effect of Laser Pulse Energy on the Formation of Alumina Nanoparticles Synthesized by Laser Ablation in Water," *Procedia Engineering*, vol. 32, pp. 1107–1112, 2012.
- [27] S. Kumar, R. Prakash, and V. Kumar, "A novel yellowish white Dy 3+ activated  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phosphor: Photoluminescence and optical studies," *Functional Materials Letters*, vol. 08, no. 05, p. 1550061, Oct. 2015.
- [28] F. Zoladz et al., "Enhanced magnetic properties of aluminum oxide nanopowder reinforced with carbon nanotubes," *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 22, no. 6, p. 157, 2020.
- [29] M. Danis and M.A. Siddiqui, "Microstructural and Morphological Evolutions of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Powder Composite during Ball Milling," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol.1, no.10, 2012.
- [30] D. Jeyasimman, K. Sivaprasad, S. Sivasankaran, R. Ponalagusamy, R. Narayanasamy, and V. Iyer, "Microstructural observation, consolidation and mechanical behaviour of AA 6061 nanocomposites reinforced by  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles," *Advanced Powder Technology*, vol. 26, no. 1, pp. 139–148, Jan. 2015.
- [31] D. J. Lim, N. A. Marks, and M. R. Rowles, "Universal Scherrer equation for graphene fragments," *Carbon*, vol. 162, pp. 475–480, 2020.
- [32] M. Rahimian, N. Parvin, N. Ehsani, "Investigation of particle size and amount of alumina on microstructure and mechanical properties of Al matrix composite made by powder metallurgy," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 527, no. 4-5, pp. 1031–1038, 2010.
- [33] H. Ashuri, A. Hassani, "Characterization of severely deformed new composites fabricated by powder metallurgy including a stage of mechanical alloying," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 617, pp. 444–454, 2014.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Yöntemi Kullanılarak Vernaküler Mimarinin Sürdürülebilirliği: Akşehir Eski Evleri Örneği

 Hüseyin ÖZDEMİR <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Mimarlık Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hozdemir@ktun.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.979019

### Öz

Vernaküler mimari kültürel, çevresel ve sosyo-kültürel sürdürülebilirlik açısından yeniliklere rehber olmaktadır. Bu anlamda vernaküler mimari özelliklerini yansıtan Akşehir Eski Evleri araştırma konusu olmuştur. Akşehir'in eski evlerinden örnek alan olarak Arife Gürbüz, Vecihi küçük ve Musa Akgöl evi seçilmiştir. Geleneksel mimarinin geleceğe rehber olma özelliğinden yola çıkan bu çalışmada, Akşehir Eski Evleri'nin sürdürülebilir mimariye katkısını gösteren nitelikli bir yerel değer olarak ele alınmaktadır. Bu makale vernaküler mimarinin sürdürülebilirliğini yeni bir yaklaşımla ele almaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik kapsamında topografya, sıcaklık ve hâkim rüzgâr parametreleri ele alınmıştır. Bu parametrelere bağlı olarak Akşehir Eski Evleri'nin sürdürülebilirliği özelinde yapılan çalışmalar bulanık mantık yöntemi ile tespit edilmiştir. Bulanıklık kesin olmayan, belirsiz ve arada olma durumlarına sözlü anlatım ile matematiksel karşılık bulmadır. Bu çalışma bulanık mantık yönteminin farklı disiplinler arası alanlarda kullanılmasına yol göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Vernaküler mimari, Akşehir eski evleri, Sürdürülebilirlik, Bulanık mantık

## The Sustainability of Vernacular Architecture Using Fuzzy Logic: Akşehir Old Houses Example

### ABSTRACT

Vernacular architecture guides innovations in terms of cultural, environmental and socio-cultural sustainability. In this sense, Akşehir Old Houses reflecting vernacular architectural features have been the subject of research. Arife Gurbuz, Vecihi Kucuk and Musa Akgol house were selected as sample areas from the old houses of Akşehir. In this study, which is based on the characteristics of traditional architecture as a guide to the future, it is considered as a qualified local value that demonstrates the contribution of Akşehir old houses to sustainable architecture. This article addresses the sustainability of vernacular architecture with a new approach. Topography, temperature and prevailing wind parameters are covered within the scope of environmental sustainability. Depending on these parameters, the Fuzzy Logic method to the sustainability of the old houses in Akşehir was determined by particular studies. Blurring is a mathematical response to imprecise, uncertain and in-between situations by oral expression. This study demonstrates the use of fuzzy logic in different interdisciplinary fields.

**Keywords:** Vernacular architecture, Akşehir old houses, Sustainability, Fuzzy logic

# I. GİRİŞ

Yirminci yüzyılda, özellikle teknolojik gelişmeler ile birlikte dünyadaki enerji kullanımında artış gözlenmektedir. Bu artış dünyada çevre kirliliği, iklim değişikliği, karbon salınımının artması vb. birçok büyük tahribatlara neden olmaktadır. Dünyanın ekolojik dengesinin bozulması, gelecek kuşaklar için birer tehdit unsuruna dönüşmektedir. Evrenin kendi düzeni içerisinde devam edebilmesi için insan ayak izinin minimum düzeye indirgenmesiyle ekolojik dengenin sağlanması “sürdürülebilirlik” kavramı altında ele alınmaktadır. Sürdürülebilirlik, esas olarak doğal sistemlerin üretkenliğini ve sağlığını azaltmadan insanların ihtiyaçlarını sağlamaya yönelik bir dengeyi temsil etmektedir [1]. Bu doğrultuda sürdürülebilirlik kavramı başlığı altında binaların negatif çevresel etkilerini azaltmak için mimarları bir araya getirmektedir. Mimarlar evrende var olan bu etkilere çözüm olarak sürdürülebilir tasarım metotlarını ortaya çıkarmaktadır. Ancak bu metotlardan önce vernaküler mimari doğal çevre ve binalar arasında uyumu çoktan yakalamıştır.

Vernaküler mimarinin sürdürülebilir yaklaşımlarını ifade etmek için onun doğasını anlamak gerekmektedir. Fransızca “vernaculaire” sözcüğünden “yerli halka özgü olan” anlamına gelirken Latince “vernaculus” sözcüğünden türemiş “hane çocuğu, yerli, yerel” anlamlarına gelmektedir [2]. Onun doğasını tam anlamıyla tek bir kelime ile açıklamak güçtür. Ancak genel bir yaklaşım ile vernaküler mimari şu şekilde açıklanabilir: Sıradan insanlar tarafından kendi özel ihtiyaçlarını, kültürel değerlerini karşılayan, kültürel yaşam tarzlarına ve ekonomik durumlarına cevap vermek için inşa edilmiş mimariler olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle vernaküler mimari sadece kültürel birimler ve geleneksel yapı malzemeleri açısından değil aynı zamanda çevreye duyarlı olma ve iklim faktörlerinin de mimari üzerine yansımalarıdır.

Vernaküler mimari belirli bir coğrafyada inşa edilen yapılar çevre ile o çevrede yaşayan insanlar arasında yakın bir bağ oluşturarak kendi mimari dillerini sergilemektedir. Geleneksel mimari olarak da bilinen Vernaküler mimari, doğada insanların gereksinimleri ile toplum kültürünü, bilinçsiz olarak kucaklamaktadır [3]. Mimarlar, eserlerini insan, doğa ve toplum kültürü arasındaki uyum ile güçlendirip sürdürülebilir bir geleceğe doğru adım atarlar. Sürdürülebilir olmanın temel kaynağı, yere özgü mimari mirasın korunarak gelecek kuşaklara aktarılmasıdır. Bu anlamda yerel, yere özgü mimarinin yapım kültürü günümüz anlayışına rehber olacak şekilde incelenip özümsemelidir.

Bu makalede vernaküler mimari özelliklerini yansıtan Akşehir Eski Evleri inceleme konusu olmuştur. Bu çalışmanın amacı ilk kez bulanık mantık yöntemi kullanılarak yöreye ait vernaküler mimarinin sürdürülebilirliğini bir model oluşturarak tespit etmektir. Bulanık Mantık yöntemi birçok alanda kullanılmıştır. Ancak Mimari perspektifinden bakıldığında Vernaküler mimarinin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi anlamında çok eskiye dayanmayan ve az sayıda kaynakla karşılaşılmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak kentsel ara yüz modelleme [4], mevcut binalarda sismik hasarın değerlendirilmesi [5], mimari alan planlama tasarımı [6], bina yapımında tasarım kararları [7], cephe modeli önerisi [8], mimari tasarım parametrelerin değerlendirilmesi [9], hasta bakım ünitelerinin tasarım verimliliklerinin değerlendirilmesi [10] gibi başlıklar altında incelenmiştir. Bu çalışma ile mimarlık alanı dışında diğer birçok farklı disiplinler arası bilimsel alana önemli katkılar sağlanması beklenmektedir. Ayrıca geleneksel Akşehir Eski Evlerinden elde edilen tespitler ile vernaküler mimarinin çevreye olan duyarlılığını açığa çıkarma yönündedir. Yapılan çalışma, vernaküler mimarinin modern mimariye örnek olması, günümüz ve gelecekte çevreye duyarlı sürdürülebilir mimari yaklaşımların geliştirilmesinde vernaküler mimarinin kaynak gösterilmesi açısından önem taşımaktadır.

Geleneksel Akşehir Eski Evlerinden elde edilen veriler hakkında açıklama yapmadan önce çalışmanın daha iyi anlaşılması için bir sonraki kısımda çalışma alanının (Konya'nın Akşehir ilçesi) jeopolitik konumu ve tarihsel bir sürecinin açıklanmasıyla ilerlemektedir.

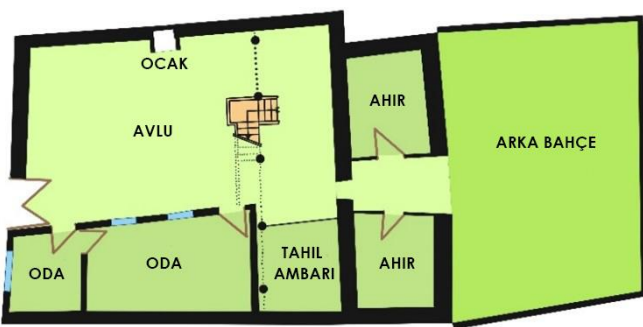
## II. ÇALIŞMA ALANI VE YÖNTEM

### A. ÇALIŞMA ALANI

Akşehir, Sultan Dağları'nın eteklerine kurulmuş, 38°02',00" kuzey enlemi ve 31°24',45" doğu boylamı üzerinde yerleşmiştir (Şekil 1). Kuzeydoğusunda Ankara, kuzeyde Eskişehir, kuzeybatıda Afyon, doğu ve güneybatıda Konya, batıda Isparta illeri ve Akşehir ilçe merkezinin kuzeyinde Akşehir Gölü ile çevrili Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi Konya ilinin bir ilçesidir [11]. İlçenin yüzölçümü 1442 km<sup>2</sup>, yıllık yağış miktarı 690 m<sup>3</sup>, yıllık sıcaklık ortalaması 12 °C, en önemli rüzgârı güneybatıdan eser (halk arasında gedavet denilen samyeli) ve karasal iklim hâkimdir [11].

Akşehir'de ilk yerleşim Neolitik çağdan (M.Ö 9000-5000) başlayıp kalkolitik, Eski Tunç, Hitit, Frig, Helenistik, Roma, Bizans, Selçuklu, Osmanlı döneminde ev sahipliği yaparak cumhuriyet Türkiye'sine ulaşmıştır [12]. Akşehir'in toprakları üzerinde yaşamış kültürler düşünüldüğünde, çok zengin bir kültür mozağına sahip olduğu görülebilir [12]. Neolitik Çağ'dan bu yana birçok döneme ev sahipliği yapan şehir, dönemlere ait mimarisi ve sivil mimari örnekleri olan Akşehir evleriyle mütevazı bir uyum içerisinde. Akşehir ilçesinin genetik kodlarında olan tarihsel zenginlik nitelikli mimari mekânların oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Akşehir ilçesine ait kültürel birikimler, mimari, tarım, ticaret, turizm ve sosyal yaşam gibi birçok alanı etkilemektedir. Yöreye özgü mimari bu ölçütlere bağlı olarak biçimlenmektedir. Akşehir eski evleri, yerleşim alanının büyüklüğü nedeniyle çalışma alanından seçilen 3 konut üzerinde değerlendirildi. Akşehir'in eski evlerinin örnek alanları olarak Arife Gürbüz, Vecihi küçük ve Musa Akgöl evi seçilmiştir (Tablo 1).

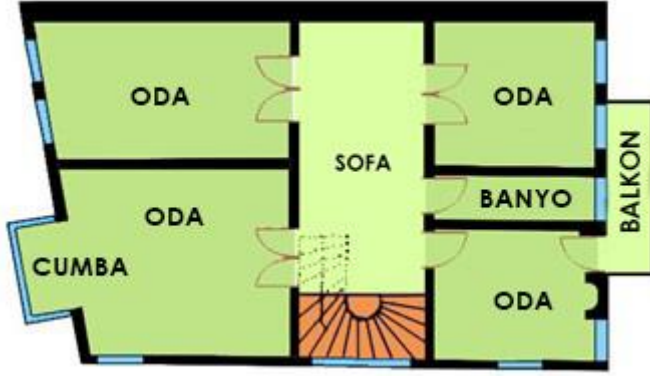
*Tablo 1. Çalışma kapsamında incelenen Akşehir Eski Evleri*

Zemin Kat Planları	Bina Materyalleri
	<b>Zemin Kat</b> kerpiç
	<b>1.Kat</b> kerpiç
	<b>Döşeme</b> Ahşap Kiriş
	<b>Çatı</b> Toprak
	<b>Sıva Materyali</b>
	Çamur alçı üzerine kireç
	<b>Kapılar</b>
	Ahşap
	<b>Pencereler</b>
	Ahşap Giyotin Pencere
	<b>Çıkmalar ve Balkonlar</b>
	Ahşap Kiriş/Ahşap Kaplama

Arife Gürbüz Evi [Bektaş [13] üzerinden geliştirildi]

Tablo 1 (devam). Çalışma kapsamında incelenen Akşehir Eski Evleri

Zemin Kat Planları



Musa Akgöl Evi [Kişisel arşivden]

Bina Materyalleri

**Bina Materyalleri**

Zemin Kat Kesme Taş

1.Kat kerpiç

Döşeme Ahşap Kiriş

Çatı Kiremit

**Sıva Materyali**

Çamur alçı üzerine kireç

**Kapılar**

Ahşap/Dökme Demir

**Pencereler**

Ahşap Giyotin Pencere

**Çıkmalar ve Balkonlar**

Ahşap Kiriş/Ahşap Kaplama



Vecihi Küçük Evi [Kişisel arşivden]

**Bina Materyalleri**

Zemin Kat Kesme Taş

1.Kat kerpiç

Döşeme Ahşap Kiriş

Çatı Kiremit

**Sıva Materyali**

Çamur alçı üzerine kireç

**Kapılar**

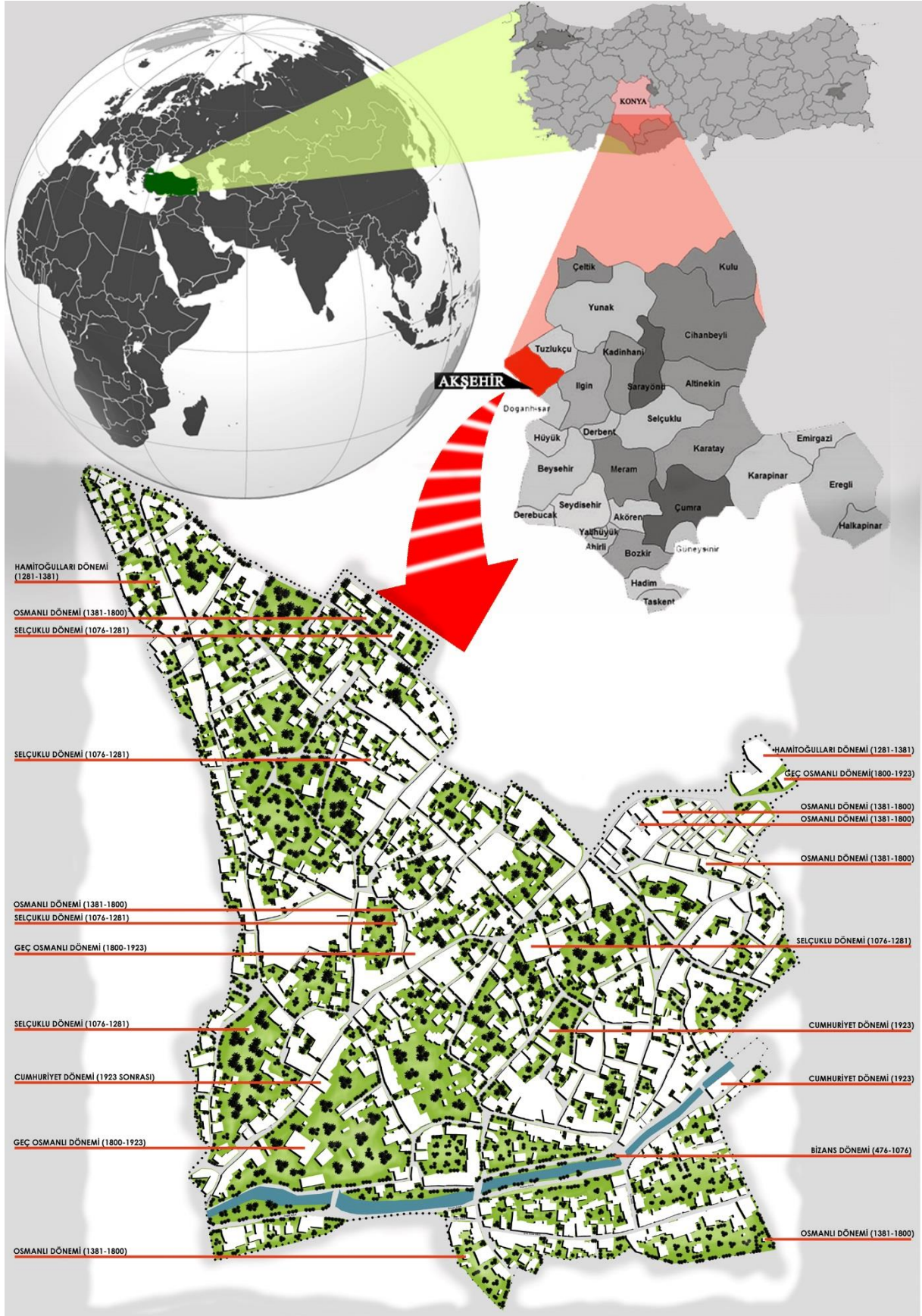
Ahşap/Dökme Demir

**Pencereler**

Ahşap Giyotin Pencere

**Çıkmalar ve Balkonlar**

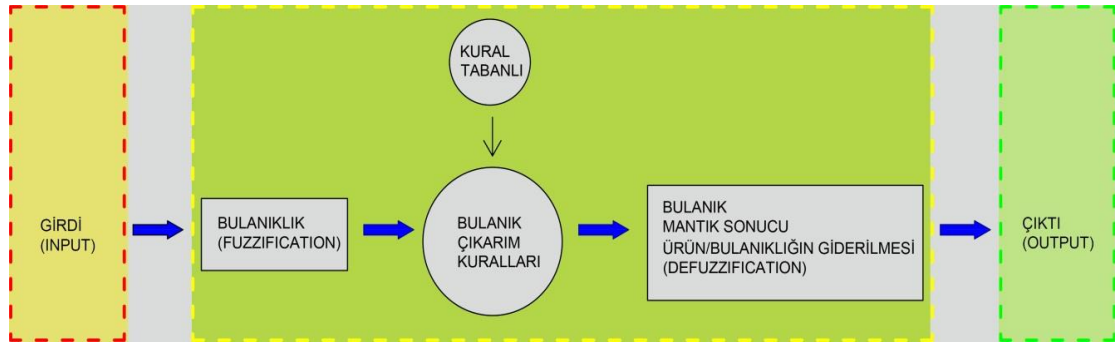
Ahşap Kiriş/Ahşap Kaplama



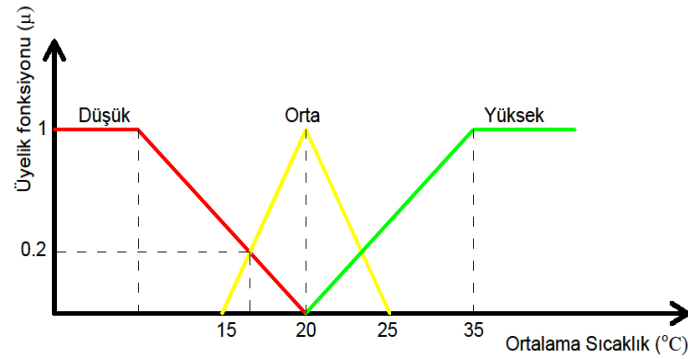
Şekil 1. Çalışma alanına şematik yaklaşım

## B. YÖNTEM

Bulanık mantık kavramı 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atıldı. Bulanık mantık doğası gereği tamamen istatistiksel değildir [14]. Fen bilimleri ve sosyal bilimlerde de bulanık küme yöntemi kullanılmaktadır. Bulanık mantık değişkenleri 0 ile 1 arasında değişen tamamen doğru ve tamamen yanlış arasında değişebileceği kısmi gerçeklik kavramını ele almak için genişletilmiştir [4]. Belirsiz ve kesin olmayan koşullar ile ilgilenir. Mamdani bulanık çıkarım yaklaşımı karmaşık sistemleri belirsiz ve / veya kesin olmayan koşullar altında modelleyebilir [15]. Mamdani yöntemi, uzmanlığı daha sezgisel, daha insan benzeri bir şekilde tanımlamamızı sağlar [16]. Aynı zamanda bulanık mantık bir bilgi çıktısı üretmek için kural tabanlıdır. Bu kurallar “Eğer... O halde... (If...Then...)” şeklindeki önermelerden oluşmaktadır (Şekil 2). Eğer X o halde Y şeklindeki bulanık koşullu bir durumda X ve Y bulanık bir anlam taşımaktadır. Örneğin Eğer odanın sıcaklığı düşükse o halde ısı valfını yavaşça yüksek seviyeye getir. Bulanık mantık yöntemi sonunda net bir değere dönüştürülür. Şekil 3’te ortalama sıcaklığının °C cinsinden “düşük”, “orta”, “yüksek” kurallarına bağlı olarak oda sıcaklığının etki düzeyinin dilsel terim ile yansıtılmasıdır. Şekil 3’e dönersek 16 °C oda sıcaklığı 0.2 üyelik dereceli “düşük” ve 0.2 üyelik dereceli “orta” dır. Bu oda sıcaklığının etkisinin hafifleteceği anlamına gelmektedir.



Şekil 2. Bulanık mantık yöntemi işleyiş diyagramı



Şekil 3. Bulanık mantık sistemi (Url 4 aracılığıyla geliştirildi.)

### **III. AKŞEHİR ESKİ EVLERİ**

Akşehir toprakları üzerinde yaşamış medeniyetler düşünüldüğünde çok zengin bir kültürel zenginliğe sahiptir. Türk kültürünü yansıtan sivil mimari örnekler ve farklı medeniyetlerden kalan mimari eserler uyum içerisinde. Tescillenmiş bu uyum Akşehir Eski Evleri olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4). Akşehir evlerini oluşturan etkenlerin başında; coğrafi konum, iklim şartları, içinde yaşanan hayatlar, ekonomik durum, dini inanışlar ve sosyal yaşam gelmektedir.

Akşehir, Sultan dağları eteklerine yaslanmış olarak yerleştiğinden Akşehir Eski Evleri eğimli bir arazi üzerinde konumlanmaktadır. Bu sebeple bazı evler ön cepheden iki katlı, arka cepheden üç katlı olarak görülmektedir. Bu eğim yönünde takip eden Akşehir Çay'ı da bitişik nizamda sıra evler olarak yerleşimi şekillendirmektedir. Akşehir'in kışın soğuk ve yağışlı; yazın sıcak ve kurak geçen karasal iklimi nedeniyle evlerde genellikle yöreye özgü kerpiç malzeme kullanılmaktadır. Kerpiç yaz aylarında aşırı ısının emilmesine izin verir, soğutma yüklerini azaltır ve ayrıca kışın ısıtma yükünü azaltır [18]. Bu nedenle kerpiç malzeme yazın serin, kışın sıcak tuttuğu bilinmektedir. Tekke Boğazı'na yakın yerleşen Akşehir Eski Evleri Güneybatı yönünden rüzgâra maruz kalmaktadır. Rüzgâra ve yağmura karşı dayanıklılık göstermesi için evlerin cephelerini teneke levhalar ile kaplanmaktadır.

Çalışmanın devam eden bölümlerinde geleneksel Akşehir Eski Evlerinin çevresel sürdürülebilirliği ele alınmaktadır.



*Şekil 4. Akşehir Eski Evleri (Yazar arşivinden)*

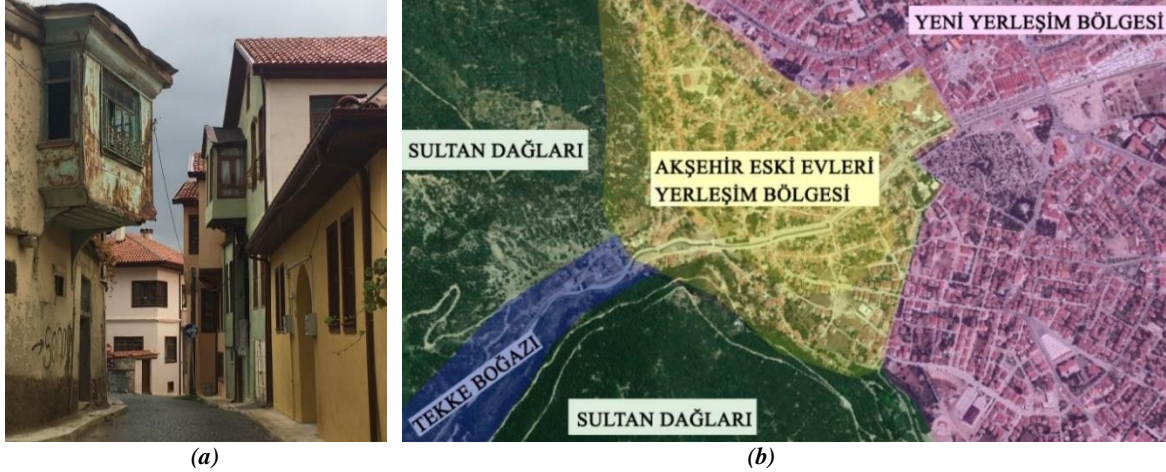


## IV. AKŞEHİR ESKİ EVLERİ'NİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ

Çevresel sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden mevcut neslin ihtiyaçlarını karşılamaya çalışan bir olgudur [19]. İnsan refahını geliştirme, hammadde kaynaklarının korunmasını sağlamanın<sup>1</sup> yanında insanın doğa üzerindeki olumsuz izlerini en aza indirerek çevreye olan duyarlılığını artırmaya çalışmaktadır. Bu çalışma kapsamında seçilen Akşehir Eski Evlerinin çevresel sürdürülebilirliği 3 kategori altında analiz edilmektedir. Çevresel sürdürülebilirlik altında sıcaklık, rüzgâr ve topografyaya uyum alt başlıklarında incelenmektedir.

### A. TOPOGRAFYA

Topoğrafya yapıların yerleşimini, kentlerin şekillenişini, yolların şekillenişini, yapıların birbirleriyle ve yolla olan ilişkilerini etkileyen önemli tasarım girdilerinden biridir. Akşehir Eski Evleri, Sultan Dağlarının eteklerinde Batından Doğuya doğru uzanan Tekke boğazına yerleşmiştir. Doğu-Batı ekseninde uzanan evler güneşten daha çok yararlanır [20]. Eğimli topoğrafya üzerine konumlanan evlerin genellikle arka cephesi toprağa gömülürken giriş cepheleri (ön cepheleri) açıktır. Güneş ışınlarının açısının düşük olduğu kış aylarında bu açıklık güneşten maksimum düzeyde fayda sağlamaktadır. Evler genellikle bitişik nizamda konumlanarak topoğrafya ile uyumlu kırsal yamaç yerleşmesi görünümündedir. Dağlık bir alanda yerleşen Akşehir Eski Evlerinin Sultan Dağlarıyla çevrili olması ve dar sokakların olması, yazın güneşin zararlı radyasyonunu önemli ölçüde azaltmasına neden olmaktadır. Akşehir'deki geleneksel mimari incelendiğinde topoğrafyaya karşı duyarlı olduğu görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Akşehir Eski Evleri (a-Yazar arşivinden, b- Google Earth üzerinden geliştirildi.)

### B. SICAKLIK

Mekânsal konforun sağlanması ve hammadde kaynaklarının korunması bakımından sıcaklık önemli bir rol oynamaktadır. Tablo 2'de Akşehir'in aylara göre ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık değerleri verilmiştir. En yüksek sıcaklık değeri Temmuz ve Ağustos aylarında ortalama +28,4 ° C iken en düşük sıcaklık değeri -2,1 ° C olarak hesaplanmıştır. Akşehir Eski Evleri'nde sıcaklık değişimlerine

<sup>1</sup> Ovalı, P. K. ve Delibaş, N., 2016, 518

bağlı olarak iç ve dış iklimsel değişkenler arası denge sağlanmaya çalışılmıştır. Güneşten faydalanmak için güneye bakan cephelerin genişlemesi, zeminde taş ve dış duvarlarda kerpiç malzemenin kullanılması, yapıya belirli bir su basman seviyesinden girilmesi mekânsal ısı konforunu sağlamayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda vernaküler mimari yapı sistemleri, termal salınım ile iklimlerde termal düzenleme için en ilginç özelliklerden birini verir. İç ve dış mekân konforu açısından ideal sıcaklık 20 ° C olarak kabul edilir. 10 ° C'nin altında, "düşük"; 15-25 ° C, "orta"; 20 ° C'nin üzerinde, "yüksek" olarak kabul edildi. Akşehir eski evleri yerleşim alanının büyüklüğünden dolayı çalışma alanından seçilen 2 ev üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Akşehir eski evlerinden örneklem alanı olarak Vecihi Küçük ve Musa Akgöl evi seçilmiştir. Kış aylarında Vecihi Küçük evinde iç mekân sıcaklığı 25 °C olarak ölçülürken Musa Akgöl evinde 28 °C olarak gözlemlendi. Yaz aylarında ise Vecihi Küçük evinde iç mekân sıcaklığı 23 °C olarak ölçülürken Musa Akgöl evinde 22 °C olarak gözlemlendi.

*Tablo 2. Akşehir iklim tablosu [21].*

	Oca	Şuba	Mar	Nisa	Mayı	Hazira	Temmu	Ağusto	Eylü	Eki	Kası	Aralı
	k	t	t	n	s	n	z	s	l	m	m	k
<b>Ort. Sıcaklık (° C)</b>	1.3	2.9	6	10.7	14.7	18.5	21.5	21.2	17.6	12.6	7.6	3.5
<b>Min. Sıcaklık (° C)</b>	-2.1	-0.7	1.2	5.4	9	12.3	14.6	14	10.5	6.5	2.6	0
<b>Maks. Sıcaklık (° C)</b>	4.8	6.6	10.9	16.1	20.5	24.8	28.4	28.4	24.7	18.7	12.7	7
<b>Yağış / Yağış (mm)</b>	67	64	64	64	53	42	15	12	18	45	51	73

### C. RÜZGÂR

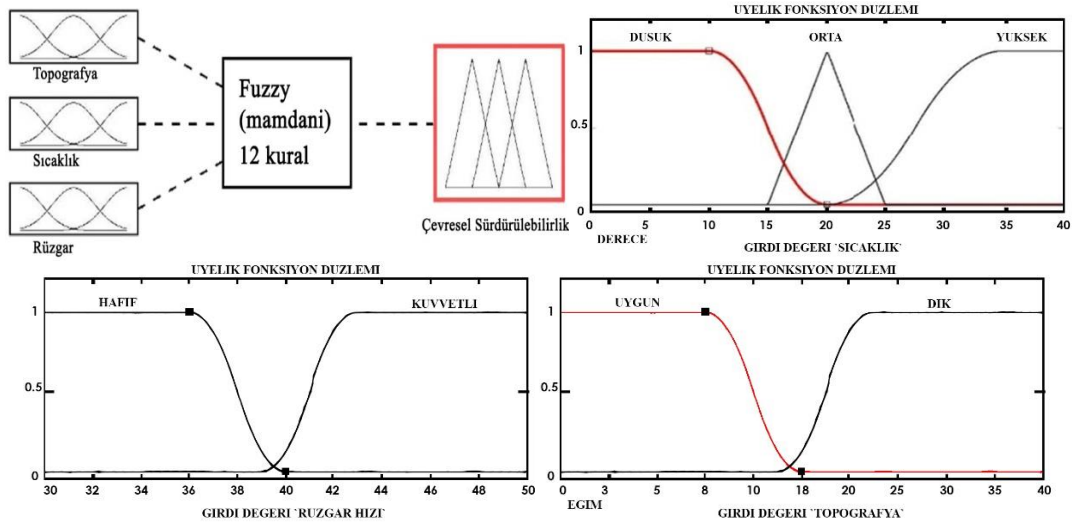
Rüzgâr kapı, pencere, duvar, çatı ve yapıların yerleşimini etkileyen bir diğer önemli tasarım girdilerinden biridir. Bu nedenle rüzgâr mimari yapıların yönlendirilmesinde dikkate alınır. Akşehir hâkim rüzgârı kuzeyden esmektedir. Kuzey rüzgârları soğuk olduğundan Akşehir Eski Evlerinin kuzey cepheleri kapalı veya topografyadan da yararlanılarak gömülüdür. Güneybatı yönünden esen rüzgâr Tekke Boğazından geçerek yağmur getirmektedir. Yağmur damlalarının bina yüzeyine çarpmasından dolayı binaların güneybatıya bakan duvarlar hasar görmemesi için teneke levhalar ile kaplanmaktadır (Şekil 6). Sıcak güney rüzgârlarının estiği yönde genellikle dışa dönük yaşam mekânları bulunmaktadır.



Şekil 6. Hasar görmemesi için cephenin teneke levha ile kaplanması (Yazar arşivinden)

## V. BULGULAR

Geleneksel Akşehir Eski Evleri Doğu-Batı doğrultusunda yerleşmiştir. Binalara dar bir sokaktan girilir. Tekke Boğazı üzerine yerleşmiş bu evler topografyaya uyum içerisindedir. Aynı zamanda hâkim rüzgâr yönündeki cepheler dışa kapalı veya toprağa gömülüdür. Yazın sıcak ve kurak geçen karasal iklimi nedeniyle mekânın iç-dış sıcaklığının dengelenmesi için (mekânsal konforun sağlanması) yere özgü taş, kerpiç gibi malzemeler kullanılmıştır. Şekil 7’de topografya, sıcaklık, rüzgâr parametrelerine göre üyelik dereceleri ve bulanık mantık yöntem aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 7. Parametrelere göre üyelik dereceleri

Akşehir Eski Evlerinin çevresel sürdürülebilirliği 12 kurala göre değerlendirilmiştir. Bu kurallar aşağıdaki gibidir:

1’inci kural: Eğer topografyaya uyumlu ve mekânın sıcaklığı düşük ve hâkim rüzgâr yönü kapalıysa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı düşüktür.

2’nci kural: Eğer topografyaya uyumlu ve mekânın sıcaklığı düşük ve hâkim rüzgâr yönü açıksa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı düşüktür.

3'üncü kural: Eğer topografyaya uyumlu ve mekânın sıcaklığı orta ve hâkim rüzgâr yönü kapalıysa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı ortadır.

4'üncü kural: Eğer topografyaya uyumlu ve mekânın sıcaklığı orta ve hâkim rüzgâr yönü açıksa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı ortadır.

5'inci kural: Eğer topografyaya uyumlu ve mekânın sıcaklığı yüksek ve hâkim rüzgâr yönü kapalıysa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı yüksektir.

6'ncı kural: Eğer topografyaya uyumlu ve mekânın sıcaklığı yüksek ve hâkim rüzgâr yönü açıksa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı yüksektir.

7'nci kural: Eğer topografyaya uyumsuz ve mekânın sıcaklığı düşük ve hâkim rüzgâr yönü açıksa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı düşüktür.

8'inci kural: Eğer topografyaya uyumsuz ve mekânın sıcaklığı düşük ve hâkim rüzgâr yönü kapalıysa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı düşüktür.

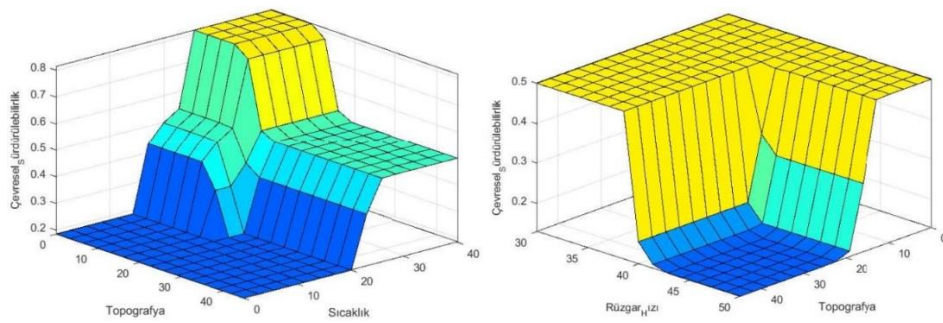
9'uncu kural: Eğer topografyaya uyumsuz ve mekânın sıcaklığı orta ve hâkim rüzgâr yönü açıksa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı düşüktür.

10'uncu kural: Eğer topografyaya uyumsuz ve mekânın sıcaklığı orta ve hâkim rüzgâr yönü kapalıysa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı ortadır.

11'inci kural: Eğer topografyaya uyumsuz ve mekânın sıcaklığı yüksek ve hâkim rüzgâr yönü açıksa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı ortadır.

12'nci kural: Eğer topografyaya uyumsuz ve mekânın sıcaklığı yüksek ve hâkim rüzgâr yönü kapalıysa o zaman çevresel sürdürülebilirlik katsayısı yüksektir.

Bu kurallara bağlı olarak çevresel sürdürülebilirlik katsayısı değerlendirilmiştir. Böylelikle Akşehir Eski Evleri'nin girdileri (topografyaya uyumunu, hâkim rüzgâr yönüne göre konumlanışı ve iç-dış mekân sıcaklığı) çevresel sürdürülebilirlik kapsamında incelenmiştir. Bu incelemeler neticesinde girdiler arasındaki etkileşimleri gösteren Şekil 8'deki yüzey grafikleri ortaya çıkmıştır.



Şekil 8. Girdiler arası etkileşim

## **VI. TARTIŞMA VE SONUC**

Vernaküler mimari; iklim ve arazi verilerini önemseyen, sosyal ve kültürel özelliklerin sürdürülmesini sağlayan bir mimarlık biçimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak günümüzde artan kentleşme ile birlikte yöresel mimari örneklerinin kullanımı azalmış, yeni yapım yöntemini ve malzeme kullanımını ortaya çıkarmıştır. Bu durum binaların enerji tüketimini artmasına ve doğaya verilen zararın artmasına neden olmaktadır.

Evrenin doğal dengesinin sürekliliğinin sağlanması gelecek kuşakların yaşamlarını sürdürebilmesi için önemli bir konudur. Bu anlamda doğanın çevresel sürdürülebilirliği insan-evren arasındaki uyumda gizlidir. Uyum doğanın bahsettiği iklim, topografya ile insanın ürettiği yaşam mekânı arasındaki muhtemel düzeyde yakın bir denge sağlandıkça yakalanabilir. Yıllar boyunca bu dengenin oluşturulmasında vernaküler mimari önerilmektedir. Vernaküler mimari sadece bilinçli materyallerin seçilmesi, doğal kaynakların etkili kullanılması açısından değil aynı zamanda çevreye duyarlı olma ve iklim faktörlerinin de mimari üzerine yansımalarıdır.

İnsanların yaşam alanlarını oluştururken doğaya küçük dokunuşlarla arazi anlamlı hale gelir. Arazinin vermiş olduğu imkânlardan faydalanılarak daha fazla güneşten yararlanma, insanların durup dinlenebileceği ve kimi zaman manzarayı seyredebileceği mekânlara dönüşmektedir.

Bu makalede vernaküler mimari özelliklerini yansıtan Akşehir Eski Evleri özelinde çevresel sürdürülebilirlik kavramı bulanık mantık yöntemi ile tespit edilmiştir. Çevresel sürdürülebilirlik kapsamında sıcaklık, rüzgâr ve topografya parametrelerine bakılmıştır. Bu parametreler binaların yerleşim ve yönelişini, kentlerin şekillenişini, bina planları ve yapı malzemelerinin seçimleri üzerindeki etkisini görmek mümkündür (Şekil 8). Geleneksel Akşehir Eski Evleri sıcaklık, rüzgâr ve topografya parametrelerine bağlı olarak çevresel sürdürülebilirliğe uygun inşa edilmiştir. İnşa etme eyleminde sadece mimari çevresel sürdürülebilirliğe değil aynı zamanda komşuluk ilişkilerinin kurulmasını ve toplumun kültürel değerlerinin bozulmadan gelecek kuşaklara aktarılmasını sağlamaktadır. Bu anlamda geleneksel evler yeni yapılaşmalar ve mimarlığa aktarılacak bilgiler hakkında önemli ipuçları verir. İklim koşullarına uygun bu evler iyi bir model olarak ele alınabilir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] U. Civan, "Akıllı Binaların Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [2] Etimolojiturkçe (2020, 10 Aralık). *Vernaküler*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.etimolojiturkce.com/arama/Vernak%C3%BCler>
- [3] H. Glassie, "Architects, Vernacular Traditions, and Society," *Traditional Dwellings and Settlements Review*, vol. 1, pp. 9-21, 1990.
- [4] H. A. Bala and T. Üstüntaş, "Modelling the Urban Interface by Using Fuzzy Logic," *Journal of Building Construction and Planning Research*, vol. 2, pp. 59-73, 2014.

- [5] P. Usta, N. Morova, A. Evcı, and S. Ergün, "Assessment of Seismic Damage on The Exist Buildings Using Fuzzy Logic," *4th International Conference on Operational Research (InteriOR)*, 2018, pp. 1-6.
- [6] A. Çekmiş, "Fuzzy Logic in Architectural Site Planning Design," *Procedia Computer Science*, vol. 102, pp. 176-182, 2016.
- [7] Ö. Ciftcioglu, S. Sariyildiz, and P. v. d. Veer, *Integrated building design decision support with fuzzy logic*, WIT Press, 1998.
- [8] B. Yıldız and B. Aktaş, "Mimari Tasarım Sürecinde Karar Verme: Bulanık Mantık Tabanlı Cephe Modeli Önerisi," *MSTAS*, 2017, pp. 172-181.
- [9] D. Chaurasia and Y. Garg, "Assessment of Building Architecture Design Parameters by Applying Fuzzy Logic Concepts," *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 5, pp. 122-127, 2016.
- [10] T. Kazanasmaz and G. Tayfur, "A Fuzzy Logic Model to Classify Design Efficiency of Nursing Unit Floors," *MEGARON*, vol. 5, pp. 11-22, 2010.
- [11] E. Doğan (2020, 21 Kasım). *Akşehir*. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.aksehir.web.tr/cografya.html>
- [12] Akşehir Kaymakamlığı (2020, 21 Kasım). *Akşehir*. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.aksehir.gov.tr/aksehir-tarihi>
- [13] C. Bektaş, *Akşehir Anadolu Evleri Dizisi-5*. Istanbul: Bileşim Yayınevi, 2005.
- [14] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [15] J. Sun, Y. P. Li, P. P. Gao, and B. C. Xia, "A Mamdani fuzzy inference approach for assessing ecological security in the Pearl River Delta urban agglomeration, China," *Ecological Indicators*, pp. 386-396, 2018.
- [16] A. Kaur and A. Kaur, "Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Air Conditioning System," *International Journal of Soft Computing and Engineering*, vol. 2, pp. 323-325, 2012.
- [17] Tutorialspoint (2020, 08 Aralık). *Fuzzy Logic*. [Çevrimiçi]. Erişim: [www.tutorialspoint.com/fuzzy\\_logic/index.htm](http://www.tutorialspoint.com/fuzzy_logic/index.htm)
- [18] A. P. O. Obafemi and S. Kurt, "Environmental impacts of adobe as a building material: The north cyprus traditional building case," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 4, pp. 32-41, 2016.
- [19] R. Goodland, "The Concept of Environmental Sustainability," *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 26, pp. 1-24, 1995.
- [20] Z. Zhai and J. M. Previtali, "Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation," *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 357-365, 2010.

[21] ClimateData (2020, 17 Aralık). *İklim Verileri*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tr.climate-data.org/>



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Soğutma Sistem Arızalarında Yüzeysel Sıcaklıklarının Kızılötesi Görüntü İşleme Yöntemi ile Değerlendirilmesi

 Ferzan KATIRCIOĞLU<sup>a</sup>,  Zafer CİNGİZ<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Mekanik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Elektrik ve Enerji Bölümü, Düzce MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: zafercingiz@duzce.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1069263

### Öz

Sanayileşmenin artması ile birlikte insan ve bina sayısındaki artış soğutma sistemlerine olan ihtiyacı da arttırmıştır. Soğutma sistemlerinin bakımı, ortaya çıkan arızalar ve bunların geç tespit edilmesi zaman maliyet sorunlarına yol açmaktadır. Soğutma sisteminin performansının düşmesi ya da arıza durumlarının oluşması enerji sarfiyatının yanında ekonomik maliyete de neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, soğutma sisteminde oluşabilecek arızaları tespit etmek için, kızılötesi görüntüleme kullanılarak yüzeysel sıcaklık değişimlerinin incelenmesi önerilmektedir. İlk olarak sistemin arka plan görüntüsü çıkarıldıktan sonra, görüntüler 25 alt bölgeye ayrılmaktadır. Soğutma sisteminde önemli görevleri olan elemanları içeren 9 alt bölge, arıza incelemesini kolaylaştırmak ve çalışmanın işlem hızını artırmak amacı ile seçilmiştir. Seçilen her bölge için maksimum yüzeysel sıcaklık, minimum yüzeysel sıcaklığı, ortalama ve en yoğun yüzeysel sıcaklığı olmak üzere 4 öznelik elde edilmektedir. Soğutma sisteminden alınan yüzeysel sıcaklık verileri kutu ve çizgi grafikleri ile analiz edilmiş, arızalar türleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, arıza çeşitlerinin yüzeysel sıcaklık özellikleri ortaya çıkartılarak, ele alınan tüm arıza türlerinin değerlendirilmesi mükemmel sonuçlarla gerçekleştirilmiştir. Geleneksel basınç, sıcaklık ve elektriksel ölçümler ile arıza belirleme yöntemlerine göre, gerçekleştirilen sistemin kullanım kolaylığı, uzaktan ölçüm ve eş zamanlı kayıt alma gibi özelliklerinden dolayı daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kızılötesi görüntü işleme, Soğutma sistemi, Öznelik çıkartma, Görüntü analizi

## Evaluation of Surface Temperatures in Refrigeration System Failures by Infrared Image Processing Method

### ABSTRACT

With the increase in industrialization, the increase in the number of people and buildings has also increased the need for refrigeration systems. Maintenance of refrigeration systems, malfunctions and their late detection cause time cost problems. The decrease in the performance of the refrigeration system or the occurrence of malfunctions cause economic costs as well as energy consumption. Therefore, in this study, it is recommended to examine the surface temperature changes using infrared imaging to detect the malfunctions that may occur in the refrigeration system. After removing the background image of the system first, the images are divided into 25 sub-regions. 9 sub-regions, which contain the elements that have important duties in the refrigeration system, have been selected in order to facilitate the fault investigation and increase the processing speed of the study. For each selected region, 4 features are obtained: maximum surface temperature, minimum surface temperature, average and densest surface temperature. The surface temperature data obtained from the refrigeration system were analyzed with box and line graphs, and the faults were evaluated together with their types. In this study, by



revealing the surface variation characteristics of the fault types, the evaluation of all the fault types discussed was carried out with excellent results. It has shown that the realized system is more advantageous than traditional pressure, temperature and electrical measurements and fault detection methods due to its features such as ease of use, remote measurement and simultaneous recording.

*Keywords: Infrared image processing, Refrigeration system, Feature extraction, Image analysis*

## **I. GİRİŞ**

Soğutma sistemleri gelişmiş ve gelişmekte olan modern yaşam için vazgeçilmez unsurlardır. Ürünlerin ve maddelerin bozulmadan istenilen sürelerde korunabilmesi, endüstride sıcaklığın önemli olduğu süreçlerin düzenlenmesi ve ortamların konforlarının sağlanabilmesi amacıyla bu sistemlerin yaygın şekilde kullanıldığı görülmektedir. Soğutma sistemlerinde farklı türlerde oluşan arızalar sistemlerin verimli çalışmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu arızaların bazılarının tespiti arızanın türüne bağlı olarak değiştiği için tespit edilmesi ve sorunun giderilmesi zaman alabilmektedir. Büyük soğutma sistemleri, oluşan arızaların teşhisi ve tespiti için gerekli ölçüm verilerine kısmen sahip olabilmektedir. Ancak küçük ve orta ölçekli sistemlerde yeterince ölçüm verisi alınmadığından tespit ve teşhis zor olmaktadır.

Soğutma sistemlerinde uygulanan yanlış bakım ve arızaları çözümleri, yüksek onarım maliyetlerine neden olmaktadır. Soğutma sistemlerinde basınç, sıcaklık ve elektrik tüketimi değerlerindeki değişiklikleri kontrol ederek standart çalışma koşulları ile karşılaştırmak arıza tespiti için kullanılan yöntemlerden biridir. Çevrimde ortaya çıkan hata ve arızalar, normal çalışma koşullarındaki parametrelerin ve buna bağlı olarak ta Performans katsayısının (COP) değişmesine neden olmuştur. Arızaların Tespiti ve Teşhisinin uygulanması, enerji, bakım ve onarım maliyetlerini düşürerek, sistemin uzun süreli hasar görmesinin önlenmesini sağlamaktadır [1]. Bu bağlamda, Rossi vd. [2] yaptıkları çalışmada çatı tipi iklimlendirme ünitelerinin soğutma sistemindeki sıcaklıkların ve nemin ölçülmesi ile arızaların tespiti için etkili bir yöntem sunmuşlardır. Her bir durum için normal ve arızalı durumlardaki veriler karşılaştırılarak teşhis gerçekleştirilmiştir. Bir diğer çalışmada, Braun [3] soğutma grupları, paket tipi klimalar ve buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri için otomatik arıza tespiti ile ilgili çalışmalara genel bir bakış yapmıştır. Kondenserde oluşan tıkanıklığın ve soğutucu akışkan eksikliğinin termodinamik değişikliklerin ölçülmesiyle tespit edilebileceğini belirtmiştir. Han vd. [4] tarafından buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinde arıza tespit ve teşhis (FDD) yöntemi adını verdikleri arıza tespiti çalışması yapılmıştır. Sensör maliyetinden tasarruf ederken FDD performansını iyileştirmek için veriye dayalı soğutma grubu FDD uygulamalarında bilgi tabanlı filtre ve genetik algoritma tabanlı özellik seçimi (FS) tekniklerini kullanmaktadır. Takip eden çalışmalardan biride Janecke vd. [5] sundukları statik ve dinamik arıza tespit yöntemidir. Bu yöntemde, transkritik soğutma çevrimleri için inceleme yapılmıştır. Düşük maliyetli sensörlerden alınan ölçümlerde kullanılan sanal sensörler, hatalı davranışı belirlemek için kullanılmıştır. Bu analiz, dinamik FDD yönteminin kullanılmasının faydalı olabilmesine rağmen, sensör sayısındaki artışın sınırlı olduğunu ve maliyetleri artıracağını göstermiştir. Choi vd. [6] R22'nin yerine R407C kullanılarak, genleşme cihazının bir sudan suya ısı pompasının performansı üzerindeki etkilerini çeşitli şarj koşulları altında araştırmışlardır. Bir kılcal boru ve bir elektronik genleşme valfi (EEV)'nin genleşme cihazlarını kullanan ısı pompası akışkan şarj miktarları değiştirilerek test edilmiştir. Soğutucu akışkanın şarjında sapma olduğunda, R407C'li EEV sistemi, R22 ve R407C kılcal boru sistemlerine kıyasla daha düşük soğutma kapasitesi ve COP değerine sahip olduğu görülmüştür. Siegel [7] üç kızgınlık tekniğini incelemiştir. Teşhislerden biri hariç diğer ikisi yanlış şarjı tespit etmek için uygun olmaktadır. Ayrıca, dört evde yapılan ölçümlerde, kondenser hava girişi sıcaklığının doğru ölçülmesinin önemli olduğunu göstermiştir. Soğutucu akışkan şarjının enerji kullanımı ve konut soğutma sistemlerinin kapasitesi üzerindeki önemi, kızgınlık testinin sınırlamaları, test yöntemi sonuçlarındaki ve ara yüzlerdeki değişiklikler, soğutucu akışkan şarj seviyesini belirlemek için standart yöntemlerin geliştirilmesini gerektirmektedir.

Soğutma sisteminde arıza tespit çalışmalarında Castro [8], sabit hızlı, pistonlu kompresörlü 12 ton kapasiteli hava soğutmalı bir soğutma sistemini incelemiştir. “Pistonlu kompresörlü ve R404a soğutucu akışkanlı 4.0 kW nominal soğutma kapasiteli chiller” yapılan çalışmada, soğutma çevrimindeki en yüksek COP'nin, soğutucu akışkan şarj hızının herhangi bir azalma yada artış olmadan gerçekleştiği bir zamanda meydana geldiği kanıtlanmıştır. Wang vd. [9] çalışmanın amacı, Bayes ağı (BN) ve temel bileşen analizini (PCA) bir araya getirerek gerçek uygulamalar için doğruluğu yüksek gelişmiş bir soğutma arıza tespit ve teşhis yöntemi önermektir. Test sonuçları, özellikle düşük seviyelerindeki arızalar için doğruluk oranının en fazla %43 oranında gerçekleşmiştir. Bu konudaki Bogdanovská'nın [10] çalışmasında, soğutucu akışkan R134a ve R404A kullanılan buzdolapları için yoğunmalı ünitelerin arıza analizi gerçekleştirilmiştir. Arıza Ağacı Analizi esas alınarak, yoğunmadaki hata sayısı %40 ve valf arızaları da yaklaşık %50 oranında azaltılmıştır.

Soğutma sistemlerinde görüntü işleme yöntemleri kullanarak inceleme, performans testi ve arıza teşhisi gibi konularda çalışmalar da farklı bir yöntem olarak literatürde yer almıştır. Bu yöntemlerden olan Katircioğlu vd. [11] sundukları çalışmada R22, R417A, R422A, R422D ve R438A soğutucu akışkanlarının performansını termal görüntü işleme tekniği ile incelenmiştir. Soğutucu akışkanın performansını değerlendirmek için Pearson Korelasyon Benzerlik Analizi (PKBA) ve yüzey sıcaklığına dayalı COP (COPST) ve kızılötesi görüntü analizi ile olmak üzere iki yöntem önerilmiştir. Bir diğer çalışmada Katircioğlu vd. [12], soğutma sisteminde oluşabilecek kaçakların tespiti için, kızılötesi görüntü işleme tekniğine dayalı yeni bir yöntem önerilmiştir. Katircioğlu vd. [13] tarafından R22 akışkanına alternatif olan, ozon tabakasına dost R417A ve R438A akışkanlarının ticari soğutma sistemlerine yönelik performans analizi yapılmıştır. Referans R22 gazı ile R438A ve R417A gazlarının performansları kızılötesi görüntü analizi ile gerçekleştirmek için bölgesel öz nitelik veri elde edimini ile COP olmak üzere iki yöntem önerilmiştir. Elde edilen sayısal ve görsel uygulama sonuçlarına göre, R22 gazına en yakın performansı R438A göstermiştir. Geleneksel hesaplamalı performans testlerine göre, uygulanan sistemin kullanım kolaylığı, uzaktan ölçüm ve eş zamanlı kayıt alma noktasında daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Yongbo vd. [14], yaptıkları çalışmada dönen makinelerin arıza teşhisini incelemiştir. Kızılötesi Termal (IRT) görüntü için evrişimli sinir ağı (CNN) kullanan bir arıza teşhis yöntemini içermektedir. İlk olarak, dönen makinelerin IRT görüntülerini yakalamak için IRT tekniği kullanılmıştır. İkinci olarak, IRT görüntülerinden hata özelliklerini çıkarmak için CNN uygulanmıştır. Sonunda, elde edilen öz nitelikler, hata örüntüsü tanımlaması için Softmax Regresyon (SR) sınıflandırıcısına gönderilmiştir. Taheri-Gravand vd. [15], yaptıkları çalışmada kızılötesi termal görüntüler kullanarak soğutma radyatörünün farklı koşullarının sınıflandırılması için yeni bir akıllı arıza teşhisi ve durum izleme sistemini sunmuşlardır. Sistem, altı tip soğutma radyatörü arızasını sınıflandırmak için test edilmiştir; radyatör borularının tıkanması, radyatör kanatçıklarının tıkanması, kanatlar ve borular arasındaki gevşek bağlantı, radyatör kapısı arızası, soğutma sıvısı sızıntısı ve normal koşullardır. Nasiri vd. [16], yaptıkları çalışmada soğutma radyatörü durumunun, motor performansını etkileyen faktörlerden biri olduğu vurgulanmıştır. Önerilen CNN modeli, radyatörün altı koşulunu sınıflandırmak için girdi olarak doğrudan kızılötesi termal görüntüleri kullanmıştır: normal, boru tıkanması, soğutucu sızıntısı, kapak arızası, kanatçıklar ve borular arasındaki gevşek bağlantılar ve kanatçık tıkanması. Modelin değerlendirilmesi, yapay sinir ağı gibi geleneksel hesaplamalı zeka yöntemlerinden daha iyi sonuçlara yol açtığını ve çeşitli çalışma koşullarında soğutma radyatörünün arıza teşhisi ve durum izlemesi için yüksek performans ve doğrulukla kullanılabileceğini göstermiştir. Mehta vd. [17], yaptıkları çalışmada rulman yatak arıza teşhisi için IRT'nin kullanımını sunmaktadır. Termal görüntünün ayrıştırılması için iki boyutlu bir ayrık dalgacık dönüşümü (2D-DWT) uygulanmıştır. Çıkarılan öz niteliklerin boyutsallığının azaltılması için temel bileşen analizi (PCA) kullanılmış ve ardından en ilgili öz nitelikler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, hataların sınıflandırılması ve performans değerlendirmesi için sınıflandırıcılar olarak destek vektör makinesi (SVM), doğrusal diskriminant analizi (LDA) ve k-en yakın komşu (KNN) dikkate alınmıştır. Sonuçlar, SVM'nin KNN'nin yanı sıra LDA'dan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Choudhary vd. [18], yaptıkları çalışmada asenkron motor (IM)'daki farklı rulman yatak hatalarını, yani iç ve dış yatak kusurlarını ve yağlama eksikliğini teşhis etmek için ortaya çıkan iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü (2D-DWT) tabanlı bir IRT yöntemi önerilmiştir. Sınıflandırma sonuçları, destek vektör makinesi (SVM)'nin karmaşık karar ağacı (CDT) ve diskriminant analizi (LDA)'dan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Önerilen

strateji, rulman arızası nedeniyle planlanmamış ve istenmeyen sistem kapanmalarını önlemeye yardımcı olan IM'deki rulman arızalarının kendi kendine uyarlamalı tanınması için kullanılabilir.

Bu çalışmanın amacı, soğutma sistemlerindeki arızaların hızlı ve uzaktan tespitini yapmak için kızılötesi görüntü işleme tekniği kullanılarak sistemin yüzey sıcaklıklarının farklılıklarının incelenmesini gerçekleştirmektir. Soğutma sisteminde de kompresör, kondenser, evaporatör gibi önemli görevleri olan elemanları içeren 9 alt görüntünün, arıza incelemesini kolaylaştırmak ve çalışmanın işlem hızını artırmak amacı ile yüzey sıcaklıkları çalışma alanı olarak seçilmiştir. Seçilen her bölge için maksimum yüzey sıcaklık, minimum yüzey sıcaklığı, ortalama ve en yoğun yüzey sıcaklığı olmak üzere 4 öznitelik elde edilmektedir. Soğutma sisteminden alınan bu veriler normal ve arızalı durumlarındaki farklılıkları belirleyerek arıza teşhisi için ön bir inceleme ve değerlendirme basamağını oluşturmaktadır.

Literatürdeki ve genel uygulamalarda kullanılan yöntemlerde birden fazla sayıda oluşan arızaların yüzey sıcaklık bilgilerinin kullanılmaması, bu yöntemin literatüre göre en büyük üstünlüğünü oluşturmaktadır. Bu çalışma sayesinde bundan sonra gerçekleştirilecek soğutma sistemlerindeki arıza teşhis uygulamalarında öz nitelik çıkartma yöntemi olarak kullanılacaktır.

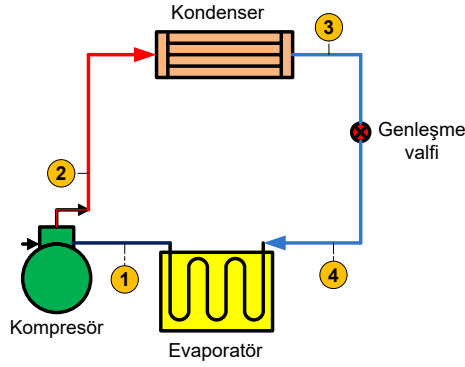
Bu çalışmada ikinci bölümde, soğutma sisteminin deney seti kurulumu ve bu sistemde arıza türlerinden kısaca bahsedilmiştir. Soğutma sistemlerinde çeşitli arıza durumlarında yüzey sıcaklıklarının kızılötesi görüntü işleme yöntemi ile incelenmesi için özniteliklerin elde edilmesi ve önerilen yöntemin safhaları üçüncü bölüm altında sunulmuştur. Dördüncü bölümde, önerilen yöntemin sayısal sonuçları ve grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen görsel ve sayısal sonuçlar arıza durumlarına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Son bölümde ise yöntem ile ilgili değerlendirmeler yapılmış ve ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

## **II. MATERYAL VE METOT**

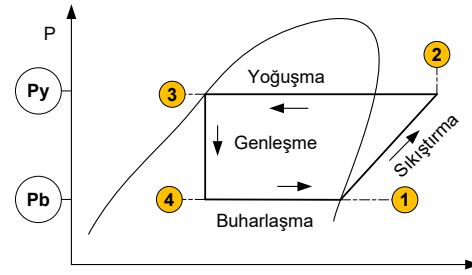
### **A. MATERYAL**

Soğutma sistemlerinin büyük kısmı buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin prensiplerine uygun çalışmaktadır. Şekil 1, basit bir buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin şematik diyagramını ifade etmektedir. Teorik analizi dört temel süreçten oluşan çevrimin termodinamik analizi Şekil 2, P-h diyagramı kullanılarak yapılmaktadır. İdeal çevrim, yoğuşturucu, buharlaştırıcı, kısılma (genleşme) vanası ve kompresör olmak üzere 4 temel bileşenden oluşmaktadır.

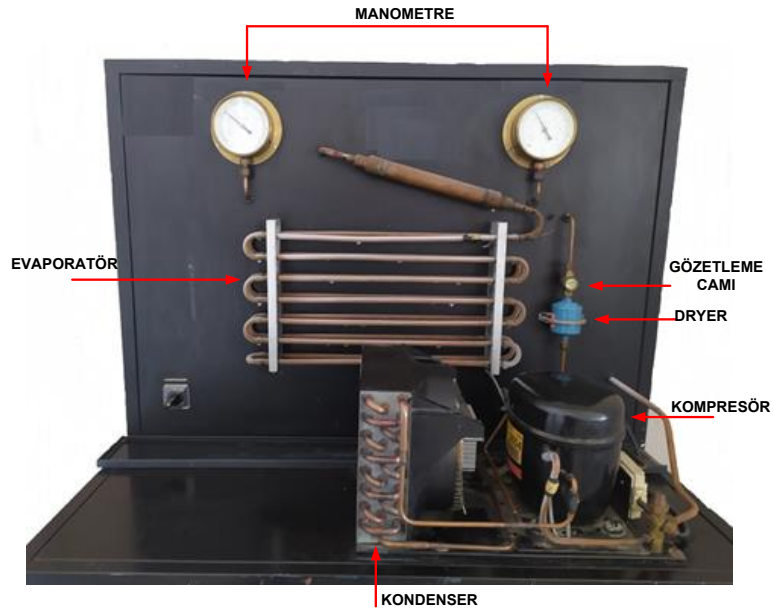
Ev tipi ve ticari tip soğutma cihazları için soğutma işleminde, genleşme cihazı olarak bir kılcal boru veya termostatik genleşme valfinin kullanıldığı buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi tercih edilmektedir. Yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı içindeki soğutucu akışkanın faz değişimini gerektiren buhar sıkıştırımlı soğutma sistemidir [19]. Deneysel sistem, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi esasına göre dizayn edilmiştir. Deney sisteminde soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan soğutma deney seti şekil 3'de ve kullanılan tüm komponentler ile ölçüm ekipmanların pozisyonları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 1. Buhar sıkıştırmalı soğutma sistemi



Şekil 2. P-h diyagramı



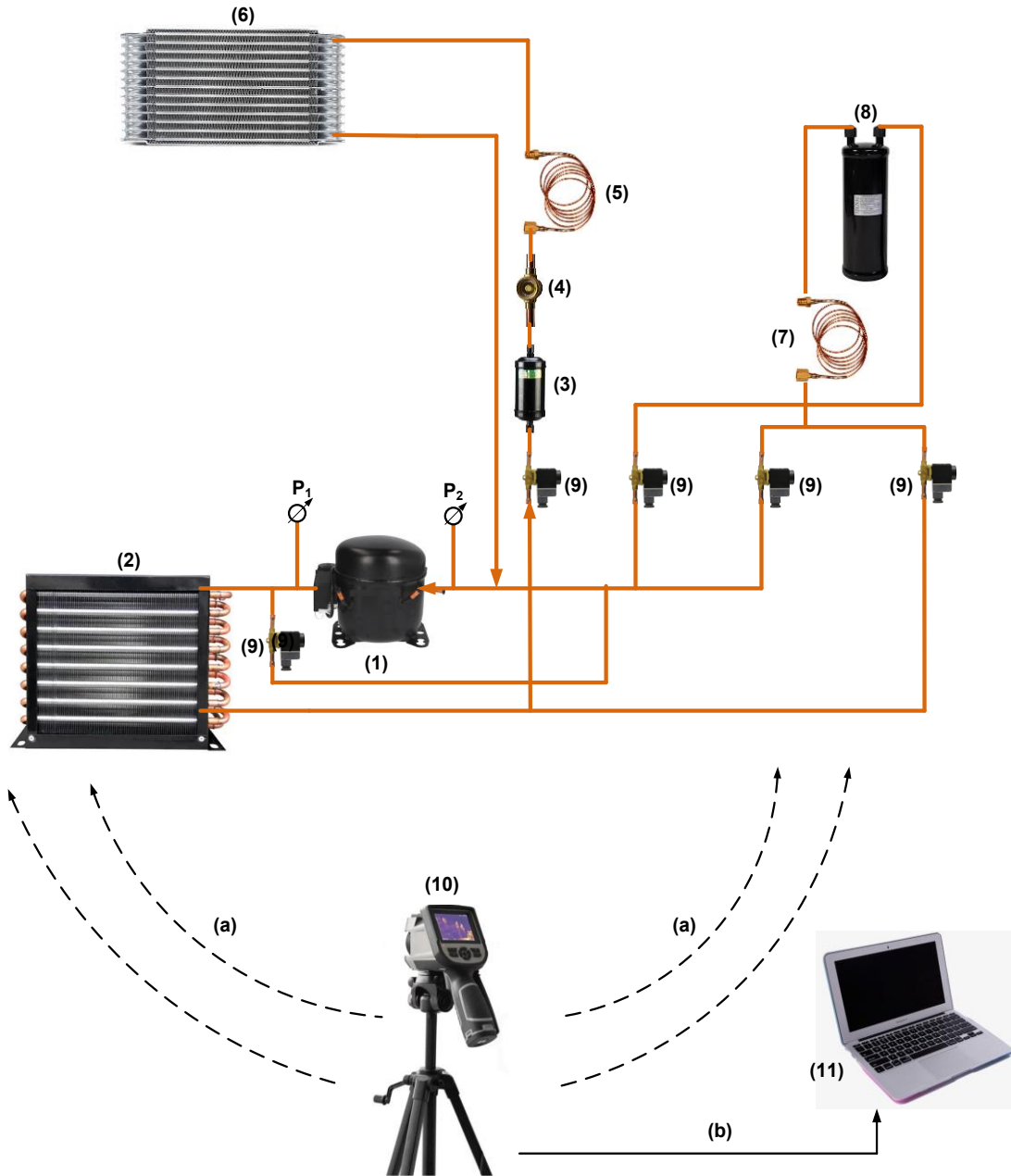
Şekil 3. Soğutma sistemi deney seti

Tablo 1. Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanların özellikleri

Ekipman ve Sensörler	Teknik Özellikler
Kompresör	Hermetik pistonlu, Akışkan: R22, Güç: 288 W
Kondenser	Hava soğutmalı, max. hacimsel hava akış oranı: 300 m <sup>3</sup> /h
Evaporatör	Çıplak borulu, max. hacimsel hava akış oranı: 180 m <sup>3</sup> /h
Genleşme Valfi	Kılcal borulu, 1.5 m
Soğutma kapasitesi	463 W, R22 soğutucu akışkan
Akümülatör	Emiş hattı, Çalışma basıncı: 33 bar, Min.Max sıcaklık: -10 <sup>0</sup> C-+100 <sup>0</sup> C
Drayer	Kaynaklı
Gözetleme camı	Kaynaklı
Gaz Dolum Cihazı	Dijital terazili gaz şarj istasyonu, Basınç gösterge: 0..30 Bar
Manometre	Soğutma grupları için, alttan çıkışlı direk bağlantılı, Basınç aralığı: -1..9 Bar/-1..24 Bar
Termal Kamera	FLIR E8-XT, Kızılötesi çözünürlük (IR): 320x240 (76800 piksel) Termal hassasiyet: <0.05 °C/<50 mK, Minimum odak uzaklığı: 0.5 m,

Termal duyarlılık:  $<0.06$  °C,  
Nesne sıcaklık aralığı:  $-20/+550$  °C, Doğruluk:  $+10$  °C ile  $+35$  °C arasındaki ortam sıcaklığı ve  $+0$  °C üzerindeki nesne sıcaklığı için  $\pm 2$  °C veya okumanın  $\pm 2$  %'si

Tasarlanan deney sisteminde kullanılan ekipmanların teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Kullanılan termal kamera sıcaklık aralığı  $-20/550$  °C doğruluğu çözünürlüğü  $320 \times 240$  ve termal hassasiyet ve duyarlılığı yüksek bir kamera olup deney setine olan uzaklığı  $1.5$  m'dir.



**Şekil 4.** Deney sisteminde kullanılan tüm komponentler ve ölçüm ekipmanlarının pozisyonları (1)Kompresör (2)Kondenser (3)Drayer-kurutucu (4)Gözetleme camı (5) Genleşme valfi (6)Evaporatör (7) Kılcal boru (8) Akümülatör (9) Selenoid valf (10) Termal kamera (11) PC (a) Termal kamera ile görüntü alınması (b) Veri aktarımı (P<sub>1</sub>) YB manometresi (P<sub>2</sub>) AB manometresi

## B. ARIZA TÜRLERİ

Bu deney seti farklı soğutma arızalarını tespit etmek için tasarlanmıştır. Sistemde toplam beş farklı arıza oluşturulabilir. Bu arızalar ve kısaltmaları Tablo 2’de gösterilmiştir.

*Tablo 2. Arıza listesi, kısaltmalar ve arıza belirtileri [1]*

ARIZALAR	ARIZA BELİRTİLERİ							
	Emme hattı basıncı	Basma hattı basıncı	Kızgınlık	Aşırı soğutma	Soğutucu akışkan debisi	Yüzey sıcaklığı	Soğutma kapasitesi	Kısaltmalar
Kompresör arızası	Yüksek	Düşük	Yok	Yok	Düşük	Yüksek	Azalı	KA
Genleşme valfi tıkalı arızası	Düşük	Düşük	Yüksek	Sabit	Düşük	Yüksek	Azalı	GVT
Eksik soğutucu akışkan şarjı arızası	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Azalı	EŞ
Aşırı soğutucu akışkan şarjı arızası	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Artar	AŞ
Kirli kondenser arızası	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Azalı	KK
Normal şartlar (Arıza yok)	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	NŞ

Deney sisteminde bu arızaların daha iyi anlaşılması için normal çalışma koşullarının bilinmesi arıza tespit ve teşhisi için gereklidir. 20 °C ortam sıcaklığında tutulan ortamda deneyler yapılmıştır. Deneylerin gerçekleştirileceği sisteme soğutucu akışkan öncelikle sistem vakum edilerek elektronik terazi kullanılarak 700 g miktarında akışkan şarjı yapılmıştır. Deneylerin stabil ve sağlıklı bir ortamda gerçekleştirilebilmesi, farklı çalışma ve arıza durumlarının performanslarının daha gerçekçi şekilde incelenebilmesi için sistem kapalı bir ortamda, dış sıcaklık sabit olacak bir şekilde tasarlanmıştır. Veriler her çalışma durumu için sistem çalışırken termal kamera ile görüntüler, normal ve arızalı çalışma durumları kararlı hale geldikten sonra 10’ar dak ara ile alınmıştır. Arıza türleri aşağıda oluşum nedenleri ve getirmiş olduğu sonuçlar ile açıklanmaktadır.

NŞ: Normal, Bu durum sistemin hatasız normal çalışmasıdır.

EŞ: Sisteme gerektiğinden daha az miktarda soğutucu akışkanın şarj edilmesi durumudur. Bu durumda sistemin kızgınlığı artacağından ve kompresörün emiş basıncı olması gereken miktardan az olacaktır. Soğutma kapasitesi azalmaktadır.

AŞ: Soğutucu akışkanın sisteme olması gereken miktardan daha fazla şarj edilmesi durumudur. Bu durumda kızgınlık miktarı azalacağından soğutucu akışkanın kompresöre olması gerekenden başka fazda girme olasılığı artacaktır. Kompresör emiş basıncı ve soğutma kapasitesi artmaktadır.

KK: Kondenser yüzeyinin bir kısmının ya da tamamının toz, kir ya da başka bir nedenden dolayı kirlenmesi ile ısı alışverişi zorlanır ve kondenser yüzeyinde tıkanma meydana gelir, evaporatör ile ortam arasındaki ısı alışverişi engellenmiş olacaktır. Soğutma çevriminin verimliliğinde ve soğutma kapasitesinde azalma meydana gelmektedir.

GVT: Genleşme valfi tıkanır emme ve basma basınçları düştüğü için kızgınlık ve aşırı soğutma değerleri de artmaktadır. Soğutucu akışkanın debisi azalacağından soğutma kapasitesi de azalmaktadır.

KA: Kompresör valflerinden gaz sızıntısı ya da başka bir nedenle oluşan kompresör arızasında, sıkıştırma sırasında soğutucu akışkanın bir kısmını yoğunlaşamayacağından kompresör verimi düşmektedir ve soğutma kapasitesi azalır [20] [1] [21].

### **III. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE UZAKTAN ARIZA TESPİTİ YAPMAK İÇİN YÜZEY SICAKLIKLARININ KIZILÖTESİ GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

#### **A. MAKSİMUM VE MİNİMUM YÜZEY SICAKLIK DEĞERİ**

Üzerinde çalışılan bölgenin maksimum ve minimum değerleri bölge için alt ve üst değerleri tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. Çünkü arıza durumlarında soğutma sisteminin bazı elemanlarında aşırı soğuma veya aşırı ısınma durumları gerçekleşmektedir. Bunun için Eşitlik 1. de maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin elde edildiği yöntemleri sunulmuştur.

$$\begin{aligned} T_{max} &= \max(T_{low} + (T_{high} - T_{low}) * T_I) \\ T_{min} &= \min(T_{low} + (T_{high} - T_{low}) * T_I) \end{aligned} \quad (1)$$

Eşitlik 1. de ki  $T_I$ , renkli kızılötesi görüntünün gri termal görüntüye dönüştürülerek elde edilen giriş görüntüsünü,  $T_{low}$  ve  $T_{high}$  sıcaklık barının alt ve üst değerlerini göstermektedir.

#### **B. ORTALAMA YÜZEY SICAKLIK DEĞERİ**

Belirlenen bölgenin kızılötesi görüntüsünde yer alan sıcaklık değerlerinin ortalama değeri Eşitlik 2. de verilmiştir.

$$T_{av} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N T_{low} + (T_{high} - T_{low}) * T_I}{M * N} \quad (2)$$

Eşitlik 2. de ki M ve N kesilen bölgenin boyut bilgileridir.

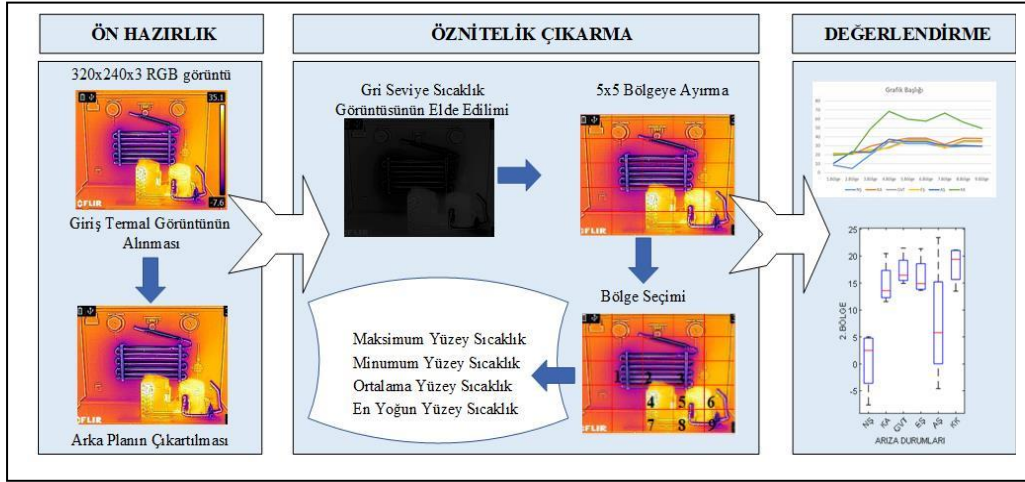
#### **C. EN YOĞUN YÜZEY SICAKLIK DEĞERİ**

Belirlenen bölgenin kızılötesi görüntüsünde en çok karşılaşılan sıcaklık değerini tespit etmek için Algoritma 1. kullanılmıştır.

*Algoritma 1. En yoğun yüzey sıcaklık değeri belirleme sözel kodu.*

```
Adım 1. Her bir piksele karşılık gelen sıcaklık değerini bul.
Adım 2. En yoğun yüzey sıcaklık değerini bulma
for i=1:satir
for j=1:sütün
değer=T_I(i,j);
frekans(değer)=frekans(değer)+1;
end
end
Adım 3. En yoğun sıcaklık değerini göster
Tyoğun =Max(frekans(değer));
```

Algoritma 1. e göre karşılaşılan her sıcaklık değerinde o sıcaklık değerinin sayacı bir artarak karşılaşma miktarı belirlenmektedir. Bu öznitelik soğutma sistemindeki elemanların yüzeysel sıcaklık değerlerinin yoğunluğu hakkında bilgi vermesi amacıyla tercih edilmiştir.



Şekil 5. Önerilen çalışmanın akış diyagramı

Önerilen sisteminin akış şeması Şekil 5’de yer almaktadır. İlk olarak soğutucu sisteminden normal çalışma durumundan ve 5 arıza oluşturulduktan sonra elde edilen kızılötesi görüntüleri termal kamera ile alınmaktadır. İkinci aşamada bu kızılötesi görüntülerin işleme girmemesi için arka plan çıkarılmaktadır. Bu iki evre ön hazırlık bölümü olarak adlandırılabilir. Öznitelik çıkarma safhasında görüntü 5x5 25 bölgeye ayrılmaktadır. Kullanıcının üzerinde yoğunlaşmasını istediği bölgeler girildikten sonra her bir görüntü için öznitelik verileri çıkartılarak, özellik matrisi oluşturulmaktadır. Son olarak bu veriler kullanılarak Değerlendirme safhasında kutu ve çizgi grafikleri elde edilmektedir. Genel değerlendirmenin sonunda oluşturulan arıza tipine göre soğutucu sistemin hangi elemanlarında sıcaklık değişimleri olduğu tespiti yapılmaktadır.

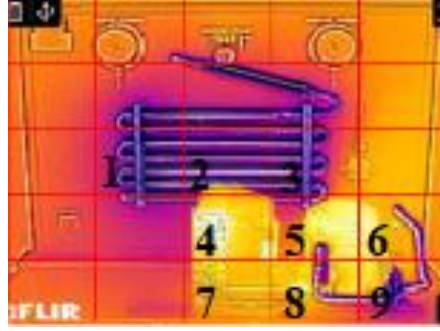
## IV. DENEYSEL SONUÇLAR

MATLAB (MATrix LABoratory) 1985 yılında C.B Moler tarafından matematik ortamında kullanılmak üzere geliştirilmiş etkileşimli bir paket programlama dilidir [22]. Bu çalışma, Intel(R) Core(TM) i5-4200U CPU @ 1.60GHz 2.30 GHz işlemci ve 6,00 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayarda MATLAB 2021a versiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmanın kullanılabilirliğini artırmak için, MATLAB GUI (Graphical User Interfaces) geliştirme aracı tercih edilmiştir. Geliştirme aracının temel özelliği formlar ve butonlar gibi nesnelere oluşan görsel yazılımlar ile kullanıcı ara yüzü oluşturulabilmesidir [23].

Önerilen çalışma, Arıza Durumlarında Yüzeysel Sıcaklıklarının İncelenmesi (ADYSİ) olarak adlandırılacak olup, ara yüzü Şekil 7. de verilmiştir. Kullanıcı soğutma sisteminde normal çalışma veya arıza durumlarından birini oluşturduktan sonra “ÇEK ve KAYDET” butonuna basmaktadır. Bu süreci farklı durumlar için tamamladıktan sonra, üzerinde çalışılmak istenen arıza durumunun kızılötesi görüntüsü yüklenerek, başlanmaktadır. Kızılötesi görüntüsünde yer alan sıcaklık bar göstergesinin alt ve üst sıcaklık değerleri girildikten sonra “Kes” butonuna basılır. “Kes” butonuna basılmasıyla görüntünün sol üst köşesi ve sağ alt köşesinden istenilen koordinat noktaları girilmektedir. Böylece deney setinin arka plan kısımları, sıcaklık bar göstergesi gibi istenilmeyen bölgeler kesilerek atılmaktadır. Bu işlemden sonra, kullanıcıdan kesilen görüntüyü kaç alt bölgeye ayırması gerektiği sorulur ve bunun için satır ve sütun bilgileri girilmektedir. Çalışma da bütün görüntüler 5x5 olmak üzere 25 alt bölge oluşturularak inceleme işlemi gerçekleştirilmiştir. “Bölgelere

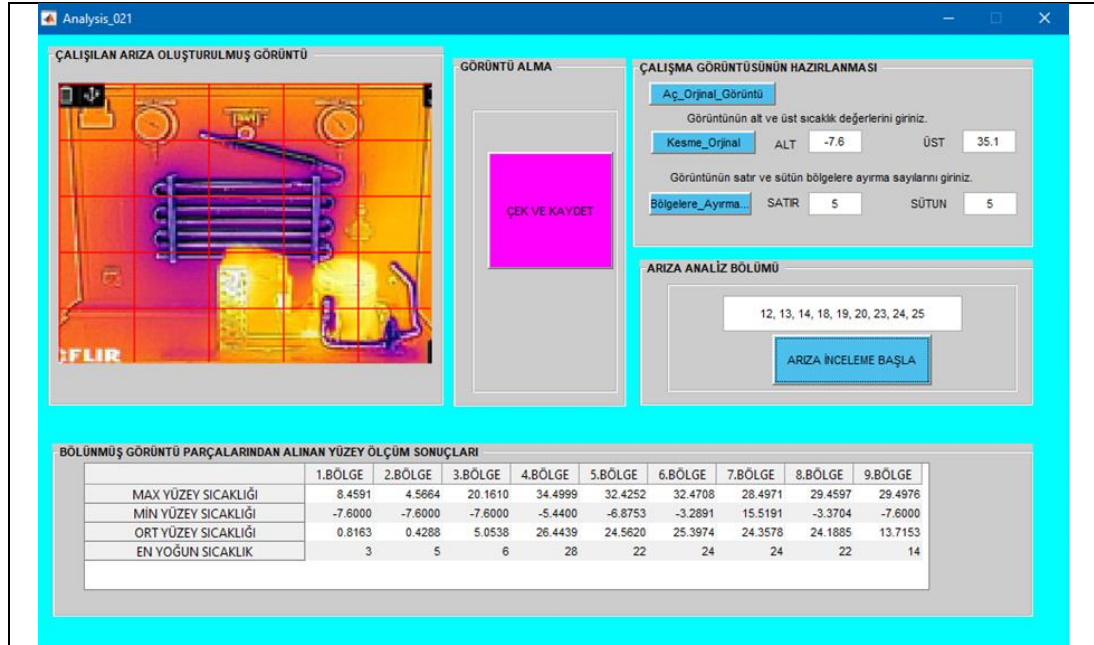


Ayırma” butonuna basılmasıyla görüntü alt bölgeleri kırmızı çizgi ile belirlenmiş olarak, güncellenmektedir.



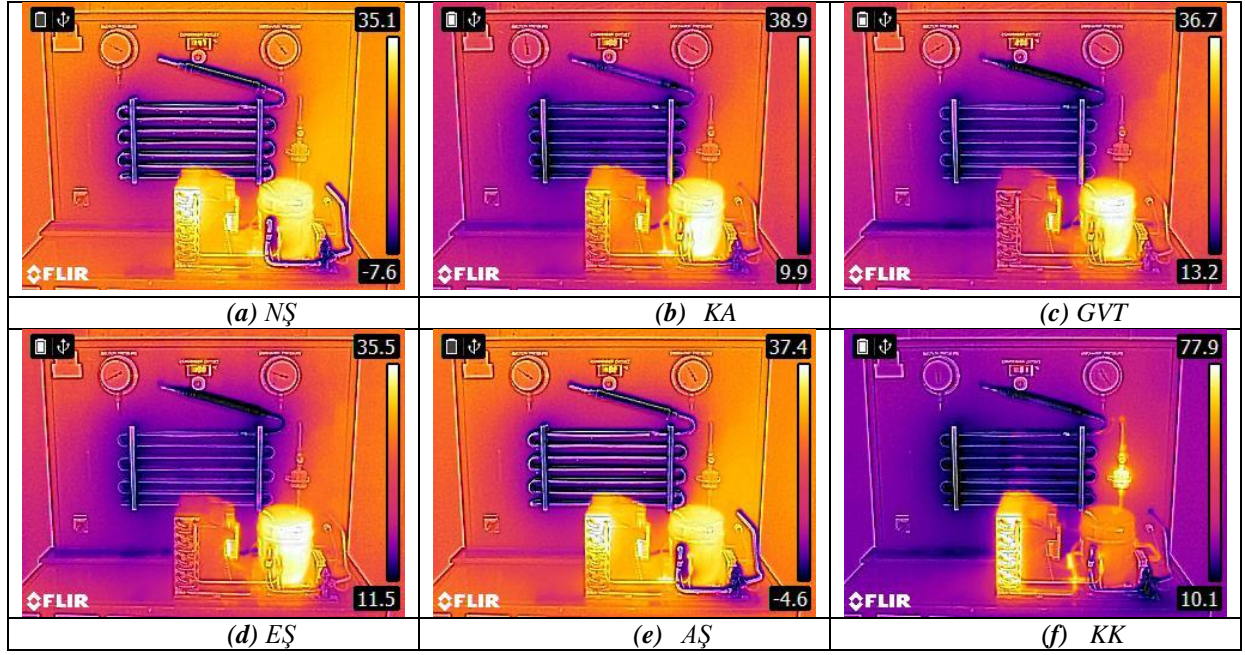
Şekil 6. Seçilen bölgelerin kızılötesi görüntü üzerinde gösterimi

İşlem hızını artırmak ve kullanıcının istediği bölgelere yoğunlaşmak için kullanıcıdan hangi bölgeleri istiyor ise o bölge numaraları girilerek, “ARIZA İNCELEMeye BAŞLA” butonuna basılmaktadır. Şekil 6. da önerilen çalışmada seçilen bölgeler 1’den 9 a kadar numaralandırılmıştır. Seçilen bölgeler için maksimum, minimum, ortalama ve en yoğun sıcaklık öznelik verileri elde edilmektedir.



Şekil 7. Matlab GUI öznelik çıkartım yöntemi ara yüzü

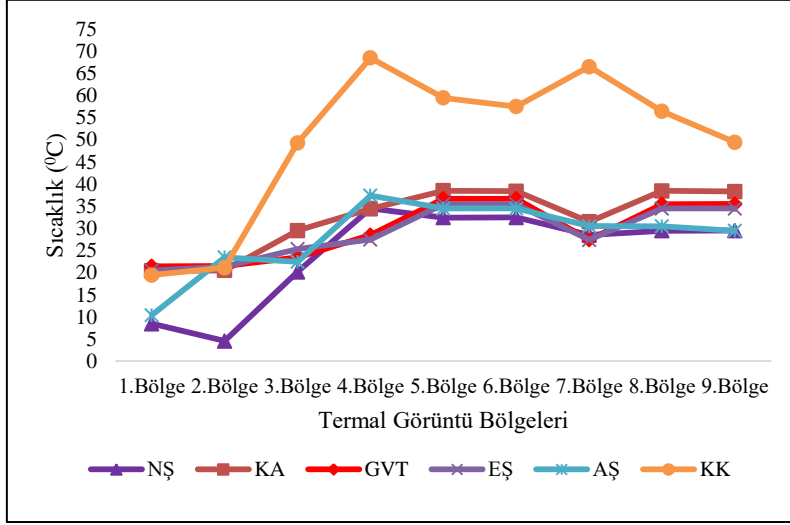
ADYSİ normal çalışma ve KA, GVT, EŞ, AŞ ve KK arızaları için çalıştırılmış her bir durum için 3 kızılötesi test görüntüsü alınmıştır. Her bir test görüntüsü için 9 bölge belirlenerek 4 öznelik elde edilmiştir. Şekil 8. de normal çalışma ve 5 arıza durumunda alınmış kızılötesi görüntüler yer almaktadır. Tablo 3. 'ün sayısal sonuçlarına bakıldığında, normal çalışma ve arıza durumlarında inceleme sonuçları için kesin bir yargıya varmak veya karşılaştırma yapmak güçtür. Bunu için Tablo 3. de yer alan durumların öznelik verileri için grafik çalışması ve belirlenen bölgeler için ise karşılaştırmalı kutu grafik çalışması gerçekleştirilmiştir.



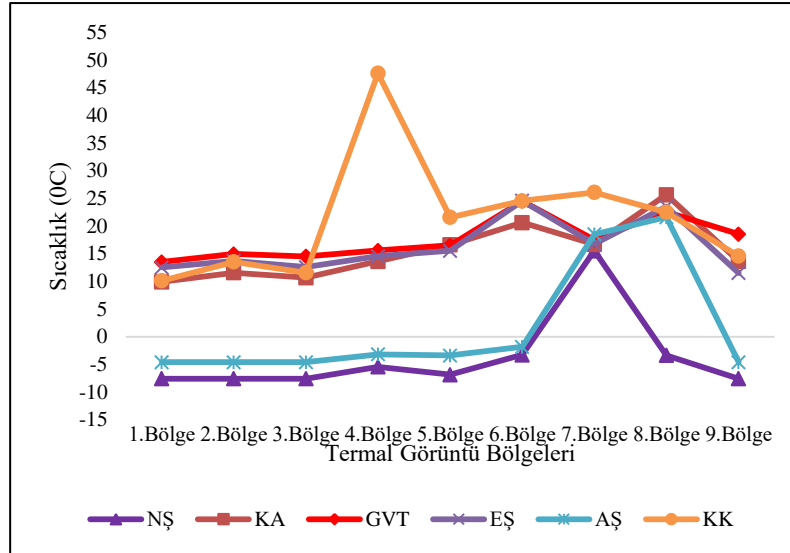
Şekil 8. Normal çalışma ve 5 arıza durumunda alınmış kızılötesi görüntüler

Tablo 3. Normal ve arıza durumlarında elde edilen öznelik verileri

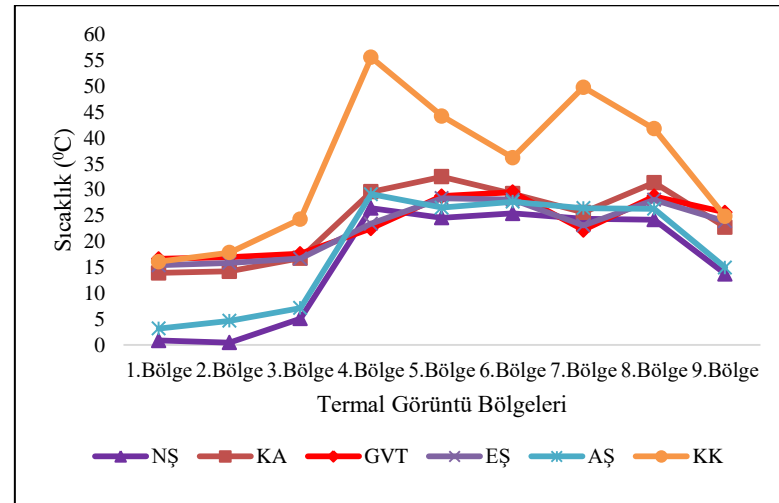
Arıza Durumu	1.Böl.	2.Böl.	3.Böl.	4.Böl.	5.Böl.	6.Böl.	7.Böl.	8.Böl.	9.Böl.	
NŞ	MaYS	8,4591	4,5664	20,161	34,4999	32,4252	32,4708	28,4971	29,4597	29,4976
	MiYS	-7,6	-7,6	-7,6	-5,44	-6,8753	-3,2891	15,5191	-3,3704	-7,6
	OYS	0,8163	0,4288	5,0538	26,4439	24,562	25,3974	24,3578	24,1885	13,7153
	EYYS	3	5	6	28	22	24	24	22	14
KA	MaYS	20,4125	20,4979	29,4893	34,4638	38,499	38,3861	31,4815	38,456	38,2996
	MiYS	9,9	11,5425	10,6702	13,6008	16,5809	20,6019	16,6798	25,6299	13,5989
	OYS	13,8767	14,2018	16,7478	29,5784	32,5119	29,2068	25,5866	31,3532	22,7454
	EYYS	15	13	18	30	31	30	26	31	17
GVT	MaYS	21,4276	21,4779	23,4621	28,4713	36,7	36,7	27,4306	35,4602	35,4782
	MiYS	13,503	14,9405	14,5053	15,5606	16,5062	24,5224	17,5039	22,5133	18,5224
	OYS	16,603	16,9647	17,6195	22,4855	28,7519	29,5134	22,1989	28,7362	25,5977
	EYYS	18	16	15	23	28	28	19	28	19
EŞ	MaYS	20,4968	21,3669	25,3282	27,4559	35,4592	35,4501	27,4085	34,4745	34,4867
	MiYS	12,5129	13,6843	12,56	14,5254	15,5073	24,5674	16,749	23,503	11,5
	OYS	15,3924	15,8295	16,6761	23,4296	28,3425	28,0759	23,0815	28,0395	23,8847
	EYYS	14	14	14	25	27	27	25	27	24
AŞ	MaYS	10,4109	23,4423	22,4625	37,4	34,4993	34,4973	30,4976	30,4852	29,4571
	MiYS	-4,6	-4,6	-4,6	-3,2011	-3,3965	-1,8398	18,5028	21,5984	-4,6
	OYS	3,1588	4,6335	7,1115	29,1174	26,5394	27,6575	26,4194	26,3121	14,9435
	EYYS	5	7	9	29	24	26	29	24	16
KK	MaYS	19,4379	21,1159	49,2938	68,471	59,4537	57,4997	66,4879	56,4164	49,4397
	MiYS	10,1	13,5084	11,5592	47,6018	21,5537	24,5432	26,0693	22,5007	14,5579
	OYS	16,0733	17,8195	24,28	55,597	44,2469	36,1904	49,8032	41,7921	24,8174
	EYYS	19	21	27	54	42	38	51	42	28



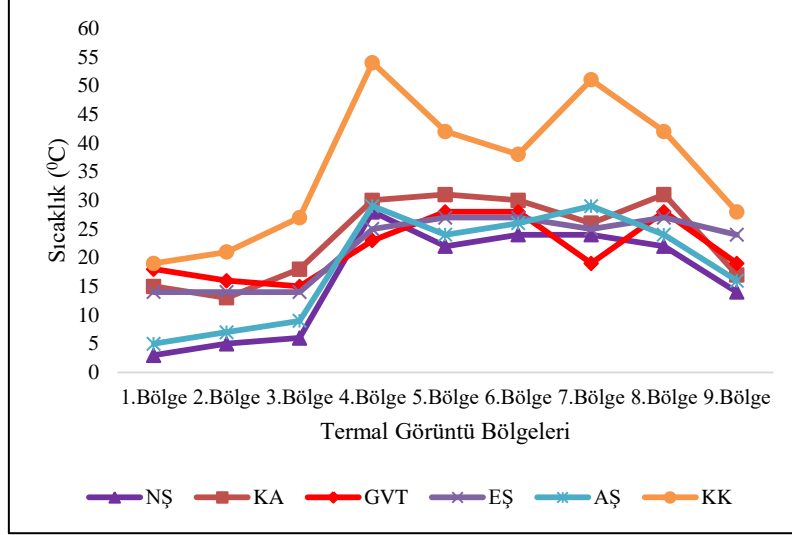
(a) Maksimum yüzey sıcaklık eğrileri



(b) Minimum yüzey sıcaklık eğrileri



(c) Ortalama yüzey sıcaklık eğrileri



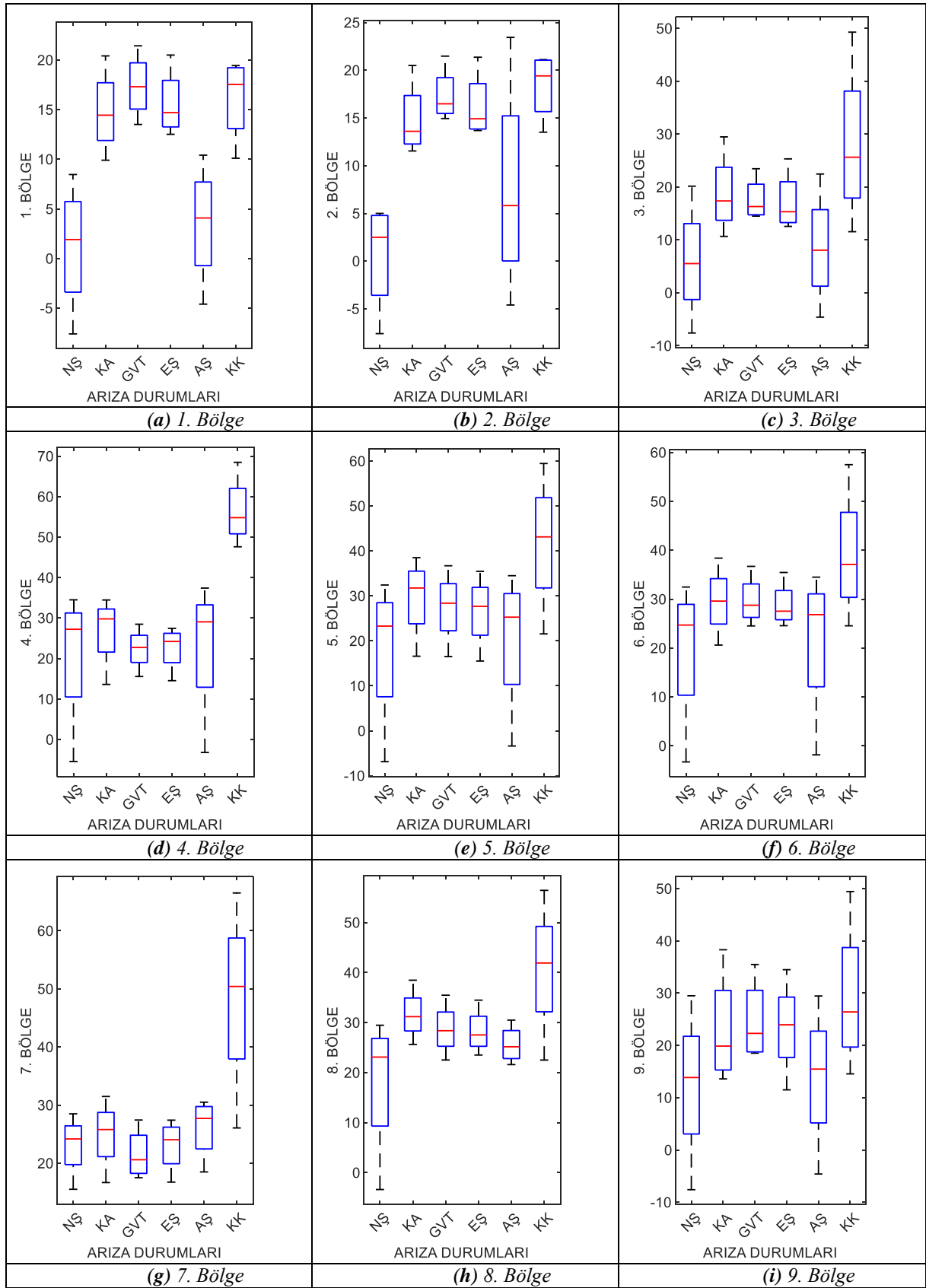
(d) En yoğun yüzey sıcaklık eğrileri

Şekil 9. Öznitelik verilerinin normal ve arıza durumlarına göre çizgi grafikleri

Şekil 9a; maksimum yüzey sıcaklık eğrileri dikkate alındığında, (3) (5) (6) ve (8) bölgelerinde normal ve arızalı durumlar için oluşan arızalar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Bu bölgelerde, termal görüntülerden alınan sıcaklık verileri en düşükten en yükseğe doğru ele alındığında sırasıyla, Normal Şartlar, Aşırı Şarj, Eksik Şarj, Genleşme Valfi Tıkanıklığı, Kompresör Arızası ve Kirli Kondenser durumlarının olduğu görülmektedir. Şekil 9b; minimum yüzey sıcaklık eğrileri dikkate alındığında, (1) (3) (4) ve (9) bölgelerinde normal ve arızalı durumlar için oluşan arızalar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Bu bölgelerde, termal görüntülerden alınan sıcaklık verileri en düşükten en yükseğe doğru ele alındığında sırasıyla, Normal Şartlar, Aşırı Şarj, Kompresör Arızası, Eksik şarj, Kirli Kondenser ve Genleşme Valfi Tıkanıklığı durumlarının olduğu görülmektedir. Şekil 9c; ortalama yüzey sıcaklık eğrileri dikkate alındığında, (2) (7) ve (9) bölgelerinde normal ve arızalı durumlar için oluşan arızalar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Bu bölgelerde, termal görüntülerden alınan sıcaklık verileri en düşükten en yükseğe doğru ele alındığında sırasıyla, Normal Şartlar, Aşırı Şarj, Kompresör Arızası, Eksik şarj, Genleşme Valfi Tıkanıklığı ve Kirli Kondenser durumlarının olduğu görülmektedir. Şekil 9d; en yoğun yüzey sıcaklık eğrileri dikkate alındığında, (1) (2) (3) (5) (6) (8) ve (9) bölgelerinde normal ve arızalı durumlar için oluşan arızalar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Bu bölgelerde, termal görüntülerden alınan sıcaklık verileri en düşükten en yükseğe doğru ele alındığında sırasıyla, Normal Şartlar, Aşırı Şarj, Eksik şarj, Kompresör Arızası, Genleşme Valfi Tıkanıklığı ve Kirli Kondenser durumlarının olduğu görülmektedir. Şekil 9 grafiğinde, maksimum, ortalama ve en yoğun yüzey sıcaklıklarının arıza tespitinde birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Grafikler bütünüyle ele alındığında ise arıza tespitinde sırası ile (3) ve (9) bölgelerinden, sonrasında ise (1) (2) (5) (6) ve (8) bölgelerinden alınan termal görüntülerinin olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kutu grafiklerinde birinci çeyrekte üçüncü çeyreğe bir kutu çizilmektedir. Kutunun uzunluğu verilerin orta bölümlerde yayılma özelliğini verirken, ortanca değer kutudan düşey bir çizgi ile geçmektedir. Verinin uç değerleri ise kutudan bu noktalara çizilen çizgi ile gösterilmektedir.

ADYSİ ile gerçekleştirilen bölgelerin karşılaştırmalı kutu grafikleri Şekil 10. da verilmiştir. Yüzey sıcaklık değişimlerinin normal çalışma ve arıza durumlarındaki farklılıklar özellikle KA ve 1, 2, 3, 8 ve 9. bölgelerinde kendini belirgin bir şekilde göstermiştir. Örneğin Şekil 10. a da gösterildiği gibi NŞ çalışma durumu ile arıza durumlarında çok farklı davranış gösterdiği görülmektedir. Sadece AŞ arızası 1. bölge için NŞ durumuna yakın özelliktedir. Bunun sebebi de sisteme ne kadar fazla soğutucu akışkan şarj edildiğinin bilinmemesidir. Eğer normalden çok fazla miktarda soğutucu akışkan şarj edilmemiş ise bu davranış benzerliği durumu görülebilir.



**Şekil 10.** Öznitelik verilerinin belirlenen bölgeler yönünden karşılaştırmalı kutu grafikleri (a-i).

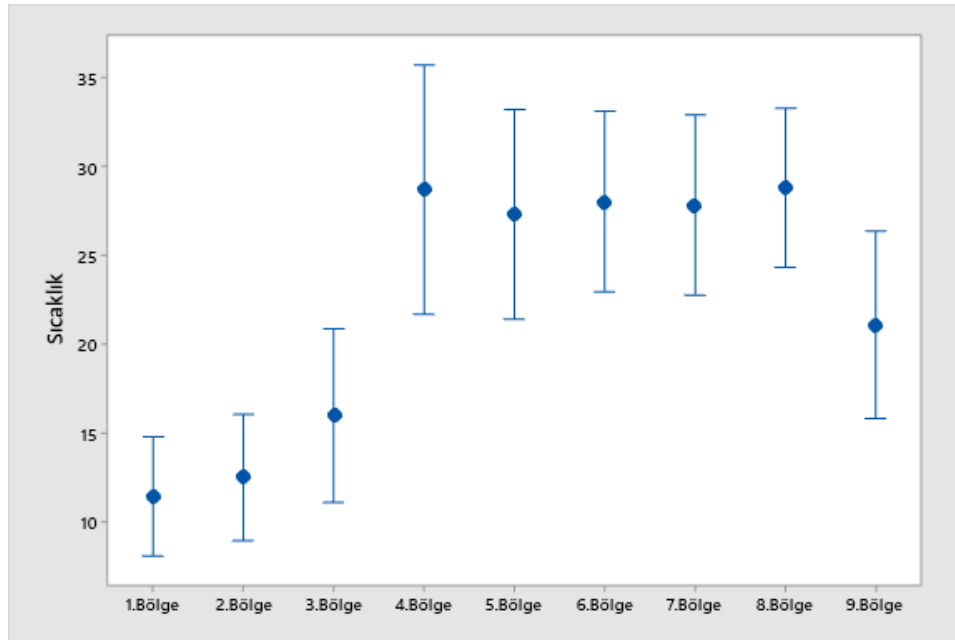
Şekil 10 d. e. ve f. kutu grafiklerinde görüldüğü gibi 4., 5. ve 6. bölgelerde KK dışındaki bütün arıza durumları NŞ' ye yakındır. KA, GVT ve EŞ'nin NŞ'den farklılıklarını tespit etmek için yapılması gerekenin minimum sıcaklık değerlerine bakılması gerektiği sonucu çıkarılmıştır. Birbiri ile olan farklılıklar ise ortalama değerden tespit edilebilmektedir.

Şekil 10 h. ve i. de 8. ve 9. bölgeler için bütün arızaların hem kendi aralarında hem de NŞ durumu ile MaYS, MiYS ve OYS öznitelikleri bakımından farklılıklar taşıdığı görülmektedir. Bu sonuç arıza durumlarının birbirlerinden yüzey sıcaklık özellikleri ile ayırt edilebileceğini kanıtlamaktadır.

**Tablo 4.** Normal çalışma durumuna göre ve bölgelere göre farklılık gösteren arızalar

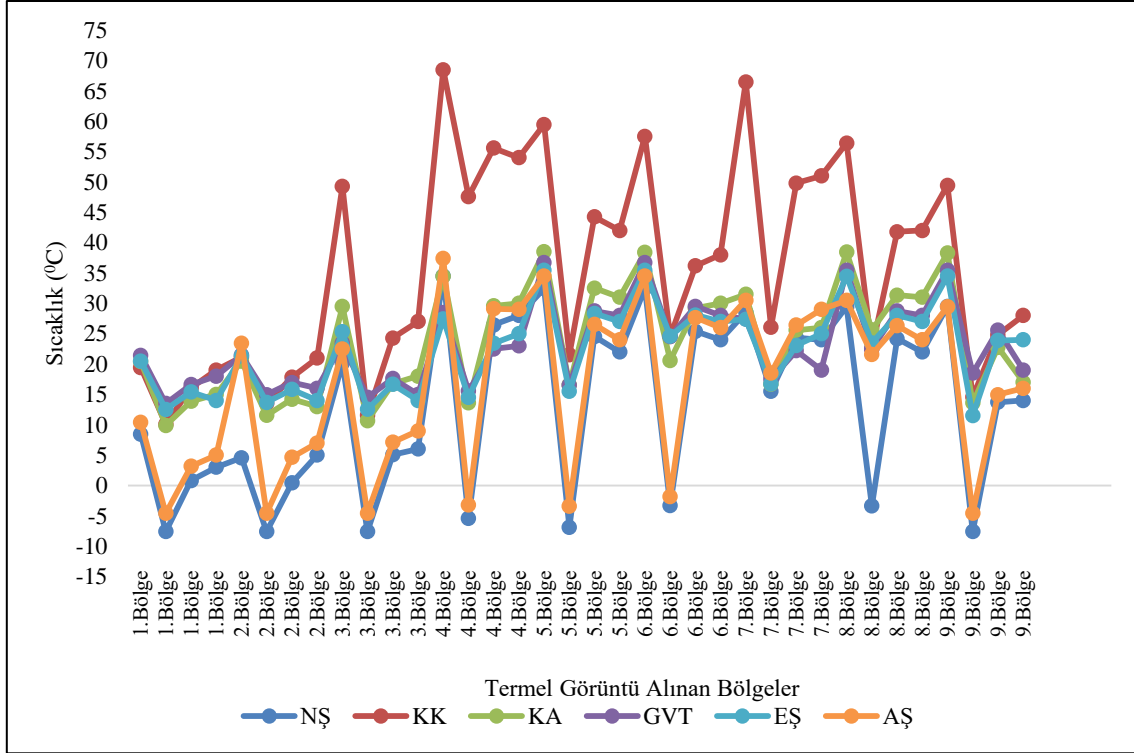
Arıza Durumu	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	5.Bölge	6.Bölge	7.Bölge	8.Bölge	9.Bölge
KA	X	X	X		X	X		X	X
GVT	X	X					X	X	X
EŞ	X	X						X	X
AŞ				X				X	
KK	X	X	X	X	X	X	X	X	X

ADYSİ çalışmasından elde edilen sonuç Tablo 4. de özetlenmiştir. Tablo 4. arıza çeşidine göre normal çalışmadan farkı verilmiştir. Bu fark tablosu referans alınarak bir soğutma sisteminde oluşabilecek bu beş arızadan birisi gerçekleşmesi durumunda tespit işlemi bu tablo kullanılarak yapılabilir. KA ve KK arıza durumları seçilen her bölgede NŞ ve diğer arıza durumlarına göre farklılık göstermiştir. GVT 1., 2., 7., 8. ve 9. bölgelerde, EŞ 1., 2., 8. ve 9. bölgelerde farklılık göstererek yüzeyden arıza durumunun belirlenebilecekleri kanıtlanmıştır. AŞ arızası ise 4. ve 8. bölgede belirlenmesi gerektiği sonucu çıkmıştır. Arızaların kendi aralarında ki farklılıkların tespitinde ise, MaYS ve MiYS öznitelikleri kullanımını önerilmektedir.



**Şekil 11.** MaYS, MiYS, OYS ve EYYS yüzey sıcaklık değerlerinin birlikte değerlendirilmesi

Şekil 11'da termal görüntülerden elde edilen MaYS, MiYS, OYS ve EYYS yüzey sıcaklık değerlerinin birlikte değerlendirildiğinde (1), (2) (3) ve (9) bölgelerinde farklılıklardan arıza tespiti ve teşhisi büyük oranda doğrulukla yapılabilmektedir.



Şekil 12. MaYS, MiYS, OYS ve EYYS yüzey sıcaklık değerleri grafiği

Şekil 12’de tüm çalışma şartları için ele alınan bölgelerdeki yüzey sıcaklıklarının grafiği elde edilmiştir. Grafiğe bakıldığında (1) (2) (3) ve (9) bölgelerinde ki farklılıklardan rahatlıkla arıza tespiti ve türü hakkında fikir edinilebileceği sonucuna varılmıştır.

## V. SONUÇ

Önerilen bu çalışmada, soğutma sisteminde oluşabilecek arızaları teşhis etmek için, kızılötesi görüntüler üzerinde yüzeysel sıcaklık değişimlerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. ADYSİ çalışmasından elde edilen sonuçlara göre, KA ve KK arıza durumları seçilen her bölgede farklılık göstermiştir. GVT 1., 2., 7., 8. ve 9. bölgelerde, EŞ 1., 2., 8. ve 9. bölgelerde farklılık göstererek yüzeyden arıza durumunun belirlenebilecekleri kanıtlanmıştır. AŞ arızası ise 4. ve 8. bölgede belirlenmesi gerektiği sonucu çıkmıştır. Arızaların kendi aralarında ki farklılıkların tespitinde ise, MaYS ve MiYS öznelikleri kullanımını gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Soğutma sisteminde oluşacak çeşitli arızalar için yüzeyde gerçekleşen sıcaklık değişimleri, arızaya göre farklılık göstereceğinden, bu durumların izlenmesi veya farklılıkların yakalanması işlemi sağlanmıştır. Bu farklılıkların elde edilmesi ile, önerilen yöntemin bundan sonraki uzaktan arıza tespit çalışmaları için en önemli referans ve özellik çıkarım yöntemi olması oldukça yüksek ihtimaldir. Ayrıca kullanılan kızılötesi görüntüleme ile klasik arıza arama yöntemlerdeki ölçü aleti kullanımı kaldırılmış ve arıza arama süresi azaltılmıştır. Sistem için geliştirilen yazılım kullanıcı için kolay programlanabilir, kayıt alma ve kullanılabilir özelliklerine sahiptir.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] N. Koçyiğit, H. Bulgurcu and C. X. Lin, "Fault diagnosis of a vapor compression refrigeration system with hermetic reciprocating compressor based on ph diagram," *International journal of refrigeration*, vol. 45, pp. 45-54, 2014.
- [2] T. M. Rossi and J. E. Braun, "A statistical, rule-based fault detection and diagnostic method for vapor compression air conditioners," *Hvac&R Research*, vol. 3, no. 1, pp. 19-37, 1997.
- [3] J. E. Braun, "Automated fault detection and diagnostics for vapor compression cooling equipment," *J. Sol. Energy Eng.*, vol. 125, no. 3, pp. 266-274, 2003.
- [4] H. Han, B. Gu, T. Wang and Z. R. Li, "Important sensors for chiller fault detection and diagnosis (FDD) from the perspective of feature selection and machine learning," *International journal of refrigeration*, vol. 34, no. 2, pp. 586-599, 2011.
- [5] A. Janecke, T. J. Terrill, and B. P. Rasmussen, "A comparison of static and dynamic fault detection techniques for transcritical refrigeration," *International Journal of Refrigeration*, vol. 80, pp. 212-224, 2017.
- [6] J. Choi and Y. Kim, "Influence of the expansion device on the performance of a heat pump using R407C under a range of charging conditions," *International Journal of Refrigeration*, vol. 27, no. 4, pp. 378-384, 2004.
- [7] J. A. Siegel, "An evaluation of superheat-based refrigerant charge diagnostics for residential cooling systems," *In 2002 Annual Meeting*, pp. 108, 2002.
- [8] N. S. Castro, "Performance evaluation of a reciprocating chiller using experimental data and model predictions for fault detection and diagnosis/Discussion," *ASHRAE Transactions*, no. 108, pp. 889, 2002.
- [9] Z. Wang, L. Wang, K. Liang and Y. Tan, "Enhanced chiller fault detection using Bayesian network and principal component analysis," *Applied Thermal Engineering*, vol. 141, pp. 898-905, 2018.
- [10] G. Bogdanovská, V. Molnar, and G. Fedorko, "Failure analysis of condensing units for refrigerators with refrigerant R134a, R404A," *International Journal of Refrigeration*, vol. 100, pp. 208-219, 2019.
- [11] F. Katırcıoğlu, Z. Cingiz, Y. Çay, A. E. Gürel, and A. Kolip, "Performance Assessment of a Refrigeration System Charged with Different Refrigerants Using Infrared Image Processing Techniques," *Arabian Journal for Science and Engineering*, pp. 1-20, 2021.
- [12] F. Katırcıoğlu, Z. Cingiz, Y. Çay, A. E. Gürel ve A. Kolip, "R22 ve Alternatifleri R438A ile R417A Soğutucu Akışkanları için Kızılötesi Görüntü İşleme Teknikleri Kullanarak, Soğutma Sistem Performansının İncelenmesi," *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, c. 8, s. 3, ss. 500-513, 2020.
- [13] F. Katırcıoğlu, Z. Cingiz, Y. Çay, A. E. Gürel ve A. Kolip, "Soğutma Sistemlerindeki Soğutucu Akışkan Kaçak Tespiti İçin Kızılötesi Görüntüler Üzerinde Pearson Korelasyon Benzerlik Analiz Yönteminin Kullanılması," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s.Özel Sayı, ss.28-36, 2020.






- [14] L. I. Yongbo, D. U. Xiaoqiang, W. A. N. Fangyi, W. A. N. G. Xianzhi and Y. U. Huangchao, "Rotating machinery fault diagnosis based on convolutional neural network and infrared thermal imaging," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 33, no. 2, pp. 427-738, 2020.
- [15] A. Taheri-Garavand, H. Ahmadi, M. Omid, S. S. Mohtasebi, K. Mollazade, A. J. R. Smith, and G. M. Carlomagno, "An intelligent approach for cooling radiator fault diagnosis based on infrared thermal image processing technique", *Applied Thermal Engineering*, vol. 87, pp. 434-443, 2015.
- [16] A. Nasiri, A. Taheri-Garavand, M. Omid and G. M. Carlomagno, "Intelligent fault diagnosis of cooling radiator based on deep learning analysis of infrared thermal images," *Applied Thermal Engineering*, vol. 163, p. 114410, 2019.
- [17] A. Mehta, D. Goyal, A. Choudhary, B. S. Pabla and S. Belghith, "Machine Learning-Based Fault Diagnosis of Self-Aligning Bearings for Rotating Machinery Using Infrared Thermography," *Mathematical Problems in Engineering*, <https://doi.org/10.1155/2021/9947300>, 2021.
- [18] A. Choudhary, D. Goyal and S. S. Letha, "Infrared thermography-based fault diagnosis of induction motor bearings using machine learning," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 2, pp. 1727-1734, 2020.
- [19] Z. Cingiz, F. Katırcıoğlu, S. Sarıdemir, G. Yıldız and Y. Çay, " Experimental investigation of the effects of different refrigerants used in the refrigeration system on compressor vibrations and noise," *International Advanced Researches and Engineering Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 152-162, 2021.
- [20] S. A. Shamandi and S. Rasouli, "Fault Detection in Compression Refrigeration System with a Fixed Orifice and Rotary Compressor," *AUT Journal of Mechanical Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 277-286, 2020.
- [21] H. Bulgurcu ve S. Yaşar, "Soğutma sistem arızalarının p-H diyagramı yardımıyla teşhis edilmesi," *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Soğutma Teknolojileri Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2011, ss. 1265-1281.
- [22] T. Haigh, "Cleve Moler: Mathematical software pioneer and creator of Matlab," *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 30, no. 1, pp. 87-91, 2008.
- [23] M.H. Beale, M.T. Hagan, H.B. Demuth, *Neural network toolbox user's guide. The MathWorks, Inc.*, vol. 103, Colorado, USA: Creating graphical user inter-faces, J. Stovall, The MathWorks, 2002, pp. 1-512.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Cam Bilya Katkılı Poliamit 6.6 Kompozitlerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Cam Bilya Katkı Oranının Etkisi

 Hüseyin ÜNAL<sup>a,\*</sup>,  Salih Hakan YETGİN<sup>b</sup>,  Veysel Furkan ÜNAL<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Tarsus Üniversitesi, Tarsus/Mersin, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Dept. of Polymer Engineering, Faculty of Engineering, Johannes Kepler University, Linz, AUSTRIA,

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: unal@subu.edu.tr

DOI: 10.29130.dubited.1030031

### ÖZ

Bu çalışma, katkısız poliamit 6.6 (PA6.6) ile ağırlıkça %10-20-30 oranlarında cam bilya içeren poliamit 6.6 kompozitlerin mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelemek için yapılmıştır. Cam bilya katkılı Poliamit 6.6 kompozitler, endüstriyel tip ikiz vidalı bir ekstrüder makinesinde granül formda üretilmiştir. Deneylerde kullanılan mekanik test numuneleri geleneksel enjeksiyon makinesi kullanılarak basılmıştır. Çalışma sonucunda, PA6.6 polimerine ilave edilen cam bilya çekme dayanımını, kopmadaki uzama miktarını ve charpy darbe dayanımını azaltırken elastiklik modülünü artırmıştır. Mikroyapı incelemeleri için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Mikroyapı incelemelerinde cam bilyaların polimer matris içinde homojen olarak dağıldığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Poliamit 6.6, Cam bilya, Mekanik özellikler

## The Effect of Glass Beads Content on the Mechanical and Microstructural Behavior of Glass Beads Filled Polyamide-6.6 Composites

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the mechanical and microstructural properties of unfilled polyamide 6.6 (PA6.6) and polyamide 6.6 composites containing glass beads in different ratios (10-20-30% by weight). Glass beads filled polyamide 6.6 composites were produced in granule form in an industrial type twin screw extruder machine. The mechanical test specimens used in the experiments were molded using a conventional injection molding machine. As a result of the study, glass beads filled to PA6.6 polymer matrix decreased the tensile strength, elongation at break and charpy impact strength, while increasing the modulus of elasticity. Scanning electron microscope (SEM) was used for microstructure studies. In the microstructure investigations, it was observed that the glass beads were homogeneously dispersed in the polymer matrix.

**Keywords:** Polyamide 6.6, Glass bead, Mechanical properties

# I. GİRİŞ

Poliamid 6.6 (PA6.6) polimeri, otomotiv, ambalaj, tekstil, elektrik/elektronik sektörlerinde yaygın olarak kullanılan, yüksek sıcaklığa, üstün aşınma direncine, yüksek kimyasal dirence sahip yarı-kristal yapıya sahip bir mühendislik polimeridir. Ancak, mekanik özelliklerin sınırlı olması, düşük ısıl deformasyon sıcaklığı, yüksek nem alma ve ölçüsel kararsızlığı yapısal bileşenlerde kullanımını sınırlamaktadır. Yeni özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesinde etkili, basit ve ekonomik yollardan birisi farklı morfolojilere sahip cam elyaf, karbon elyaf, talk, kalsiyum karbonat ve cam bilya gibi katkıların polimer matrislere ilave edilmesidir [1]-[4]. Elyaf gibi mukavemet artırıcı katkıların ilave edilmesi dayanımı ve rijitliği önemli derecede artırırken nem alma kapasitesini azaltmaktadır [5]. Cam bilyalar ise termoplastik ve termoset kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek için öne çıkan katkı malzemeleri olarak kabul edilmektedir. Cam bilyalar, malzemenin izotropisi birincil öneme sahip olduğunda, polimer matrisinde gerilme oluşumuna ve dolayısıyla kompozitlerin erken deforme olmasına yol açan keskin kenarları olan diğer uzun elyaflar veya düzensiz şekilli katkıların aksine matrisinde bir stres konsantrasyonu kaynağı yaratmazlar [6]. Ayrıca cam bilyalar, mükemmel kimyasal ve termal kararlılığa, pürüzsüz yüksek küresel yüzey alanına, yüksek mekanik özelliklere ve akışkanlığa sahiptirler [3], [7]-[12].

Geçmişten günümüze kadar cam bilya katkı polimer kompozitlerin gerek mekanik özellikleri gerekse termal ve tribolojik özellikleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Cam bilya katkı polimerler için daha önce yapılan literatür taraması ve sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda genellikle cam bilya miktarının ve cam bilya çapının kompozitin özelliklerine etkisi incelenmiştir. Liang ve Li [9] farklı çaplarda (4-35-219 µm) ve ağırlıkça %5-10-15-20 oranlarında cam bilya katkı PP kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda artan cam bilya katkı oranı ile kompozitin çekme ve akma dayanımlarının azaldığı ancak elastiklik modülü ve darbe dayanımının ise arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, küçük çaplı cam bilyaya sahip kompozitlerin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir. Tang ve arkadaşları da [8] 4-11-66µm çapa sahip ve ağırlıkça %5-10-20-30 oranlarında cam bilya katkı polipropilen (PP) kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmaları sonucunda kompozitin artan cam bilya oranı ile elastiklik modülünün lineer olarak, darbe dayanımının ise hafif bir şekilde arttığını, ancak çekme dayanımının azaldığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda cam bilya çapının artması ile kompozitin çekme dayanımının azaldığı da belirtilmiştir. Norwinski ve arkadaşları ise [12] %15-20-30 oranlarında talk, %30-40 oranlarında cam elyaf ve %30 oranında hem içi dolu hem de içi boş cam bilya katkı PP kompozitlerin termo-mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, depolama modülünün deneylerde kullanılan katkının fiziksel özelliklerine, türüne ve miktarına bağlı olarak değiştiğini belirlemiştir. Katkı maddelerinin tamamının depolama modülünü artırdığını tespit etmişlerdir. depolama modülü üzerinde en az etkiye sahip katkının cam bilyalar olduğu, depolama modülü ve termal kararlılık için en etkili katkı türünün cam elyafın olduğu belirtilmiştir. Botan ve arkadaşları [13] %10, 20 ve 30 oranlarında cam küre katkı poli-bütillen-tereftalat (PBT) kompozitlerinde cam küre oranının PBT’nin mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda artan cam küre miktarına bağlı olarak kompozitin elastiklik modülü artarken kopma dayanımını ve kopmadaki % uzama değerleri azalmıştır. Ji-Zhao [14] farklı çaplarda (11-93-114µm) ve farklı oranlarda (%10-20-30-40) cam bilya katkı alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) kompozitlerin termo-mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda cam bilya miktarının artması ile depolama modülünün arttığı, küçük çaplı cam bilyaların büyük çaplı olanlara göre depolama modülünü daha fazla artırdığı belirtilmiştir. Bongiorno ve arkadaşları [15] ağırlıkça %15 oranında talk ve cam bilya katkı yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda tüm sıcaklık aralıklarında talk katkısının cam bilyaya göre depolama modülünü daha fazla artırdığı belirtilmiştir. Talk katkı YYPE kompozitlerin akma dayanımı, minimum %12 ve maksimum %16 oranlarında artarken cam bilya katkı YYPE kompozitlerin akma dayanımı minimum %9 ve maksimum %10 oranında azalmıştır. Hem talk hem de cam bilya katkıların kopmadaki % uzama değerlerini azalttığı belirtilmiştir. Yang ve arkadaşları [7] %5-10-15-20 oranlarında ve 2-3 ve 5 µm çaplarındaki cam bilya katkı Lineer alçak yoğunluklu Polietilen (LAYPE) kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, 2µm çapında ve %15 oranında cam bilya katkı kompozit hariç

elastiklik modülü değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Akma dayanımının ise %31 oranında arttığı belirtilmiştir. Cam bilya çapının kopmadaki % uzama değerini pek etkilemediği ancak darbe dayanımını artırdığı belirtilmiştir. 5µm çapındaki cam bilya katkılı kompozitlerde artan cam bilya oranına bağlı olarak elastiklik modülünün değişmediği, akma dayanımının ise %35 oranında arttığı belirtilmiştir. Cam bilya miktarına göre de kopmadaki % uzama değerinin değişmediği darbe dayanımının ise %20 cam bilya içeriğinde %40 oranında arttığı belirtilmiştir. Hashemi [16] %10-20-30 oranlarında kısa E-cam elyaf ve cam bilya katkılı akrilonitril-butadien-stiren (ABS) kopolimer kompozitlerinin farklı sıcaklıklar (25-100 °C) altındaki mekanik özelliklerini incelemişlerdir. ABS polimerine ilave edilen cam elyaf, kompozitin çekme dayanımı ve elastiklik modülünü artırmıştır. Ancak cam bilya katkılı ABS kompozitlerinde ise cam bilya miktarına bağlı olarak çekme dayanımı azalırken elastiklik modülü artmıştır. Deney ortam sıcaklığının artması ile ABS kompozitin hem çekme dayanımı hem de çekmedeki elastiklik modülü değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Liang [10] %5-10-15-20 oranlarında cam bilya katkılı ABS kompozitlerin çekme ve eğilme özelliklerini incelemişlerdir. Artan cam bilya oranı ile çekmedeki elastiklik modülünün ve eğilme dayanımının arttığı, %5 cam bilya oranında ise kompozitin akma dayanımının ve kopmadaki % uzama değerinin arttığı bu değerden sonra ise azaldığı belirtilmiştir. Ermiş ve arkadaşları [17] %10-15 ve 20 oranlarında cam bilya katkılı polivinil-klorür (PVC) kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. PVC polimerine ilave edilen cam bilya katkı oranı ile kompozitin çekme dayanımı, kopma uzaması, sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri azalırken çekmedeki elastiklik modülü ve sertlik değerleri artmıştır. Wang ve arkadaşları [18] lazer sinterlenmiş Poli-eter-keton (PEK) polimeri ile %20 oranında cam bilya katkılı PEK polimer kompozitlerin termal genişleme ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. PEK polimerine ilave edilen cam bilya katkısı, kompozitin çekme dayanımını pek etkilememiş ancak sertlik değerlerini artırmıştır. Cam bilya oranının artması ile kompozitin kristallenme oranı %53.3'ten %51.6'ya azalmıştır. PEK polimerine ilave edilen cam bilya ile termal genişleme de azalmıştır. Connor ve Dowling [11] %40 oranında cam bilya katkılı poliamit-12 (PA12) polimer kompozitlerinin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Termal testler sonucunda ergime sıcaklığının değişmediği ancak kristallenme sıcaklığının 4 °C arttığı kristallenme oranının ise cam bilya ilavesi ile %26'dan %18'e azaldığı belirtilmiştir. Cam bilya ilavesi ile kompozitin çekme dayanımı %39, eğilme dayanımı %15 oranında azalırken çekmedeki elastiklik modülü %85 ve eğilmedeki elastiklik modülü %36 oranında artmıştır. Huang ve arkadaşları [19] hacimsel olarak %1.1-31.1 oranlarında cam küre katkılı PA6 kompozitlerinin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Cam bilya ilavesi ile PA6 kompozitlerin camsı geçiş sıcaklığı (Tg) artmıştır. Artan cam bilya miktarı ile çentikli izod darbe dayanımı ve çekme dayanımı azalırken çekmedeki elastiklik modülü artmıştır. Termal testler sonucunda ergime sıcaklığının değişmediği ancak termal kararlılığın arttığı belirtilmiştir. Ranganathan ve arkadaşları [5] ergiyik biriktirme modellemesi (FDM) yöntemini kullanarak ürettikleri %10-20-30 oranlarında cam elyaf ve cam bilya katkılı PA6 kompozitlerin termal özelliklerini incelemişlerdir. PA6 polimerine ilave edilen cam elyaf ve cam bilyalar kompozitin termal iletkenliğini ve ısıl sapma sıcaklığını (HDT) artırmıştır. %30 oranında cam bilya katkı içeriğinde termal iletkenliğin %140 oranında, ısıl sapma sıcaklığının ise %233 oranında arttığı belirtilmiştir. Termal özelliklerin gelişmesinde cam bilya katkının daha etkili bir katkı türü olduğu belirtilmiştir. Unal [20] %10-15-20-25-30 oranlarında talk ve cam bilya katkılı PA6 kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Artan katkı miktarı ile kompozitin çekme dayanımı ve elastiklik modülü artarken darbe dayanımı ve kopma uzaması azalmıştır. Mekanik özellikler açısından en iyi katkı oranının %10-20 olduğu belirtilmiştir. Kovacs ve Solymossy [21] farklı oranlarda ve farklı çaplardaki cam bilya katkılı PA6 kompozitlerin kalıpta çekme oranı ile çekme dayanım özelliklerini incelemişlerdir. Cam bilya miktarı ve cam bilya çapının artması ile kompozitin kalıpta çekme oranının ve çekme dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Kuram [3] katkısız PA6, %15 cam bilya katkılı PA6, %15 cam elyaf katkılı PA6 ve farklı oranlarda cam bilya ve cam elyaf katkılı PA6 karışımların mekanik, termal, reolojik ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Cam elyaf ve cam bilya ilavesi ile PA6 polimer kompozitinin gevrekliği artmıştır. Cam elyaf ilavesi ile kompozitin eğilme, darbe ve çekme dayanımları artarken cam elyaf/cam bilya karışımı çekme ve eğilme dayanımlarını azaltırken darbe dayanımını artırmıştır. Cam elyaf ve cam bilya, ergiyik akış indeksi değerlerini azaltırken termal kararlılığı artırmıştır. PA6 polimeri α- ve γ-kristalin formuna sahipken PA6 kompozitler γ-kristalin formunda elde edilmiştir. Shibata ve arkadaşları [1] %5 ve %20 oranında pirinç unu seramiği, %5 ve %20 oranında cam bilya, %20

oranında cam elyaf ve %20 oranında karbon elyaf takviyeli PA6.6 kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. PA66 polimerine ilave edilen seramik esaslı katkıları ile kompozitin elastiklik modülünün ve Vickers sertliğinin arttığı belirtilmiştir. %20 oranında cam bilya katkılı PA66 kompoziti hariç çekme dayanımının arttığı belirtilmiştir. PA66 polimerine ilave edilen katkıların sürtünme katsayısı ve aşınma oranını değerlerini azalttığı belirtilmiştir. Shibata ve arkadaşları [22] yaptıkları diğer bir çalışmada %8 ve %26 oranlarında pirinç unu seramiği ve cam bilya katkılı PA6.6 kompozitlerin mekanik, termal ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. PA6.6 polimerine ilave edilen pirinç unu seramiği ve cam bilya katkıları kompozitin çekme dayanımını, elastiklik modülünü ve Vickers sertliğini artırmış, camsı geçiş sıcaklığının değişmediği tespit edilmiştir. Ergiyik sıcaklığının yaklaşık 3 °C azaldığı, kristallenme oranının ise katkı türü ve miktarına bağlı olarak azaldığı belirtilmiştir. Artan P.V (basınçxhız) değeri ile pirinç unu seramiği katkılı PA6.6 kompozitlerin sürtünme katsayısı pek değişmezken cam bilya katkılı PA6.6 kompozitlerin sürtünme katsayısı hafif bir şekilde azalmıştır. Katkısız PA6.6 polimerine göre PA6.6 kompozitlerin aşınma oranı düşük elde edilmiştir. Ulric ve arkadaşları [23] farklı oranlarda harmanladıkları PA6.6/PP karışımına hacimsel olarak %10 oranında ilave ettikleri cam bilyanın mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda cam bilyaların PA6.6 polimeri tarafından sarıldığı, çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerlerinin arttığı, kristallenme derecesinin ise azaldığı belirtilmiştir. Liang ve arkadaşları [24] ekstrüzyon yöntemi ile ürettikleri cam küre katkılı PA6.6 kompozitlerin mekanik özelliklerini ve kristallenme davranışlarını incelemişlerdir. %4'ten daha düşük oranda cam küre katkı içeriğinde PA66 esaslı kompozitin katkısız PA66 polimerinin değerlerine yakın değerler elde edildiği ancak bu oranın üzerinde katkı ilave edildiğinde kompozitin, sertlik ve çekme dayanımının önemli oranda arttığı belirtilmiştir.

**Tablo 1. Cam bilya katkılı polimerler için literatür taraması ve sonuçları.**

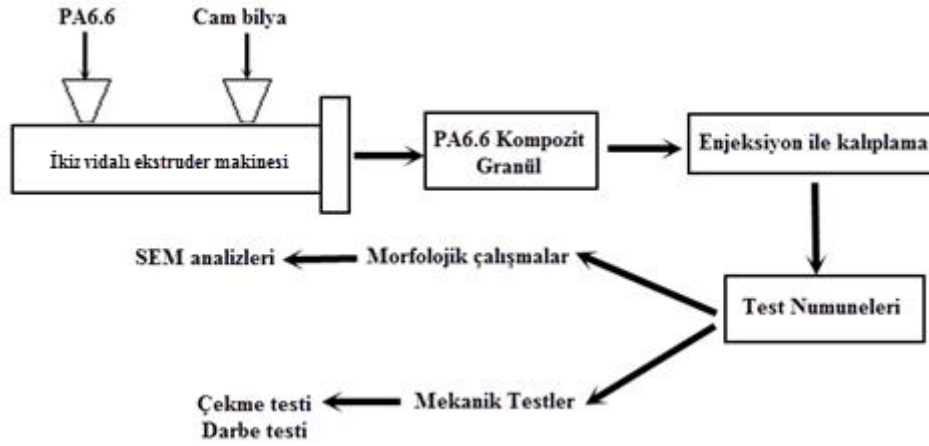
Referans	Matris malzemesi	Cam bilya oranı (% Ağırlıkça)	Cam bilya çapı (µm)	DeneySEL sonuçlar
7	LDYPE	5-10-15-20	2-3-5	Elastiklik modülü artmış, cam bilya çapı ve miktarının kompozitin kopma uzamasını etkilemediği ancak darbe dayanımını artırdığı belirtilmiştir.
8	PP	5-10-20-30	4-11-66	Elastiklik modülü artmış, çekme dayanımı ve darbe dayanımı azalmıştır. Cam bilya çapının artması ile çekme dayanımı azalmıştır.
9	PP	5-10-15-20	4-35-219	Çekme ve akma dayanımı azalmış, elastiklik modülü ve darbe dayanımı artmıştır. Küçük çaplı cam bilyaya sahip kompozitlerin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir.
10	ABS	5-10-15-20	70	Çekmedeki elastiklik modülü, eğilme dayanımı artmıştır. %5 cam bilya miktarında akma dayanımı ve kopma uzaması artmış, bu değerden sonra azalmıştır.
11	PA12	40-Hacimsel	58	Çekme dayanımı, eğilme dayanımı, kopma uzaması azalmış, çekmedeki elastiklik modülü ve eğmedeki elastiklik modülü artmıştır.
12	PP	15-20-30-Talk 30-40-Cam elyaf 30-Cam bilya	---	Depolama modülü artmış, cam elyafın en etkili katkı türü olduğu belirtilmiştir.
13	PBT	10-20-30	---	Elastiklik modülü artmış, kopma dayanımı ve kopma uzaması azalmıştır.
14	DYPE	10-20-30-40	11-93-114	Depolama modülü artmış, küçük çaplı cam bilyalar, büyük çaplı olanlara göre depolama modülünü artmıştır.
15	YYPE	15talk 15 Cam bilya	Talk: <1*~10 Cam bilya:8	Talk katkılı YYPE kompozitlerin akma dayanımı artarken cam bilya katkılı YYPE kompozitlerin akma dayanımı azalmıştır. Hem talk hem de cam bilya hibrit kompozitlerin kopmadaki % uzama değerleri azalmıştır.
16	ABS	10-20-30 Talk 10-20-30 CB	Talk: 6000*10 Cam bilya:12-26	Cam bilya miktarına bağlı olarak çekme dayanımı azalırken çekmedeki elastiklik modülü artmıştır. Sıcaklığın artması ile hem çekme dayanımını hem de elastiklik modülü azaltmıştır.
17	PVC	10-15-20	<2	Çekme dayanımı, kopma uzaması, sürtünme katsayısı ve aşınma oranı azalmıştır. Çekmedeki elastiklik modülü ve sertlik artmıştır.
18	PEK	20	16-27.5	Çekme dayanımı etkilenmeden sertlik değerleri artmıştır. Kristallenme oranı azalmış, Termal genişleme azalmıştır.
5	PA6	10-20-30-Cam elyaf 10-20-30-Cam bilya	---	Cam elyaf ve cam bilyalar termal iletkenliği ve ısı sapma sıcaklığını artırmıştır. Cam bilyanın termal özelliklerin gelişiminde daha etkili olduğu belirtilmiştir.
19	PA6	1.4-31.1-Hacimsel	4	Camsı geçiş sıcaklığı, çekmedeki elastiklik modülü artmıştır. Çentikli izod darbe dayanımı ve çekme dayanımı azalmış, Ergime sıcaklığı değişmemiş ancak termal kararlılık artmıştır.
1	PA6.6	Pirinç unu seramiği Cam bilya Cam elyaf Karbon elyaf	Cam bilya: 5	Seramik esaslı katkıları ile birlikte elastiklik modülü ve Vickers sertliği artmış, %20 cam bilya katkılı PA66 kompoziti hariç çekme dayanımı artmıştır. Seramik katkıları ile birlikte sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri azalmıştır.

22	PA6.6	%8-%26Pirinç unu seramiği %8-%26 Cam bilya	Pirinç unu seramiği:4.9 Cam bilya:5	Pirinç unu seramiği ve cam bilya, çekme dayanımını, elastiklik modülünü ve Vickers sertliğini artırmıştır. Camı geçiş sıcaklığı değişmemiş, ergiyük sıcaklığı 3 °C azalmış, kristallenme oranı ise katkı türü ve miktarına bağlı olarak azalmıştır.
20	PA6	10-15-20-25-30-Talk 10-15-20-25-30-Cam bilya	Talk: 6-9 Cam bilya:---	Çekme dayanımı ve modülü artmış, darbe dayanımı ve kopma uzaması azalmıştır.
21	PA6	10-20-30-40	11, 85, 156, 203	Cam bilya miktarı ve cam bilya çapının artması ile kalıpta çekme oranı ve çekme dayanım değerleri azalmıştır.
23	PA6.6/PP	%10-Hacimsel	40	Çekme dayanımı ve elastiklik modülü artmış, kristallenme derecesi azalmıştır.
3	PA6	15-Cam elyaf 15-Cam bilya	Cam elyaf:4000*10 Cam bilya:5	Cam elyaf ilavesi ile eğilme, darbe ve çekme dayanımları artarken cam elyaf/cam bilya karışımı ile kompozitin çekme ve eğilme dayanımları azalırken darbe dayanımı artmıştır. Cam elyaf ve cam bilya, malzemenin ergime akış indeksi değerlerini azaltırken termal kararlılığı artırmıştır.

Literatür taraması incelendiğinde cam bilya katkılı polimer kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerinin geniş bir şekilde çalışıldığı ancak farklı oranlarda cam bilya katkılı PA6.6 kompozitleri ile ilgili Shibata ve arkadaşları [1], [22] tarafından yapılan çalışmalar dışında literatür çalışmasına rastlanılmamıştır. Shibata ve arkadaşları [1] tarafından yapılan çalışmada pirinç unu seramiği, cam bilya, karbon fiber ve cam fiber gibi katkılar ile bu katkıların miktarına bağlı olarak PA6.6 polimerinin mekanik ve tribolojik özellikleri incelenirken Shibata ve arkadaşları [22] tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise hacimsel olarak %8 ve %26 oranlarında pirinç unu seramiği ve cam bilya katkılı PA6.6 kompozitlerinin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada ise ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri ile üretilen %10-20-30 oranlarındaki cam bilya katkılı PA6.6 kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir.

## **II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

LanXess firmasından temin edilen Durethan B40SK ticari isimli otomotiv ve elektrik sektöründe enjeksiyonla kalıplanabilen malzemelerde kullanmaya uygun Poliamit 6.6 polimeri çalışmada matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Cam bilya katkı malzemesi ise 2.5 g/cm<sup>3</sup> yoğunluklu ve 6 mohs sertliğinde ortalama 30-40 µm çapında Kuhmichel firmasından temin edilmiştir. Farklı oranlarda cam bilya katkılı PA6.6 kompozitlerin granül üretiminde Cooperion marka ZSK 26 ikiz vidalı bir ekstrüzyon makinası kullanılmış, test numunelerinin basılmasında ise Haitian marka MA2000 model bir enjeksiyon makinası kullanılmıştır. Ekstrüzyon prosesinde besleme hunisi ile ekstrüzyon kalıbı arasındaki sıcaklık dağılımı 250-290 °C olarak belirlenmiştir. Ekstrude edilen cam bilya katkılı PA6.6 polimer granüller 80°C'de 6 saat Nüve marka KD40 model etüvde kurutulduktan sonra enjeksiyon kalıplama yöntemi ile çekme ve darbe numuneleri üretilmiştir. Enjeksiyon basıncı 100 bar olarak ayarlanmıştır. Enjeksiyon kalıplama prosesinde besleme hunisi ve kalıp arasındaki sıcaklık dağılımı 255-285 °C olarak seçilmiştir. Tablo 2'de kullanılan malzemeler ve üretim şartları ile Şekil 1'de üretim aşamalarının şematik gösterimi verilmiştir. Çekme testleri ISO 527-1 (ASTM D638) standardına uygun olarak Zwick Roell Z-010 makinesinde, oda sıcaklığında ve 5mm/min. çekme hızında yapılmıştır. Charpy darbe deneyleri TS EN ISO 179-1 standardına uygun olarak Zwick B5113 darbe makinesinde yapılmıştır.



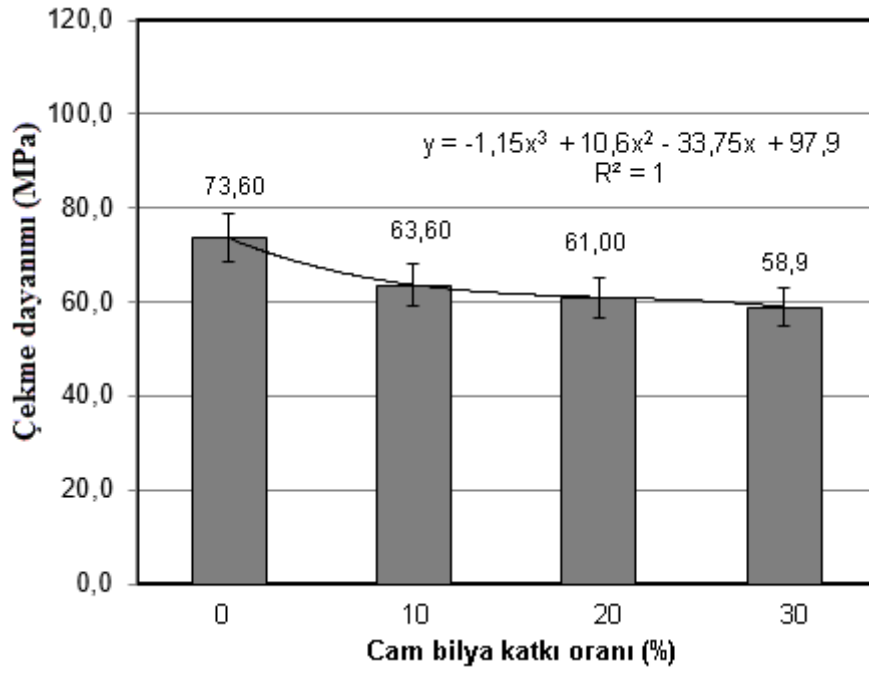
Şekil 1. PA6.6/cam bilya kompozit malzeme üretim aşamalarının şematik gösterimi.

Tablo 2. Kullanılan malzemeler ve üretim şartları.

Sıra No	PA 6.6 katkı oranı (%)	Cam bilya katkı oranı (%)	Kısaltma	Proses şartları
1	100	-	PA6.6	*Çift vidalı ekstruder makinesi ısıtıcı sıcaklık aralığı: 250-290 °C.
2	90	10	PA6.6-10CB	*Enjeksiyon makinesi ısıtıcı sıcaklık aralığı: 255-285 °C.
3	80	20	PA6.6-20CB	
4	70	30	PA6.6-30CB	*Enjeksiyon basıncı:100 bar

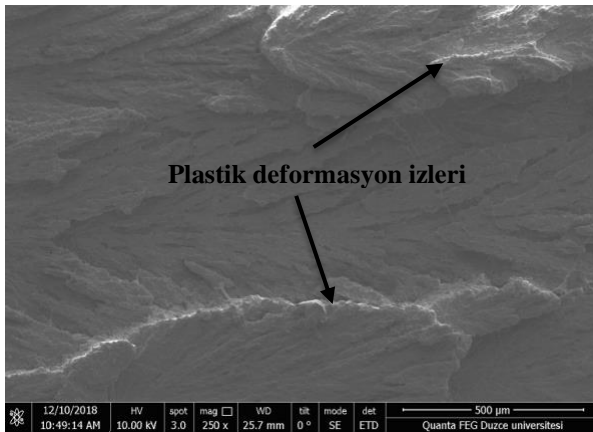
### III. DENEYSEL SONUÇLAR

Şekil 2’de katkısız PA6.6 polimeri ile %10-20 ve 30 oranlarında cam bilya katkılı PA6.6 kompozitlerin çekme testi sonrasında elde edilen çekme dayanımı değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi katkısız PA6.6 polimerinin çekme dayanımı 73.6 MPa iken %10, %20 ve %30 oranlarında cam bilya katkılı PA6.6 kompozitlerin çekme dayanımları sırasıyla 63.6, 61.0 ve 58.9 MPa olarak elde edilmiştir. Katkısız PA6.6 polimerinin çekme dayanımı ile karşılaştırıldığında, polimer matrise %10 cam bilya ilavesi kompozitin çekme dayanımını %15.7 oranında, %20 cam bilya ilavesi %20.6 oranında ve %30 cam bilya ilavesi ise %24.9 oranında azaltmıştır. Benzer sonuçlar Ermiş [17], Tang [8], Liang ve Li [9] tarafından daha önce yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. Ermiş ve arkadaşları [7] polimer matris ile cam bilya arasındaki zayıf bağlanma olduğunu bunun ise kompozitin çekme dayanımını azalttığını belirtmişlerdir. Tang ve arkadaşları [8] kompozitteki cam bilya oranının artması ile polimer ve cam bilya arasında daha az gerilim transferi olduğunu ve bunun sonucunda çekme dayanımının azaldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca cam bilya çapının büyük olması ile matris ve cam bilya arasındaki bağlanmanın azaldığı ve bunun sonucu olarak mekanik özelliklerin düştüğü belirtilmiştir. Benzer bir açıklama da Kuram [3] tarafından yapılmıştır. Cam bilyalar polimer bünyesinde iyi bir bağ oluşturmadığı zaman yükü taşıyan kompozitin hacimsel olarak oranının azalacağı ve dayanım değerlerinin de zayıflayacağı ifade edilmiştir.

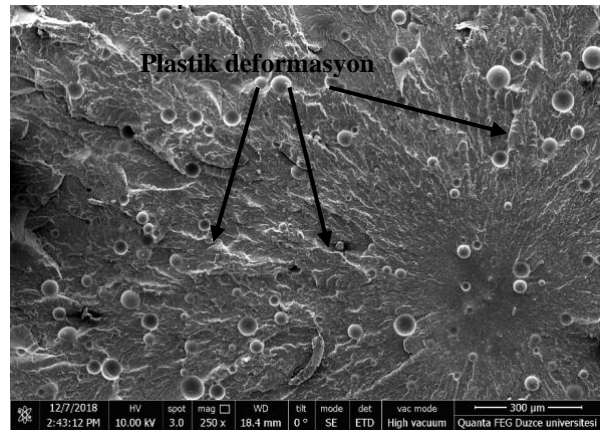


Şekil 2. PA6.6 polimerinin cam bilya katkı oranına bağlı olarak çekme dayanımı değişimi.

Liang ve Li ise [9] artan cam bilya miktarına bağlı olarak kompozitlerin sağlam ve sünek bir yapıdan rijit ve kırılğan bir yapıya dönüşmesi nedeniyle çekme dayanımının azaldığını belirtmişlerdir. Liang [10] yaptığı bir diğer çalışmada ise artan partikül miktarı ile polimer matris ile katkı arasındaki iyi veya kuvvetli bir bağlanmanın kompozitin çekme dayanımı değerlerini de iyileştirdiğini belirtmiştir. Şekil 3'te verilen çekme testi sonrası elde edilen kırık yüzeylerden alınan taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinde görüldüğü gibi cam bilya ve PA6.6 polimer matris arasındaki zayıf arayüzey bağının çekme dayanımının azalmasında önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Şekil 3-a'da görüldüğü gibi PA6.6 polimer kırılma yüzeylerinde plastik deformasyonun olduğu gözlenmiştir. Cam bilya katkılı PA6.6 kompozitlerinde ise cam bilya katkısının tüm kompozitlerde homojen olarak dağıldığı ve artan cam bilya miktarı ile arayüzey bağının arttığı görülmektedir (Şekil 3-b-c-d-e).

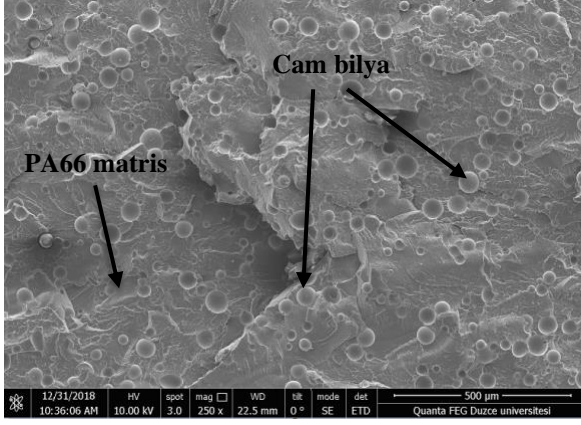


a) PA 6.6

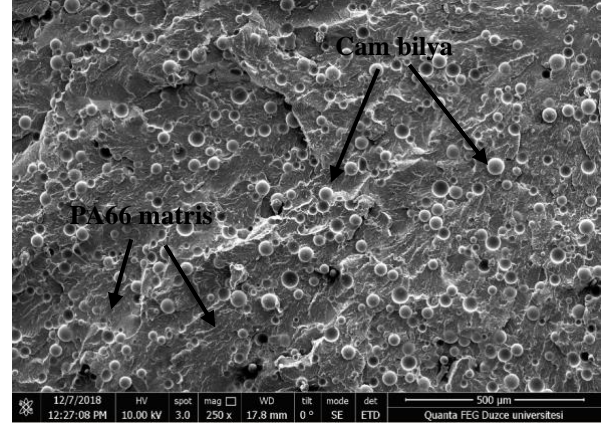


b) PA 6.6-10CB

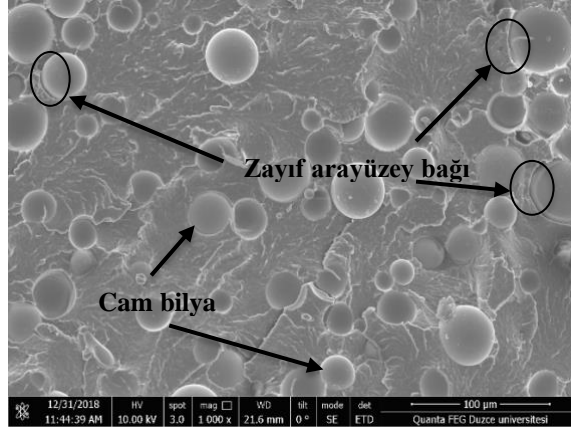




c) PA6.6-20CB



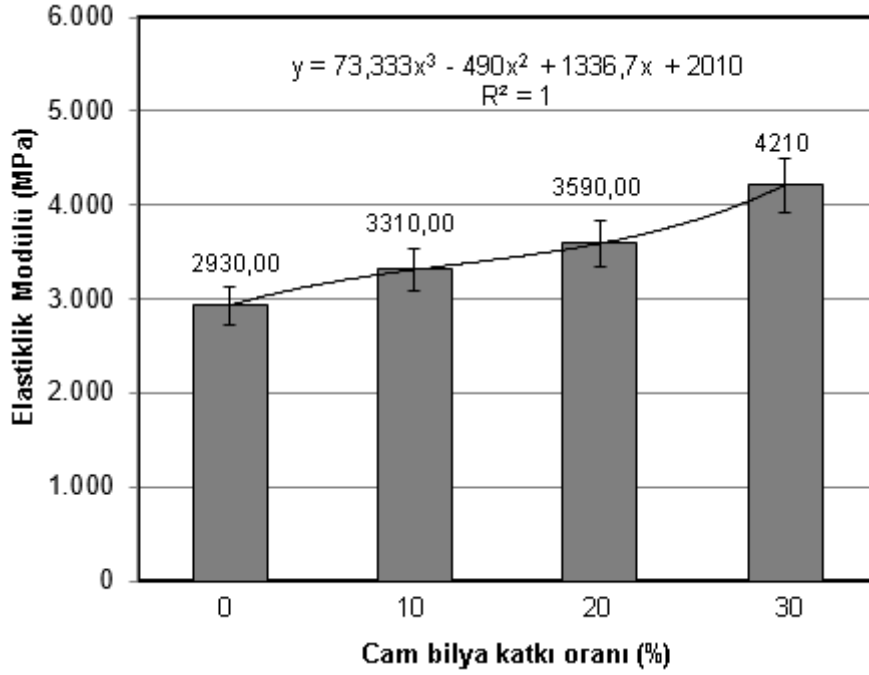
d) PA6.6-30CB



e) PA6.6-30CB

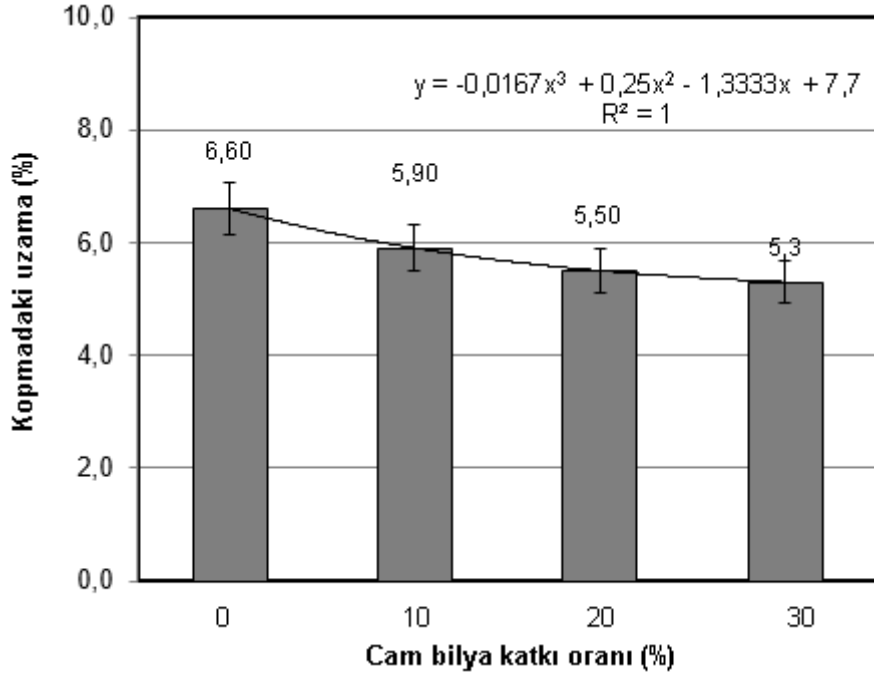
Şekil 3. PA6.6 polimeri ile cam bilya katkıli PA6.6 kompozitlerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.

Şekil 4’te ise katkısız PA6.6 polimeri ile cam bilya katkıli PA6.6 kompozitlerin cam bilya oranına bağlı olarak elastiklik modülü değerlerinin değişimi verilmiştir. Katkısız PA6.6 polimerinin 2930 MPa olan elastiklik modülü değeri %10 oranında cam bilya ilavesi ile %12.9 oranında artarak 3310 MPa değerine ulaşmıştır. %20 oranında cam bilya ilavesi ile elastiklik modülü %22.5 oranında artmış ve %30 cam bilya ilavesinde ise bu artış %43.6 oranında olmuştur. Elastiklik modülündeki artış, He ve Jiang [25] tarafından tanımlanan ve her bir partikülün etrafındaki matris bölgesinin gerilim konsantrasyonundan etkilendiğini belirten perkolasyon teorisi ile açıklanmaktadır. Partiküller arasındaki mesafe yeterince az olduğunda ise bu bölgeler birleşerek elastiklik modülü değerini artıran perkolasyon ağını oluşturacaklardır. Şekil 3-c, d ve e’de görüldüğü gibi artan cam bilya miktarı ile cam bilyalar arasındaki mesafenin azaldığı ve dolayısıyla elastiklik modülünün önemli oranda arttığı görülmektedir. Liang [10] ise rijit partikül katkıli kompozitlerde, partikül ve polimer arasındaki elastiklik modülü farklılığına ilave olarak bazı fiziksel çapraz-bağlı noktalar oluşturulabileceğini ve polimer matrisin moleküler zincirlerinin hareketinin, partiküllerin eklenmesi nedeniyle bir dereceye kadar bloke edilebileceğini veya sınırlayabileceğini, bunun sonucunda ise kompozitin sertliğinin artmasına yol açacağını da belirtmiştir. Sertliğin artması ile kompozitin elastiklik modülünün de artacağını belirtmiştir. Yukarıda daha önce literatürde yapılan incelemeler sonucunda yapılan açıklamalardan şu sonuç çıkarılabilmektedir. Genel olarak, polimer matris içerisinde homojen dağılmış partiküller ve polimer ile partiküller arasındaki arayüzey bağı ne kadar iyi ise kompozitin rijitliği de o derece yüksek olacaktır.

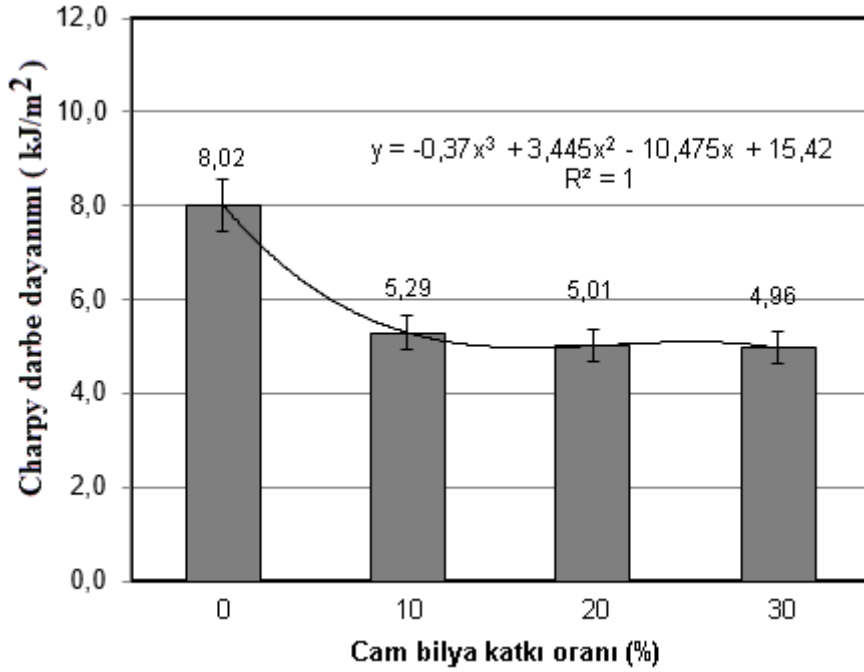


*Şekil 4. PA6.6 polimerinin cam bilya katkı oranına bağlı olarak elastiklik modülü değerlerinin değişimi.*

Çekmedeki % kopma uzaması, malzemelerin çekme kırılması tokluğunun karakterizasyonu için önemli bir parametredir [10]. Şekil 5'te katkısız PA6.6 polimeri ile %10-20 ve %30 oranlarında cam bilya katkılı PA6.6 kompozitlerin çekme testi sonrası elde edilen kopmadaki % uzama değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi PA6.6 polimerine ilave edilen farklı oranlardaki cam bilya kopmadaki %uzama değerlerinin azalmasına sebep olmuştur. Kopmadaki % azalma, cam bilya katkı oranına bağlı olarak sırasıyla yaklaşık %5.9, %5.5 ve %5.3 oranlarında elde edilmiştir. Katkısız PA6.6 polimerinin % 6.6 olan kopmadaki uzama değeri cam bilya ilavesi ile ortalama %5.5 olarak elde edilmiştir. PA6.6 kompozitindeki artan cam bilya miktarı ile kompozitlerin rijitliği artmış (Şekil 4) ancak kopmadaki % uzama değeri azalmıştır. Bu sonuç, cam bilyaların polimer zincirlerinin arasına girerek polimer kompozit malzemenin zincir hareketliliğini kısıtlaması ve elastikliğini azaltması olarak açıklanabilir [3], [17]. Benzer bir açıklama Unal [20] tarafından yapılmış ve kopmadaki % uzamanın azalmasının sebebinin katkıların makromoleküler zincir hareketliliğini engellemesi ile polimer kompozitin kırılma dayanımını artırması olarak açıklanmıştır. Liang [10] ise yaptığı çalışmada cam bilya katkılı ABS esaslı polimer kompozitlerin kopmadaki % uzama değerlerinin katkısız ABS polimerine yakın elde edildiğini, %5 ve %10 oranında cam bilya ilavesi ile ABS polimerine göre daha yüksek olduğu da belirtilmiştir. Bu durumun düşük katkı oranlarında polimerin kırılma tokluğunu geliştirmek için faydalı olduğunu da belirtilmiştir.



Şekil 5. PA6.6 polimerinin cam bilya katkı oranına bağlı olarak kopmadaki uzama değerlerinin değişimi.



Şekil 6. PA6.6 polimerinin cam bilya katkı oranına bağlı olarak charpy darbe dayanımının değişimi.

Şekil 6'da PA6.6 polimerinin cam bilya katkı oranına bağlı olarak charpy darbe dayanımının sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi katkısız PA6.6 polimerinin 8.02 kJ/m<sup>2</sup> olan darbe dayanımı %10 cam bilya ilavesi ile %51.6 oranında azalarak 5.29 kJ/m<sup>2</sup> elde edilmiştir. Artan cam bilya miktarı ile kompozitin darbe dayanımı daha da azalmış ve %30 cam bilya içeriğinde darbe dayanımı %61.6 oranında azalarak 4.96 kJ/m<sup>2</sup> elde edilmiştir. Literatürde cam bilya ilavesi ve artan cam bilya oranına bağlı olarak darbe dayanımının hem arttığı hem de azaldığı sonuçlar belirtilmiştir. Yang ve arkadaşları [7] yaptıkları çalışmada cam bilyaların düzgün küresel yapılarından dolayı yük uygulandığında gerilim konsantrasyonuna sebep olabilecek keskin köşelerin ve kenarların olmaması nedeniyle kompozitlerin

darbe dayanımını arttırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Liang'da [10] cam bilyaların (içi dolu ya da içi boş) pürüzsüz küresel yapıları nedeniyle kompozitte çatlak oluşumunun gözlenmeyeceği, polimer matris ve partiküller arasındaki yüzey tabakasında gerilim konsantrasyonunun oluşacağı, polimer kompozitin yüke maruz kalması durumunda ise ilk olarak arayüzey tabakasının plastik deformasyon enerjisini absorplayacağı ve böylelikle çekmedeki kırılma tokluğunun artacağını belirtmiştir. Ancak, Liang ve Li [9] cam bilya katkılı PP kompozitlerin dış kuvvetlere maruz kaldığında polimer matris ve cam bilyalar arasındaki arayüzey tabakasının inklüzyonlar ve polimer matris arasındaki zayıf arayüzey bağı nedeniyle oluşan gerilimin bir kısmını aktarabileceklerini belirtmiştir. Artan gerilim nedeniyle polimer matris ve cam bilyalar arasındaki bağ ayrılmasının şiddetleneceği ve bu durumda da dış yüke maruz kalan alanın azalması nedeniyle lokal akmalarda/deformasyonun öncelikle partiküller etrafında yer alan matriste meydana geleceği belirtilmiştir. Bu durum tüm kesite yayıldığında ise numunenin bozulması ve dayanım değerlerinin azalması ile sonuçlanacağı belirtilmiştir. Hashemi [16] yaptığı bir çalışmada da benzer sonuçlar elde etmiştir. Cam bilya katkılı ABS kompozitlerin deformasyonunun düşük gerilmelerde lineer iken yüksek gerilmelerde lineer olmadığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin ise ABS/cam bilya kompozitlerin yüklenmesi sırasında cam bilya partiküllerinin etrafında mikro-hataların meydana geldiğini ve mekanik özelliklerin azaldığını belirtmişlerdir.

## **IV. SONUC**

Ekstrüzyonla granül enjeksiyonla kalıplama yöntemi ile test numunelerinin üretildiği bu deneysel çalışmada PA6.6 polimeri ile %10, %20 ve %30 oranında cam bilya katkılı PA6.6 kompozitlerin mekanik özellikleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Endüstriyel uygulamalarda istenen mekanik performanslar yanında üretilen kompozit malzemenin görüntüsü de önem arz etmektedir. Hem mekanik performans hem de iyi ve parlak malzeme görünüşü istenen sektörlerde cam bilya katkı kullanılması önerilmektedir. Katkısız PA6.6 polimeri ile karşılaştırıldığında, PA6.6 polimerine sırasıyla %10, %20 ve %30 oranında cam bilya ilave edilmesiyle kompozitlerin sırasıyla çekme dayanımları %15.7, %20.6 ve %24.9 oranında azalmıştır. %10-20-30 oranlarında cam bilya katkılı PA 6.6 kompozitlerin elastiklik modülü değerleri katkısız PA6.6 polimerinin elastiklik modülü ile kıyaslandığında sırasıyla %12.9, %22.5 ve %43.6 oranlarında arttığı gözlenmiştir. Katkısız PA6.6 polimerinin % 6.6 olan kopmadaki uzama değeri cam bilya ilavesi ile ortalama %5.5 olarak elde edilmiştir. Katkısız PA6.6 polimerinin 8.02 kJ/m<sup>2</sup> olan darbe dayanımı %10 cam bilya ilavesi ile %51.6 oranında azalarak 5.29 kJ/m<sup>2</sup> elde edilmiştir. Artan cam bilya oranı ile darbe dayanımı daha da azalmış ve %30 oranında cam bilya içeriğinde darbe dayanımı %61.6 oranında azalarak 4.96 kJ/m<sup>2</sup> elde edilmiştir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] K. Shibata, M. Fukuda, T. Yamaguchi and K. Hokkirigawa, "Relationship between sliding-induced wear and severity of sliding contact for polyamide 66 filled with hard filler," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 231, no. 6, pp. 783-790, 2017.
- [2] M. Divekar, V.R. Gaval, A. Wonisch, and G. Jadhav. "Increase in warpage prediction accuracy for glass filled polyamide material (PA66) through integrative simulation approach," *ASM Science Journal*, vol. 15, pp. 1-9, 2021.
- [3] E. Kuram, "Synergistic effect of glass bead and glass fiber on the crystalline structure, thermal stability, and mechanical, rheological, and morphological properties of polyamide 6 composites," *Journal of Composite Materials*, pp. 1-13, 2021. (<https://doi.org/10.1177/00219983211054190>).

- [4] D. Ye, L. Yu, G. Hou, and H. Zhu, "Processing and properties of hollow glass microsphere particulate-filled PA2200 composites produced by selective laser," *E3S Web of Conferences*, vol. 261:02016, 2021.
- [5] S. Ranganathan, H.N. Rangasamy Suguna Thangaraj, A.K. Vasudevan, and D.K. Shanmugan, "Analogy of thermal properties of polyamide 6 reinforced with glass fiber and glass beads through FDM Process," *SAE Technical Paper*, 2019-28-0137, 2019.
- [6] R. K. Dhakde, and A. Agrawal, "Mechanical properties of micro-size glass beads filled epoxy composites," *International Journal for Scientific Research & Development*, vol. 6, no. 04, pp. 1194-1196, 2018.
- [7] W. Yang, W. Shi, Z. M. Li, B. H. Xie, J. M. Feng and M. B. Yang, "Mechanical properties of glass bead-filled linear low-density polyethylene," *Journal of Elastomers and Plastics*, vol. 36, pp. 251-265, 2004.
- [8] C. Y. Tang, J. Z. Liang, K. C. Yung, R. K. Y. Li, and S. C. Tjong, "Mechanical properties of glass beads filled polypropylene composites," *Key Engineering Materials*, vol. 145-149, pp. 823-828, 1998.
- [9] J. Z. Liang, and R. K. Y. Li, "Mechanical properties and morphology of glass bead-filled polypropylene composites," *Polymer Composites*, vol. 19, no. 6, pp. 698-703, 1998.
- [10] J. Z. Liang, "Tensile and flexural properties of hollow glass bead-filled ABS composites," *Journal of Elastomers and Plastics*, vol. 37, pp. 361-370, 2005.
- [11] H. J. O' Connor and D. P. Dowling, "Comparison between the properties of polyamide 12 and glass bead filled polyamide 12 using the multi jet fusion printing process," *Additive Manufacturing*, vol. 31, 100961, 2020.
- [12] S. Norwinski, P. Postawa, R. Sachajko, P. Palutkiewicz, and T. Stachowiak, "The Investigations of thermomechanical properties of polypropylene composites," *Advances in Polymer Technology*, vol. 2019, Article ID 1267692, 2019.
- [13] M. Botan, C. Georgescu, and L. Deleanu, "Influence of micro glass beads added in a PBT matrix on the mechanical properties of composites," *The Annals of "Dunarea De Jos" University of Galati. Fascicle IX. Metallurgy and Materials Science*, no. 2, pp. 64-71, 2012.
- [14] L. Ji-Zhao, "Predictions of storage modulus of glass bead-filled low-density-polyethylene composites," *Materials Sciences and Applications*, vol. 1, pp. 343-349, 2010.
- [15] A. Bongiorno, C. Pagano, S. Agnelli, F. Baldi, and I. Fassi, "Mechanical properties of micro-injected HDPE composites," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1713, 120006, 2016.
- [16] S. Hashemi, "Effect of temperature on tensile properties of injection moulded short glass fibre and glass bead filled ABS hybrids," *eXPRESS Polymer Letters*, vol. 2, no.7, pp. 474-484, 2008.
- [17] K. Ermis, H. Unal, and M. Gunay, "Glass bead effects on tribological and mechanical properties of plasticized polyvinyl chloride cable used in vehicles as a filler," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 235, no. 11, pp. 2432-2439, 2021.
- [18] Y. Wang, E. James, and O. R. Ghita, "Glass bead filled polyetherketone (PEK) composite by high temperature laser sintering (HT-LS)," *Materials and Design*, vol. 83, pp. 545-551, 2015.



- [19] L. Huang, Q. Yuan, W. Jiang, L. An, S. Jiang, and R. K. Y. Li, "Mechanical and thermal properties of glass bead-filled nylon-6," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 94, pp. 1885-1890, 2004.
- [20] H. Unal, "Morphology and mechanical properties of composites based on polyamide 6 and mineral additives," *Materials and Design*, vol. 25, pp. 483-487, 2004.
- [21] J.G. Kovacs, and B. Solymosy, "Effect of glass bead content and diameter on shrinkage and warpage of injection-molded PA6," vol. 49, no. 11, pp. 2218-2224, 2009.
- [22] K. Shibata, T. Yamaguchi, M. Kishi, and K. Hokkirigawa, "The role of frictional work in tribological behavior of polyamide 66 composites containing rice bran ceramics particles or glass beads," *Tribologia - Finnish Journal of Tribology*, vol. 32, no. 1, pp. 33-40, 2014.
- [23] M. Ulrich, C. Caze, and P. Laroche, "Morphological studies of glass-microbead-filled polyamide 6.6-polypropylene blends," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 67, pp. 201-208, 1998.
- [24] W.C. Liang, W. Chong, L. Wen-Zhi, W. Shui-Zhu, L. Shu-Mei, and Z. Jian-Qing, "Mechanical properties of polyamide 66 filled with glass beads," *Synthetic Materials Aging and Application*, vol. 38, no. 1, pp. 9-12, 2009.
- [25] D. He, and B. Jiang, "The elastic modulus of filled polymer composites," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 49, pp. 617-621, 1993.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Extreme Learning Machine Algorithms for Prediction of Positive Rate in Covid-19: A Comparative Study

 Salih Berkan AYDEMİR <sup>a,\*</sup>,  Funda KUTLU ONAY <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Amasya Üniversitesi, Amasya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: salih.aydemir@amasya.edu.tr

DOI: 10.29130.dubited.999953

### ABSTRACT

Various pandemics have been recorded in world history until today. The Covid-19 outbreak, which emerged at the end of 2019, has recently been a hot topic in the literature. In this work, extreme learning algorithms are presented as a comparative study for predicting the positive rate for the countries: India, Turkey, Italy, USA and UK. The features to be used in the learning phase are determined with the F-test feature selection method. For each extreme learning approach, results are obtained for each country with the root mean square error evaluation criteria. Accordingly, the radial basis kernel function produces the best estimation results, while the linear kernel function has the highest RMSE. Accordingly, the lowest RMSE value has been obtained for India as  $4.17E-03$  with the radial basis kernel function based ELM. Also, since Turkey's data contains too many outliers, it has the highest RMSE value (0.015 - 0.035) in linear kernel method among the countries.

**Keywords:** Extreme Learning Machines, Covid-19, Prediction, Feature Selection

## Covid-19'da Pozitif Vaka Oranı Tahmini İçin Aşırı Öğrenme Makinesi Algoritmaları: Karşılaştırmalı Bir Çalışma

### ÖZ

Dünya tarihinde bugüne kadar çeşitli pandemiler meydana gelmiştir. 2019 yılının sonunda ortaya çıkan Covid-19 salgını son zamanlarda literatürde güncel bir konu haline geldi. Bu çalışmada, aşırı öğrenme algoritmaları, en fazla pozitif vakaların görüldüğü ülkeler olan Hindistan, Türkiye, İtalya, ABD ve İngiltere için pozitif oranı tahmin etmeye yönelik karşılaştırmalı bir çalışma olarak sunulmaktadır. F-testi öznelik seçme yöntemi ile öğrenme aşamasında kullanılacak öznelikler belirlenir. Her bir aşırı öğrenme yaklaşımı ve her bir ülke için hata ortalama karekökü değerlendirme kriterleri ile sonuçlar elde edilir. Buna göre, radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu en iyi tahmin sonuçlarını üretirken, doğrusal çekirdek fonksiyonu en yüksek RMSE'ye sahiptir. Buna göre Hindistan için en düşük RMSE değeri radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu tabanlı ELM ile  $4.17E-03$  olarak elde edilmiştir. Ayrıca Türkiye verileri çok fazla aykırı değer içerdiğinden doğrusal çekirdek yönteminde ülkeler arasında en yüksek RMSE değerine (0.015 - 0.035) sahiptir.

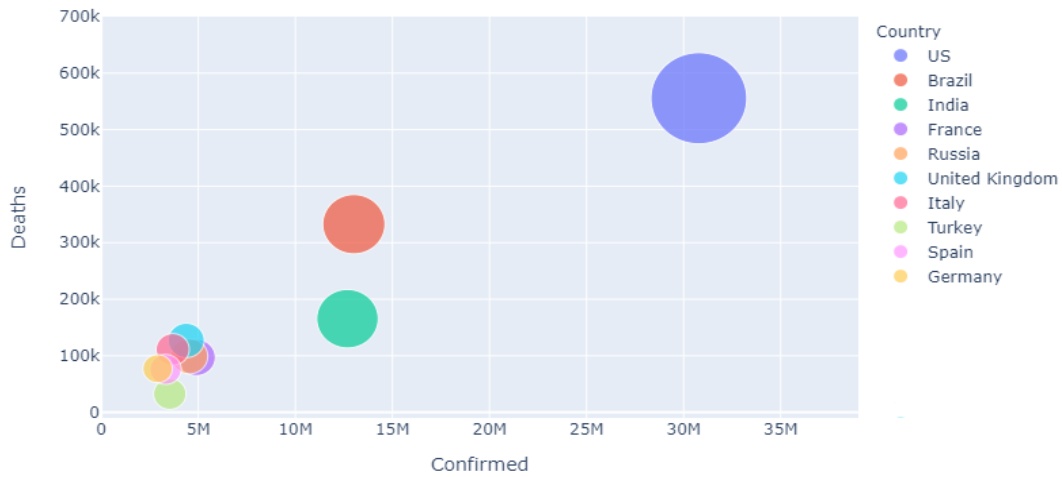
**Anahtar Kelimeler:** Aşırı Öğrenme Makinaları, Covid-19, Tahmin, Öznelik Seçimi

## **I. INTRODUCTION**

Until today, many epidemic diseases have been fought in the history of the world and therefore many people have lost their lives. The World Health Organization (WHO) has developed a number of combat methods in the event of these epidemics and aimed to eliminate or reduce the effects of the disease with these methods. Covid-19 (Coronavirus), which first appeared in Wuhan Province of China in December 2019, has spread exponentially all over the world in a very short time and has become a major threat for global health [1]. The pandemic new type of Coronavirus, which currently does not have an effective treatment and vaccine, has spread to more than 200 countries, infected more than 103 million people, and caused 2,248,089 deaths by February 02, 2021 [2]. Various parameters play an important role in number of people being infected or being affected by the virus. Since, the number of cases, mortality estimates and other calculations related to the Covid-19 virus provide critical information, so studies in this area have become important. Among these studies, there are those carried out using regional data as well as data from all over the world.

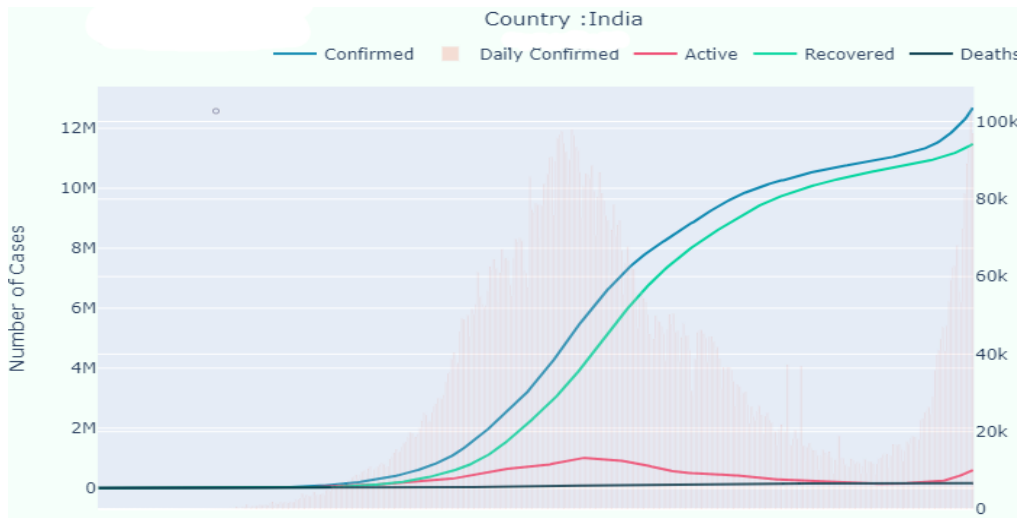
There are recent studies on statistical and time-series modelling to model and predict the incidence, prevalence, recurrence rate, mortality rate, spread rate, active and new cases of the pandemic. Li et. al. [3] presented the data-driven analysis approach to estimate the size of the outbreak in other Hubei and other regions of mainland China. Fanelli and Piazza [4] proposed the recursive relations and non-linear fitting approaches to analyze the temporal dynamics of the coronavirus outbreak in China, Italy and France. Wei et. al. [5] performed the global expansion of the epidemic with dynamic map visualization and predicted the spread of the virus across all countries and continents. Ceylan [6] implemented the auto-regressive integrated moving average (ARIMA) model to estimate the prevalence of Covid-19 in Italy, Spain and France. Again, as a study which uses ARIMA, Lukman et. al. [7] investigated the spread frequency of African countries most affected by the epidemic. Almeshal et. al. [8] used deterministic and stochastic modelling approaches to estimate the extent of the spread in Kuwait and to determine the end of the outbreak. Ogundokun et. al. [9] aimed to predict the prevalence of Covid-19 in Nigeria using a linear regression model. Djeddou et al.[10] used four different artificial neural network models to model newly confirmed cases in Algeria. Achterberg et. al. [11] analysed a diverse set of Covid-19 forecast algorithms, including several modifications of NIPA. He et. al. [12] carried out meta-analysis and sensitivity analysis for prediction of the basic reproduction number, the average incubation time, asymptomatic rate infection and the case fatality rate for Covid-19. Hasan et. al. [13] investigated the applicability of the ELM technique to predict the certain Covid-19 cases. Pinter et. al. [14] estimated Covid-19 mortality rate in Hungary using ANFIS and MLP-ICA based hybrid model. Yadav et. al. [15] aimed to predict positive cases, active cases, recoveries, transmission rate and to model the relationship between weather conditions and coronavirus. Rath et. al. [16] proposed a multiple linear regression model for predicting active cases in Covid-19 daily data. Ghosal et al. [17] used linear regression analysis to estimate the number of deaths in India from SARS-CoV-2. Finally, Sujath et. al. [18] predicted the spread of Covid-19 in India using linear regression, multilayer perceptron and vector auto-regression methods.



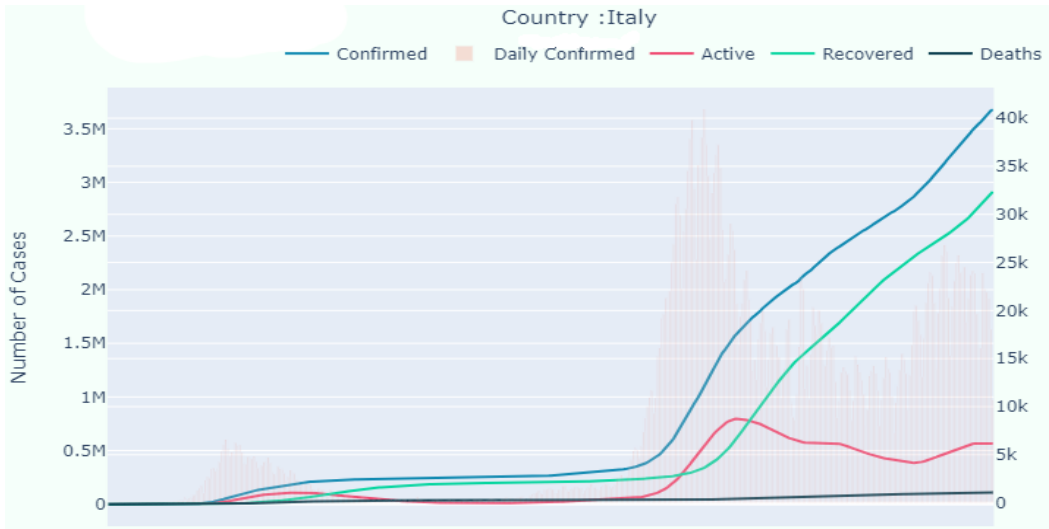


**Figure 1.** Top 10 countries with the highest number of Covid-19 confirmed patients [19].

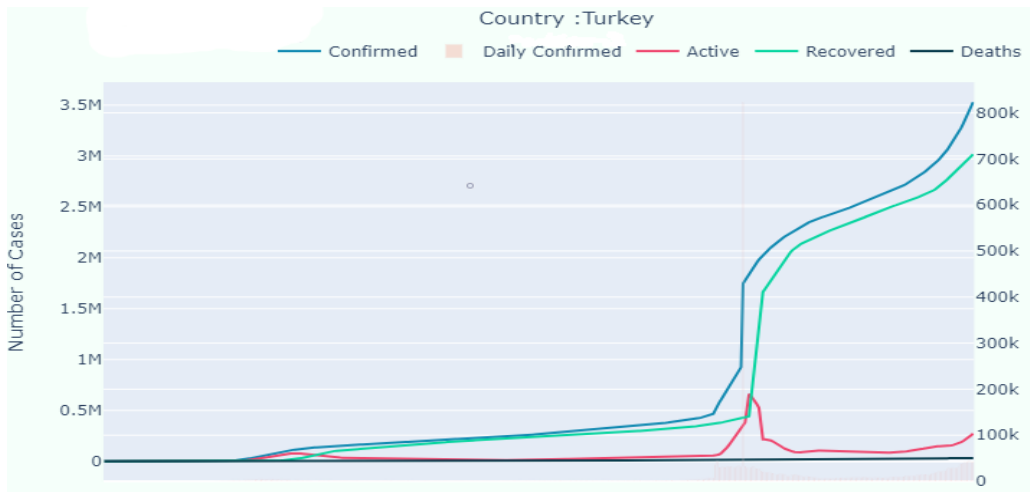
In Figure 1, 10 countries with the highest number of confirmed patients between January 22, 2020 and April 04, 2021 are given. Five countries with no missing data have been selected among the top 10 countries. These are India, Italy, Turkey, United Kingdom (UK) and United States (US). On the other hand, number of active cases, recovered cases, and death cases of five countries used in the study are given in Figure 2. Considering Figure 2, it can be seen that the number of the confirmed patients for five countries is increasing day by day. In India, Italy and Turkey, the number of recovered patients is increasing, while the number of active cases is increasing in the UK and US.



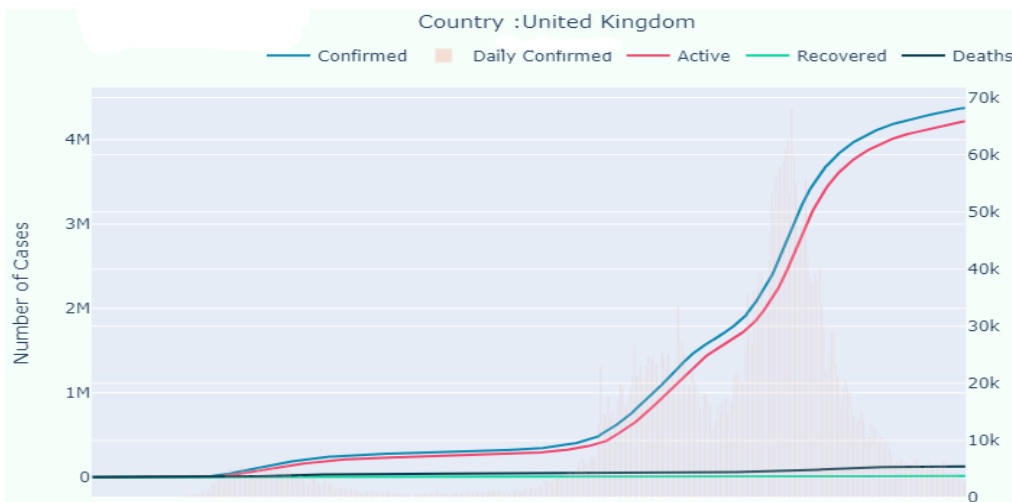
**(a) India**



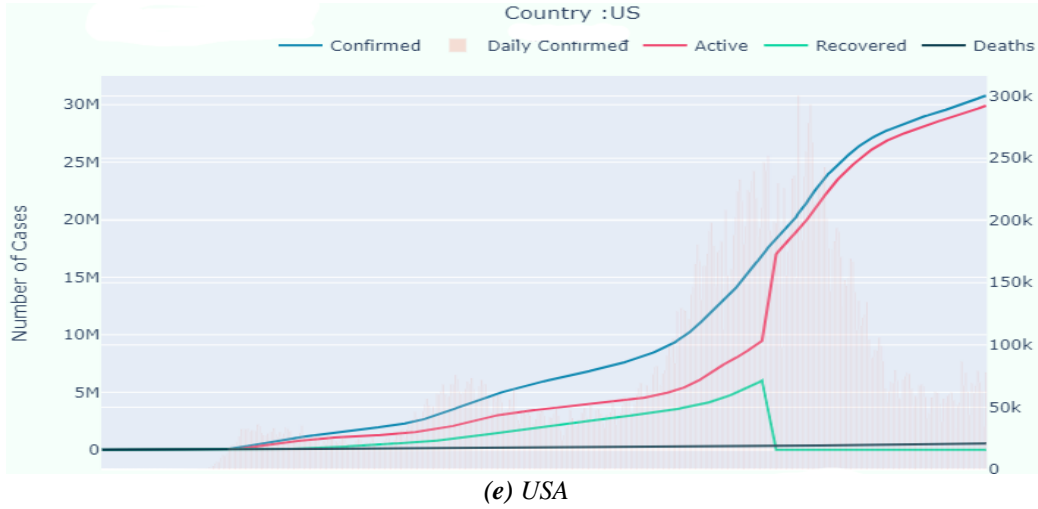
(b) Italy



(b) Turkey



(d) United Kingdom



**Figure 2.** : Number of active, recovered, and death cases of countries used to predict the positive rate in the study [19].

In this study, extreme learning machine algorithms were used to estimate the rate of positive cases. Accordingly, the prediction process with the extreme learning machine methods are performed by selecting the effective features with the F-test feature ranking method on the data. Different extreme learning algorithms (Extreme Learning Machine (ELM), Kernel ELM (three types as Linear, Radial-based and Polynomial ELM), Online Sequential ELM (OSELM), Constrained Sum ELM (CSELM)) for selected countries are presented comparatively.

The design of this article is given as follows: Section 2 describes the separately used ELM models. In Section 3, the characteristics of used data set, the F-test feature selection method and the parameters used for each ELM algorithm are given. The results of each method for each country are also interpreted and visualized with the help of graphics and tables in this section. Finally, in Section 4, the obtained results have been discussed and the studies planned have been mentioned.

## II. METHODS AND METHODOLOGY

### A. EXTREME LEARNING MACHINE

ELM is a single layer feed-forward network model with random input parameters. In ELM, weights between input and hidden layer are randomly generated [20]. The weights between the hidden and output layer are determined analytically. ELM produces successful results in regression and classification problems due to its analytical structure [21]. The input and output training sample for ELM are expressed as  $(x_i, y_i) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m, (i = 1, 2, \dots, N)$ . The mathematical model of SLFN is as follows, where  $\hat{N}$  the number of hidden neurons and  $g$  is the activation function.

$$\sum_{i=1}^{\hat{N}} \alpha_i g(w_i \cdot x_j + b_i) = o_j \tag{1}$$

where  $o_i$  is the  $i^{th}$  output value,  $N$  is number of train data,  $w_i \in \mathbb{R}^n$  is a weight vector, bias is represented by  $b_i$ , and  $\alpha_i = [\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{im}]^T$  is the parameter vector between the hidden node and the output nodes.  $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}]^T$  are randomly generated learning parameters between input and hidden layer. The mathematical model of SLFN approaching zero error is expressed by  $\sum_{j=1}^{\hat{N}} \|o_i - t_j\| = 0$ .

$$\sum_{j=1}^{\hat{N}} \alpha_i g(w_i \cdot x_j + b_i) = t_j, j = 1, 2, \dots, N \tag{2}$$

Equation 2 can be expressed in detail as

$$H\alpha = T \quad (3)$$

The left side of the equation can be expressed as  $f(x) = h(x)\alpha$ .  
where,

$$H = \begin{bmatrix} g(w_1 \cdot x_1 + b_1) & g(w_N \cdot x_1 + b_N) \\ \vdots & \vdots \\ g(w_1 \cdot x_N + b_1) & g(w_N \cdot x_N + b_N) \end{bmatrix}_{N \times N}, \quad (4)$$

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_1^T \\ \vdots \\ \alpha_N^T \end{bmatrix}_{N \times m} \quad \text{and} \quad T = \begin{bmatrix} t_1^T \\ \vdots \\ t_N^T \end{bmatrix}_{N \times m}.$$

H represents the output matrix of the hidden layer. In ELM, the weights in the output layer are calculated analytically, where the  $w_j$  and  $b_j$  parameters are randomly assigned. It is required to solve the linear equation system given in Equation 3 to find the  $w_j$  and  $b_j$  parameters. Thus, the  $\alpha$  vector forms the solution set of linear equations.

$$\hat{\alpha} = H^\dagger T \quad (5)$$

In Equation 5,  $H^\dagger$  is the Moore-Penrose inverse of H. In fact, the output parameters updated in the ELM structure refer to the  $\hat{\alpha}$  vector. Therefore, only the output weights are updated in the single hidden layer network. On the other hand, a regularized extreme learning machine (RELM) structure is proposed to provide stability and robustness in the ELM structure [22]. As a result of ELM, the standard deviation can be high due to randomness. Therefore, RELM takes into account heteroscedasticity and produces more stable results than ELM at outliers. RELM equation is expressed as Equation 6.

$$\hat{\alpha} = H^T \left( \frac{I}{C} + H^T H \right)^\dagger T \quad (6)$$

In this study, RELM is used because of its stable structure. C values are used systematically within the set of  $C^*$  where  $C^* = \{2^{-10}, 2^{-9}, \dots, 2^9, 2^{10}\}$ . ELM only has a regularization parameter.

In ELM, weights and bias are updated analytically. However, the regularize parameter has been tested by selecting all values in the  $C^*$  set. The ELM algorithm returns predicted and RMSE values. Although the weights and bias change during training, the regularized parameter does not change.

## B. KERNEL EXTREME LEARNING MACHINE

Kernel extreme learning machines (KELM) algorithms have extremely fast learning and generalizing performances [23]. In this section, kernel based ELM algorithms are examined. The compact form of an ELM can be expressed by Equation 7.

$$f(x) = h(x)\alpha \quad (7)$$

Considering in Equation 7, its general form is given in Equation 8. The kernel matrix of extreme learning is defined as follows [21].

$$f(x) = h(x)H^T \left( \frac{I}{C} + H^T H \right)^\dagger T = \begin{bmatrix} K(x, x_1) \\ \vdots \\ K(x, x_N) \end{bmatrix}^T \left( \frac{I}{C} + \omega_{ELM} \right)^\dagger T \quad (8)$$

where,

$$\omega_{ELM} = HH^T: \omega_{ELM_{i,j}} = h(x_i)h(x_j) = K(x_i, x_j) \quad (9)$$

If  $h(x)$  is unknown, Mercer conditions based on ELM can be defined. Equation 9 expresses these conditions.  $K$  represents the kernel. In this study, three kernel types are used. These are radial basis function (RBF) kernel, polynomial kernel and linear kernel. These kernel types are frequently used in the literature [24-27]. The equations of the three kernel types used are given below.

- Linear Kernel:  $K(u, v) = u^T v$
- RBF Kernel (Laplacian Kernel):  $K(u, v) = \exp\left(-\frac{\|u-v\|}{\sigma}\right)$
- Polynomial Kernel:  $K(u, v) = (u^T v + c)^d$

Linear kernel is the simplest kernel function, and it can be expressed as inner product. Laplacian kernel is a radial based kernel function. Choosing the sigma parameter is very important. If the sigma value is large, the kernel function starts to behave almost linearly. If the sigma value is taken too small, the training data will be highly sensitive to noise. The polynomial kernel is a non-constant kernel. Polynomial kernels are well suited for problems where all training data is normalized.  $c$  and  $d$  represent constant and polynomial degree respectively. The linear kernel has no individual parameters. The RBF kernel has a sigma parameter. There are  $c$  and  $d$  parameters in the polynomial kernel. The regularization parameter is common to all kernels.

### C. CONSTRAINED SUM EXTREME LEARNING MACHINE

Since the weights between input and hidden layer are randomly assigned in ELM, it does not exhibit a stable structure. In constrained sum extreme learning machine (CSELM), the weights between input and hidden layer are created based on randomly selected sum vectors from the within-class sample [28]. CSELM initially chooses a random sample such as within-class  $x_{cI}$  and  $x_{cII}$ . The sum of the two vectors ( $x_{cI} + x_{cII}$ ) and the normalized vector sum are computed. The normalized sum vector is assigned to the weights between the input layer and the hidden layer. The normalized sum vector is calculated as,

$$w = \frac{x_{cI} + x_{cII}}{\|x_{cI} + x_{cII}\|_{L_2}^2} \quad (10)$$

where,  $L_2$  norm is known as the Euclidean norm. With CSELM, random vectors are limited to a set of intraclass sum vectors. The structural design of CSELM is described below.

Let the bias and weights between the input layer and the hidden layer be represented as  $b_{1 \times \hat{N}}$  and  $w_{n \times \hat{N}}$ , respectively. The weight matrix between hidden and output layers is  $\alpha_{\hat{N} \times m}$

- Number of constrained sum vectors is chosen less than the number of neurons in the hidden layer ( $< \hat{N}$ ).
- Randomly selected vectors  $x_{cI}$  and  $x_{cII}$  from the same class. The sum vector  $x_{cI} + x_{cII}$  is then constructed.
- Normalize the sum vector is calculated for input weights =  $\left( \frac{x_{cI} + x_{cII}}{\|x_{cI} + x_{cII}\|_{L_2}^2} \right)$ , while uniform distribution random numbers [0,1] are generated for bias (b).

- $w$  and  $b$  are used for  $b_{1 \times \hat{N}}$  and  $w_{n \times \hat{N}}$  vectors, respectively.
- The output matrix of the hidden layer is computed.

$$H = \begin{bmatrix} g(w_1 \cdot x_1 + b_1) & g(w_{\hat{N}} \cdot x_1 + b_{\hat{N}}) \\ \vdots & \vdots \\ g(w_1 \cdot x_N + b_1) & g(w_{\hat{N}} \cdot x_N + b_{\hat{N}}) \end{bmatrix}_{N \times \hat{N}}$$

- Output weights ( $\alpha_{\hat{N} \times m}$ ) are calculated with least square estimation.  $\hat{\alpha} = H^\dagger T$ , where  $H^\dagger$  represents pseudo inverse.
- CSELM only has a regularization parameter.

#### D. ONLINE SEQUENTIAL EXTREME LEARNING MACHINE

Online sequential extreme learning machine (OSELM) is a successful example of a batch-based learning system. The structure of OSELM was developed for single layer feed forward neural network based on ELM [29].

The input and output training sample for OSELM are expressed as  $(x_i, t_i) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m, (i = 1, 2, \dots, N)$ , The mathematical model of SLFN is expressed as,

$$f_{\hat{N}}(x_j) = \sum_{i=1}^{\hat{N}} \alpha_i g(a_i, b_i, x_j) = t_j \quad (11)$$

where  $\hat{N}$  and  $j = 1, 2, \dots, N$  is the number of hidden neurons and  $g$  is the activation function.  $a_i$  and  $b_i$  are the weights in the hidden layer.  $\alpha_i$  is the output weight.  $g(a_i, b_i, x_j)$  is the output of the  $i$ th hidden node for the  $j$ th input. The ELM structure can be inspired by the mini batch method to create an OSELM structure.

Suppose that data  $\mathfrak{N} = \{(x_i, t_i) | x_i \in \mathbb{R}^n, t_i \in \mathbb{R}^m\}$  is expressed sequentially (one-by-one or chunk-by-chunk). OSELM has two main phases. These are initialization and sequential phase. if  $rank(H_0) = \hat{N}$ , OSELM and ELM perform the same learning performance.  $H_0$  represents the output of the hidden layer for the initialization phase. In the initial phase, the training data size must be greater than or equal to the number of hidden nodes ( $N_0 \geq \hat{N}$ ).

- Step 1: Initialization Phase Learning is practised using a small chunk of the training set.

Let the small chunk  $\mathfrak{N}_0 = \{(x_i, t_i)\}_{i=1}^{N_0}$  taken in the  $\mathfrak{N} = \{(x_i, t_i) | x_i \in \mathbb{R}^n, t_i \in \mathbb{R}^m\}$

1.  $a_i$  and  $b_i$  are randomly assigned according to the uniform distribution.
2. Output matrix of the hidden layer is calculated  $H_0$ .

$$H_0 = \begin{bmatrix} g(w_1 \cdot x_1 + b_1) & g(w_{\hat{N}} \cdot x_1 + b_{\hat{N}}) \\ \vdots & \vdots \\ g(w_1 \cdot x_N + b_1) & g(w_{\hat{N}} \cdot x_N + b_{\hat{N}}) \end{bmatrix}_{N \times \hat{N}}$$

3. The initial output parameter is calculated.

$\alpha^{(0)} = P_0 H_0^T T_0$  and  $P_0 = (H_0^T H_0)^{-1}$ ,  $T_0 = [t_1, \dots, t_{N_0}]^T$  4. Set  $k=0$  ( $k$  represents the number of chunks in the data.)

- Step 2: Sequential learning Phase Present the  $(k+1)$ th chunk of new observations

$\mathfrak{N}_{k+1} = \{(x_i, t_i)\}_{i=(\sum_{j=0}^k N_j)+1}^{\sum_{j=0}^{k+1} N_j}$  and  $N_{k+1}$  represents the number of observations in the  $(k+1)$ th chunk.

1. For the (k+1)th chunk of  $\mathfrak{N}_{k+1}$  data, the partial hidden layer output matrix is calculated with equation 12

2. Output weights are calculated ( $\alpha^{(k+1)}$ ).

$$P_{k+1} = P_k - P_k H_{k+1}^T (I + H_{k+1} P_k H_{k+1}^T)^{-1} H_{k+1} P_k$$

$$\alpha^{(k+1)} = \alpha^k + P_{k+1} H_{k+1}^T (T_{k+1} - H_{k+1} \alpha^{(k)}).$$

3. Set  $T_{k+1} = [t_{(\sum_{j=0}^k N_j)+1}, \dots, t_{\sum_{j=0}^{k+1} N_j}]^T$

4. Set k=k+1 Return to the beginning of the sequential learning phase.

$$H_{k+1} = \begin{bmatrix} g(w_1 \cdot x_{\sum_{j=0}^k N_j} + b_1) & g(w_{\hat{N}} \cdot x_{\sum_{j=0}^k N_j} + b_{\hat{N}}) \\ \vdots & \vdots \\ g(w_1 \cdot x_{\sum_{j=0}^k N_j} + b_1) & g(w_{\hat{N}} \cdot x_{\sum_{j=0}^k N_j} + b_{\hat{N}}) \end{bmatrix}_{N_{k+1} \times \hat{N}} \quad (12)$$

In OSELM, the chunk size does not have to be constant, it can take values in varying sizes. OSELM has two important parameters. Firstly, N0: Number of initial training data used in the initial phase of OSELM, which is not less than the number of hidden neurons. Secondly, block: Size of block of data learned by OSELM in each step.

In ELM, input parameters are randomly assigned, and output parameters are calculated analytically, and only the weights between the hidden layer and the output layer are learned. However, the randomness of the input values can significantly change the results. In addition, the activation function in the hidden layer also affects the operation of ELMs, and a nonlinear system is formed through the nonlinear activation functions in the hidden layer [30]. Therefore, Kernel ELM is both faster and more stable. It has a single hidden layer and the activation functions in the hidden layer are kernel-based. Kernel-based functions are faster than others. In CSELM, the randomly selected inputs of the ELM are designed with a constrained sum. Batch learning system is applied in OSELM algorithm. With this system learning is implemented chunk by chunk. Generally speaking, ELM-based methods are not iterative-based allows them to reach results much faster than traditional algorithms. A detailed study on the comparison of ELM with other methods in the literature was done by Wang et al [30].

### **III. EXPERIMENTAL STUDY and DATASET**

The data set used in the study is a collection of Covid-19 data and is updated daily [31]. This dataset is particularly suitable for researchers working on predicting data such as confirmed cases, mortality rate and future cases. In the presented study, five countries (India, Italy, Turkey, UK and USA) are discussed considering the date range specified at the beginning of the study. Since the Covid-19 pandemic has emerged, various data on this field have been used, e.g. time series data and image data. In this study, extreme learning algorithms are applied to current Covid-19 data. Firstly, a pre-processing has been applied on the data. Then, parameters of each method and experiment methodology are given. The data have been selected based on the occupancy rate of the data for each country and the feature selection method. The features in the data are new\_cases, new\_deaths, reproduction\_rate, icu\_patients, hosp\_patients, new\_tests, stringency\_index and positive\_rate.

The meanings of these properties are as follows:

- *stringency\_index*: frequency of intervention determined by the government, takes a value in the range of 0-100, includes situations such as school and workplace closures and travel bans.
- *new\_cases*: newly confirmed cases of Covid-19.
- *new\_tests*: new tests for Covid-19 (calculated for consecutive days only)

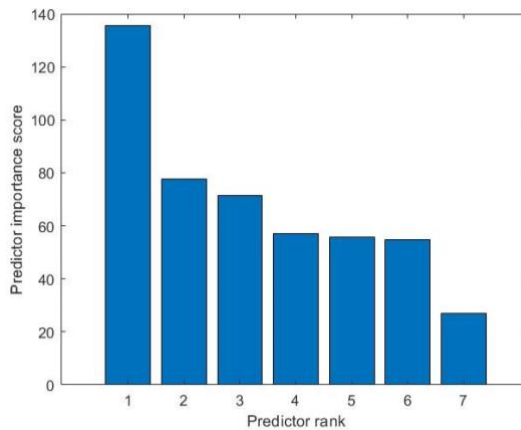
- *reproduction\_rate*: real-time prediction information of the effective reproduction rate (R) of Covid-19.
- *new\_deaths*: new deaths attributed to Covid-19.
- *icu\_patients*: the number of Covid-19 patients in intensive care units (ICU) on a given day.
- *hosp\_patients*: the number of Covid-19 patients hospitalized on a given day.
- *positive\_rate*: the positive part of the Covid-19 tests given as an average of 7 days.

Table 1 gives a sample of data for 7 features for UK. The data was normalized by applying Equation 13 on the original data. This process is applied for all country data.

**Table 1.** Normalized sample data for UK.

<b>stringency_index</b>	<b>new_cases</b>	<b>new_tests</b>	<b>reproduction_rate</b>	<b>new_deaths</b>	<b>icu_patients</b>	<b>hosp_patients</b>
0.00137	0.01424	0.21359	0.02315	0.06775	0.14980	0.00600
0.00298	0.01314	0.20388	0.02041	0.08620	0.14980	0.00600
0.00357	0.01424	0.22330	0.02066	0.10510	0.14980	0.00600
0.00567	0.00493	0.27184	0.01917	0.06487	0.14980	0.00600
0.00415	0.00602	0.21359	0.01767	0.03461	0.14980	0.00600
0.00208	0.00548	0.13592	0.01718	0.00415	0.14980	0.00600
0.00000	0.01369	0.08252	0.01917	0.06045	0.14980	0.00500
0.00174	0.00931	0.15049	0.01245	0.06691	0.14980	0.00500
0.00493	0.00493	0.26214	0.01270	0.07237	0.14980	0.00500
0.00478	0.01752	0.27184	0.01095	0.08103	0.14980	0.00500

F-test feature ranking used for the selection of the relevant feature in the study is a filter method based on the F statistical test. Filter methods takes into account the relationship between attributes and target to calculate the attributes significance. In this study, positive rate was chosen as the target. Therefore, F-test feature ranking is calculated by considering whether there is a significant difference between the positive rate and one of each other features.



**Figure 3.** Feature selection according to F-test feature ranking.



**Table 2.** Parameter sets for extreme learning methods.

Extreme Learning Methods	Parameter Types	Parameter Set
ELM and CSELM	C	$[-2^{10}, 2^{10}]$
	N	10,20,50,75,100
RBF_kernel	C	$[-2^{10}, 2^{10}]$
	Gamma	$[-2^{10}, 2^4]$
POLY_kernel	C	$[-2^{10}, 2^{10}]$
	c1	0:0.1:1
	d	d:1:10
LIN_kernel	C	$[-2^{10}, 2^{10}]$
OSELM	N_0≥N	10,20,50,75,100
	Block size	one-by-one

The result of the feature selection method is given in Figure 3. The indexes of the features are obtained as 7, 1, 6, 3, 2, 4, 5 respectively. Therefore, in Figure 3, 1 represents feature 7, while 7 represents feature 5. While the feature with the highest predictor rank is stringency\_index, the feature with the lowest predictor rank is obtained as hosp\_patients. Since the hosp\_patients feature is significantly lower among the others, it has been removed from the feature list. In Turkey and India, icu\_patients data is incomplete, it is removed from feature set\*. According to the above mentioned, the number of train and test data and features of the data sets is summarized in Table 3.

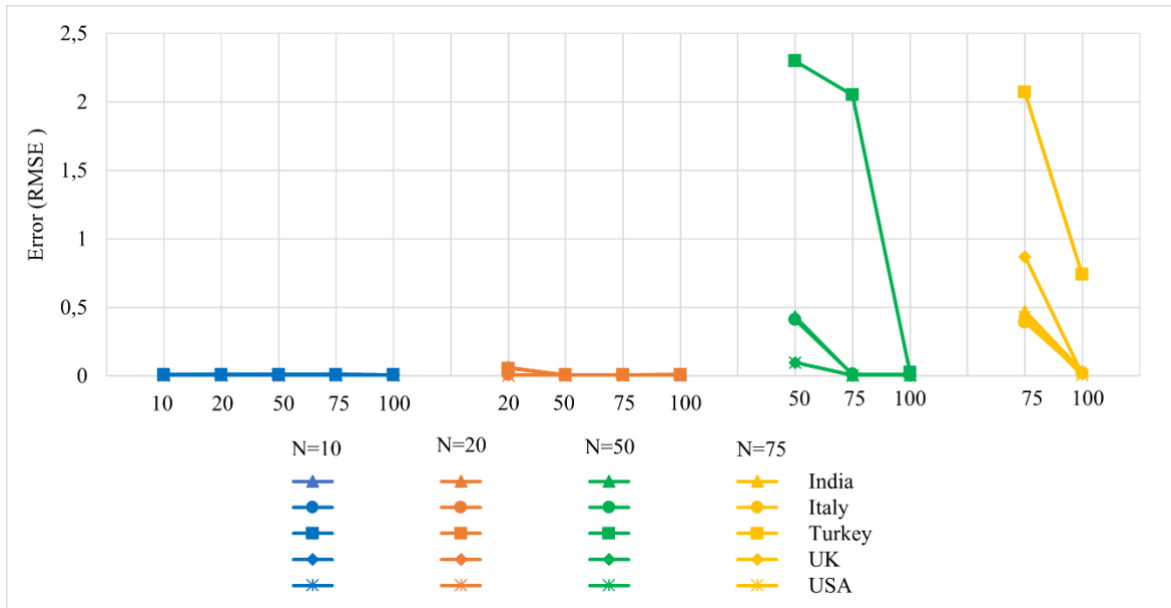
**Table 3.** Properties of the data sets by the countries

Countries	Number of Train and Test Data	Number of Features
India	(150,66)	6*
Italy	(150,66)	7
Turkey	(150,66)	6*
UK	(150,66)	7
USA	(150,66)	7

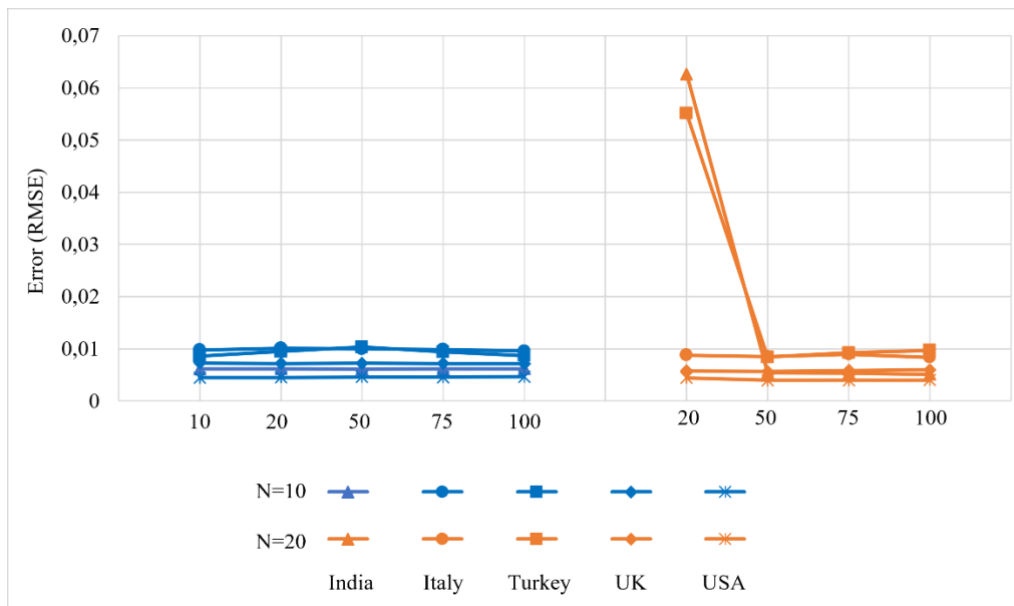
Since the data are in different ranges, max-min normalization is applied. The max-min normalization is calculated as

$$Data_{norm}(i, j) = \frac{X(i, j) - X_{min}(i, j)}{X_{max}(i, j) - X_{min}(i, j)} \quad (13)$$

where  $i = 1, 2, \dots, \text{number of days}$ ,  $j = 1, 2, \dots, \text{number of features}$ .  $X_{min}$  represents the min value and  $X_{max}$  represents the max value of the same feature. X represents the feature of the related day.

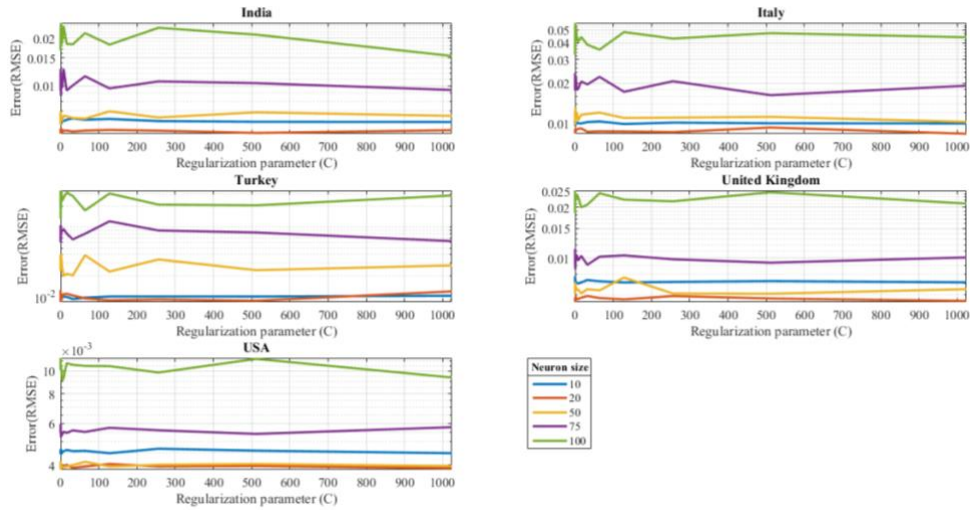


**Figure 4.** RMSE results according to the  $N$  and  $N_0$  parameters of OSELM.



**Figure 5.** Zoom of RMSE results with respect to  $N_0$  values for  $N = 10$  and  $N = 20$ .

The specific parameters of the extreme learning algorithms play an important role in predicting the positive patient rate of countries. The set of parameters used for each extreme learning method is given in Table 2.

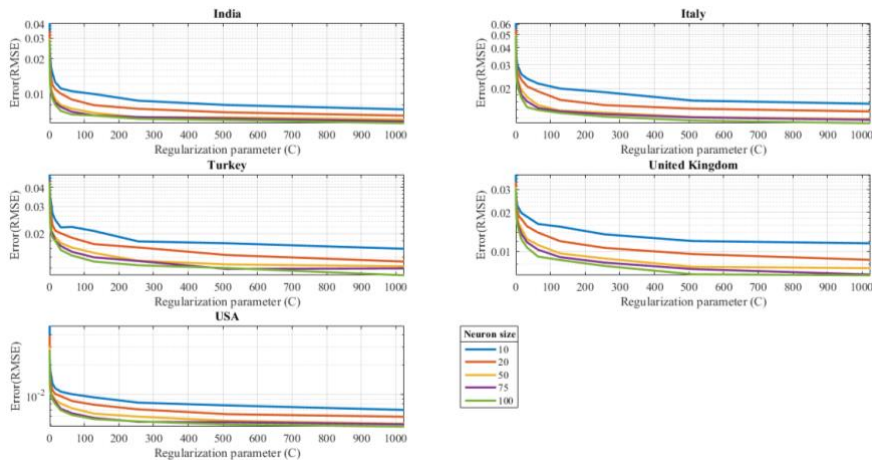


**Figure 6.** ELM RMSE results according to the regularization parameter based on neuron size.

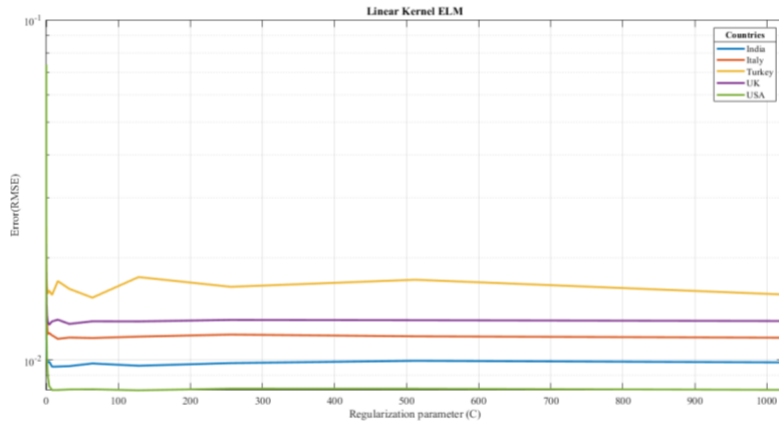
For Turkey and India, input-output vector is represented by [new\_cases new\_deaths reproduction\_rate new\_tests stringency\_index; positive\_rate]. For Italy, UK and US, input-output vector is represented by [new\_cases new\_deaths reproduction\_rate icu\_patients new\_tests stringency\_index; positive\_rate]. Six different extreme learning algorithms have been compared to predict the Covid-19 positive rate of five countries. After 50 independent runs, the RMSE results have been averaged. RMSE can be calculated as,

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Predicted_i - Actual_i)^2}{N}} \quad (14)$$

where,  $Predicted_i$ : The predicted value for the  $i$ th observation,  $Actual_i$ : The actual value for the  $i$ th observation,  $N$ : Total number of observations. The main goal is to find the ideal parameter set of ELM methods for each country. As a result of the experiments, the sigmoid activation function has been used in ELM, CSELM and OSELM methods. Firstly, we have discussed the ELM structure. Since it is the basic structure of extreme learning architecture. RMSE results for five countries are given in Figure 6. Considering that, the lowest RMSE value of ELM neuron size is 20. It can be seen that the optimal neuron size for all countries is 20. On the other hand, the regularization parameter differs from country to country. The ideal regularization parameter for India can be chosen between 400 and 600. Also, ideal regularization parameter for Turkey can be chosen between 200 and 400. For other countries (Italy, UK, USA), the ideal regularization parameter 1024 can be selected.



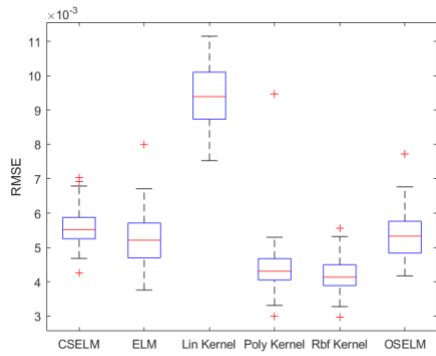
**Figure 7.** CSELM RMSE results according to the regularization parameter based on neuron size.



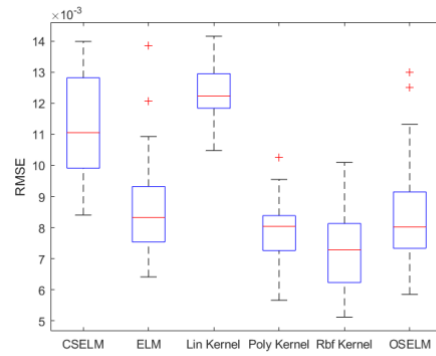
**Figure 8.** Linear Kernel RMSE results according to the regularization parameter.

In Figure 4, RMSE results are given according to the  $N_0$  and  $N$  values of OSELM. Experiments were applied as  $N_0 \geq N$ . Also, Figure 5 shows zoomed analysis of  $N_0$  values for  $N = 10$  and  $N = 20$ .  $N$  and  $N_0$  parameters are chosen  $[20, 100]$  and  $[20, 50]$  and  $[50, 75]$  respectively, for India, Italy and Turkey, UK and US ( $[N, N_0]$ ). India and Italy have the same set of parameters. Similarly, UK and US have the same set of parameters.

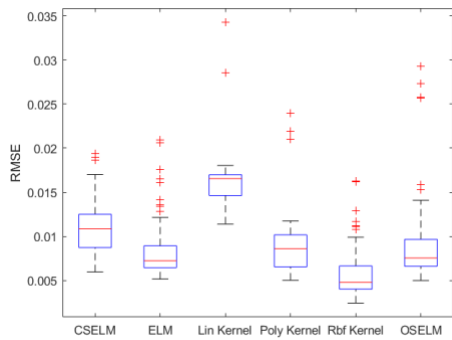
In ELM, RMSE results vary because input parameters are randomly assigned. However, CSELM handles input parameters with a specific method. Therefore, CSELM produces more stable and consistent results than ELM. In Figure 7, CSELM RMSE results are given according to the regularization parameter based on neuron size. Considering that, it can be seen that the RMSE value decreases as the regularization parameter increases. It is also clear that the ideal neuron size for all countries is 100. In Figure 8, RMSE results of linear kernel based ELM method according to regularization parameter are given. In linear kernel ELM, the effect of regularization parameter is less than other methods. It can be seen that other countries are more stable. If Figure 8 is examined, the regularization parameter can be chosen as: India: 128, Italy: 2, Turkey: 64, UK:4, USA: 1024.



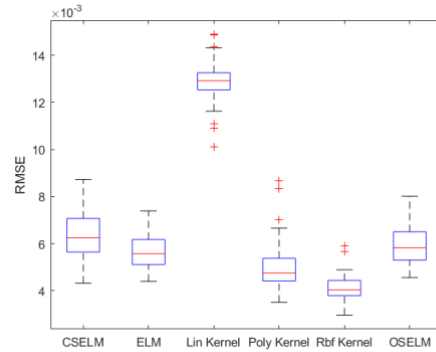
(a) India



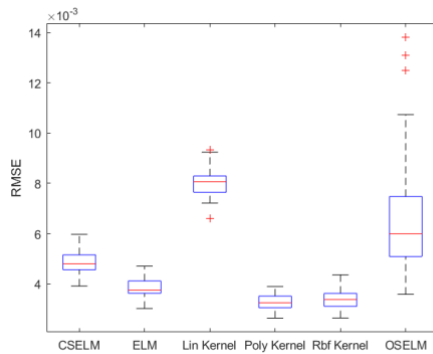
(b) Italy



(c) Turkey



(d) United Kingdom



(e) USA

**Figure 9.** Comparison of ELM methods for each country.

RBF and polynomial kernel ELMs have a large number of parameter permutations. This situation appears more clearly in Table 2. Therefore, the 10 best results for parameter settings of RBF and polynomial kernels are tabulated. Table 4 shows 10 cases of polynomial and RBF kernels with the most ideal parameters for each country.

Table 4. Parameter settings based on top 10 results for RBF and Poly.

RBF_INDIA			POLY_INDIA			
C	Gamma	RMSE	C	C1	d	RMSE
<b>128</b>	<b>1</b>	<b>4.17E-03</b>	<b>32</b>	<b>0.6</b>	<b>5</b>	<b>4.28E-03</b>
512	1	4.19E-03	8	0.9	5	4.28E-03
64	1	4.20E-03	8	0.8	5	4.29E-03
512	2	4.21E-03	1	0.9	6	4.30E-03
256	1	4.22E-03	4	0.9	6	4.34E-03
1024	1	4.24E-03	2	1	6	4.34E-03
128	0.5	4.24E-03	4	1	5	4.34E-03
1024	2	4.25E-03	8	1	5	4.34E-03
32	0.5	4.29E-03	64	0.9	4	4.36E-03
64	0.5	4.32E-03	16	0.7	5	4.39E-03
RBF_ITALY			POLY_ITALY			
C	Gamma	RMSE	C	C1	d	RMSE
<b>256</b>	<b>0.5</b>	<b>6.87E-03</b>	<b>128</b>	<b>0.1</b>	<b>3</b>	<b>7.29E-03</b>
256	1	7.13E-03	32	0.2	2	7.40E-03
128	1	7.19E-03	4	0.9	3	7.44E-03
128	0.5	7.28E-03	16	0.2	4	7.45E-03
512	2	7.31E-03	8	0.4	3	7.51E-03
64	0.5	7.31E-03	32	0.1	3	7.52E-03
64	1	7.31E-03	8	0.5	3	7.54E-03
32	0.5	7.34E-03	16	0.2	3	7.58E-03
16	1	7.36E-03	32	0.2	3	7.58E-03
64	2	7.37E-03	8	1	4	7.59E-03
RBF_UK			POLY_UK			
C	Gamma	RMSE	C	C1	d	RMSE
<b>512</b>	<b>1</b>	<b>4.07E-03</b>	<b>128</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4.70E-03</b>
1024	1	4.25E-03	32	1	5	4.82E-03
256	1	4.31E-03	128	0.8	4	4.83E-03
1024	0.5	4.32E-03	128	0.9	4	4.84E-03
128	0.5	4.34E-03	256	1	4	4.86E-03
64	0.5	4.41E-03	128	1	2	4.90E-03
512	0.5	4.41E-03	64	0.8	2	4.90E-03
256	0.5	4.44E-03	128	0.7	2	4.91E-03
128	1	4.57E-03	32	0.8	2	4.92E-03
64	1	4.63E-03	64	0.7	2	4.93E-03
RBF_US			POLY_US			
C	Gamma	RMSE	C	C1	d	RMSE
<b>1024</b>	<b>2</b>	<b>3.35E-03</b>	<b>64</b>	<b>0.8</b>	<b>3</b>	<b>3.26E-03</b>
1024	4	3.36E-03	64	0.7	3	3.28E-03
512	2	3.40E-03	128	0.6	3	3.28E-03
512	4	3.45E-03	64	1	3	3.28E-03
256	2	3.48E-03	32	0.9	3	3.29E-03
512	1	3.50E-03	32	1	3	3.30E-03
1024	8	3.50E-03	32	0.7	3	3.30E-03
128	1	3.53E-03	128	0.5	3	3.31E-03
128	2	3.54E-03	16	0.9	3	3.31E-03
256	1	3.61E-03	64	0.4	3	3.31E-03
RBF_TU			POLY_TU			
C	Gamma	RMSE	C	C1	d	RMSE
<b>256</b>	<b>0.25</b>	<b>4.96E-03</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7.60E-03</b>
128	0.25	5.11E-03	16	0.9	2	7.79E-03
512	0.5	5.47E-03	4	0.9	4	7.86E-03
64	0.25	5.61E-03	64	0.5	2	7.92E-03
64	0.125	5.81E-03	4	1	3	7.94E-03
512	0.25	5.87E-03	32	0.9	2	8.02E-03
128	0.5	5.92E-03	2	0.8	4	8.05E-03
16	0.5	6.05E-03	64	0.7	2	8.05E-03
32	0.25	6.13E-03	16	0.5	3	8.05E-03
16	0.25	6.14E-03	64	0.6	2	8.12E-03

Considering all the parameter analysis, there are different parameter values for each method and each country. In the aforementioned experiments, the most ideal parameter sets were determined according to each ELM method. Based on ideal parameters, the average RMSE values were obtained after 50 independent runs of six different ELM methods. The results obtained were figured with box-plot.

In Figure 9, RBF gives the lowest RMSE result in all countries except for US. If Figure 9c is examined carefully, it can be seen that the country with the most outlier data is Turkey. The reason for this situation is due to the sudden increase in the number of Covid-19 cases. With the sudden increase in the rate of Covid-19 in a certain period in Turkey, the standard deviation of the positive case increases. After the RBF kernel, the most ideal structure is the polynomial kernel-based ELM method. It can be said that the worst performing ELM method is a linear kernel.

## **IV. CONCLUSION AND FUTURE WORKS**

In this study, six different ELM methods based on five features have been used to estimate the Covid-19 positive rate. The optimal parameters of each ELM method were calculated. Then, parameter analysis was performed for each country in the article. Considering Figure 9, it can be said that the data for India is more consistent than other countries. On the contrary, it is clear that the standard deviation of the data for Turkey is higher than that of other countries. The new cases, new deaths, reproduction rate, intensive care unit patients, new tests and stringency index features are used to predict the positive rate. The most frequently used ELM methods (ELM, Kernel ELM (Linear, Radial basis and Polynomial ELM), OSELM, CSELM) are considered in the study. These ELM methods have been compared to estimate the Covid-19 positive rate. Within the scope of the study, up-to-date Covid-19 data have been used. Also, a deep parameter analysis has been performed for all ELM methods. The ELM method that predicts the Covid-19 positive rate with the least error is RBF kernel. Also, as a result of the experiments, it can be seen that the ELM method with the highest error is polynomial kernel-based ELM.

For future works, it is planned to apply the RBF Kernel ELM algorithm to predict positive rates for the next 1 week or 1 month. Also, by using RBF, studies can be conducted on modelling different features in the database (such as mortality rate, confirmed cases, outcome prediction). Moreover, comparative studies can be presented by applying RBF-based ELM models for different time series Covid-19 data. As applied in the study [13], improving the ELM model parameters with the use of optimization algorithms can also be considered for future studies

## **V. REFERENCES**

- [1] WHO. (2020, 2021-04-26). *World health organization (2020) covid-19 situation reports*. Available: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>.
- [2] Worldometer, "Coronavirus cases:," 2021-04-26.
- [3] Q. Li, W. Feng, and Y.-H. Quan, "Trend and forecasting of the COVID-19 outbreak in China," *Journal of Infection*, vol. 80, no. 4, pp. 469-496, 2020.
- [4] D. Fanelli and F. Piazza, "Analysis and forecast of COVID-19 spreading in China, Italy and France," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 134, p. 109761, 2020.
- [5] W. Wei *et al.*, "Application of a combined model with autoregressive integrated moving average (ARIMA) and generalized regression neural network (GRNN) in forecasting hepatitis incidence in Heng County, China," *PloS one*, vol. 11, no. 6, p. e0156768, 2016.

- [6] Z. Ceylan, "Estimation of COVID-19 prevalence in Italy, Spain, and France," *Science of The Total Environment*, vol. 729, p. 138817, 2020.
- [7] A. F. Lukman, R. I. Rauf, O. Abiodun, O. Oludoun, K. Ayinde, and R. O. Ogundokun, "COVID-19 prevalence estimation: Four most affected African countries," *Infectious Disease Modelling*, vol. 5, pp. 827-838, 2020.
- [8] A. M. Almeshal, A. I. Almazrouee, M. R. Alenizi, and S. N. Alhajeri, "Forecasting the spread of COVID-19 in Kuwait using compartmental and logistic regression models," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 10, p. 3402, 2020.
- [9] R. O. Ogundokun, A. F. Lukman, G. B. Kibria, J. B. Awotunde, and B. B. Aladeitan, "Predictive modelling of COVID-19 confirmed cases in Nigeria," *Infectious Disease Modelling*, vol. 5, pp. 543-548, 2020.
- [10] M. Djeddou, I. A. Hameed, A. Hellal, and A. Nejatian, "Predictive modeling of COVID-19 New Confirmed Cases in Algeria using Artificial Neural Network," *medRxiv*, 2021.
- [11] M. A. Achterberg, B. Prasse, L. Ma, S. Trajanovski, M. Kitsak, and P. Van Mieghem, "Comparing the accuracy of several network-based COVID-19 prediction algorithms," *International journal of forecasting*, 2020.
- [12] W. He, G. Y. Yi, and Y. Zhu, "Estimation of the basic reproduction number, average incubation time, asymptomatic infection rate, and case fatality rate for COVID-19: Meta-analysis and sensitivity analysis," *Journal of medical virology*, vol. 92, no. 11, pp. 2543-2550, 2020.
- [13] A. M. Hasan, A. G. Mahmoud, and Z. M. Hasan, "Optimized Extreme Learning Machine for Forecasting Confirmed Cases of COVID-19," *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, pp. 484-494, 2021.
- [14] G. Pinter, I. Felde, A. Mosavi, P. Ghamisi, and R. Gloaguen, "COVID-19 pandemic prediction for Hungary; a hybrid machine learning approach," *Mathematics*, vol. 8, no. 6, p. 890, 2020.
- [15] M. Yadav, M. Perumal, and M. Srinivas, "Analysis on novel coronavirus (COVID-19) using machine learning methods," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 139, p. 110050, 2020.
- [16] S. Rath, A. Tripathy, and A. R. Tripathy, "Prediction of new active cases of coronavirus disease (COVID-19) pandemic using multiple linear regression model," *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, vol. 14, no. 5, pp. 1467-1474, 2020.
- [17] S. Ghosal, S. Sengupta, M. Majumder, and B. Sinha, "Linear Regression Analysis to predict the number of deaths in India due to SARS-CoV-2 at 6 weeks from day 0 (100 cases-March 14th 2020)," *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, vol. 14, no. 4, pp. 311-315, 2020.
- [18] R. Sujath, J. M. Chatterjee, and A. E. Hassanien, "A machine learning forecasting model for COVID-19 pandemic in India," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 34, pp. 959-972, 2020.
- [19] therealcyberlord, "Coronavirus (covid-19) visualization & prediction."
- [20] G.-B. Huang, Q.-Y. Zhu, and C.-K. Siew, "Extreme learning machine: theory and applications," *Neurocomputing*, vol. 70, no. 1-3, pp. 489-501, 2006.
- [21] G.-B. Huang, H. Zhou, X. Ding, and R. Zhang, "Extreme learning machine for regression and multiclass classification," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 42, no. 2, pp. 513-529, 2011.



- [22] W. Deng, Q. Zheng, and L. Chen, "Regularized extreme learning machine," in *2009 IEEE symposium on computational intelligence and data mining*, 2009, pp. 389-395: IEEE.
- [23] G.-B. Huang and C.-K. Siew, "Extreme learning machine: RBF network case," in *ICARCV 2004 8th Control, Automation, Robotics and Vision Conference, 2004.*, 2004, vol. 2, pp. 1029-1036: IEEE.
- [24] W.-Y. Deng, Q.-H. Zheng, and Z.-M. Wang, "Cross-person activity recognition using reduced kernel extreme learning machine," *Neural Networks*, vol. 53, pp. 1-7, 2014.
- [25] A. Iosifidis and M. Gabbouj, "On the kernel extreme learning machine speedup," *Pattern Recognition Letters*, vol. 68, pp. 205-210, 2015.
- [26] Z. Bai, G.-B. Huang, D. Wang, H. Wang, and M. B. Westover, "Sparse extreme learning machine for classification," *IEEE transactions on cybernetics*, vol. 44, no. 10, pp. 1858-1870, 2014.
- [27] K. Parikh and T. Shah, "Kernel based extreme learning machine in identifying dermatological disorders," *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, vol. 3, no. 10, pp. 370-375, 2016.
- [28] W. Zhu, J. Miao, and L. Qing, "Constrained extreme learning machines: A study on classification cases," *arXiv preprint arXiv:1501.06115*, 2015.
- [29] N.-Y. Liang, G.-B. Huang, P. Saratchandran, and N. Sundararajan, "A fast and accurate online sequential learning algorithm for feedforward networks," *IEEE Transactions on neural networks*, vol. 17, no. 6, pp. 1411-1423, 2006.
- [30] J. Wang, S. Lu, S.-H. Wang, and Y.-D. Zhang, "A review on extreme learning machine," *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1-50, 2021.
- [31] J. Hasell *et al.*, "A cross-country database of COVID-19 testing," *Scientific data*, vol. 7, no. 1, pp. 1-7, 2020.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Research Article

## Effect of Chopped Carbon Fibers Amount on the Mechanical and Tribological Properties of Polyester Matrix Composite

 Yasin AKGUL <sup>a,\*</sup>,  Metin Efe YALCIN <sup>a</sup>,  Andinet Kumella ETICHA <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Metallurgical and Materials Engineering, Karabuk University, Karabuk, 78050, TURKEY

<sup>b</sup> School of Mechanical and Industrial Engineering, Addis Ababa Institute of Technology, Addis Ababa, 385, ETHIOPIA

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: yasinakgul@karabuk.edu.tr

DOI: 10.29130.dubited.1037140

### ABSTRACT

In this study, the effect of the amount of short carbon fibers (SCFs) on the mechanical and tribological properties of polyester (PES) composite were investigated. Composites were produced with different weight fractions (0.5%, 1%, and 2%) of SCFs by the hand lay-up method. The flexural strength and flexural modulus of samples was studied by conducting 3-point bending tests, whereas the energy-absorbing performance was examined by performing the Izod impact test. Moreover, the wear resistance properties of samples were measured by applying a 20 N load. The scanning electron microscope was used to examine the morphology of broken and worn surfaces of specimens. Test results exhibit the flexural strength and flexural modulus of SCFs reinforced polyester composite was decreased with the increment of fiber contents. However, the same trend was not observed for the impact test. Thus, the addition of 2 wt. % SCFs onto pure polyester improves the energy absorbing of pure polyester nearly by 210%. The present study also reveals the wear resistance properties of SCFs reinforced polyester composites are indirectly related with of SCFs content. Hence, the highest wear resistance capacity was observed for PES0.5CF of about  $1.51 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{m}$ . Therefore, the addition of small amounts of SCFs onto pure polyester attributes significant effects in tribological behaviors compared to mechanical properties.

**Keywords:** Short Carbon Fibers, Polyester, Flexural Strength, Flexural Modulus, Impact Strength, Wear Resistance

## Kırılmış Karbon Elyaf İçeriğinin Polyester Matrisli Kompozitlerin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Olan Etkisi

### ÖZET

Bu çalışmada, kısa karbon elyaf (SCFs) içeriğinin polyester (PES) kompozitin mekanik ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. El yatırması yöntemiyle ağırlıkça farklı oranlarda (%0,5, %1 ve %2) SCF'ler içeren kompozitler üretilmiştir. Numunelerin eğilme mukavemeti 3 noktalı eğilme testleri ile, darbe sönümleme performansları ise İzod darbe testi yapılarak incelenmiştir. Ayrıca numunelerin aşınma direnci özellikleri 20 N yük uygulanarak ölçülmüştür. Numunelerin kırık ve aşınmış yüzeylerinin morfolojisini incelemek için taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Test sonuçları, lif içeriğinin artmasıyla SCF takviyeli polyester kompozitin eğilme mukavemetinin azaldığını göstermektedir. Ancak, darbe dayanımı analizinde aynı eğilim gözlemlenmemiştir. Böylece, %2 SCF takviyesi ile PES2CF'nin darbe dayanımını, saf polyestere göre yaklaşık %210 oranında artmıştır. Bu çalışma aynı zamanda SCF takviyeli polyester kompozitlerin aşınma direnci özelliklerinin SCF içeriği ile dolaylı olarak ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, en yüksek aşınma direnci ( $1.51 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{m}$ ) PES0.5CF numunesi için görülmüştür. Bu nedenle, saf polyester üzerine düşük oranlarda SCF içeriğinin eklenmesi, mekanik özelliklere kıyasla tribolojik davranışlarda önemli etkiler göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kırılmış Karbon Elyaf, Polyester, Eğme Dayanımı, Darbe Dayanımı, Aşınma Direnci

## **I. INTRODUCTION**

Fiber reinforced polymer matrix composites are produced of a polymer matrix reinforced fibers such as carbon, glass, and aramid. Epoxy, vinyl ester and polyester thermoset polymers are generally used as matrix materials. Polymer composite materials are used in many application areas such as in an automobile, aircraft, tire reinforcement, sports goods, and construction industries. This is due to their various mechanical and tribological properties include lightweights, corrosion and wear resistance, and higher strength [1]–[4]. Polyester matrices are reinforced with carbon fibers to produce carbon fiber reinforced polyester-based composites (CFRP). Carbon fiber reinforced polyester composites have many more application areas due to their higher stiffness properties; such as for structural components in rocket motor cases, boat hulls, and chemical reaction vessels [3]. On the other hand, the polyester matrix provides toughness and ductility for the CFRP materials. However, because of the characteristics of polyester polymers matrix, polyester-based composites have some drawbacks. They have comparatively low impact strength due to absorbing water very easily in the curing process [3]. Therefore, polyester matrices are usually reinforced with carbon fibers to improve their mechanical and tribological load withstand capacity [4]. The literature survey showed that so far different researches have been done to enhance the mechanical and tribological properties of carbon-reinforced polyester composites.

Nancharaiah and Anusha [5] investigate the mechanical properties of carbon fiber reinforced polyester composites at different weight percentages of 0.4-2 %. According to the test results, the impact strength of the carbon fiber reinforced polyester composite increases with the fiber loading. So, the highest impact strength of the composite was observed when 2 wt. % carbon fiber reinforced with pure polyester composite. In another study by Durairaj et al. [6], the effects of carbon and glass fibers on the mechanical properties of polyester matrix composites were investigated. Test results show the flexural strength of 5 wt. % carbon fiber reinforced composites was better than 10 wt. % carbon fiber reinforced composite. However, the impact strength of carbon fiber reinforced composite increases directly with the fiber loading content. Impact toughness which characterizes the behavior of the materials subjected to high-speed loading is among the important mechanical properties of materials for structural applications. In another similar study [7], it was reported to the impact strength of the composite improves with fiber content.

On the other hand, few studies were investigated on the effects of SCFs on the wear performance of polyester matrix composites. Xian and Zhang [8] in their studies revealed that there was a great reduction in the wear rate of polyetherimide (PEI) due to the lubricating effect of SCFs. Moreover, as reported by Akgul [9] the wear resistance properties of high-density polyethylene (HDPE) increase for lower SCFs contents. Thus, composites containing 10 wt. % SCFs showed the best wear performance in SBF fluid conditions than 20 wt. % SCFs inclusion composites. The effect of surface modification of carbon fibers on the interaction at the fiber-matrix interface in UHMWPE-based composites was studied in the works of Chukov et al. [10]. Results show that the increment on the carbon fiber reinforcement reduced the wear resistance properties notably.

As mentioned above, the effect of SCFs content on the tribological behavior of PES was not studied in previous studies [5]–[7]. Furthermore, past researches stated above were mainly concentrated on the mechanical properties of PES composites and did not consider the morphology of broken and worn surfaces of composites. Therefore, the present study aims to investigate the influences of different wt. % of SCFs on the mechanical and tribological properties of polyester-based composites. Moreover, the morphology of broken and worn surfaces of both composites and pure polyester samples was analyzed by scanning electron microscope.

## II. EXPERIMENTAL PART

### A. MATERIALS

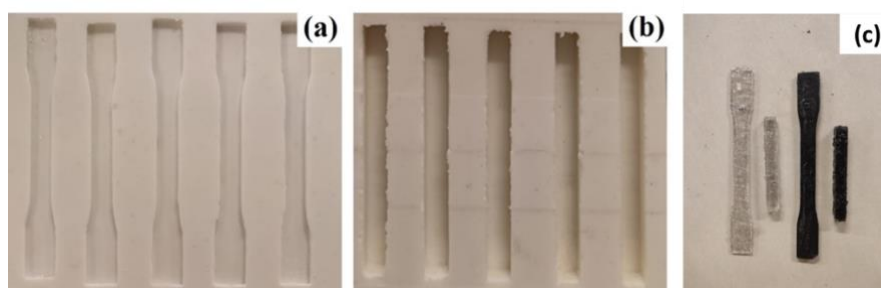
Short carbon fibers (SCFs) with an average length of 3-6 mm were purchased from Dost Kimya, Turkey. Polyester resin and Cobalt catalyst and methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) were supplied from Omnis Kompozit, Turkey.

### B. FABRICATION OF PURE POLYESTER AND COMPOSITE MATERIALS

In the study, samples were coded and the composition of each of the specimens was shown in Table 1. To produce polyester composites, 1% Cobalt catalyst and MEKP as a catalyst were added to polyester. Composites were produced by hand lay-up using the molds shown in Figure 1. Samples used for flexural bending tests were fabricated with (158 × 13 × 5) mm dimensions. In addition, (80 × 10 × 10) mm dimension samples were also produced for the Izod impact tests.

*Table 1. Compositions of fabricated samples.*

Samples Code	Short Carbon Fibers (SCFs)	Polyester (PES)
	(Wt. %)	(Wt. %)
PES	0	100
PES0.5CF	0.5	99.5
PES1CF	1	99
PES2CF	2	98



*Figure 1. Mold for (a) flexural bending test samples, (b) Izod impact test samples, and (c) images of produced samples.*

### C. CHARACTERIZATION

Zwick Roell test machine with 600 KN capacity and 2 mm/min loading rate was used to perform 3-point flexural bending tests. The tests were conducted three times for each composite and pure polyester sample according to the ASTM D790 standard. The flexural bending strength “ $\sigma$ ” of samples was calculated by Eq. (1).

$$\sigma = \frac{3FL}{2ba^2} \quad (1)$$

Where: ‘F’, ‘L’, ‘b’, and ‘a’ represent bending load (N), support span length (mm), a width of the sample (mm), and thickness of the specimens (mm), respectively [11]. A test device Zwick Roell RKP 450 with a loading capacity of 450J was used to perform Izod impact tests. Here, the tests were carried out three times for each sample according to the ASTM D256 standard, and the mean value of the result was considered.

On the other hand, UTS Tribometer T10/20 apparatus was used to investigate the wear resistance properties of composite and pure polyester specimens under dry-sliding conditions. Parameters such as; an applied load of 20 N, stainless steel ball diameter of 6 mm, a sliding distance of 150 m, sliding speed of 40 mm/sec, and a stroke length of 10 mm were used during the reciprocating wear analysis. The wear rate was calculated based on Archard approaches.

$$\text{Wear Rate} = \frac{Wv}{l} \quad (2)$$

Where: ‘ $Wv$ ’ is volumetric wear loss and ‘ $l$ ’ is the sliding distance [12]. Mitutoyo SJ-410 instrument was used to compute the volumetric wear loss of specimens according to the ISO 4287-1997 standard. Furthermore, broken and worn surfaces of samples were examined by using a scanning electron microscope (SEM) after being samples were coated with gold by a sputter coater (Quorum, Q150R ES Plus). Mechanical and tribological behaviors of samples were characterized by the testing devices represented in Figure 2. A flexural bending strength test of the PES sample was indicated in Figure 2(a). In addition, Izod impact and wear resistance properties were analyzed under Figures 2(b) and 2(c), respectively.

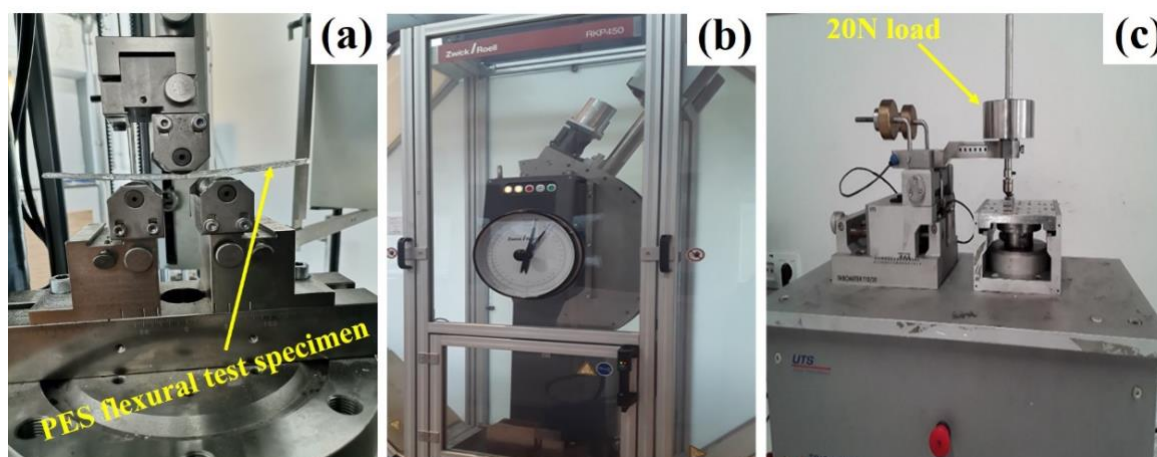


Figure 2. (a) Flexural bending test, (b) Izod impact test, and (c) Pin-on-disc wear test.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

#### A. MECHANICAL PROPERTIES

Figure 3 shows the flexural strength and impact resistance properties of composites and pure polyester samples at a different weighted percentage of chopped carbon fibers (0.5, 1, and 2 %). Also, the morphology of samples was examined by scanning electron microscope as indicated in Figure 4. This SEM study helps to observe both the distribution of SCFs in the polyester matrix and the interaction between fibers (SCFs) and the PES matrix.

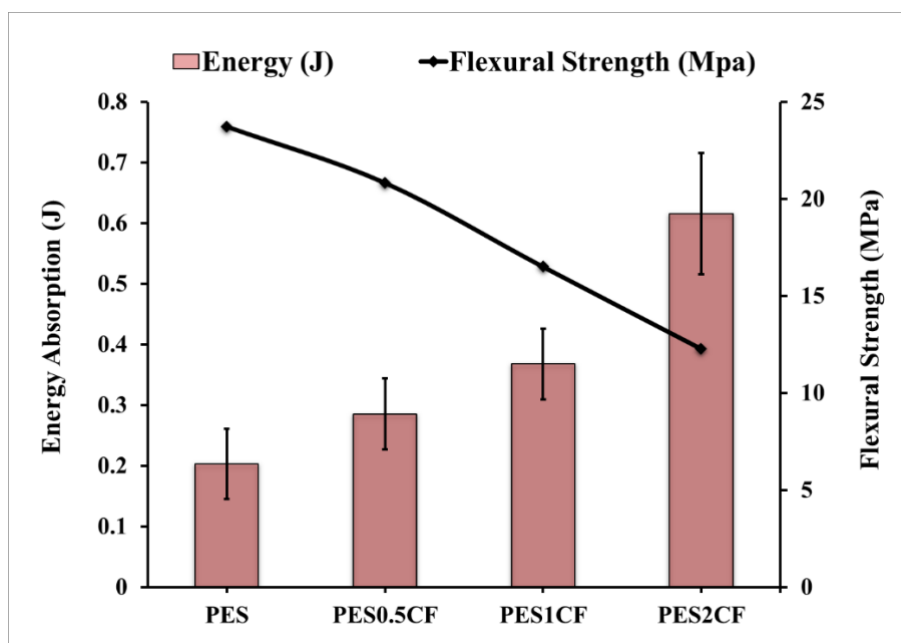
The graph (Figure 3) represents when the addition of SCFs into pure PE increases from 0.5-2 wt. % attributes to the decrement in the flexural strength of resulted composites indirectly. The reason for the reduction of the flexural strength at high SCFs content was due to the presence of lower fiber-to-fiber interaction, pores, debonding, agglomeration, and poor dispersion SCFs into the polyester matrix [5]. In the course of the composite fabrication process, micro-pores were formed at the curing stages. In addition, more pores were appeared in the composite due to the viscosity in the sample created by the increment of SCFs content [13]. This incident was observed in Figures 4(c) and 4(d) when 1 and 2 wt.

% SCFs were added onto pure PES composite. Thus, during flexural strength tests, an externally applied load was responsible for the significant development of stress concentration around the porosity (voids). This stress results in the losses of interactions between SCFs and polyester matrix (Debonding). Hence, a weak interfacial bonding was shown in Figures 4(c) and 4(d) due to the presence of debonding. So, the force transferred from matrix to fiber is reduced significantly. Therefore, the presence of pores and debonding reduces the flexural load carrying capacity of the composite compared with the pure polyester sample [14]. The mechanical properties of all samples were expressed in Table 2.

*Table 2. Mechanical properties of fabricated samples.*

Sample	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Energy Absorption (J)
PES	23.73 ± 9.8	258 ± 120	0.20 ± 0.06
PES0.5CF	20.84 ± 8.1	361 ± 146	0.29 ± 0.06
PES1CF	16.28 ± 6.7	273 ± 118	0.37 ± 0.06
PES2CF	12.30 ± 5.6	240 ± 131	0.62 ± 0.1

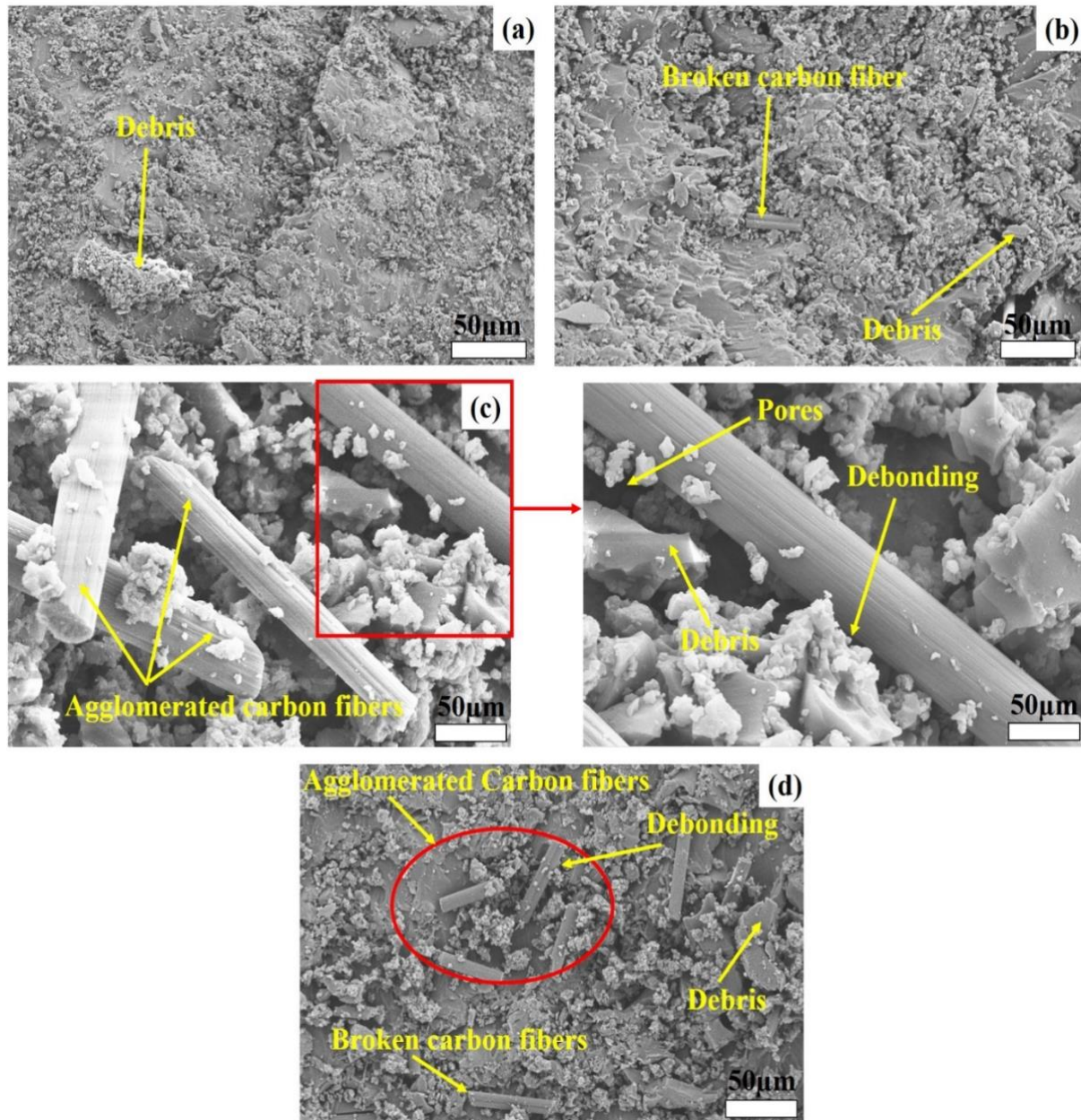
According to test results, the maximum flexural strength was observed for pure PES material of 23.73 ± 9.8 MPa. Conversely, 12.30 ± 5.6 MPa was the lowest flexural bending strength of composite containing 2 wt. % SCFs. Moreover, the flexural strength of 0.5 wt. % SCFs added composite was better compared with 1 wt. % SCFs and 2 wt. % SCFs composites nearly by 28% and 69.43%, respectively. It was observed from past studies similar results were obtained in the work of Durairaj et al. [6] the flexural strength at the lower carbon fiber content of (5 wt. %) was better than (10 wt. %) carbon fiber reinforced polyester composite. Moreover, the flexural modulus of the composite was affected by the incorporation of chopped carbon fibers inside polyester matrix. Hence, addition of 0.5 SCFs into PES (PES0.5CF) enhanced the flexural modulus of pure PES nearly by 39.92% and thus, PES0.5CF was much more rigid composite material as compared to other samples.



*Figure 3. Flexural Strength and energy absorption of samples.*

On the other hand, the analysis of the Izod impact test exhibits addition of SCFs onto pure PES matrix leads to improves energy absorption of the composite in direct proportion. This might be due to the increment in SCFs amount relatively enhancing the load to be effectively supported by the reinforcement due to increment in total fiber surface in contact with matrix [7]. Similar results were obtained by Wong

et al., where increases in the fiber amount led to higher energy absorption of composites. Thus, composite with 2 wt. % SCFs (PES2CF) have higher energy absorbing characteristic value of nearly  $0.62 \pm 0.1$  J. The energy absorption of (PES2CF) composite was better compared to PES0.5CF and PES1CF samples nearly by 113.79 % and 67.57 %, respectively. Whereas, energy absorbing performance of about  $0.29 \pm 0.06$  J was observed for a composite (PES0.5CF) reinforced with 0.5 wt. % SCFs. It was also investigated that the lowest energy absorbing was noted for pure PES material with  $0.20 \pm 0.06$  J.

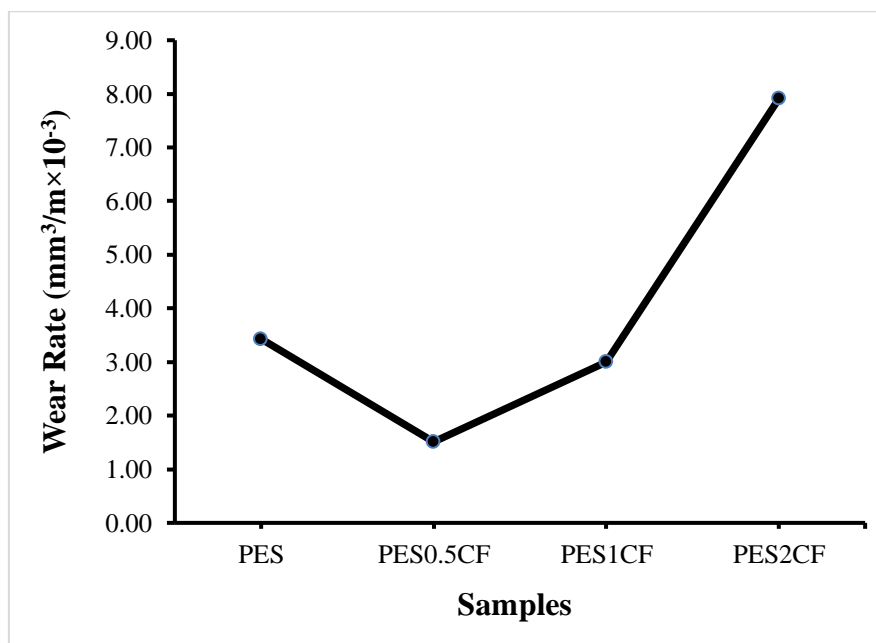


**Figure 4.** SEM images of broken surfaces: (a) PES, (b) PES0.5CF, (c) PES1CF, and (d) PES2CF.

## B. TRIBOLOGICAL PROPERTIES

The wear resistance results of samples (PES, PES0.5CF, PES1CF, and PES2CF) were indicated in Figure 5. The highest wear resistance performance was observed when 0.5 wt. % SCFs were added to a pure polyester matrix (PES0.5CF). However, further increase in SCFs content to 2 wt % reduces the wear resistance behaviors of the composite. This might be due to poor SCFs-PES matrix bond strength which was indicated by SEM images designated in Figures 6(c) and 6(d). This poor interaction leads to

high abrasion wear due to the ease of fiber cracking and partial chipping of SCFs from the worn surface or pull-out [8].

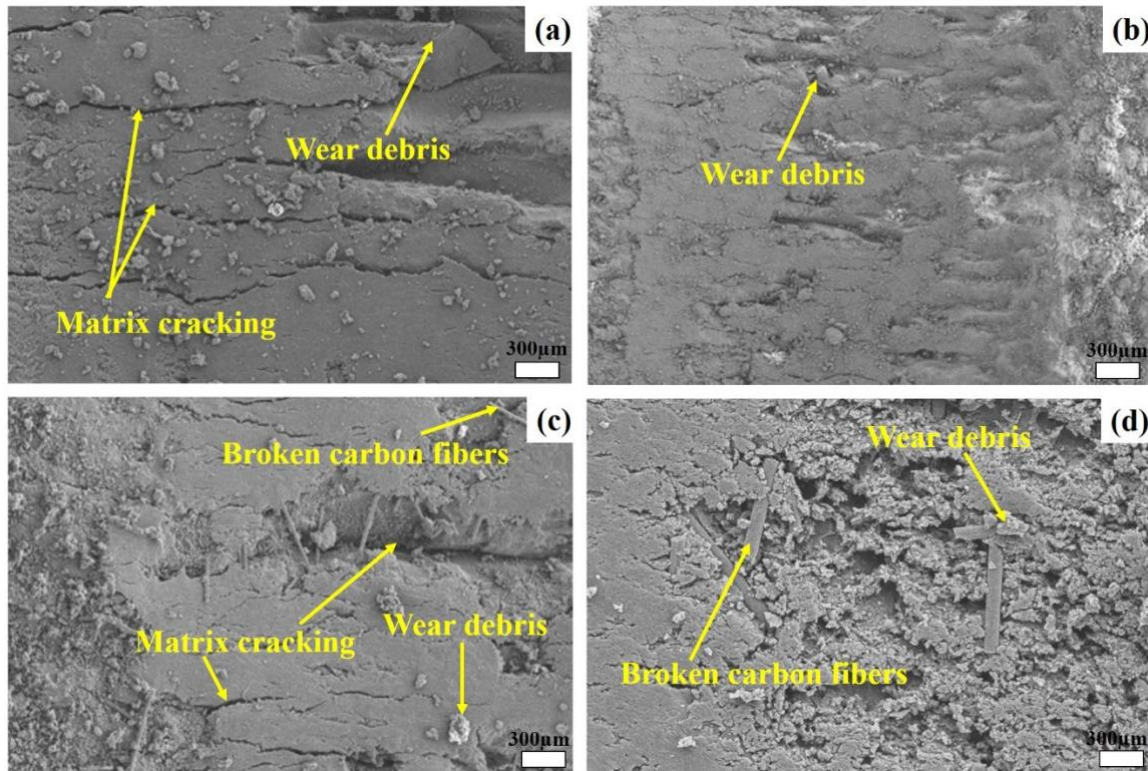


*Figure 5. Wear rate of samples.*

Moreover, the increment in SCFs content results in carbon fibers tending to agglomerate. This, agglomerations have more effects on the tribological behavior compared to the mechanical properties [9, 10]. Thus, from the wear analysis, it was computed that sample PES0.5CF has a wear rate value of  $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{m}$ . Moreover, the wear resistance of PES0.5CF was better than PES1CF and PES2CF nearly by 98.60 % and 423.84 %, respectively. This is probably attributed to its rigidity showed in the flexural modulus. However, the lowest wear resistance was observed for 2 wt. % addition of SCFs onto pure polyester matrix (PES2CF) composite. On the other hand, the interaction between stainless steel balls and polyester surfaces increases the temperature at the contact surface. The increment in temperature causes polyesters to become more brittle and the friction load detaches the polyester component from the surface and hence, the wear resistance of PES material decreases notably [15].

Furthermore, a scanning electron microscope was used to analyze the worn surfaces of both pure PES and composite materials. It is observed that when 0.5 wt. % SCFs were added to the PES matrix, SCFs were embedded homogenously (Figure 6(b)). So, this results in an improvement in the wear resistance property nearly by 127.15 % compared to the pure PES sample. Also, the worn surface of the PES0.5CF composite was relatively smooth compared with all the samples. This may prove this sample has higher wear resistance characteristics. However, the addition of 1 and 2 wt. % SCFs into pure polyester matrix results agglomeration as indicated in Figures 6(c) and 6(d), respectively. Considering Figure 6(a) wear debris and cracked worn surfaces were observed for pure PES polymer materials. Whereas, in Figure 6(c) cracked worn surfaces, wear debris, and broken SCFs were noticed. As can be seen in Figure 4(c) the effects of agglomeration and debonding increased the wear rate tendency of the PES1CF composite. Moreover, the worn surface of composite PES2CF was represented in Figure 6(d). The wear debris size is bigger as compared to the wear debris size of all of the samples. Therefore, when 2 wt.% SCFs were added to the polyester matrix (PES2CF), which results in a composite having the lowest wear resistance (higher wear rate) property quantified value of  $7.9 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{m}$ .





**Figure 6.** SEM images of worn surface of the composites under 20 N: (a) PES, (b) PES0.5CF, (c) PES1CF, and (d) PES2CF

## IV. CONCLUSION

According to the test results, the flexural strength of specimens was negatively affected by the content of reinforced SCFs. The higher flexural strength was recorded for pure PES material with  $23.73 \pm 9.8$  MPa. On the other hand, the flexural strength of 0.5 wt. % SCFs reinforced composite (PES0.5CF) were nearly 69.43% better than the flexural strength of 2 wt. % SCFs reinforced composite (PES2CF). The improvement in energy absorption of SCFs reinforced polyester composite is directly related to SCFs content. So, the maximum energy absorption was observed for 2 wt. % SCFs reinforced PES composite (PES2CF) of about  $0.62 \pm 0.1$  J but  $0.20 \pm 0.06$  J was the lowest evaluated energy absorption value of pure PES material. However, this trend was not observed for the tribological performance of samples. Here, the wear resistance was increased when the reinforcement SCFs contents were decreased. This was explained by the effect of agglomeration. Thus, polyester matrix reinforced by 0.5 wt. % SCFs (PES0.5CF) have the highest wear resistance capacity of  $1.5 \times 10^{-3}$  mm<sup>3</sup>/m, whereas the lowest wear resistance performance was observed for sample reinforced with 2 wt. % SCFs (PES2CF) of about  $7.9 \times 10^{-3}$  mm<sup>3</sup>/m. Moreover, the morphological studies on the worn surfaces of samples using scanning electron microscope show composites reinforced with 0.5 wt. % SCFs have smooth worn surfaces. Also, the morphology of broken surfaces indicates agglomeration, and debonding features were observed for PES1CF and PES2CF composites. This study also determined that the flexural modulus of lower SCFs contained polyester composites were remarkably higher as compared to composites with higher contents of SCFs. Finally, the most positively affected behavior regarding SCFs ratio was energy absorption whereas the flexural strength, flexural modulus, and wear resistance were decreased with the increment of SCFs.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This study is produced from Master Thesis titled “Kırılmış Karbon Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”.

## **V. REFERENCES**

- [1] S. Al Khaddour and M. B. Ibrahim, 'Experimental Investigation on Tensile Properties of Carbon Fabric-Glass Fabric-Kevlar Fabric-Epoxy Hybrid Composite Laminates.', *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, vol. 31, no. 3, 2021.
- [2] L. Markovičová, V. Zatkalíková, and P. Hanusová, 'Carbon fiber polymer composites', *Quality Production Improvement-QPI*, vol. 1, 2019.
- [3] M. A. Masuelli, 'Introduction of fibre-reinforced polymers- polymers and composites: concepts, properties and processes', in *Fiber reinforced polymers-the technology applied for concrete repair*, IntechOpen, 2013.
- [4] S. Matei, M. Stoicanescu, and A. Crisan, 'Composites with short fibers reinforced epoxy resin matrix', *Procedia Technology*, vol. 22, pp. 174–181, 2016.
- [5] Dr. T. Nancharaiah and T. Anusha, 'Experimental investigation on mechanical properties of Banana fiber polyester resin composites and carbon fiber polyester resin composites', *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, vol. 6, pp. 2319 – 4847, 2017.
- [6] R. B. Durairaj, G. Mageshwaran, and V. Sriram, 'Investigation on Mechanical Properties of Glass and Carbon Fiber Reinforced With Polyester Resin Composite', *International Journal of ChemTech Research*, p. 7, 2016.
- [7] K. J. Wong, U. Nirmal, and B. K. Lim, 'Impact behavior of short and continuous fiber-reinforced polyester composites', *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 29, no. 23, pp. 3463–3474, 2010.
- [8] G. Xian and Z. Zhang, 'Sliding wear of polyetherimide matrix composites: I. Influence of short carbon fibre reinforcement', *Wear*, vol. 258, no. 5–6, pp. 776–782, 2005.
- [9] Y. Akgul, H. Ahlatci, M. E. Turan, M. A. Erden, Y. Sun, and A. Kilic, 'Influence of carbon fiber content on bio-tribological performances of high-density polyethylene', *Materials Research Express*, vol. 6, no. 12, p. 125307, 2019.
- [10] D. I. Chukov *et al.*, 'Investigation of structure, mechanical and tribological properties of short carbon fiber reinforced UHMWPE-matrix composites', *Composites Part B: Engineering*, vol. 76, pp. 79–88, 2015.
- [11] R. Voicu, 'Structural Characterization and Mechanical Behaviour of Carbon Fiber/epoxy Composite for Aeronautical Field', *Materiale Plastice*, vol. 49, no. 1, pp. 34–40, 2012.
- [12] O. Arsun, Y. Akgul, and H. Simsir, 'Investigation of the properties of Al7075-HTC composites produced by powder metallurgy', *Journal of Composite Materials*, vol. 55, no. 17, pp. 2339–2348, 2021.
- [13] A. Olszewski, P. Nowak, P. Kosmela, and \Lukasz Piszczyk, 'Characterization of Highly Filled Glass Fiber/Carbon Fiber Polyurethane Composites with the Addition of Bio-Polyol Obtained through Biomass Liquefaction', *Materials*, vol. 14, no. 6, p. 1391, 2021.
- [14] T. A. Sebaey, D. K. Rajak, and H. Mehboob, 'Internally stiffened foam-filled carbon fiber reinforced composite tubes under impact loading for energy absorption applications', *Composite Structures*, vol. 255, p. 112910, 2021.





[15] E. Feyzullohoğlu and İ. Recep, 'Farklı Yk ve Hızlarda Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozit Malzemelerin Aşınması', *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 259–266.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Evaluation on Antimicrobial Activity of The Lichen *Pleurosticta acetabulum*

 Basaran Dulger<sup>a,\*</sup>,  Gorkem Dulger<sup>b</sup>,  Bahar Gedik<sup>c</sup>,  Seyhan Oran<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Department of Biology, Faculty of Science and Arts, Duzce University, 81620 Konuralp/Duzce, Turkiye

<sup>b</sup> Department of Medical Biology, Faculty of Medicine, Duzce University, 81620 Konuralp/Duzce, Turkiye

<sup>c</sup> Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Duzce University, 81620 Konuralp/Duzce, Turkiye

<sup>d</sup> Department of Biology, Faculty of Science and Arts, Uludag University, 16059 Nilufer/Bursa, Turkiye

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: basarandulger@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1082155

### ABSTRACT

In this study, the ethanol extract of the lichen *Pleurosticta acetabulum* (Neck.) Elix & Lumbsch (Parmeliaceae) was investigated for their antimicrobial activity against various microorganisms by the disc diffusion method. *Mycobacterium smegmatis* CCM 2067, *Micrococcus luteus* CCM 169, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P, *Proteus vulgaris* ATCC 8427, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Listeria monocytogenes* ATCC 15313, *Klebsiella pneumoniae* UC57, *Bacillus cereus* ATCC 7064, *Escherichia coli* ATCC 10536, *Rhodotorula rubra* DSM 70403, *Candida albicans* ATCC 10231 and *Kluyveromyces fragilis* ATCC 8608 were used as test microorganisms. We have found that the ethanol extract of the lichen has a potential antimicrobial effect against all tested microorganisms, forming inhibition zones between 12.6-22.4 mm, as compared with the standard antibiotics. Notably, the extract has a strong effect against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, especially *Candida albicans*. In conclusion, *P. acetabulum* may assist in the discovery of new antimicrobial agents that can serve as selective agents or in the preparation of new combined therapeutic drugs. However, the effect of this lichen species on more pathogenic organisms should be investigated and further and detailed pharmacological and toxicological studies should be conducted.

**Keywords:** *Pleurosticta acetabulum*, The lichen, Antimicrobial activity

## *Pleurosticta acetabulum* Liken Türünün Antimikrobiyal Aktivitesi Üzerine Değerlendirme

### ÖZ

Bu çalışmada, *Pleurosticta acetabulum* (Neck.) Elix & Lumbsch (Parmeliaceae) liken türünden elde edilen etanol ekstraktının antimikrobiyal aktivitesi, disk difüzyon yöntemi kullanılarak, *Mycobacterium smegmatis* CCM 2067, *Micrococcus luteus* CCM 169, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P, *Proteus vulgaris* ATCC 8427, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Listeria monocytogenes* ATCC 15313, *Klebsiella pneumoniae* UC57, *Bacillus cereus* ATCC 7064, *Escherichia coli* ATCC 10536, *Rhodotorula rubra* DSM 70403, *Candida albicans* ATCC 10231 ve *Kluyveromyces fragilis* ATCC 8608 test mikroorganizmalarına karşı araştırılmıştır. Standart antibiyotikleri ile karşılaştırıldığında, elde edilen etanol ekstraktının tüm test mikroorganizmalarına karşı (12.6-22.4 mm değerleri arasında) potansiyel bir aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, *P. acetabulum* seçici ajan olarak hizmet edebilecek yeni antimikrobiyal ajanların keşfedilmesinde veya yeni konbine terapötik ilaçların hazırlanmasında yardımcı olabilir. Ancak bu liken türünün daha fazla mikroorganizmalar üzerindeki etkisinin araştırılması, daha ileri ve detaylı farmakolojik ve toksikolojik araştırmaların yapılması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Pleurosticta acetabulum*, Liken, Antimikrobiyal aktivite

## **I. INTRODUCTION**

It is known that lichens are beneficial for diseases such as heart, bronchitis, asthma, leprosy, blood, and scabies, so they have been mentioned quite a lot in the Ayurvedic treatment system. Also, they have long been used for bleeding, thirst, and vomiting [1].

Lichen secondary metabolites with antimicrobial, cytotoxic, antioxidant, anti-inflammatory and antipyretic properties are also potential sources of pharmaceutically beneficial chemicals [2].

As it known many lichen species have very interesting pharmacological and biological properties. However, there are few studies in the literature investigating the potential of *Pleurosticta acetabulum* (Neck.) Elix & Lumbsch (Parmeliaceae). For this reason, it is the aim of the present study to reveal the antimicrobial activity spectrum of this lichen species against various microorganisms.

## **II. MATERIALS AND METHODS**

### **A. THE LICHEN MATERIAL**

The samples of the lichen *Pleurosticta acetabulum* (Neck.) Elix & Lumbsch were collected from the mountain Uludağ, Soğukpınar, Bursa, Turkey in August, 2011 (40 03 44.7 N and 29 07 53.2 E) and identified by Dr. Seyhan Oran. A voucher sample was kept in author's personal collections (voucher number; BD.305-5)

### **B. PREPARATION OF EXTRACTS**

Lichen samples collected from the field were dried at 40 °C (12 h) and ground into powder. Then, 20 g of this powdered lichen material was weighed and extracted. Extraction was carried out by Soxhlet with 150 mL of ethanol (95%) (24 h) [3]. The extract obtained after extraction was filtered through Whatman filter No.1, then evaporated at 55 °C using a rotary evaporator under vacuum (yield: 12.6% for ethanol). The extract was dissolved using DMSO to a final concentration of 1 g/mL for prescreening.

### **C. STRAINS**

*Mycobacterium smegmatis* CCM 2067, *Micrococcus luteus* CCM 169, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P, *Proteus vulgaris* ATCC 8427, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Listeria monocytogenes* ATCC 15313, *Klebsiella pneumoniae* UC57, *Bacillus cereus* ATCC 7064, *Escherichia coli* ATCC 10536, *Rhodotorula rubra* DSM 70403, *Candida albicans* ATCC 10231 and *Kluyveromyces fragilis* ATCC 8608 were used as test microorganisms.

### **D. ANTIMICROBIAL ASSAY**

The lichen extracts were dissolved in 10% aqueous DMSO (dimethyl sulfoxide). The final concentration was adjusted to 200 mg/mL. The extracts were then passed through a 0.45 mm membrane filter for sterilization. Empty discs (6 mm in diam.) were impregnated with 50 mL of this extract, each at a concentration of 200 mg/mL. Bacterial cultures to be used in the study were inoculated into Nutrient Broth (Difco) and incubated at 35±0.1 °C for 24 h. In addition, the yeast cultures to be used were incubated in Malt Extract Broth (Difco) for 48 h at 25±0.1 °C. An inoculum containing 10<sup>6</sup> bacterial cells was placed on Mueller-Hinton Agar (Oxoid) plates [4]. MH-GMB (2% glucose and methylene blue 0.5 µg/ml) agar plates were prepared for yeast. 10<sup>8</sup> yeast cells/mL were inoculated on MH-GMB plates [5].

The discs injected with the lichen extracts were placed. Then, plates were then incubated at 4°C for 2 h. After this period, the plates in which the yeast cultures were cultivated were incubated at 25±0.1°C for 48 h, and those cultured with bacterial cultures for 24 h at 35±0.1°C [4-6]. Finally, the diameters of the zones of inhibition that occurred on the media were measured and using a physical ruler such as a meter scale (as millimeters). Experiments in the study were performed in triplicate and evaluated. For comparison, a suitable reference antimicrobial agent disc was placed on the medium, taking into account the characteristics of the test microorganisms.

### **III. RESULTS AND DISCUSSION**

Table 1 is indicated that the zones of inhibition formed by the lichen extracts assayed against tested microorganisms and the standard comparison antibiotics.

As clearly indicated in Table 1, lichen extracts have a potential antibacterial effect against all tested bacteria and formed zones of inhibition between 12.6-21.2 mm. The ethanol extract has much greater antibacterial zones than those of all comparison antibacterial agents except for Ofloxacin (5 mg) and tetracycline (30 mg) against *Escherichia coli*. Compared to the standard comparison antibiotics Cefotaxime (30 mg), Ampicillin 10 and Penicillin G (10 units) *Staphylococcus aureus* is more susceptible. Effect of the extracts against *Klebsiella pneumoniae* and *Micrococcus luteus* is far below the activities of all comparison antibiotics used in this study. The extract has a stronger activity than those of only one the standard antibiotic, Cefotaxime (30 mg) and Penicillin G (10 units) against *Mycobacterium smegmatis* as acid-fast bacterium and *Proteus vulgaris*, respectively. Against *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus cereus*, the extract has shown a moderate activity according to the effects of some standard comparison antibiotics. When the antifungal activity results of the extract are examined, against all the yeast cultures, the extract has shown more strong effect in comparison with Nystatin standard, forming zones of 20.8-24.4 mm. The strongest effect was detected against *Candida albicans* (24.4 mm).

Antibiotic drugs needed for the treatment of microbial infections and diseases from plant sources in obtaining has been used since. Also, many lichens with potential in this respect. its importance has been increasing recently. Many of the lichen species showed very interesting findings of biological activity. However, only one study in the literature has investigated the potential of *Pleurosticta acetabulum* [7]. In that study, atranorin, norstictic, salazinic evernic acid and protocetraric were identified as compounds of *P. acetabulum*. The acetone extract obtained from the lichen was investigated for their antimicrobial activities against various bacteria and fungi using broth microdilution method. MIC values of the lichen acetone extract were found to range between 5-20 mg/mL for fungal cultures and 1.25-20 mg/mL for bacterial cultures. It was reported that the extract had no effect against *E. coli* and *Aspergillus flavus*, which were found to be the most resistant bacterial and fungal cultures. The potential antimicrobial activities of evernic and norstictic acids have been previously reported in the literature [7]. Both compounds were tested for their antibacterial activities against Gram positive and Gram negative bacteria, and as a result, Gram-negative bacteria were determined to be more resistant to these compounds by this study. Manojlovic et al. reported the antimicrobial effect of salazinic and protocetraric acids [8]. They also reported that it showed strong antimicrobial activity for atranorin [9-10]. Our findings clearly revealed that *P. acetabulum* has potent antimicrobial effects against the tested microorganisms. Notably, antimicrobial activity is found to be strongly effective against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* among the tested bacteria, against all yeast cultures especially opportunistic skin pathogen, *Candida albicans*. These compounds mentioned above may be responsible for their antimicrobial effects against microorganisms. These results indicated that the lichen *P. acetabulum* may be a good candidate as an inhibitor for *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, especially *Candida albicans*.

It is seen that the antimicrobial activities of lichen species vary according to the area of collection and the differences in the solvents and methods used while obtaining lichen extracts. It is thought that parameters such as humidity and air pollution rates of the regions where lichens are found, air temperature and light differences have a role in the synthesis of secondary metabolites, and as a result, antimicrobial activities vary. However, the solvents used in obtaining lichen extracts also affect the antimicrobial activities of lichens [11]. Therefore, more similar studies more comprehensive data will be available.

**Table 1.** Summary of antimicrobial activity of *P. acetabulum* extracts and standard comparison antibiotics.

Microorganisms	The ethanol extract (50 mg/mL)	Standard antibiotics/inhibition zones (mm) <sup>a</sup>						
		1	2	3	4	5	6	7
<i>Escherichia coli</i>	21.2	18.2	12.6	10.6	20.4	24.2	26.2	Nt
<i>Staphylococcus aureus</i>	15.2	13.6	15.8	12.6	12.8	20.8	21.2	Nt
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	13.8	18.4	15.2	14.2	21.2	24.6	20.6	Nt
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	12.6	10.2	11.2	28.6	10.8	28.2	24.6	Nt
<i>Proteus vulgaris</i>	12.8	10.4	17.2	18.2	20.2	22.4	21.8	Nt
<i>Bacillus cereus</i>	14.6	15.4	12.8	13.4	16.8	26.4	19.8	Nt
<i>Mycobacterium smegmatis</i>	13.8	14.8	20.2	11.6	18.6	24.8	22.2	Nt
<i>Listeria monocytogenes</i>	14.2	11.2	12.6	17.2	24.2	28.6	19.8	Nt
<i>Micrococcus luteus</i>	16.8	28.4	26.4	24.8	26.2	24.2	20.2	Nt
<i>Candida albicans</i>	24.4	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	20.4
<i>Kluyveromyces fragilis</i>	20.8	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	18.2
<i>Rhodotorula rubra</i>	21.6	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	18.6
Ethanol (control)	0	0	0	0	0	0	0	0

<sup>a</sup> Includes diameter of disk (6 mm)

1: P10, Penicillin G (10 units); 2: SAM20, Ampicillin 10 mg; 3: CTX30, Cefotaxime 30 mg; 4: V30, Vancomycin 30 mg; 5: OFX 5, Ofloxacin 5 mg; 6: TE30, Tetracycline 30 mg; 7: NY100, Nystatin 100 mg

Nt: Not tested

## **IV. CONCLUSION**

In this study, by revealing the broad spectrum of antimicrobial activity by *P. acetabulum*, it may help the discovery of new antibiotic agents that can serve as selective agents in the treatment and prevention of disease, as well as shed light on all other researches aimed at increasing the proliferation and quality of this study. The effect of the lichen on more pathogenic organisms and toxicological investigations and further purification however, needs to be carried out.

## **V. REFERENCES**

- [1] V. Shukla, G.P. Joshi and M.S.M. Rawat, "Lichens as a potential natural source of bioactive compounds: a review," *Phytochem Rev.*, vol. 9, no. 2, pp. 303-314, 2010.
- [2] B. Rankovic and M. Kosanic, "Lichen as a potential source of bioactive secondary metabolites. Lichen secondary metabolites," *Springer International Publishing Switzerland*, pp. 1-26, 2015.

- [3] N.H. Khan NH, M.S.A. nur-E Kamal and M. Rahman, "Antibacterial activity of *Euphorbia thymifolia* Linn," *Indian J Med Res.*, vol. 87, pp. 395-397, 1988.
- [4] CLSI. Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests, approved standard-eleventh edition. CLSI document M02-A11, vol. 32, no. 1, Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne, PA, 2012.
- [5] NCCLS. Method for antifungal disk diffusion susceptibility testing of yeasts: proposed guideline M44-P. National Committee for Clinical Laboratory Standards, Wayne, PA, 2003.
- [6] C.H. Collins, P.M. Lyne and G.M. Grange, "Collins and Lyne Microbiological methods," 6th ed., London, UK: Butterworth, 1989.
- [7] J. Tomovic, M., Kosanic, S. Ristic, B. Rankovic, T. Stanojkovic and N. Monojlovic, "Chemical composition and bioactive properties of the lichen, *Pleurosticta acetabulum*," *Trop J Pharm Res.*, vol. 16, no. 12, pp. 2977-2984, 2017.
- [8] N. Manojlovic, B. Rankovic, M. Kosanic, P. Vasiljevic and T. Stanojkovic, "Chemical composition of three *Parmelia* lichens and antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities of some their major metabolites," *Phytomed*, vol. 19, no. 13, pp. 1116-1172, 2012.
- [9] Y. Yilmaz, A.O. Turk, T. Tay and M. Kivanc, "The antimicrobial activity of extracts of the lichen *Cladonia foliacea* and its (-)-usnic acid, atronin and fumarprotocetraric acid constituents," *Z Naturforsch C*, vol. 59, no. 3-4, pp. 249-254, 2004.
- [10] V.M. Thadhani, I.M. Choudhary, S. Khan and V. Karunaratne, "Antimicrobial and toxicological activities of some depsides and depsidones," *J Natl Sci Found*, vol. 40, pp. 43-48, 2012.
- [11] E. Ucar, B. Gokalsin, N. Yildirim, B. Acikgoz, G. Ozyigitoglu and N.C. Sesal, "Antibacterial activities of extracts of lichen samples collected from Balikesir region on *Escherichia coli* ATCC 25922," *Journal of Turkish Society of Microbiology*, vol. 47, pp. 26-32, 2017.





# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Peyzaj Yapısındaki Zamansal/Mekânsal Değişimin Metrik Analizi ile Değerlendirilmesi: Çanakkale Kent Merkezi

 Berivan EREN<sup>a\*</sup>,  Tülay CENGİZ TAŞLI<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, TÜRKİYE*

<sup>b</sup>*Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, TÜRKİYE*

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [erenberivan@yahoo.com](mailto:erenberivan@yahoo.com)

DOI: 10.29130.dubited.1085024

### Öz

Bu çalışmada Çanakkale kent merkezinde, peyzaj deseninde meydana gelen değişimin 18 yıllık süreçte analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada peyzaj deseninde meydana gelen değişim, Landsat ETM 2000, 2006, 2012, 2018 WGS 84 projeksiyonunda Landsat Copernicus uydu görüntülerinin nesne tabanlı sınıflandırılması sonucunda elde edilen arazi kullanım/arazi örtüsü (AK/AÖ) haritaları üzerinden analiz edilmiştir. Araştırma alanında peyzaj desenleri olarak yapay alanlar, tarım alanları, doğal bitki örtüsü, sulak alanlar olmak üzere 4 sınıf ve bu sınıflandırmalara yönelik alanın kullanım durumuna uygun alt sınıflar kullanılmıştır. Peyzaj deseninde meydana gelen değişimin belirlenmesi için gerekli peyzaj metrikleri, FRAGSTATS V4.2. programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Sınıf ve peyzaj düzeyinde; CA- Class Area (Sınıf Alanı), NumP- Number of Patches (Leke Sayısı), MPS- Mean Patch Size (Ortalama Leke Büyüklüğü), ED- Edge Density (Kenar Yoğunluğu), TE- Total Edge (Toplam Kenar), MCA- Mean Core Area (Ortalama Çekirdek Alan), TCA- Total Core Area (Toplam Çekirdek Alan), MNN- Mean Nearest Neighbor (Ortalama En Yakın Komşuluk Mesafesi), MPI- Mean Proximity Index (Ortalama Yakınlık İndeksi), SDI- Shannon's Diversity Index (Shannon Çeşitlilik İndeksi), SEI- Shannon's Evenness Index (Shannon Düzen İndeksi), MSI- Mean Shape Index (Ortalama Şekil İndeksi) metrikleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda peyzaj yapısındaki parçalanmaya bağlı değişimler analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, 2000-2018 yılları arasında leke büyüklüğünün yapısal alanlarda arttığı, orman alanları ve tarım alanlarında ise azaldığı tespit edilmiştir. 18 yıllık süreçte tarım alanlarında azalma yaşanmıştır. Sulak alanlarda çok belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir. Üzüm bağları (vineyards) ve seyrek bitki örtüsünün (sparsely vegetated areas) olduğu alanlar değişime uğrayarak yerlerini başka peyzaj desenlerine bırakmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Peyzaj ölçümleri, Parçalılık analizi, Patch Analysis, CBS, Çanakkale Kent Merkezi

## Temporal/Spatial Change in Landscape Structure Evaluation with Metric Analysis: Çanakkale City Center

### ABSTRACT

In this study, it is aimed to analyze the change in the landscape pattern in Çanakkale city center in 18 years. In the study, the change in the landscape pattern was analyzed through the land use/land cover (AR/LAP) maps obtained as a result of object-based classification of Landsat Copernicus satellite images in Landsat ETM 2000, 2006, 2012, 2018 WGS 84 projection. In the research area, 4 classes as artificial areas, agricultural areas, natural vegetation, wetlands and subclasses suitable for the use of the area for these classifications were used as landscape patterns. FRAGSTATS V4.2 in determining the change in landscape pattern. Landscape metrics were calculated through the program. At the class and landscape level; CA- Class Area, NumP- Number of Patches, MPS- Mean Patch Size (Average Spot Size), ED- Edge Density (Edge Density), TE- Total Edge (Total Edge), MCA- Mean Core Area, TCA- Total Core Area, MNN- Mean Nearest Neighbor, MPI- Mean Proximity Index, SDI- Shannon's Diversity Index ( Shannon Diversity Index), SEI- Shannon's Evenness Index (Shannon Layout Index), MSI- Mean Shape Index (Mean Shape Index) metrics were calculated. As a result of the calculations, the changes in the landscape structure due to fragmentation were analyzed. As a result of the research, it was determined that there was an increase in the size of the spots in the structural areas, and a decrease in the size of the spots in the forest areas and agricultural areas, especially in the time period between 2000-2018. There has been a decrease in agricultural areas in the 18-year period. No significant change was observed in wetlands. Vineyards and areas with sparse vegetation (sparsely vegetated areas) have changed and left their place to other landscape patterns.

**Keywords:** *Landscape metrics, Fragmentation analysis, Patch analysis, GIS, Çanakkale City Center*

## **I. GİRİŞ**

Yeryüzünde yaşanan sanayileşme, kentleşme, yanlış arazi kullanımı, nüfus artışı gibi ekosistem sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyen birçok problem ekosistemlerin parçalanmasına ve niteliklerini kaybetmelerine sebep olmaktadır. İnsan nüfusunun belli alanlarda yoğunlaşarak yapısal alanların arttırması, yapıli alanların kent çeperlerine kadar yayılması, yeşil alanların yapısal alanlara dönüşmesine yol açar. Bu büyüme faktörü kent dışına doğru yayılırken, aynı zamanda yeni yerleşim alanları ve ulaşım ağları oluşturarak yeni leke ve koridor parçalarını meydana getirir veya lekelerin başka bir sınıf lekesine dönüşmesine neden olur [1], [2], [3], [4].

Doğal veya yarı doğal alanlarda genellikle antropojen etkili arazi kullanımlarının mekânsal olarak düzenlenmesi leke-matris-koridor bileşenlerinin meydana getirdiği peyzaj desenlerini oluşturur. Leke-matris-koridorlar, arazi kullanımlarının planlanarak peyzajdaki desenin akışını, değişimini, dönüşümünü izlemek ve değerlendirmek için kullanılmaktadır [5], [6],[7], [3].

Heterojen özellikte olan ama işlevsel açıdan benzer olan bir peyzaj yapısı mekânsal olarak birbiri ile ilişkili ekosistemler barındırmaktadır. Bu ilişkiler biyolojik zenginliğe, çeşitliliğe, büyüklüğe, sayıya ve şekle göre değişiklik göstermektedir. Leke-matris-koridor peyzajın yapısındaki, fonksiyon ve değişimleri mekânsal olarak analiz eden ve değerlendirmelerde bulunan ölçümlerin temelini oluşturmaktadır. Peyzaj metrikleri diğer bir deyişle peyzaj ölçümleri desen-süreç ilişkisini kavramak açısından oldukça önemlidir [8], [9], [10], [11].

Günümüzde peyzajların yapısına yönelik geliştirilen metrikler iki başlık altında değerlendirilmektedir. Bunlardan biri; peyzaj bileşenlerinin mekânsal ilişkisi göz ardı edilerek, varlık, miktar ve çeşitliliği konusunda bilgi veren 'peyzaj kompozisyon metrikleri', bir diğer metrik ise peyzaj desenindeki çeşitlilik, alan tiplerinin peyzaj dokusu içindeki dağılım ve düzeninin belirlenmesi için kullanılan 'peyzaj konfigürasyon metrikleri' ve 'fraktal metrikler'dir. Geliştirilen metrikler ile Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü (AKAÖ) yapısındaki işlev ve fonksiyonda meydana gelen değişim sayısal olarak ifade edilirken, peyzaj düzeyinde ve sınıf düzeyinde hesaplamalar yapılabilmektedir [12], [13], [6], [14], [15].

Peyzaj metrikleri, peyzaj karakterindeki değişimin yanısıra sosyal ve çevresel süreçler arasındaki karmaşık ilişkinin analizi, ekolojik süreçlerin çözümlenmesi, yeni modeller oluşturulması, alternatif planlama yaklaşımlarının karşılaştırılmasını sağlar. Böylelikle planlama çalışmalarının ekosistemler üzerindeki önemli rolleri tahmin edilerek daha etkin sonuçlar üretilebilmektedir. Peyzaj metrikleri ekolojik süreçlerin anlaşılması, modellerin oluşturulması, farklı planlama alternatiflerinin objektif olarak mukayese edilmesi ve planlama çalışmalarının ekosistemler üzerindeki etkilerinin tahmin edilmesinde etkin sonuçlar üretebilmektedir. Peyzaj metriklerinin hesaplanmasında Fragstats, Erdas Imagine, Patch Analysis programları kullanılabilir. Sınıf ve peyzaj düzeyinde yapılan ölçümlerde alan/yoğunluk/kenar, şekil, öz alan, izolasyon/yakınlık, çeşitlilik, karışım, bağıntılılık ve baskınlık gibi peyzaj ölçümleri yapıp, CBS teknikleri yardımıyla sayısal eşitlikler elde edilmektedir [12], [13], [16], [17], [11].

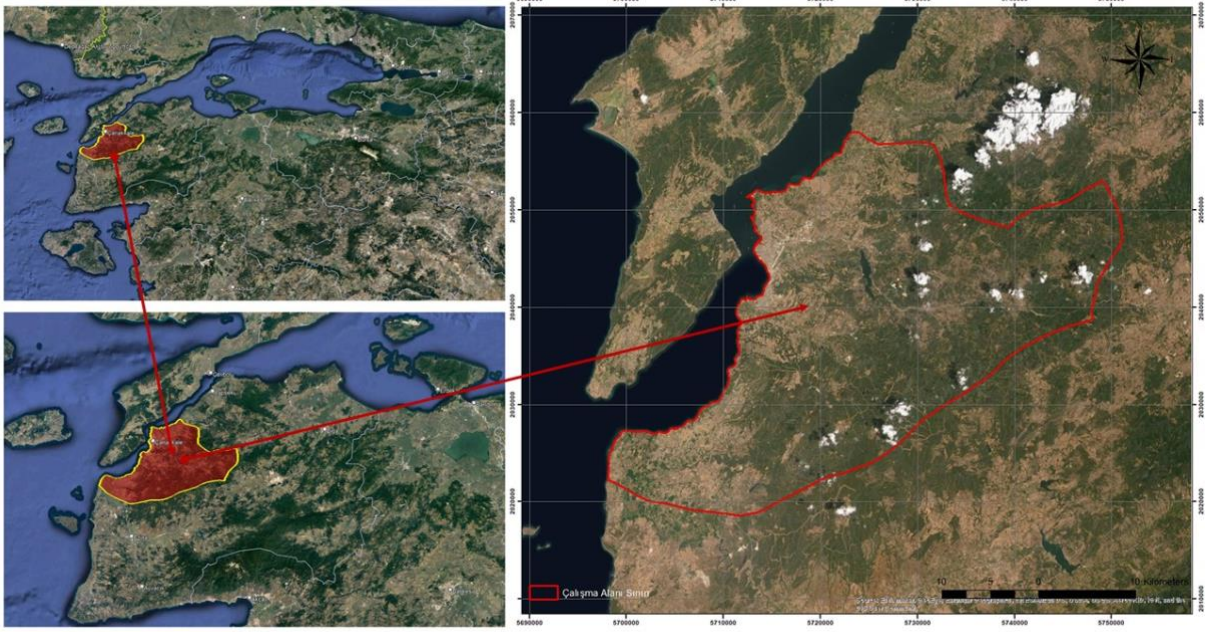
Yaşam ortamlarında insan etkili ortaya çıkan ve durdurulmaz bir süreç olan parçalılık bir kayıp ve izolasyonun başlangıcıdır. Peyzajda zamanla meydana gelen parçalılığın ve değişimin belirlenmesi, peyzaj deseninden çıkarılan sonuçlarla mümkün olacaktır. Parçalılık yaşam alanı miktarını azaltarak orada yaşayan türler için bir risk faktörü oluşturmaktadır. Fakat bazen de parçalılık sadece olumsuz olarak yorumlanmayabilir. Lekelerin homojen dağılım gösterdiği parçalılık durumlarında yaşam alanı açısından geniş alana ihtiyaç duyan canlı türleri yaşam alanlarını devam ettirebilmektedir. Homojen olmayan parçalılık yapısında lekeler arası açıklık ve izolasyon fazla olmaktadır. Bu tür parçalılıklarda yaşanan artış alanda yaşayan önemli türlerin azalmasına var olan leke sınıflarının yok olmasına, orijinal habitat özelliklerinde kaybolmaya sebep olmaktadır. Peyzajın parçalanması birbiriyle komşu alanlar arasındaki ekolojik ağların yok olması anlamına gelmektedir. Bu anlamda peyzaj bütünlüğü dolayısıyla koridorlar, biyoçeşitliliğin korunması ve doğal ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir. Parçalılığın artışıyla birlikte türler küçük üniteler arasında hareket eder ve zamanla parçalılığın artması ve yok olmasıyla bu türlerin hareketleri de ortadan kalkmaktadır. Yaşanan bu değişim sadece biyoçeşitlilikte yok oluşa değil aynı zamanda sağlıklı olarak kabul edilen kenar habitatlarının da ortaya çıkmasına sebep olmaktadır [18], [19], [10], [20], [11].

Alanlarda yaşanan nüfus değişimi ve gerçekleştirilen faaliyetlere bağlı olarak zaman içinde parçalılık değişkenlik gösterebilir. Ancak peyzaj yapısındaki tüm dinamiklerin tanımlanması, fonksiyonelliği ve hassasiyetlerinin bilinmesi parçalılık yorumlarını kuvvetlendirerek ve doğru değerlendirmeler yapılmasını sağlayarak, peyzaj planlama, koruma, kullanım, yönetim çalışmalarına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Çanakkale ili kent merkezinde meydana gelen arazi kullanım/arazi örtüsü (AKAÖ) sınıflarında 2000-2006-2012 ve 2018 yılları arasında meydana gelen değişimler belirlenen peyzaj metrikleri ile analiz edilmesi suretiyle peyzaj genelinde yaşanan parçalılıkların değerlendirilmesidir.

## **II. MATERYAL VE YÖNTEM**

Araştırma alanı olarak seçilen Çanakkale kent merkezinde (Şekil 1), yerleşim birimleri ile ticaret merkezleri kıyı kesiminde yer almaktadır. Kent merkezinin doğusu ve güneyinde bulunan alanlar tarımsal alanlar ile orman ve yarı doğal alanlar ile kaplıdır. Kentin güneyinde ve doğusunda Balıkesir ili, kuzeyinde Tekirdağ, batısında Ege Denizi ve kuzeyinde Marmara Boğazı yer almaktadır. Doğal ve kültürel değerleri açısından eşsiz bir öneme sahip kent merkezi, tüm bu değerleri ile günümüzde gelişen bir yapıya sahiptir.



*Şekil 1. Araştırma Alanının Konumu.*

Çanakkale kent merkezinde yapılan bu araştırmada 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait uydu görüntüleri sınıflandırılmıştır. Uydu görüntülerinin sınıflandırılması işlemi üç aşamadan oluşmaktadır: Görüntü ön işlemleri, eşik temelli nesne tabanlı sınıflandırma ve sınıflandırma doğruluk analizi. Corine AK/AÖ sınıflandırması ile peyzaj desenleri tespit edilmiştir.

Belirlenen yıllara ait peyzaj desenleri peyzaj metrikleri ile ölçülerek kentin peyzaj yapısındaki değişim ve parçalılık analizi yapılmıştır (Tablo 1).

Belirlenen bu leke sınıflarındaki değişim ve parçalılığın değerlendirilmesi için sınıf ve peyzaj düzeyinde peyzaj metrikleri kullanılmıştır. Bu amaçla hazırlanan haritalar ile sınıf ve peyzaj düzeyinde 12 metrik hesaplanmış, yapılan hesaplamalar sonucunda peyzaj yapısındaki parçalanmaya bağlı değişimler analiz edilmiştir.

Araştırma alanının peyzaj yapısının değerlendirilmesinde ve AK/AÖ değişiminin etkilerinin belirlenmesi için peyzaj kompozisyon ve konfigürasyon metrikleri dikkate alınmıştır. FRAGSTATS V4.2. programları aracılığıyla peyzaj metrikleri hesaplanmıştır. CA- Class Area (Sınıf Alanı), NumP- Number of Patches (Leke Sayısı), MPS- Mean Patch Size (Ortalama Leke Büyüklüğü), ED- Edge Density (Kenar Yoğunluğu), TE- Total Edge (Toplam Kenar), MCA- Mean Core Area (Ortalama Çekirdek Alan), TCA- Total Core Area (Toplam Çekirdek Alan), MNN- Mean Nearest Neighbor (Ortalama En Yakın Komşuluk Mesafesi), MPI- Mean Proximity Index (Ortalama Yakınlık İndeksi), SDI- Shannon's Diversity Index (Shannon Çeşitlilik İndeksi), SEI- Shannon's Evenness Index (Shannon Düzen İndeksi), MSI- Mean Shape Index (Ortalama Şekil İndeksi) metrikleri hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu metrikler parçalılığın yorumlanması ve dağılımın değerlendirilmesinde kullanılmışlardır.

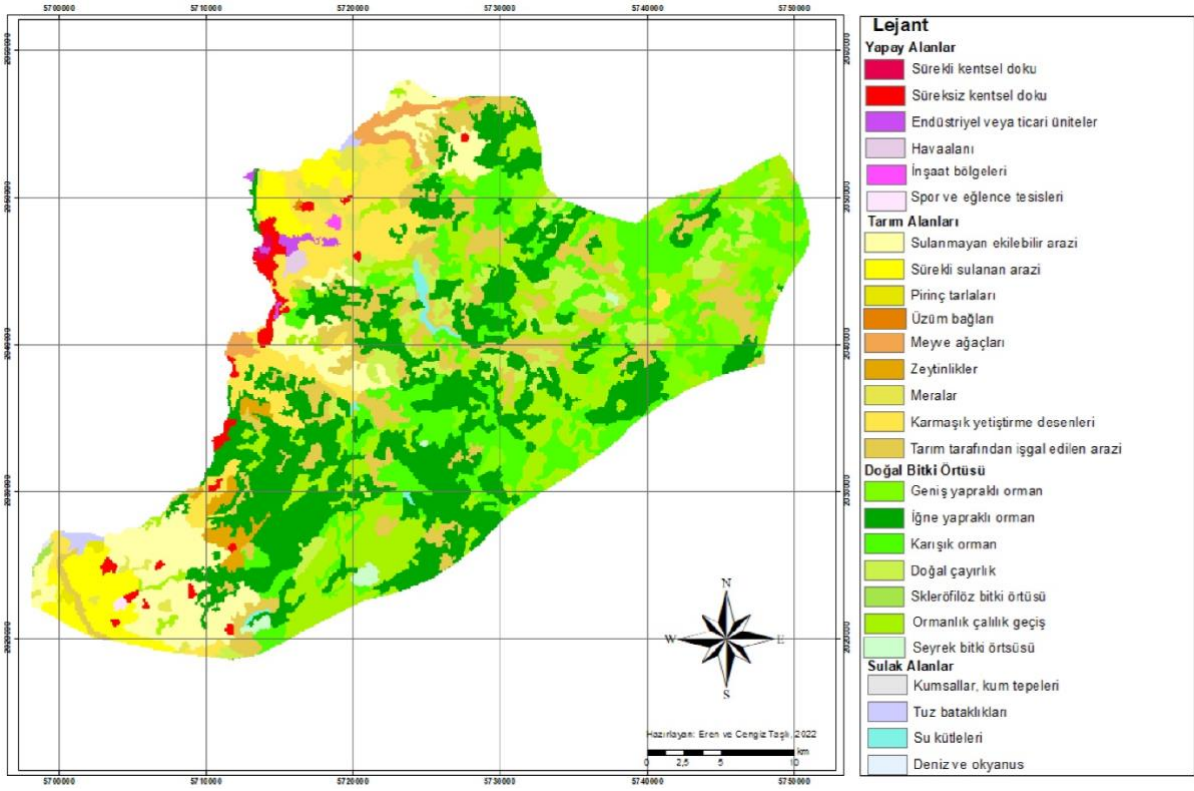
**Tablo 1.** Peyzaj yapısındaki parçalılık analizinde kullanılan peyzaj metrikleri (Forman, 1995).

<b>Metrik</b>	<b>Sembol</b>	<b>Yorum</b>
Sınıf Alanı	CA	Sınıf alanı ve leke sayısının artışı parçalılığın artacağına işaret eder.
Leke Sayısı	NumP	Aynı sınıfa ait leke sayısının fazla olması parçalanmanın da çok fazla olduğunu göstermektedir.
Ortalama Leke Büyüklüğü	MPS	Daha küçük parçalanmış leke sınıfı, parçalılığın varlığını gösterir.
Kenar Yoğunluğu	ED	Kenar yoğunluğu arttıkça bölünmenin artması beklenir.
Toplam Kenar	TE	Toplam kenarın artışı alandaki kenar türleri için hareket alanının artacağını gösterir. İnsan faaliyetlerinde azalma yaşandıkça toplam kenar uzunluğu da düşecektir.
Ortalama Öz Alan	MCA	Ortalama öz alanın azalışı iç habitat türlerinin kenar habitatına dönüşerek parçalandığı anlamına gelir.
Toplam Çekirdek Alan	TCA	Çekirdek alan yoğunluğunun artması biyoçeşitliliği olumlu destekler. TCA arttıkça aynı sınıfa ait lekelerin merkezleri arasındaki mesafe artar. MNN ve TCA değerlerinin birlikte düşmesi parçalılığın artışı göstermektedir.
Ortalama En Yakın Komşuluk Mesafesi	MNN	İzolasyonun artması parçaların küçülmesiyle artar. MNN değeri yüksek olan leke sayısı fazla olan desenler parçalanmaya uğramıştır.
Ortalama Yakınlık İndeksi	MPI	MPI arttıkça tanımlanan komşuluk mesafesi içindeki aynı tip lekelerin alanları artmaktadır.
Shannon Çeşitlilik İndeksi	SDI	SDI artması leke çeşitliliğinin arttığını göstermektedir. SDI=0 olması durumunda peyzaj tek lekeden oluşmaktadır.
Shannon Düzen İndeksi	SEI	SEI 0'a yaklaştığında lekelerin peyzaj içindeki dağılımının düzensiz olduğu anlaşılır.
Ortalama Şekil İndeksi	MSI	MSI değerinin 1'den uzaklaşması parçaların şekil bakımından düzgün olmadığını göstermektedir.

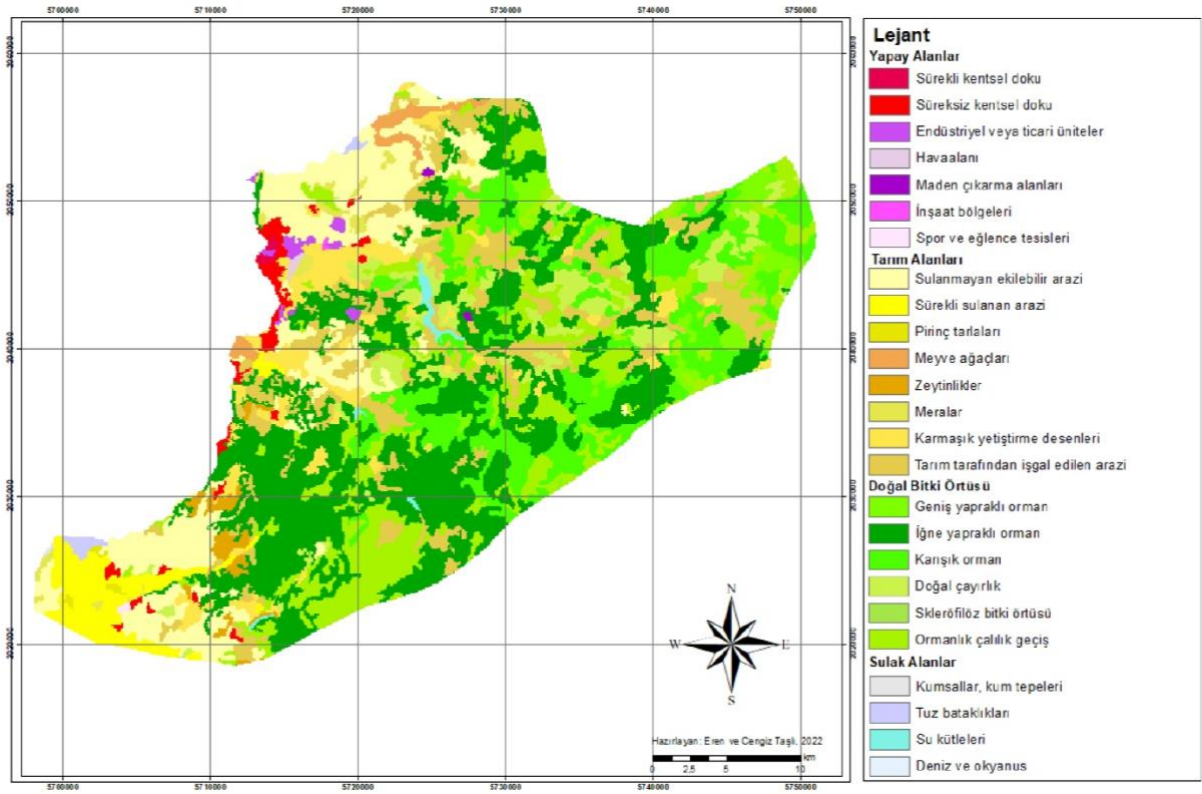
### **III. BULGULAR**

Çalışmada peyzaj deseninde meydana gelen değişim, 2000, 2006, 2012, 2018 WGS 84 projeksiyonunda Landsat Copernicus uydu görüntüleri sonucunda elde edilen AK/AÖ üzerinden analiz edilmiştir. Araştırma alanında peyzaj desenleri olarak yapay alanlar, tarım alanları, doğal bitki örtüsü, sulak alanlar olmak üzere 4 sınıf ve bu sınıflandırmaya yönelik alanın kullanım durumuna uygun alt sınıflar kullanılmıştır (Şekil 2, 3,4, 5).

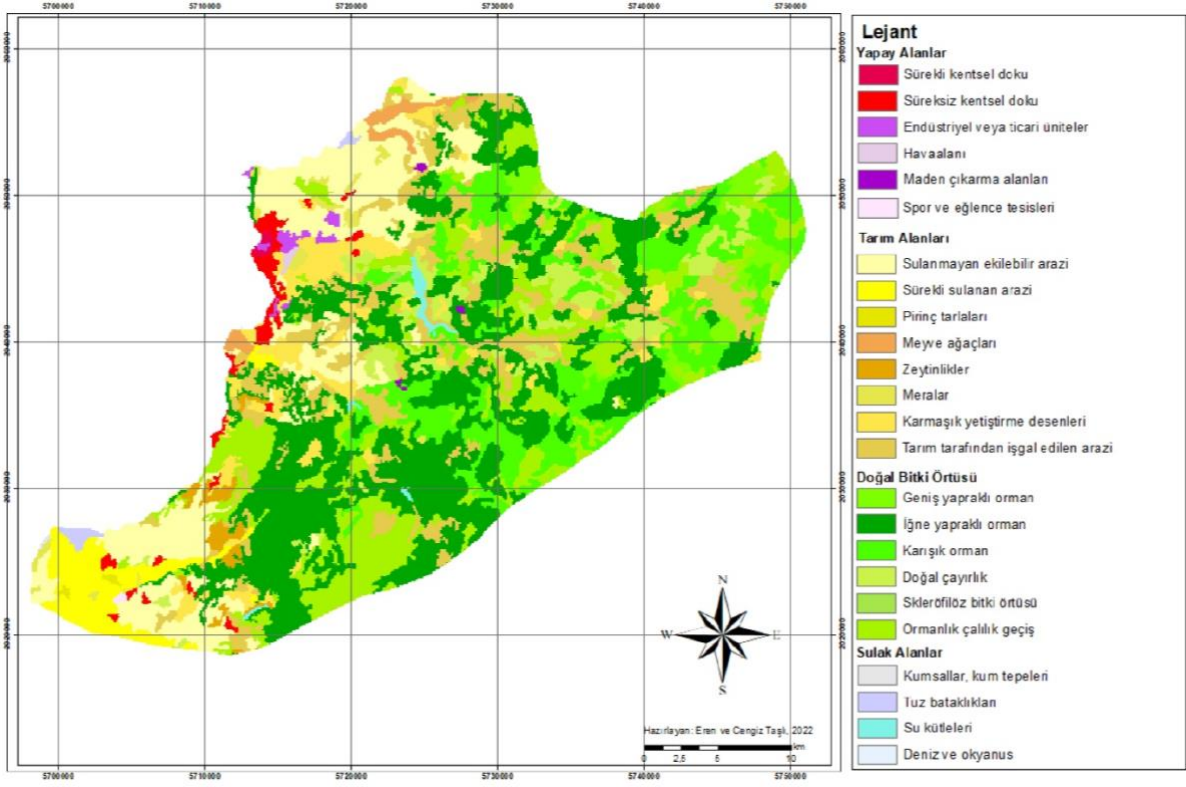
Araştırma alanındaki peyzaj desenleri arasındaki ilişkileri en iyi tanımlayacak dört leke sınıfı belirlenmiştir. Bunlar, yapay alanlar, tarım alanları, doğal bitki örtüsü ve sulak alanlardır. Bu sınıflandırmaya yönelik alanın kullanım durumuna uygun alt sınıflar oluşturulmuştur. Yapay alanlar (sürekli kentsel doku, süreksiz kentsel doku, endüstriyel ve ticari üniteler, havaalanı, inşaat bölgeleri, spor ve eğlence tesisleri, maden çıkarım alanları), tarım alanları (sulanan ekilebilir arazi, sürekli sulanan arazi, pirinç tarlaları, üzüm bağları, meyve bahçeleri, zeytinlikler, karışık yetiştirme desenleri, tarım tarafından işgal edilen arazi), doğal bitki örtüsü (meralar, geniş yapraklı orman, iğne yapraklı orman, karışık orman, doğal çayırlar, sklerofilöz bitki örtüsü, orman çalılık geçişi, seyrek bitki örtüsü), sulak alanlar (plajlar ve kum tepeleri, tuz bataklıkları, su kütleleri, deniz ve okyanus) şeklinde sınıflandırılmıştır.



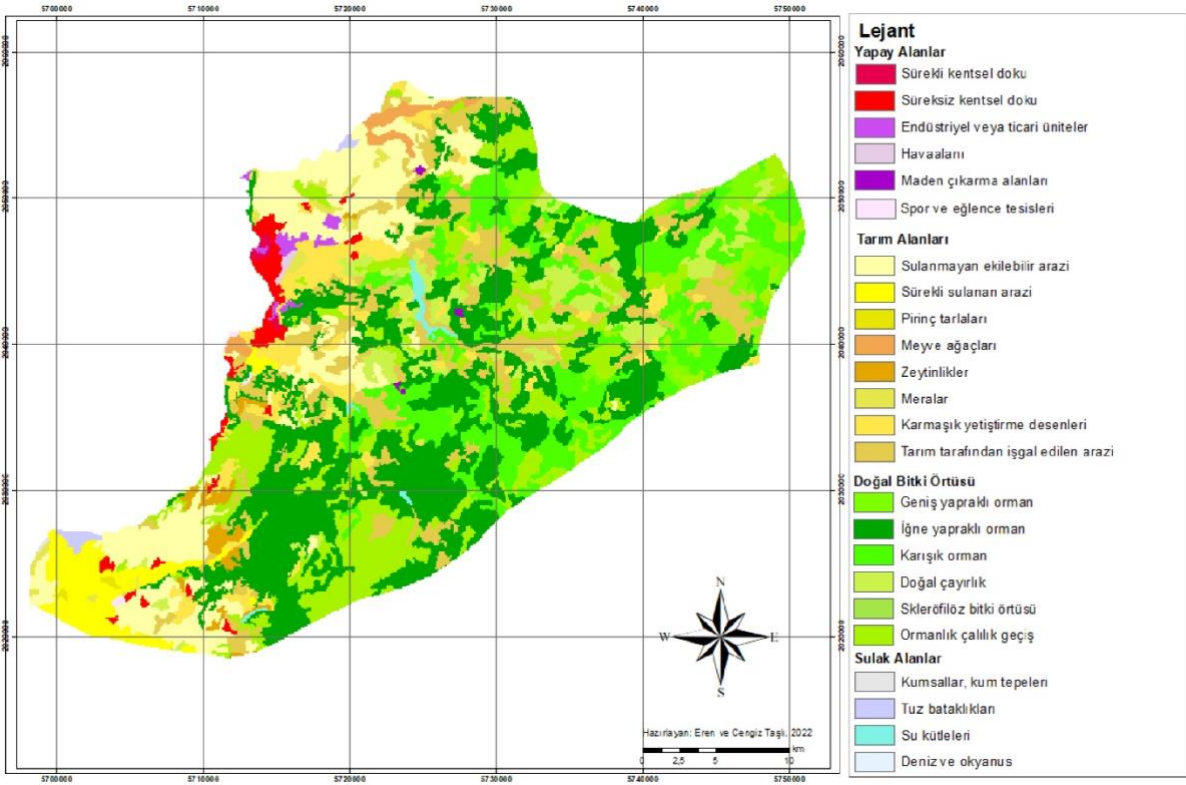
Şekil 2. 2000 Yılı Peyzaj Deseni.



Şekil 3. 2006 Yılı Peyzaj Deseni.



Şekil 4. 2012 Yılı Peyzaj Deseni.



Şekil 5. 2018 Yılı Peyzaj Deseni.

## **A. PATCH DENSITY/ SIZE METRICS**

### **A. 1. CA (Class Area) Sınıf Alanı**

CA indeksi baskınlık ve hakimiyet indeksi olarak tanımlanmaktadır. Hazırlanan AK/AÖ haritalarının, belirlenen sınıf düzeyinde peyzaj metrikleri ile analizi sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde, 2000 yılında araştırma alanında en fazla CA sahip peyzaj deseni, %64,96 ile doğal bitki örtüsü, %32,18 ile tarım alanları, %2,08 ile yapısal alanlar ve %0,76 ile sulak alanlar olarak belirlenmiştir. Bu oran 2006 yılında; %62,43 ile doğal bitki örtüsü, %34,54 ile tarım alanları, %2,21 ile yapısal alanlar ve %0,8 ile sulak alanlar olarak belirlenmiştir. 2012 yılında; %62,40 ile doğal bitki örtüsü, %34,54 ile tarım alanları, %2,22 ile yapısal alanlar, %0,82 ile sulak alanlar olmuştur. Bu oranlar; 2018 yılına gelindiğinde %62,38 ile doğal bitki örtüsü, %34,25 ile tarım alanları, %2,55 ile yapısal alanlar, %0,82 ile sulak alanlar olduğu görülmektedir.

Geçen 18 yıllık süreçte en fazla değişim yapısal alanlarda yaşanmıştır. Zaman içerisinde yapısal alanlarda meydana gelen artışa bağlı olarak bitki örtüsü ve tarım alanlarında da azalmalar olmuştur. Maden çıkarma alanlarının yapımı nedeniyle orman alanları ve tarım alanlarında azalan bir değişim söz konusu olmuştur. Yıllar bazında en yüksek orana sahip olan doğal bitki örtüsü, alanda hâkim arazi örtüsü sınıfını oluşturmaktadır.

### **A. 2. Nump (Number of Patch) Leke Sayısı**

Nump metapopulasyon sayısını belirleyen bir faktördür. Parçalanma metriğidir ve Nump artışı parçalılığın arttığına işaret etmektedir [5], [21], [14].

Peyzaj genelinde 2000-2006 zaman periyodunda en büyük artış tarım alanları sınıfında bulunan tarım işgalindeki arazilerde, karmaşık yetiştirme modellerinde ve sulanmayan ekilebilir arazi sınıflarında yaşanmıştır. Bu sınıflarda meydana gelen değişimin 2006 yılında yapılan maden alanları nedeniyle antropojenik etkili parçalanmadan kaynaklandığı yapılan analizlerce yorumlanabilir.

Nump değeri 2000-2018 periyodunda yaşanan değişimlerde yapısal alanlarda %14,81 artış, tarım alanlarında %119,73 artış, doğal bitki örtüsünde %0,81 artış, sulak alanlarda ise %75 artış olduğu görülmektedir. Tarım alanlarındaki MPI'nın azalmasıyla birlikte Nump değerinin artması, tarım alanlarında lekesele parçalanmanın artışı olarak değerlendirilmektedir.

### **A. 3. MPS (Mean Patch Size) Ortalama Leke Büyüklüğü**

Bir sınıf ve peyzaj indeksi leke sayısına dayalı bir indeks olan MPS; bir peyzaj mozaikini oluşturan her bir lekenin alanı, belki de tek başına peyzaj içerisindeki en önemli ve kullanışlı bilgiyi oluşturur. Her bir leke tipi (sınıfı) tarafından oluşturulan alanda eşit derecede önemlidir. Örneğin habitat parçaları ölçülerindeki azalma süreci habitat parçalılığının önemli bir bileşenidir. Bundan dolayı üzerinde çalışılan leke tipi için ortalama leke ölçüsünün küçüldüğü bir peyzaj diğer bir peyzajdan daha parçalı olarak düşünülebilir. Benzer şekilde tek bir peyzaj içerisinde daha küçük ortalama leke ölçüsü ile bir leke tipi diğer leke tipinden daha parçalı olarak düşünülebilir. Bu nedenle ortalama leke ölçüsü bir habitat parçalılık indeksi olarak hizmet edebilir. MPS; TCA, PD (ya da Nump) ve leke ölçüsü değişikliği ile birlikte en iyi şekilde yorumlanabilmektedir [12], [22], [6].



**Tablo 2. 2000 yılı arazi kullanım sınıflarının peyzaj metrikleri ile analizi.**

Arazi Kullanım/ Arazi Örtüsü Sınıfları	Ölçülen Metrikler													
	CA (ha)	ED TE/TLA (m/ha)	NUMP	MPS (ha)	MNN (m)	MCA (ha)	TCA (ha)	MSI	MPI	PSSD	SDI	SEI	TE (m)	TLA (ha)
												229	70	
<b>Yapay Alanlar</b>														
Sürekli kentsel doku	0.94	7	2	0.47	22361	0.24	0.48	139	940	300	0	0	76000	1017.03
Sürekli kentsel doku	13.65	93	17	0.80	201337	0.33	7.61	154	2084	10235	0	0	950000	1017.03
Endüstriyel veya ticari üniteler	3.28	27	5	0.66	158674	0.27	1.61	169	4797	5785	0	0	270000	1017.03
Havaalanları	1.90	8	1	1.90	1	1.38	1.38	141	0	0	0	0	78000	1017.03
İnşaat bölgeleri	0.76	4	1	0.76	1	0.48	0.48	126	0	0	0	0	44000	1017.03
Spor ve eğlence tesisleri	0.67	4	1	0.67	1	0.41	0.41	134	0	0	0	0	44000	1017.03
Maden çıkarma alanları	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>21.20</b>	<b>143</b>	<b>27</b>	<b>5.26</b>	<b>382375</b>	<b>3.11</b>	<b>11.97</b>	<b>863</b>	<b>7821</b>	<b>16320</b>			<b>1462000</b>	
<b>Tarım Alanları</b>														
Sulanmayan ekilebilir arazi	85.52	292	8	10.69	98739	3.10	65.04	292	63136	84492	0	0	2974000	1017.03
Sürekli sulanan arazi	39.30	109	4	9.83	55902	6.34	31.69	225	12851	60290	0	0	1104000	1017.03
Pirinç tarlaları	1.42	9	2	0.71	304795	0.40	0.79	139	8	200	0	0	94000	1017.03
Üzüm bağları	0.34	3	1	0.34	1	0.16	0.16	137	0	0	0	0	32000	1017.03
Meyve ağaçları ve tarlaları	11.34	50	2	5.67	1481891	1.56	7.82	249	3	30000	0	0	512000	1017.03
Zeytin korusu	10.62	54	4	2.66	153195	1.00	6.98	208	587	20116	0	0	546000	1017.03
Karışık yetiştirme desenleri	73.82	269	7	10.55	554483	3.67	55.04	276	715	151311	0	0	2734000	1017.03
Tarım tarafından işgal edilen arazi	104.96	610	48	2.19	93749	0.58	63	220	6375	22415	0	0	6208000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>327.32</b>	<b>1396</b>	<b>76</b>	<b>42.62</b>	<b>2742755</b>	<b>16.80</b>	<b>230.52</b>	<b>1746</b>	<b>83675</b>	<b>368824</b>			<b>14204000</b>	
<b>Doğal Bitki Örtüsü</b>														
Meralar	11.82	75	13	0.91	160244	0.38	6.86	161	3758	9669	0	0	758000	1017.03
Geniş yapraklı orman	40.10	194	23	1.74	70628	1.04	27.10	170	3483	22992	0	0	1968000	1017.03
İğne yapraklı orman	246.15	1003	48	5.13	65260	1.61	176.77	217	91222	136806	0	0	10200000	1017.03
Karışık orman	145.19	665	45	3.23	48193	1.18	99.16	212	36753	54369	0	0	6764000	1017.03
Doğal çayırlar	56.02	325	34	1.65	116853	0.60	34.00	192	5253	14518	0	0	3304000	1017.03
Sklerofilöz bitki örtüsü	0.75	8	2	0.38	14142	0.32	0.32	163	1875	3350	0	0	78000	1017.03
Ormanlık çalı geçişi	156.32	806	76	2.06	49727	0.79	101.36	194	20313	34069	0	0	8194000	1017.03
Seyrek bitki örtüsü	4.38	22	4	1.10	895451	0.74	2.94	141	4	7862	0	0	226000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>660.73</b>	<b>3098</b>	<b>245</b>	<b>16.18</b>	<b>1420498</b>	<b>6.65</b>	<b>448.51</b>	<b>1450</b>	<b>162661</b>	<b>283635</b>			<b>31492000</b>	
<b>Sulak Alanlar</b>														
Plajlar kum tepeleri	0.27	4	1	0.27	1	0.08	0.08	173	0	0	0	0	36000	1017.03
Tuz bataklıkları	3.12	17	2	1.56	3064719	0.96	1.92	171	0	7000	0	0	168000	1017.03
Su kütelleri	4.27	36	4	1.07	781978	0.24	1.92	220	3	12223	0	0	364000	1017.03
Deniz ve okyanus	0.12	4	9	0.01	286197	0	0	106	1	67	0	0	44000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>7.78</b>	<b>61</b>	<b>16</b>	<b>2.91</b>	<b>4132895</b>	<b>1.28</b>	<b>3.92</b>	<b>670</b>	<b>4</b>	<b>19290</b>			<b>612000</b>	

Nump ve çekirdek alan değerleri parçalılık durumunu değerlendirmede yeterli olmadığı için MPS değerleri de dikkate alınmalıdır [1], [7].

2000 yılının NumP değerine bakıldığında yapısal alan 27, tarım alanı 76, doğal bitki örtüsü 245, sulak alan 16 leke sayısı bulunmuştur. Bu CA sırayla 21,20 ha; 327,32 ha; 660,73 ha ve 7,78 ha olduğu görülmektedir. Bu değerlere bakılarak hangi leke sınıfının daha parçalı olduğunu söylemek zor olduğu için MPS ölçülerine bakmak gerekmektedir. MPS değerleri yapısal alan 5,25 ha; tarım alanları 42,62 ha; doğal bitki örtüsü 16,18 ha; sulak alan grubu için 2, 91 ha alanlar olduğu görülmektedir. Bu değerler birlikte ele alınıp yorumlandığında tarım alanlarının leke sayısı ve alan ölçülerine bakıldığında alanda en yüksek ortalamaya sahip leke sınıfları tarım alanlarıdır ancak MPS değerleri incelendiğinde görülüyor ki lekelerin ortalama şekil boyutları diğer sınıflara göre yüksektir. Bu durumda tarım alanlarında parçalanmanın az; leke alan değeri yüksek olan ancak MPS değeri ortalaması tarım alanına göre daha az olan doğal bitki örtüsü grubunda ise parçalanmanın daha fazla olduğu tespit edilmektedir. Bu sınıfların PSSD-Patch Size Standard Deviation (Leke Boyutu Standart Sapma) değerlerine bakıldığında yapay alan, tarım alanı, doğal alan ve sulak alanların sırasıyla 1,63; 36,88; 28,36 ve 1, 92 olduğu PSSD-Patch Size Standard Deviation (Leke Boyutu Standart Sapma) değerleriyle tarım alanları sınıfı yönünde artış görülmektedir. Bu durumda araştırma alanında 2000 yılında yapay alan, doğal bitki örtüsü ve sulak alan leke gruplarındaki leke boyutlarının daha küçük, tarım alanları grubuna ait leke boyutlarının daha büyük olduğu yorumlanabilmektedir.

**Tablo 3. 2006 yılı arazi kullanım sınıflarının peyzaj metrikleri ile analizi.**

Arazi Kullanım/ Arazi Örtüsü Sınıfları	Ölçülen Metrikler													
	CA (ha)	ED TE/TLA (m/ha)	NUMP	MPS (ha)	MNN (m)	MCA (ha)	TCA (ha)	MSI	MPI	PSSD	SDI	SEI	TE (m)	TLA (ha)
												221	69	
<b>Yapay Alanlar</b>														
Sürekli kentsel doku	1.26	9	1	1.26	1	0.32	0.64	214	0	0	0	0	96000	1017.03
Sürekli kentsel doku	13.81	105	17	0.81	124973	0.28	7.02	174	622	17036	0	0	1072000	1017.03
Endüstriyel veya ticari üniteler	5.11	37	8	0.64	118944	0.27	2.70	157	692	5172	0	0	380000	1017.03
Havaalanları	0.92	6	1	0.92	1	0.50	0.50	167	0	0	0	0	64000	1017.03
İnşaat bölgeleri	0.29	3	1	0.29	1	0.08	0.08	158	0	0	0	0	34000	1017.03
Spor ve eğlence tesisleri	0.51	4	1	0.51	1	0.27	0.27	133	0	0	0	0	38000	1017.03
Maden çıkarma alanları	0.67	6	2	0.34	938616	0.15	0.30	139	0	350	0	0	64000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>22.57</b>	<b>170</b>	<b>31</b>	<b>4.77</b>	<b>1182537</b>	<b>1.87</b>	<b>11.51</b>	<b>1142</b>	<b>1314</b>	<b>22558</b>			<b>1748000</b>	
<b>Tarım Alanları</b>														
Sulanmayan ekilebilir arazi	131.27	474	26	5.05	118669	2.10	98.69	219	41050	104248	0	0	4820000	1017.03
Sürekli sulanan arazi	35.68	102	6	5.95	252601	4.75	28.51	191	13792	116940	0	0	1034000	1017.03
Pirinç tarlaları	1.52	14	3	0.51	190127	0.11	0.57	172	22	591	0	0	146000	1017.03
Üzüm bağları		0				0.00	0.00						0	
Meyve ağaçları ve tarlaları	9.27	44	2	4.64	1567227	1.03	6.19	240	2	25450	0	0	446000	1017.03
Zeytin korusu	10.68	72	11	0.97	61156	0.45	5.83	178	2713	9300	0	0	732000	1017.03
Karmaşık yetiştirme desenleri	50.40	294	41	1.23	137264	0.50	30.98	172	2746	22579	0	0	2992000	1017.03
Tarım tarafından işgal edilen arazi	112.50	735	81	1.39	48435	0.39	63.20	198	11182	19151	0	0	7480000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>351.32</b>	<b>1735</b>	<b>170</b>	<b>19.73</b>	<b>2375479</b>	<b>9.34</b>	<b>233.97</b>	<b>1370</b>	<b>71507</b>	<b>298259</b>			<b>17650000</b>	
<b>Doğal Bitki Örtüsü</b>														
Meralar		74	15	0.56	239059	0.19	3.74	172	733	3192	0	0	752000	1017.03
Geniş yapraklı orman	8.42	143	19	1.48	119510	0.89	18.63	169	4141	221001	0	0	1458000	1017.03
İğne yapraklı orman	28.08	1182	54	5.26	49708	1.32	203.11	218	173402	221001	0	0	1201800	1017.03
Karışık orman	283.9	586	37	3.42	47246	1.07	85.95	220	26110	43672	0	0	5964000	1017.03
Doğal çayırlar	126.61	302	35	1.43	99609	0.50	29.71	189	4016	15007	0	0	3072000	1017.03
Sklerofilöz bitki örtüsü	50.03	4	1	0.49	1	0.22	0.22	157	0	0	0	0	44000	1017.03
ormanlık çalı geçişi	0.49	777	91	1.51	61089	0.56	85.23	191	17849	31176	0	0	7904000	1017.03
Seyrek bitki örtüsü	137.46	0	0	0.00	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0	
<b>Toplam</b>	<b>634.99</b>	<b>3068</b>	<b>252</b>	<b>14.15</b>	<b>616222</b>	<b>4.76</b>	<b>426.59</b>	<b>1316</b>	<b>226251</b>	<b>535049</b>			<b>20395800</b>	
<b>Sulak Alanlar</b>														
Plajlar kum tepeleri	0.27	4	1	0.27	1	0.07	0.07	183	0	0	0	0	38000	1017.03
Tuz bataklıkları	3.28	16	2	1.64	3064719	1.08	2.15	160	0	7800	0	0	158000	1017.03
Su kütleleri	4.40	38	4	1.10	764187	0.39	1.96	233	4	12996	0	0	384000	1017.03
Deniz ve okyanus	0.20	7	15	0.01	136593	0.00	0	107	2	70	0	0	74000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>8.15</b>	<b>65</b>	<b>22</b>	<b>3.02</b>	<b>3965500</b>	<b>1.54</b>	<b>4.18</b>	<b>683</b>	<b>6</b>	<b>20866</b>			<b>654000</b>	

2006 yılı peyzaj metrikleri değerlendirildiğinde, NumP; yapay alanda 31, tarım alanında 170, doğal bitki örtüsünde 252, sulak alanda 22 leke sınıfı olduğu görülmektedir. CA; yapay alanda 22,57 ha, tarım alanda: 351,32 ha, doğal bitki örtüsünde 634,99 ha, sulak alan: 8,15 ha olduğu görülmektedir. MPS; yapay alanda 4,76 ha, tarım alanında 19,72 ha, doğal bitki örtüsünde 14,14 ha, sulak alanda 3,02 ha olarak ölçülmektedir. PSSD; yapay alan 2,25 ha, Tarım alanı: 29,82 ha, doğal bitki örtüsü: 53,50 ha, sulak alan: 2,08 ha olarak tespit edilmektedir.

Her dört leke sınıfının sınıf alanları ve şekil boyutları karşılaştırıldığında en fazla leke sayısı ve en büyük alana ait doğal bitki örtüsünün, ortalama şekil boyutu tarım alanlarına göre daha küçük olması ve PSSD oranının en yüksek doğal bitki örtüsünde görülmesi bu alanlarda 2006 yılında parçalılığa işaret etmektedir.

**Tablo 4. 2012 yılı arazi kullanım sınıflarının peyzaj metrikleri ile analizi.**

Arazi Kullanım/ Arazi Örtüsü Sınıfları	Ölçülen Metrikler													
	CA (ha)	ED TE/TLA (m/ha)	NUMP	MPS (ha)	MNN (m)	MCA (ha)	TCA (ha)	MSI	MPI	PSSD	SDI	SEI	TE (m)	TLA (ha)
											221	70		
<b>Yapay Alanlar</b>														
Sürekli kentsel doku	1.25	9	1	1.25	1	0.21	0.63	215	0	0	0	0	96000	1017.03
Sürekli kentsel doku	14.31	111	18	0.80	110066	0.25	7.31	177	5082	16807	0	0	1132000	1017.03
Endüstriyel veya ticari üniteler	4.70	35	7	0.67	87342	0.27	2.39	167	975	5531	0	0	360000	1017.03
Havaalanları	0.92	6	1	0.92	1	0.50	0.50	167	0	0	0	0	64000	1017.03
İnşaat bölgeleri	0						0		0				0	
Spor ve eğlence tesisleri	0.53	4	1	0.53	1	0.29	0.29	130	0	0	0	0	38000	1017.03
Maden çıkarma alanları	0.93	10	3	0.31	700457	0.09	0.34	151	1	356	0	0	100000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>22.64</b>	<b>175</b>	<b>31</b>	<b>4.48</b>	<b>897868</b>	<b>1.60</b>	<b>11.46</b>	<b>1199</b>	<b>6058</b>	<b>22694</b>			<b>4452700</b>	
<b>Tarım Alanları</b>														
Sulanmayan ekilebilir arazi	130.78	478	25	5.23	122281	1.89	98.03	223	31768	112733	0	0	4864000	1017.03
Sürekli sulanan arazi	36.16	103	6	6.03	251020	4.13	28.92	189	30087	118771	0	0	1052000	1017.03
Pirinç tarlaları	1.04	9	2	0.52	228035	0.24	0.47	164	10	800	0	0	94000	1017.03
Uzüm bağları	0						0						0	
Meyve ağaçları ve tarlaları	9.34	44	2	4.67	1559006	1.05	6.28	240	2	25500	0	0	446000	1017.03
Zeytin korusu	10.80	74	10	1.08	107503	0.45	5.89	192	2413	9467	0	0	754000	1017.03
Karmaşık yetiştirme desenleri	51.20	299	40	1.28	142248	0.55	31.48	175	1737	22765	0	0	3040000	1017.03
Tarım tarafından işgal edilen arazi	112.02	737	82	1.37	47475	0.40	62.73	198	10635	18997	0	0	7494000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>351.34</b>	<b>1744</b>	<b>167</b>	<b>20.17</b>	<b>2457568</b>	<b>8.70</b>	<b>233.80</b>	<b>1381</b>	<b>76652</b>	<b>309033</b>			<b>17744000</b>	
<b>Doğal Bitki Örtüsü</b>														
Meralar	8.45	73	15	0.56	240497	0.18	3.76	169	337	3179	0	0	744000	1017.03
Geniş yapraklı orman	28.02	142	18	1.56	153297	0.88	18.53	173	2221	18854	0	0	1444000	1017.03
İğne yapraklı orman	272.71	1121	55	4.96	53236	1.43	196.36	216	187413	203411	0	0	1139600	1017.03
Karışık orman	126.37	589	37	3.42	46952	1.04	85.58	221	29464	43650	0	0	5990000	1017.03
Doğal çayırlar	49.73	299	34	1.46	94952	0.52	29.65	191	4121	15069	0	0	3038000	1017.03
Skleröfilöz bitki örtüsü	0.48	4	1	0.48	1	0.21	0.21	159	0	0	0	0	44000	1017.03
Ormanlık çalı geçişi	148.94	814	89	1.67	56157	0.57	94.35	194	14020	34563	0	0	8282000	1017.03
Seyrek bitki örtüsü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	
<b>Toplam</b>	<b>634.70</b>	<b>3042</b>	<b>249</b>	<b>14.11</b>	<b>645092</b>	<b>4.84</b>	<b>428.44</b>	<b>1323</b>	<b>237576</b>	<b>318726</b>			<b>20681600</b>	
<b>Sulak Alanlar</b>														
Plajlar kum tepeleri	0.29	4	1	0.29	1	0.08	0.08	176	0	0	0	0	38000	1017.03
Tuz bataklıkları	3.26	15	2	1.63	3069919	1.07	2.13	158	0	7800	0	0	156000	1017.03
Su kütelleri	4.49	38	4	1.12	761989	0.29	2.02	231	4	13096	0	0	388000	1017.03
Deniz ve okyanus	0.31	11	21	0.01	84985	0	0	107	25	96	0	0	108000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>8.35</b>	<b>68</b>	<b>28</b>	<b>3.06</b>	<b>3916894</b>	<b>1.43</b>	<b>4.23</b>	<b>672</b>	<b>29</b>	<b>20992</b>			<b>690000</b>	

2012 yılı peyzaj metrikleri değerlendirildiğinde NumP; yapay alanda 31, tarım alanında 167, doğal bitki örtüsünde 249, sulak alanda 28 olduğu görülmektedir. CA; yapay alanda 22,64 ha, tarım alanında 351,34 ha, doğal bitki örtüsünde 634,70 ha, sulak alanda 8,35 ha olarak ölçülmektedir. MPS; yapay alanda 4,47 ha, tarım alanında 20,17 ha, doğal bitki örtüsünde 14,10 ha, sulak alanda 3,05 ha olarak ölçülmektedir. PSSD yapay alanda 2,26 ha, tarım alanında 30,90 ha, doğal bitki örtüsünde 29,49 ha, sulak alan: 2,09 ha olduğu saptanmaktadır.

Leke sayısı, sınıf alanı ve ortalama leke ölçüleri birlikte değerlendirildiğinde NumP ve CA değeri daha yüksek olan doğal bitki örtüsünün MPS değeri tarım alanlarına göre daha küçük çıkmıştır. Bu sonuçlar 2012 yılında bu leke sınıflarından tarım arazileri yönünde bir artış olduğuna işaret etmektedir. PSSD değerlerine bakıldığında yine tarım alanlarının standart sapmasının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda araştırma alanında tarım arazisi sınıfları ile doğal bitki örtüsü sınıfları karşılaştırıldığında doğal bitki örtüsünün daha fazla parçalandığı görülmektedir.

**Tablo 5. 2018 yılı arazi kullanım sınıflarının peyzaj metrikleri ile analizi.**

Arazi Kullanım/ Arazi Örtüsü Sınıfları	Öçülen Metrikler													
	ED													
	CA (ha)	TE/TLA (m/ha)	NUMP	MPS (ha)	MNN (m)	MCA (ha)	TCA (ha)	MSI	MPI	PSSD	SDI	SEI	TE (m)	TLA (ha)
											223	70		
<b>Yapay Alanlar</b>														
Sürekli kentsel doku	1.68	13	2	0.84	380789	0.20	0.80	184	6	4100	0	0	136000	1017.03
Süresiz kentsel doku	15.96	107	17	0.94	121993	0.38	9.19	175	674	21949	0	0	1084000	1017.03
Endüstriyel veya ticari üniteler	5.14	39	7	0.73	87342	0.26	2.61	172	1240	5288	0	0	392000	1017.03
Havaalanları	1.08	8	1	1.08	1	0.57	0.57	192	0	0	0	0	80000	1017.03
İnşaat bölgeleri	0						0		0	0			0	
Spor ve eğlence tesisleri	1.19	14	3	0.40	686537	0.10	0.38	191	5	946	0	0	140000	1017.03
Maden çıkarma alanları	0.93	10	3	0.31	700457	0.09	0.34	151	1	356	0	0	100000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>25.98</b>	<b>191</b>	<b>33</b>	<b>4.30</b>	<b>1977119</b>	<b>1.59</b>	<b>13.89</b>	<b>1258</b>	<b>1926</b>	<b>32639</b>			<b>4630300</b>	
<b>Tarım Alanları</b>														
Sulanmayan ekilebilir arazi	128.84	464	24	5.37	125074	1.94	97.02	220	32964	114684	0	0	4722000	1017.03
Sürekli sulanan arazi	36.25	104	6	6.04	250894	4.14	29	189	30087	118718	0	0	1054000	1017.03
Pirinç tarlaları	1.04	9	2	0.52	228035	0.24	0.47	164	10	800	0	0	94000	1017.03
Uzüm bağları		0					0						0	
Meyve ağaçları ve tarlaları	9	43	2	4.50	1569841	1.00	5.99	239	2	27200	0	0	438000	1017.03
Zeytin korusu	11.15	78	11	1.01	220807	0.40	6.01	189	2194	9268	0	0	792000	1017.03
Karışık yetiştirme desenleri	50.72	294	39	1.30	146665	0.57	31.34	175	856	23490	0	0	2994000	1017.03
Tarım tarafından işgal edilen arazi	111.32	732	81	1.37	48083	0.40	62.36	198	10314	19065	0	0	7440000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>348.32</b>	<b>1724</b>	<b>165</b>	<b>20.12</b>	<b>2589399</b>	<b>8.68</b>	<b>232.19</b>	<b>1374</b>	<b>76427</b>	<b>313225</b>			<b>17534000</b>	
<b>Doğal Bitki Örtüsü</b>														
Meralar	8.10	72	15	0.54	244182	0.17	3.49	170	114	2892	0	0	736000	1017.03
Geniş yapraklı orman	28.02	142	18	1.56	153297	0.88	18.53	173	2221	18854	0	0	1444000	1017.03
İğne yapraklı orman	262.53	1133	60	4.38	49709	1.25	185.67	220	193497	180308	0	0	1152600	1017.03
Karışık orman	126.37	589	37	3.42	46952	1.04	85.58	221	29464	43650	0	0	5990000	1017.03
Doğal çayır	49.73	299	34	1.46	94952	0.52	29.65	191	4121	15069	0	0	3038000	1017.03
Sklerofilöz bitki örtüsü	0.48	4	1	0.48	1	0.21	0.21	159	0	0	0	0	44000	1017.03
ormanlık çalı geçişi	159.15	879	97	1.64	53329	0.55	100.30	193	13823	34167	0	0	8940000	1017.03
Seyrek bitki örtüsü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	
<b>Toplam</b>	<b>634.38</b>	<b>3118</b>	<b>247</b>	<b>13.47</b>	<b>642422</b>	<b>4.63</b>	<b>423.43</b>	<b>1327</b>	<b>243240</b>	<b>294940</b>			<b>21344600</b>	
<b>Sulak Alanlar</b>														
Plajlar kum tepeleri	2900	4	1	0.29	1	800	800	176	0	0	0	0	38000	1017.03
Tuz bataklıkları	32600	15	2	1.63	3069919	10650	21300	158	0	7800	0	0	156000	1017.03
Su kütleleri	44900	38	4	1.12	761989	2886	20200	231	4	13096	0	0	388000	1017.03
Deniz ve okyanus	3100	11	21	0.01	84985	0	0	107	25	96	0	0	108000	1017.03
<b>Toplam</b>	<b>83500</b>	<b>68</b>	<b>28</b>	<b>3.06</b>	<b>3916894</b>	<b>14336</b>	<b>42300</b>	<b>672</b>	<b>29</b>	<b>20992</b>			<b>690000</b>	

2018 peyzaj metrikleri değerlendirildiğinde Nump yapay alanda 33, tarım alanında 165, doğal bitki örtüsünde 247, sulak alanda 28'dir. Bu leke sınıflarının CA, yapay alanda 25,98 ha, tarım alanında 348,32 ha, doğal bitki örtüsünde 634,38 ha ve sulak alanda 8,35 ha olduğu görülmektedir. MPS değerlerine bakıldığında bakıldığında yapay alanlar 4,29 ha, tarım alanları 20,11 ha; doğal bitki örtüsü 13,47 ha, sulak alanlar 3,05 ha olarak hesaplanmaktadır. 2018 yılı AK/AÖ içerisinde yer alan leke sınıflarında tarım alanları yönünde bir artış yaşanmıştır.

PSSD değerlerine göre yapay alanlar 3,26 ha, tarım alanları 31,32 ha, doğal bitki örtüsü 29,49 ha, sulak alanlar 2,09 ha, değerleriyle standart sapmanın tarım alanları yönünde arttığı görülmektedir. Sonuç olarak sınıflar için kırılma durumu karşılaştırıldığında doğal bitki örtüsünün tarım alanlarından daha kırılma ve parçalı olduğu yorumlanmaktadır.

## B. EDGE METRICS

### B. 1. ED (Edge Density) Kenar Yoğunluğu

İlgili arazi kullanım sınıfına ait toplam kenar uzunluğunun toplam alana bölünmesiyle elde edilir. Bölünmenin başlangıç aşamalarında toplam alana göre kenar miktarının artması beklenir [2], [23].

İnsan etkili peyzaj desenlerinde; antropojenik kenarların yaygınlaşması, doğal türlerin yapısı ve miktarı, peyzaj bağlantılılığının derecesi, müdahale edilmiş alanların dağılımı ve yapısının türler topluluğu ile yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir [5], [13], [21].

Çalışma alanı içerisindeki habitat parçalarının ED değeri, hektarda 2000 yılında 61 ila 3098 m, 2006 yılında 65 ila 3068 m, 2012 yılında 68 ila 3042 m, 2018 yılında 68 ila 3118 m arasında değişmektedir. En fazla değişim %33 artış ile yapay alanlarda gözlemlenirken, en az değişim %0,68 artış ile doğal bitki örtüsü alanlarında yaşanmıştır. ED'ye bağlı olarak toplam kenar uzunluklarının değişiminde insan faaliyetleri etkilidir.

## **B. 2. TE (Total Edge) Toplam Kenar**

Peyzaj ölçüm metriklerinde, yapısal alanlarda 2000 ve 2018 yılları arasında yaşanan ED artışı, insan faaliyetlerinin yoğun olduğu 2006 yılında yapısal alanlarda özellikle maden çıkarma alanlarının TE artışına sebep olmuştur. Bu artış takip edildiğinde MPS, 2000-2018 yılları arasında azalmıştır. Yapısal Alan arazi örtüsü sınıflarında yaşanan MPS azalışı, Nump artışını, parçalılığın da arttığını göstermektedir.

TE değeri, 2000-2018 periyodundaki zamansal değişimi yapısal alanlarda %26, tarım alanlarında %23 ve sulak alanlarda %12 artmış, doğal bitki örtüsü alanlarında %32 azalmıştır. TE değerindeki artış alandaki bazı kenar türleri için hareket alanının arttığını ifade eder.

TE, MSI ile bağlantılıdır. TE artışı MSI düzensizleşmesine de sebep olmuştur. MSI değerinin 1'den uzaklaşması parçaların şekil bakımından düzgün olmayan, net kare veya daire şeklinden uzaklaştığını göstermektedir. Tüm lekeler dairesel veya kare olduğunda MSI 1'e eşit olur [12], [8], [24].

Araştırma alanında en fazla kenar uzunluğu 894 ha ile ormanlık çalı geçiş alanları sınıfına aittir.

## **B. CORE METRICS**

### **C. 1. MCA (Mean Core Area) Ortalama Öz Alan**

İlgili arazi kullanım sınıfının parçalarının ortalama alan büyüklüğüdür. MCA değerinin azalması alanın korunması gerektiği anlamına gelmektedir. Yaşam alanı hassasiyeti farklı olan türler üzerinde yapılacak çalışmalarda ortalama öz alanların hesaplanması önemlidir. Örneğin; MCA, orman alanlarında azalması yaban hayatının alanının azaldığını göstermektedir [2], [5], [12].

MCA bir peyzaj lekesine olan yüzde oranı peyzajdaki herhangi bir lekede çekirdek alan olmadığında 0'a eşit olur [12], [1], [22].

Parçalanmanın başlıca etkilerinden biri; iç habitatın kenar habitatına dönüştürülmesidir. Dönüşüm sonucunda çekirdek alan büyüklüğünün azalacağı beklenir [21], [2].

Arazi kullanım sınıflarından orman alanlarına ait MCA değeri 2000 yılında geniş yapraklı ormanlarda 1,42 ha olurken, 2006 yılında 0,88 ha'a gerilemiş, 2012 ve 2018 yıllarında azalarak 0,88 ha'da sabit kalmıştır. İğne yapraklı ormanlarda 1,60 ha olan MCA değeri, 2006 yılında 1,31 ha'a, 2018 yılında ise 1,25 ha gerilemiştir. Çalışma alanı içerisindeki karışık ormanlarda 2000 yılında 1,18 ha olan MCA değeri 2006 yılında 1,07 ha'a kadar azalmış 2018 yılında 1,04 ha olarak ölçülmüştür. Orman alanlarının MCA değerlerinin azalması orman alanlarının korunmaya alınması gerektiğini gösterirken, aynı zamanda burada yaşayan yaban hayatı canlılarının alanlarının da azaldığını ifade etmektedir.

MCA değeri 2000 yılında en fazla olan alanlar, sürekli sulanan arazi 6,33 ha, karmaşık yetiştirme desenleri 3,66 ha, sulanmayan ekilebilir arazi 3,09 ha olarak ölçülmüştür. 2018 yılına gelindiğinde en yüksek MCA, değerine sahip alanlar sürekli sulanan araziler 4,14; sulanmayan ekilebilir arazi 1,94 ha'a kadar gerilemiştir. 2000 ve 2018 yılları arasındaki MCA değerindeki en büyük değişim %49 azalan yapısal alanlar ve %48 azalan tarım alanlarında olmuştur.

### **C. 2. TCA (Total Core Area) Toplam Çekirdek/Öz Alan**

Lekelerin kenar uzunluklarının artması lekelerin öz alanlarının azaldığı anlamına gelmektedir. TCA peyzaj desenindeki sınıfların dağınıklığına işaret eder. TCA 0'a eşit olduğunda lekeler bitişiktir. TCA değeri arttığında aynı sınıfa ait lekelerin merkezleri arasındaki mesafe artar.

Araştırma alanından en fazla çekirdek alana sahip olan 706,89 ha ile yapısal alanların çekirdek alan değerleri incelendiğinde zaman içinde 687,63 ha'a düşen bir azalma olmuştur. Orman alanlarında TCA değeri 2000-2018 arasında 448,51 ha ile 423,43'a gerilemesi orman alanlarındaki fauna hayatını olumsuz etkileyecektir. En yüksek öz alana sahip olan tarım ve doğal bitki örtüsü olan orman alanlarında TCA değerleri incelendiğinde; zaman içinde doğal bitki örtüsünde azalma yaşanırken tarım alanlarında artış olmuştur. Araştırma alanında geniş yapraklı ormanlar, karışık orman, doğal çayır ve meralarda TCA değerinin azalması, fauna yaşamının desteklenmeye ihtiyacı olduğu anlamına gelir ve yaban hayatının yaşam alanının azaldığı yönünde değerlendirilmektedir [5], [9].

TCA değeri 2000-2006-2012-2018 yılları içerisindeki zamansal değişimi yapısal alanlarda sırasıyla 2000 yılında 11,97 ha; 2006 yılında 11,51 ha; 2012 yılında 11,46 ha; 2018 yılında 13,89 ha'dır. Tarım alanlarında 2000 yılında 230,52 ha; 2006 yılında 233,97 ha; 2012 yılında 233,80 ha; 2018 yılında 232,19 ha'dır. Doğal bitki örtüsünde 2000 yılında 448,51 ha; 2006 yılında 426,59 ha; 2012 yılında 428,44 ha; 2018 yılında 423,43 ha'dır. Sulak alanlarda; 2000 yılında 3,92 ha; 2006 yılında 4,18 ha; 2012 yılında 4,23 ha; 2018 yılında 4,23 olarak hesaplanmıştır.

En yüksek TCA değerine toplam 448,51 ha ile doğal alanlar sahiptir. En düşük değer ise 3,92 ha ile sulak alanlarda saptanmıştır. Artan TCA değerleri aynı sınıfa ait lekeler arasındaki mesafenin artışına da işaret eder. Habitat parçalarının kendi içerisinde birbirleriyle olan yakınlık uzaklık ilişkisi MNN ve Birbiri İçinde Dağılım İndisi (IJI) değerleri ile ölçülmektedir.

## **D. DIVERSITY METRICS**

### **D. 1. MNN (Mean Nearest Neighbor) Ortalama En Yakın Komşuluk Mesafesi**

Yerleşim alanları için zaman içinde yerleşim dokusunun yoğunluk kazanmasına bağlı olarak azalır [22], [23].

Yapılan patch analizi sonuçlarına göre araştırma alanı içerisinde; 2000 yılında MNN değeri bulunmayan maden çıkarma alanlarının aralarındaki en yakın komşuluk mesafesi 2006 yılında artmaya başlayarak 938616 m olduğu görülmektedir. 2000 yılında sklerofilöz bitki örtüsü 14142 m mesafeye sahipken 2006 ve sonrasında MNN değeri 1'e; Seyrek bitki örtüsü 895451 m'den 0'a gerilemiştir. Bu alanlardaki MNN değerindeki azalmalar aynı sınıfa ait arazi desenlerin birbirleri arasındaki komşuluk mesafelerin azalması, parçalılığın arttığı anlamına gelmektedir. Sürekli kentsel dokunun 2000 yılında uzaklıkları 22361 m iken 2006 ve 2012 periyodunda 1 seviyesine gerilemiş ancak 2018 yılında tekrar mesafe artarak 380789 m olarak hesaplanmıştır.

Havaalanı ile plajların MNN değeri araştırmada baz alınan tüm zaman periyotlarında 1 m olarak saptanmıştır. Spor ve eğlence tesislerinin 2000, 2006, 2012 zamanlarında MNN değeri 1 m, 2018 yılında ise artış göstererek 686537 m mesafeleri olduğu görülmektedir. MNN değerinin 1 m olarak hesaplanması alandaki leke değerinin yok olması veya yerini başka bir sınıfa bırakması anlamına gelmektedir.

2000, 2006, 2012, 2018 zamanları içerisinde MNN değeri artma eğilimi gösteren leke sınıfları; sürekli kentsel doku, spor ve eğlence tesisleri, maden çıkarma alanları, sulanmayan ekilebilir arazi, sürekli sulanan arazi, meyve ağacı tarlaları, zeytin korusu, meralar, geniş yapraklı orman, ormanlık çalı geçiş alanları, tuz bataklıkları ve su kütleleridir. Bu leke sınıflarının ortalama en yakın komşu mesafelerinin artması parçalılığın azaldığının bir işareti olarak değerlendirilmektedir.

MNN değeri azalma eğiliminde olarak gerileyen leke sınıfları; süreksiz kentsel doku, endüstriyel ve ticari üniteler, pirinç tarlaları, karmaşık yetiştirme alanları, tarım işgalindeki araziler, iğne yapraklı orman, karışık orman, doğal çayırlar, deniz ve okyanuslardır. Tarım arazisi ve yetiştirme alanları ile karışık orman alanlarındaki uzun mesafelerin gerilemesi parçalılığın arttığını göstermektedir.

Yapısal alan, tarım alanları, doğal bitki örtüsü ve sulak alan arazi sınıflandırmasındaki MNN 2000-2018 periyodundaki ortalaması sırasıyla; 11099774,75 m; 2541300,25 m; 831058,5 m; 3983045,75 m olmaktadır. Genel olarak MNN değerinin arttığı sulak alan, doğal bitki örtüsünde parçalılık zamanla artmış; MNN değerinin arttığı yapısal alanlarda parçalılık azalmıştır. Tarım alanlarında MNN değerinin önce azalan daha sonra tekrar artan ivme göstermesi, parçalılığın artıp sonra azalmaya başladığı anlamına gelmektedir.

## **D. 2. MPI (Mean Proximity Index) Ortalama Yakınlık İndeksi**

En fazla yüzölçümüne sahip alanların MPI değeri yüksektir MPI değeri sifıra eşit olduğunda komşuluk mesafesi içinde aynı tip leke bulunmamaktadır. MPI değeri arttığında, tanımlanan komşuluk mesafesi içindeki aynı tip lekelerin alanları artmaktadır [9], [24], [23].

Yapısal alan sınıflandırmasında bulunan sürekli kentsel dokunun MPI değeri 2000 yılında 940 iken, 2006 yılında 0'a düşmüş, 2018 yılında 6'ya çıkmıştır. MNN değerinin de bu süreç içerisinde azalıp 2018'de artması birlikte değerlendirildiğinde, sürekli kentsel dokunun 2006 yılı sonrasında parçalanmaya yaşayarak yayıldığını, 2018 yılında parçalılığın azaldığını ancak leke sayısının arttığını göstermektedir.

## **D. 3. SDI (Shannon's Diversity Index) Shannon Çeşitlilik İndeksi**

SDI 0'a eşit olduğunda peyzaj tek lekeden oluşmaktadır. SDI değerinin artışı durumunda ise farklı leke tiplerinin sayısının ve peyzaj içinde diğer lekeler arasındaki oranlarının arttığı anlaşılır ve sadece peyzaj boyutunda ölçülür [12], [5], [25], [6].

Bu indeksin değeri her bir lekedeki bilginin miktarını ortaya koyar. SDI peyzaj düzeyinde çeşitliliğin temsil etmek açısından önemlidir. Bundan dolayı farklı peyzajların karşılaştırılması için ya da aynı peyzajın farklı zamanlarının karşılaştırılması için kısmi bir indeks olarak kullanılır. Bu indeksler leke zenginliğindeki farklılığı göstermektedirler [6], [17].

SDI değeri 2000 yılında 229, 2006 yılında 221, 2012 yılında 221 ve 2018 yılında 223 olarak ölçülmüştür. Bu değerler zaman içerisinde leke çeşitliliğinin azaldığını ifade etmektedir.

## **D. 4. SEI (Shannon's Evanness Index) Shannon Çeşitlilik İndeksi**

Leke dağılımı ve bolluğunu ölçer. Gözlenen leke dağılımı düşük olduğu zaman 0'a eşittir [6], [26], [7].

2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarındaki arazi örtüsü için SEI değeri sırasıyla 70,69,70,70 olmuştur. Bu değerler yıllar bazında lekelerin hemen hemen eşit oranda bir yeri işgal ettiğini göstermektedir.

## **E. SHAPE METRICS**

### **E. 1. MSI ((Mean Shape Index) Ortalama Şekil İndeksi**

Belirli peyzaj tipi (sınıf) ya da peyzaj içerisindeki bütün lekeler için leke şeklinin ortalamasını ya da ortalama çevre alan oranını ölçer [6].

MSI 1'e eşit olduğunda tüm şekiller rasterda kare, vektörde dairesel olur. Çeşitlilik indeksi ve şekil metriğidir. MSI değeri arttıkça leke geometrik olarak daha karmaşık hale gelir [12], [25], [2], [24].

2000 yılına ait leke şekli ile ilgili olarak hesap edilen MSI'e bakıldığında sırasıyla yapısal alan 1061, tarım arazisi 1746, bitki örtüsü 1450 ve sulak alan sınıfı 670 değerlerini göstermektedir.

2006 yılına ait MSI'e bakıldığında sırasıyla yapısal alan 1334, tarım alanı 1370, bitki örtüsü, 1316, sulak alanlar 683 olduğu görülmektedir. 2000 ile 2006 arası en fazla değişim %27,44 ile tarım alanlarının şekil indekslerinde meydana gelmiştir. Tarım alanı matrisi içerisindeki en büyük değişim ise üzüm bağlarının şekil indekslerinde yaşanan kayıp olduğu söylenebilir.

2012 yılında MSI değerleri sırasıyla, yapısal alan 1199, tarım alanları 1381, bitki örtüsü 1323 ve sulak alanlar 672 olmuştur. Genel olarak artan bir eğilim olmasına karşın 2006 ya göre en büyük değişim oranı %11 azalma ile yapısal alanlarda yaşanmıştır. Yapısal alanlarda ortalama şekil indeksi değerinin 2006-2012 yılları arasında düşmesi lekenin daha az karmaşık hale geldiği anlamını taşımaktadır. Bu zaman periyodunda inşaat bölgeleri leke alanlarının indekslerini yok oluşu yapısal alanların karmaşıklığını daha düşük seviyeye indirmiştir.

2018 yılında yapısal alanların MSI değeri %4,68 artış, tarım alanlarının %0,5 azalış, bitki örtüsünde %0,3 artış yaşanmıştır. Sulak alanlarda 2012 sonrası şekil indeksi değişimi saptanmamıştır. 2018 yılında peyzajda en karmaşık sınıflar sırasıyla tarım alanları, doğal bitki örtüsü, yapısal alan ve sulak alan olurken, en büyük şekil indeksi meyve ağaçları leke sınıfında görülmüştür.

#### **IV. TARTIŞMA VE SONUÇ**

Peyzajı oluşturan kompozisyon ve konfigürasyonun ölçülmesi, arazi örtüsünün lekelerinin geometrisini ve birbirleriyle olan ilişkilerinin ortaya konulması yapılan planlamalarda peyzajın kalitesini sayısal olarak ortaya koymaktadır. Peyzajın geçirdiği süreçleri anlamak ve peyzaj deseninin değerlendirilmesi planlama/yönetim/koruma çalışmalarına önemli katkı sağlamaktadır [4], [27].

Bu araştırmada Çanakkale kentinde 2000, 2006, 2012 ve 2018 yılları arasında, AK/AÖ'de meydana gelen zamansal değişimin ve parçalanmanın peyzaj yapısı üzerindeki etkilerini analiz etmek için 12 peyzaj metriği kullanılmıştır.

Yapılan patch analizi sonuçlarına göre, araştırma alanında yapay alanların 2000-2006 yılları arasında %6,46 artış, 2006-2012 yıllarında %0,31 artış, 2012-2018 yıllarında %14,75 artış yaşadığı tespit edilmiştir. Bu mekânsal gelişimde endüstriyel ve ticari yapıların %55,79 oranında büyümesi, kentsel yerleşim dokusunun yayılarak genişlemesi etkili olmuştur. Bu süreçte ayrıca maden çıkarım sahaları açılması da yapay alanların büyümesindeki önemli etkenlerden birisidir. Araştırma alanındaki yapay alanların artması ile beraber kentleşmenin artışı peyzaj değişimindeki en önemli faktörlerden birisi olmuştur. Bölgedeki üniversitenin varlığı ve bölgeye olan talebin yıllar içerisinde artması ile beraber kentleşme artmış yeni yerleşim bölgeleri ortaya çıkmıştır. Kentsel yerleşim alanları birbirinden bağımsız desenler olarak yayılmıştır. Bu analiz sonucuna göre kentsel gelişimin ekolojik süreçlere vereceği olumsuz etkileri en aza indirmek ve kentsel gelişim yönünü ortaya koymak gelecek çalışmalarda mümkün olabilecektir.

Tarım alanlarında 2000-2006 yıllarında alansal olarak %7,33 artış yaşamış, 2006-2012 yılları arasında önemli bir değişim yaşanmamış ancak 2012- 2018 periyodunda %4,14 küçülme gözlemlenmiştir. Tarım alanı leke sınıfında en dikkat çekici değişim ED'de yaşanan artış olmuştur. Üzüm bağlarının 2006 yılında lekesele olarak bozularak yerini başka bir leke sınıfına bırakarak yol olması, iç habitatın kenar habitatına dönüşmesine sebep olmuştur. İç habitatların kenar habitatlarına dönüşmesinde insan faaliyetleri etkili olmuştur. ED artması, MCA azalışı bu leke içinde yaşayan canlıların çevresel müdahalelerden etkilenerek peyzaj fonksiyonu düşük korunma ihtiyacı duyulan habitat birimleri oluşturacağı anlamına gelmektedir. Tarım alanlarında zamanla azalan parçalılık alansal olarak değerlendirildiğinde bir kayıp yaşandığı görülmektedir. Bu alansal kayıpta karmaşık yetiştirme deseni ve meyve ağaçlarının alan olarak küçülmesi etkili olmuştur. Tarım alanlarında yaşanan bu değişimlere tarımsal faaliyetler sırasında gelişen arazi örtüsü değişimi de etkili olmuştur. Tarım alanlarında yaşanan değişimin verebileceği olumsuz etkileri önlemek amacıyla parçalılıklar koridorların inşası ile giderilebilir.



Doğal bitki örtüsü 200-2006 yılları arasında %3, oranında yaşanan azalış olmuş, 2006-2012 yılları arasında çok önemli farklar yaşanmamış, 2012-2018 periyodunda ise %4,14 azalış görülmüştür. Doğal bitki örtüsünde parçalılık zamanla artması ve leke sınıflarının küçülerek yok olması bu azalışı desteklemektedir. Doğal alanlardaki bu habitat kaybına; alansal olarak dağılmış, geniş yapraklı ormanların %29,97, meraların %28,76, karışık ormanların %12,79, sklerofilöz bitki örtüsünün %34 oranında azalması, seyrek bitki örtüsü sınıfının yok olması neden olarak açıklanabilir. Ayrıca bu süreçlerde ormanlık çalı geçiş alanları, doğal çayırlar ve geniş yapraklı ormanlar alansal olarak kayıplara uğramıştır.

Doğal bitki örtüsünde gerçekleşen azalışlar, insan hayatını etkilediği gibi bu ekosistemlerde yaşayan flora ve faunanın gelişimini de etkilemektedir. Bu azalış zamanla iklim düzenleme, erozyon ve afetlerin kontrol edilmesi, hava kalitesinin iyileştirilmesi gibi birçok ekosistem hizmetini olumsuz etkileyebilmektedir [28].

Sulak alanlarda 2000-2018 yılları arasında en dikkat çekici değişim 2000-2006 yılları arasındaki %66 oranda artan deniz ve okyanus leke sınıfı grubunda olmuştur. Tuz bataklıklarının toplam öz alanlarının artması ve Nump sabit kalışı dikkate alındığında, yayılarak büyüyen bir leke sınıfı oldukları görülmektedir ED ve Nump artışına, kıyı alan kullanımındaki değişimlerin neden olduğu anlaşılmaktadır. Sulak alanlarda yaşanan artış %2, 45 oranla devam etmiş bu değişimde en büyük etken ise geçmiş dönemlerde olduğu gibi kıyı alanlarında yaşanan arazi kullanımları etkili olmuştur.

Sonuç olarak, bölgedeki yapay alanların ve yerleşim dokularının gelişmesiyle peyzaj deseninde birtakım değişiklikler yaşanmıştır. Bölgeye özgü tarım uygulamalarının sürdürülebilirliği için bu alanların korunması gerektiği görülmektedir. Yeni yerleşim alanlarının hangi yönde ilerlediğini gösteren değişimler gelecekte yapılacak planlama çalışmaları için önemli bir girdi özelliği taşımaktadır. Doğal habitatın ve biyoçeşitliliğin korunması gereken alanlarda parçacılığa karşı önlemler alınması, mekânsal değişimin olası sonuçları üzerine elde edilen sayısal veriler ile planlama stratejilerinin bu doğrultuda geliştirilmesi gerekmektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] R.T.T. Forman, “Some general principles of landscape and regional ecology” Landscape Ecology SPB Academic Publishing, vol. 10 no.3, pp. 133-142, 1995.
- [2] M. Yavuz, C. Vatandaşlar, “Korunan alanlardaki zamansal ve ekolojik değişimin parçalılık analizi yardımıyla izlenmesi: Karagöl-Sahara Milli Parkı Örneği”, Turkish Journal of Forestry Research, c. 5, s. 1, ss. 82-96, 2018.
- [3] S. Görmüş, S. Cengiz ve B. Yılmaz, “Peyzaj metrikleri kullanarak peyzaj dinamiklerinin analizi: Malatya Kenti” International Geography Symposium on the 30th Anniversary of TUCAUM, Ankara, 2018, sayfa 1203-1212
- [4] B.K. Atak, E.E. Tonyaloğlu, “Aydın ili örneğinde karbon depolama potansiyelinin mekansal ve zamansal analizi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, c.19, s.3, ss. 778-786, 2019.
- [5] E. Gökyer, E. “Bartın Kenti ve Arıt Havzası'nda peyzaj değerlendirme”, Doktora tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2009.
- [6] H.S. Sütünç, “Ekolojik gösterge olarak peyzaj deseni değişiminin askeri eğitim alanlarında irdelenmesi üzerine bir araştırma”, Yüksek lisans tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.

- [7] C. Fan, S. Myint, “A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation”, *Landscape and Urban Planning*, pp. 117-128, 2014.
- [8] K. McGarigal, Ş. Tağıl and S.A.Cushman, “Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure”, *Landscape Ecol*, vol. 24, pp. 433-450, 2009.
- [9] E. Gökyer, “Bartın Kenti ve Arıt Havzası peyzaj yapısının değerlendirilmesinde peyzaj ölçümlerinin kullanımı üzerine bir araştırma”, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 1, s.12, ss.55-61, 2012.
- [10] E. Gökyer, “Bartın Kenti ve Arıt Havzası örneğinde peyzaj değişimi ve parçalılık üzerine bir araştırma”, *Namık Kemal Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 10, v.3, ss. 19-28, 2013.
- [11] S. Demir, Ö. Demirel, “Peyzaj planlamada peyzaj ekolojisi yaklaşımı”, *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, c.1, v.1, ss.1-8. 2018.
- [12] K. McGarigal, B. Marks, “Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. United States Department of Agriculture Pacific Northwest Research Station General Technical Report, 1995.
- [13] B.L. Li, “Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch Dynamics”, *Ecological Modelling*, v. 132, pp. 33-50, 2000.
- [14] B.K. Atak, “Kentsel Peyzaj Yapısındaki Değişimlerin Peyzaj Metrikleri ile analizi, İzmir örneği”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 1, s.57, ss. 119-128, 2020.
- [15] İ. Karaali, E.E. Tonyaloğlu, B.K. Atak ve E. Nurlu, “Alan kullanımı/arazi örtüsü değişiminin mekânsal ve zamansal analizi: İzmir/Türkiye Örneği”, *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, c.2, s.2, pp. 308-324, 2020.
- [16] M.A. Erdoğan, A.A. Tanrıöver ve S. Berberoğlu, “Adana'da arazi örtüsü/kullanımı değişimlerinin peyzaj metrikleri kullanılarak belirlenmesi”, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, Trabzon, Türkiye, 2013.*
- [17] Ş. Tağıl, S. Görmüş ve S. Cengiz, “Denizli'de kentsel yayılma, peyzaj deseni ve ekolojik süreç ilişkisi”, *6.Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, Adana, Türkiye, 2016, ss. 847-858.*
- [18] C. Hargis, J. Bissonette ve J. David, “The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat”, *Landscape Ecology*, pp. 167-186, 1998.
- [19] E. Nurlu, Ü. Erdem, H. Doygun ve H. Oğuz, “Entegre Değerlendirme yöntemleri kullanılarak İzmir kenti için sürdürülebilir alan kullanım önerileri geliştirilmesi”, *TUBİTAK Projesi 109Y210, 2013.*
- [20] Ş. Tağıl, “Peyzaj Ekolojisi prensipleri doğrultusunda Edremit Körfezi'nin kuzey sahil bölgesinde peyzaj pateni ve arazi örtüsünün zamansal ve mekânsal değişimi”, *Balıkesir University The Journal of Social Sciences Institute*, c.17 s. 31. ss. 1-16, 2014.
- [21] C.R. Fichera, G. Modica, G. and M. Pollino, “Land cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics”, *European Journal of Remote Sensing*, no. 45, pp. 2279-7254, 2012.
- [22] J. Southworth, H. Nagendra, H., and C. Tucker, “Fragmentation of a landscape: incorporating landscape metrics into satellite analyses of land-cover change”, *Landscape Research*, vol. 27, no.3, pp. 253-269, 2010.



- [23] S. Pal, P. Singha, K. Lepcha, S. Debanshi and S. Talukdar, “Proposing Multicriteria Decision Based Valuation of Ecosystem Services for Fragmented Landscape in Mountainous Environment”, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2021.
- [24] A. Mohamed, H. Worku and M. Kindu, “Quantification and mapping of the spatial landscape pattern and its planning and management implications a case study in Addis Ababa and the surrounding area, Ethiopia”, *Geology, Ecology and Landscapes*, vol. 5, no.3, pp. 161-172, 2021.
- [25] H. Oğuz, M. Zengin, M. “Peyzaj patern metrikleri ve landsat 5 tm uydu görüntüleri kullanılarak arazi örtüsü/arazi kullanımı değişimi analizi (1984-2010): Kahramanmaraş Örneği”, I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Kahramanmaraş, Türkiye, 2011, ss. 22-29.
- [26] E. Malinowska, I. Szumacher, “Application of landscape metrics in the evaluation of geodiversity”, *Miscellanea Geographica – Regional Studies On Development*, pp. 28-33, 2013.
- [27] O. Uzun, O. Yılmaz “Düzce Akarsuyu Havzası Peyzaj Değerlendirmesi ve Yönetim Modelinin Geliştirilmesi”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, c.15 s. 1. ss. 79-87, 2009.
- [28] M. Yılmaz Kaya, O. Uzun “Düzce İli Arazi Örtüsü/Alan Kullanımının Zamansal/Mekânsal Değişimi ve Ekosistem Hizmetleri”, 10. International Ecology Symposium, Bursa, Türkiye, 2020, ss. 36-49.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Konsol Palplanş Duvarların Tasarımını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması ve Pratik Abakların Geliştirilmesi

 Mehmet Fatih YAZICI <sup>a,\*</sup>,  Sıddıka Nilay KESKİN <sup>a</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmetyazici@sdu.edu.tr

DOI: 10.29130.dubited.1049058

### Öz

Şevli kazının yapılamadığı derin temel kazılarında iksa sistemi kullanılması, 2018 tarihli “Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler” genelgesinde zorunlu kılınmıştır. Ayrıca genelgede, 2 yıldan daha az bir süre için bir kazı desteğine ihtiyaç duyulması durumunda iksa sisteminin geçici olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir. 6 m’den daha düşük kazı derinliklerinin geçici olarak desteklenmesi amacı ile konsol palplanşlar sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışmada, geoteknik tasarımcılara kolaylık sağlaması amacıyla içsel sürtünme açısı 24-40° arasında değişen granüler bir zemin içerisinde açılacak 3-6,2 m derinliğinde bir kazı için geçici bir desteğe ihtiyaç duyulması durumunda kullanılacak konsol çelik palplanş duvarların tasarımı ile ilgili grafik ve tablolar oluşturulmuştur. Yer altı su seviyesinin varlığına, konumuna ve zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak toplamda 14739 farklı kesit incelenmiş ve çakma derinliği, maksimum eğilme momenti ve maliyetler ile ilgili oluşturulan tablo ve grafikler tasarımcıların kullanımına sunulmuştur. Bu tablo ve grafiklerin yardımı ile tasarım süresinin kısaltılması ve maliyet ile ilgili hızlı değerlendirme yapılabilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca deplasman analizi yapan paket programların veri girişi aşamasında tasarımcıların duvar boyu için deneme-yanılma sürecine girmeden bu tablo ve grafiklerde verilen bilgileri kullanarak kısa sürede analizlerini gerçekleştirmeleri hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Konsol palplanş duvar, Geçici kazı desteği, Tasarım abakları, Maliyet tabloları

## Study of Factors Affecting the Design of Cantilever Sheet Pile Walls and Development of Practical Charts

### ABSTRACT

In "Turkish Building Seismic Code (TBSC, 2018)" it is obliged the use of a retaining system for foundation excavation when sloped excavation is not possible. In addition, TBSC (2018) states that the retaining wall can be used temporarily if the excavation needs to be supported for less than 2 years. Cantilever sheet pile walls are commonly used to temporarily support excavation depths of less than 6 m. In this study, for the convenience of geotechnical designers, graphs and tables were prepared on the design of cantilever steel sheet piles that can be used in the case where temporary support is required for a 3-6.2 m deep excavation in granular soils with an internal friction angle of 24-40°. For this purpose, a total of 14739 different sections were studied depending on the presence and location of the groundwater level and the internal friction angle of the soil, and the tables and graphs prepared for embedment depth, maximum bending moment, and cost were presented to the use of geotechnical designers. Using these tables and graphs, designers can create designs in a short time and get an idea about costs. In addition, designers who wish to use package programs for displacement analysis can perform their analysis in a short time by using the information given in these tables and graphs without trial and error for the wall length in the input stage.

**Keywords:** Cantilever sheet pile wall, Temporary excavation support, Design charts, Cost table

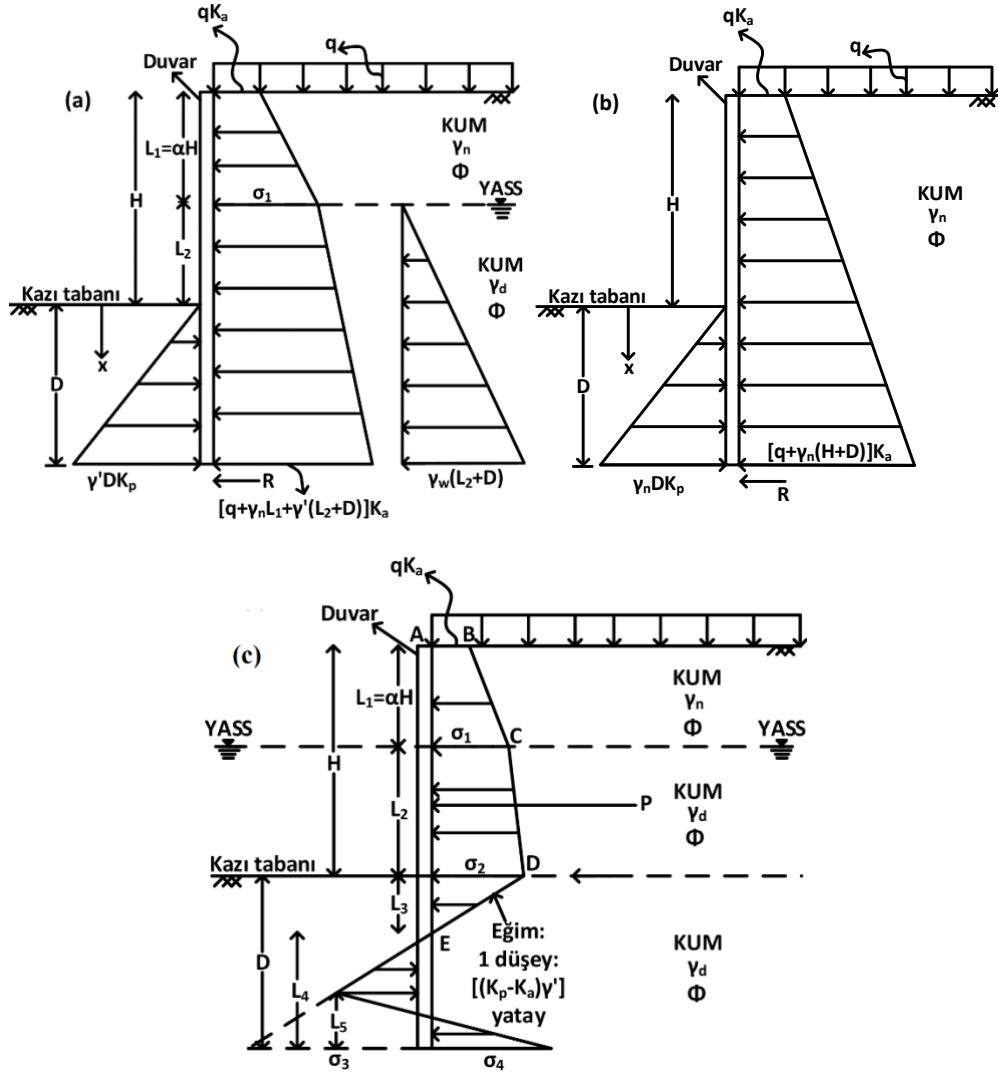
## I. GİRİŞ

Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan yüksek yapılar, otoparklar, çok bodrumlu alışveriş merkezleri, metro istasyonları ve altgeçitler gibi yapıların inşaatlarında derin kazı problemleri ile sıkça karşılaşmaktadır. Derin kazı yapılacak inşaat alanının bitişiğinde mevcut olan yapıların (bina, alt yapı sistemleri, ulaşım sistemleri vb.) zarar görmesini engellemek ve kazı alanı içerisinde güvenli bir çalışma ortamı sağlamak amacı ile uygun bir iksa sisteminin kullanılması gerekmektedir [1]. Ayrıca “Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler” [2] genelgesinde, uygun şev açısı verilerek şevli kazının yapılamadığı 1,75 m’den daha derin temel kazılarında iksa sistemi kullanılması zorunlu kılınmıştır.

Yaygın olarak kullanılan iksa duvarı türleri; diyafram duvarlar, istinat duvarları, kazıklar, palplanşlar ve toprakarme duvarlardır. Diğer iksa duvarlarına nispeten daha hafif olmaları, yüksek çakma gerilmelerine direnebilmeleri ve özellikle yeniden kullanılabilirliklerinden ötürü palplanş duvarlar sıklıkla tercih edilmektedir [3]. Palplanş duvarlar geçici veya kalıcı olarak kullanılabilir ve konsol veya ankrajlı olarak inşa edilebilmektedirler. 6 m’den daha düşük kazı derinliklerinde kazı yan yüzeylerinin geçici olarak desteklenmesi için konsol palplanş duvarlar sıkça kullanılmaktadırlar [3], [4], [5]. Geçici kazı desteğine ihtiyaç duyulan böyle durumlarda (subasman kotuna gelene kadar geçen inşaat süresi 2 yıldan daha az ise [2]) palplanş duvarlar, yeniden kullanılabilir özelliklerinden dolayı diğer duvar türlerine nispeten uzun vadede daha ekonomik olabilirler. Literatürde birçok araştırmacı [4], [6], [7], [8], [9] konsol palplanş duvarlarda kazı tabanı altında yeterli pasif direnci temin edecek çakma derinliğinin hesaplanabilmesi için birçok çözüm önermişlerdir. Singh ve Chatterjee [10], sismik koşullar altında duvar üst yüzeyinden farklı mesafelerde olan üniform sürşarj yüklerinin konsol palplanş duvar davranışına etkilerini nümerik olarak araştırmışlardır. Singh ve Chatterjee [11], kohezyonsuz zeminlerde hem statik hem de sismik koşullar altında aktif taraftaki zeminin üst yüzeyinde bir sürşarj yükünün olması halinde konsol palplanş duvarların tasarımı için limit denge yaklaşımı çerçevesinde bir çözüm önermişlerdir. Georgiadis ve Anagnostopoulos [12], kum zemin içerisine çakılmış konsol palplanş duvara şerit dolgu yükünün etkilerini inceleyen model deneyler yürütmüşlerdir. Aparna ve Samadhiya [13], bir şerit temelin konsol palplanş duvarın davranışı üzerine etkilerini model deneyler ile incelemişlerdir. Conti ve Viggiani [14], konsol duvarların sismik etkiler altında tasarımları için yeni bir psödö statik limit denge yöntemi önermişlerdir. Muni vd. [15], konsol palplanş duvara etki eden toprak basıncı ve duvar deformasyonları üzerine zeminin içsel sürtünme açısı, dilatansi açısı, duvar-zemin arasındaki ara yüzey sürtünme katsayısı gibi parametrelerin etkilerini ABAQUS yardımı ile belirlemişlerdir. Ancak bu kadar tasarım detayı içerisinde, konsol palplanş duvar tasarımı için gerekli olan çakma derinliği (D), maksimum eğilme momenti ( $M_{max}$ ), kesit türü ve toplam maliyet (TM) gibi bilgilerin kolaylıkla alınabileceği grafik, abak veya tablolar bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, geoteknik tasarımcılara kolaylık sağlaması amacıyla içsel sürtünme açısı 24-40° arasında değişen granüler bir zemin içerisinde açılacak 3-6,2 m derinliğinde bir kazı için geçici bir desteğe ihtiyaç duyulması durumunda kullanılacak konsol çelik palplanş duvarların tasarımı ile ilgili grafik ve tablolar oluşturulmuştur. Bu amaç için yer altı su seviyesinin (YASS) varlığına, konumuna ve zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak toplamda 14739 farklı kesit incelenmiş ve elde edilen sonuçlar, tablo ve grafikler yardımı ile geoteknik tasarımcıların kullanımına sunulmuştur.

## II. TEORİK METOT

Bu çalışmada granüler bir zemin içerisinde inşa edilecek konsol çelik palplanş duvarın çakma derinliği, kesit seçimine esas olacak maksimum eğilme momenti ve maliyeti üzerine analizler gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için YASS’nin varlığına ve konumuna bağlı olarak oluşturulan ve Şekil 1’de verilen kesitler incelenmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan “Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler” [2] genelgesinde, 2 yıldan daha az süre için geçici bir kazı desteğine ihtiyaç duyulan durumlarda dinamik etkilerin ihmal edilebileceği belirtilmiştir. Bu nedenle yapılan hesaplarda dinamik etkiler ihmal edilmiştir. Analizlerde akma dayanımı 430 MPa olan S430 GP sınıfı LARSSEN (LSN)



Şekil 1. Aktif toprak basınçları (a) Tek tarafında YASS bulunan duvar (Durum I), (b) Kuru durum (Durum II), (c) İki tarafında eşit seviyede YASS bulunan duvar (Durum III).

tipi çelik palplanş duvarlar tercih edilmiştir. Ayrıca Şekil 1’de verilen her durum için aktif taraftaki zeminin üst yüzeyine, kazı alanı civarında çalışmalar yapacak iş makineleri ile malzeme yığınlarının ağırlıklarını temsil edecek  $5 \text{ kN/m}^2$ ’lik bir üniform sürşarj basıncının ( $q$ ) etki ettiği varsayılmıştır. Analizlerde, içsel sürtünme açısı ( $\Phi$ )  $24\text{-}40^\circ$  arasında değişen bir kum zemin içerisinde gerçekleştirilen  $3\text{-}6,2$  m arasındaki kazı derinlikleri ( $H$ ) incelenmiştir. YASS olan durumlar için (Durum I ve Durum III) su seviyesi/seviyeleri kazı derinliğine bağlı olarak beş farklı konuma sahip olacak şekilde ( $\alpha=0; 0,25H; 0,50H; 0,75H$  ve  $H$ ) dikkate alınmıştır. Suyun birim hacim ağırlığı ( $\gamma_w$ ),  $1 \text{ t/m}^3$  olarak kabul edilmiştir. Ayrıca zeminin içsel sürtünme açısına dolayısı ile rölatif sıklığına bağlı olarak Teng [16] tarafından önerilen ortalama doğal birim hacim ağırlık (DBHA ( $\gamma_n$ )) değerleri kullanılmıştır (Tablo 1). Zeminin batık birim hacim ağırlığı (BBHA ( $\gamma'$ )) ile DBHA arasında  $r$  katlık bir ilişki olduğu (Denklem 1) varsayılmış olup  $r$  için  $1,9\text{-}2,4\text{-}2,9\text{-}3,4\text{-}3,9$  değerleri kullanılarak Durum I ve Durum III için 7225’er, Durum II içinse 289 farklı kesit MATLAB R2019a yardımı ile incelenmiştir.

Tablo 1. Granüler zeminler için rölatif sıklık-DBHA ilişkisi [16].

Sıklık	Çok gevşek	Gevşek	Orta sıkı	Sıkı
Rölatif sıklık (%)	0-15	15-35	35-65	65-80
$\Phi$ ( $^\circ$ )	<28	28-30	30-36	36-41
DBHA ( $\gamma_n$ ) ( $\text{Mg/m}^3$ )	<1,63	1,52-2,00	1,76-2,08	1,76-2,24
Ortalama $\gamma_n$ ( $\text{Mg/m}^3$ )	1,63	1,78	1,95	2,06

$$\gamma' = \gamma_n * r \quad (1)$$

Şekil 1’de gösterilen yatay toprak basınçlarının hesabında kullanılan aktif ve pasif yatay toprak basıncı katsayıları sırasıyla Denklem 2 ve Denklem 3’te verilmiştir.

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3)$$

Durum I için çakma derinliği ve maksimum eğilme momenti, sırasıyla Denklem 4 ve Denklem 6 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} & \frac{\gamma_n K_a L_1^2}{2} \left( \frac{L_1}{3} + L_2 + D \right) + \\ & \frac{(q + \gamma_n L_1) K_a (L_2 + D)^2}{2} + q K_a L_1 \left( \frac{L_1}{2} + L_2 + D \right) \\ & + \frac{(\gamma' K_a + \gamma_w)(L_2 + D)^3}{6} - \frac{\gamma_n K_p D^3}{6} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & q K_a L_1 + \frac{\gamma_n K_a L_1^2}{2} + (q + \gamma_n L_1) K_a (L_2 + x) \\ & + \frac{(\gamma' K_a + \gamma_w)(L_2 + x)^2}{2} - \frac{\gamma_n K_p x^2}{2} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Denklem 5 yardımı ile hesaplanan x değeri Denklem 6’da yerine konularak maksimum eğilme momenti değeri belirlenmiştir.

$$\begin{aligned} M_{\max} &= q K_a L_1 \left( \frac{L_1}{2} + L_2 + x \right) - \frac{\gamma_n K_p x^3}{6} + \\ & \frac{\gamma_n K_a L_1^2}{2} \left( \frac{L_1}{3} + L_2 + x \right) + \frac{(\gamma' K_a + \gamma_w)(L_2 + x)^3}{6} \\ & + \frac{(q + \gamma_n L_1) K_a (L_2 + x)^2}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

Şekil 1’de verilen Durum II için çakma derinliği ve maksimum eğilme momenti sırasıyla Denklem 7 ve Denklem 9 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\frac{\gamma_n K_p D^3}{6} - \frac{q K_a (H + D)^2}{2} - \frac{\gamma_n K_a (H + D)^3}{6} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\gamma_n K_p x^2}{2} - q K_a (H + x) - \frac{\gamma_n K_a (H + x)^2}{2} = 0 \quad (8)$$

Denklem 8 yardımı ile hesaplanan x değeri Denklem 9’da yerine konularak Durum II için kesit hesabına esas olacak maksimum eğilme momenti değeri belirlenmiştir.

$$M_{\max} = \frac{qK_a(H+x)^2}{2} + \frac{\gamma_n K_a(H+x)^3}{6} - \frac{\gamma_n K_p x^3}{6} \quad (9)$$

Şekil 1’de verilen Durum III için kullanılan eşitlikler Denklem 10-20’de verilmiştir.

$$\sigma_1 = (q + \gamma_n L_1) K_a \quad (10)$$

$$\sigma_2 = (q + \gamma_n L_1 + \gamma' L_2) K_a \quad (11)$$

$$\sigma_3 = (K_p - K_a) \gamma' L_4 \quad (12)$$

$$\sigma_4 = (q + \gamma_n L_1 + \gamma' L_2) K_p + \gamma' L_3 (K_p - K_a) + \gamma' L_4 (K_p - K_a) \quad (13)$$

$$\sigma_5 = (q + \gamma_n L_1 + \gamma' L_2) K_p + \gamma' L_3 (K_p - K_a) \quad (14)$$

$$L_3 = \frac{\sigma_2}{\gamma' (K_p - K_a)} \quad (15)$$

$$P = qK_a L_1 + \frac{\gamma_n K_a L_1^2}{2} + (q + \gamma_n L_1) K_a L_2 + \frac{\gamma' K_a L_2^2}{2} + 0.5(q + \gamma_n L_1 + \gamma' L_2) K_a L_3 \quad (16)$$

Burada P; Şekil 1c’deki ABCDE basınç diyagramının alanından elde edilen bileşke kuvveti temsil etmektedir. Duvarın stabilitesi için gerekli statik prensiplerden olan yatay denge ve moment dengesinden faydalanarak oluşturulan ve  $L_4$  değerinin belirlenmesinde kullanılan denklem, Denklem 17’de verilmiştir.

$$\begin{aligned} & qK_a L_1 \left( \frac{L_1}{2} + L_2 + L_3 + L_4 \right) - \frac{(K_p - K_a) \gamma' L_4^3}{6} \\ & + (q + \gamma_n L_1) K_a L_2 \left( \frac{L_2}{2} + L_3 + L_4 \right) \\ & + \frac{\gamma_n K_a L_1^2}{2} \left( \frac{L_1}{3} + L_2 + L_3 + L_4 \right) \\ & + \frac{\gamma' K_a L_2^2}{2} \left( \frac{L_2}{3} + L_3 + L_4 \right) \\ & + \frac{[(K_p - K_a) \gamma' L_4^2 - 2P]^2}{6[\sigma_5 + 2\gamma' L_4 (K_p - K_a)]} \\ & + \frac{(q + \gamma_n L_1 + \gamma' L_2) K_a L_3}{2} \left( \frac{2L_3}{3} + L_4 \right) = 0 \end{aligned} \quad (17)$$



Durum III'e ait teorik çakma derinliği Denklem 18 ile belirlenmiştir.

$$D = L_3 + L_4 \quad (18)$$

Durum III için duvara etki eden maksimum eğilme momenti ise Denklem 20 ile hesaplanmıştır.

$$x = \sqrt{\frac{2P}{(K_p - K_a)\gamma'}} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} M_{\max} = & qK_a L_1 \left( \frac{L_1}{2} + L_2 + L_3 + x \right) \\ & + \frac{\gamma_n K_a L_1^2}{2} \left( \frac{L_1}{3} + L_2 + L_3 + x \right) - \frac{(K_p - K_a)\gamma' x^3}{6} \\ & + \frac{\gamma' K_a L_2^2}{2} \left( \frac{L_2}{3} + L_3 + x \right) \\ & + (q + \gamma_n L_1) K_a L_2 \left( \frac{L_2}{2} + L_3 + x \right) \\ & + \frac{(q + \gamma_n L_1 + \gamma' L_2) K_a L_3}{2} \left( \frac{2L_3}{3} + x \right) \end{aligned} \quad (20)$$

Literatürde bazı tasarımcılar çakma derinliğinin hesabında pasif direncin tamamen mobilize olamamasından dolayı ya pasif toprak basıncı katsayısını 1,5 ile 2 arasında bir güvenlik sayısına bölmekte ya da hesaplar sonucunda elde edilen teorik çakma derinliğini %20-30 arttırmaktadırlar [3]. Mahdi ve Ebid [17], kuru granüler bir zeminde kullanılan konsol palplanş duvar için geleneksel yöntemlerle hesaplanan teorik çakma derinliğinin çok gevşek zeminlerde %20, çok sıkı zeminlerde ise %40 arttırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Buradan yola çıkarak bu çalışma kapsamında Denklem 4, 7 ve 18'den hesaplanan teorik çakma derinlikleri %30 arttırılarak arazi çakma derinlikleri elde edilmiştir. Denklem 6, 9 ve 20'den hesaplanan maksimum eğilme momentlerini karşılayacak palplanş kesitlerinin seçiminde kullanılacak minimum kesit modülü, Denklem 21 yardımı ile belirlenmiştir.

$$S_{\min} = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{all}}} \quad (21)$$

Burada  $\sigma_{\text{all}}$ ; çeliğin müsaade edilebilir eğilme gerilmesini temsil etmektedir. Bu değer, çeliğin akma dayanımının %65'ine eşit olarak dikkate alınmıştır [18], [19].

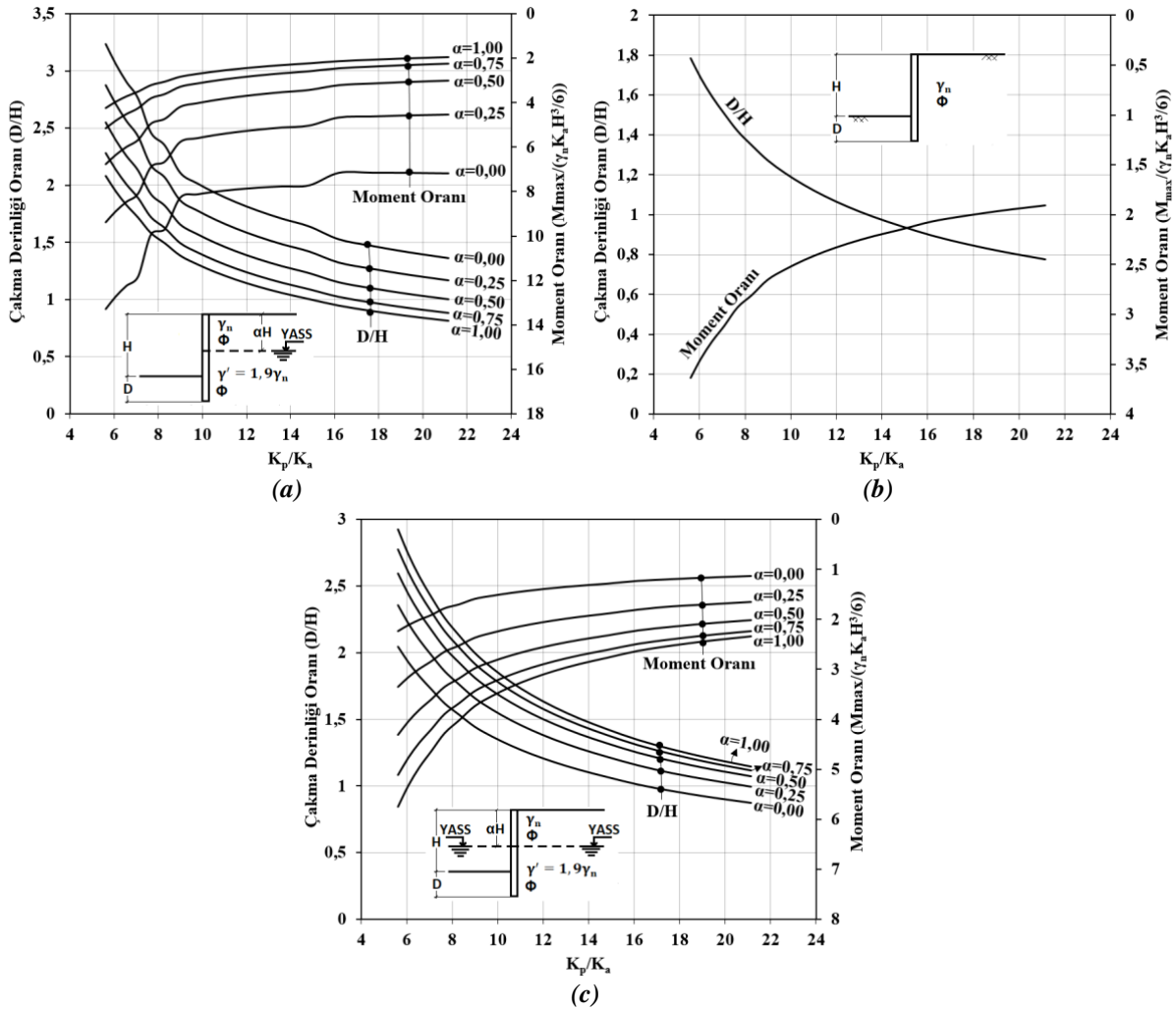
Bu çalışma kapsamında LSN tipi çelik palplanş duvarlar tercih edilmiş olup bu duvarlara ait kesit modülleri ve İller Bankası tarafından bu duvar türleri için önerilen birim fiyatlar Tablo 2'de verilmiştir. İller Bankası'nda LSN tipi palplanş duvarlar için tanımlı birim fiyatlar güncel olmadığından, ilgili pozlara ait her bir alt kalem için verilen ve en günceli 2018 tarihli olan birim fiyatlar kullanılarak malzeme ve ekipman bedeli, çakma işlemleri ile tüm işçilik giderleri dahil birim fiyatlar oluşturulmuştur. Ancak alt kalemler içerisinde sadece palplanş duvar malzemesinin rayiç bedeli 2007 için tanımlı olduğundan 2007-2018 arası kur farkı dikkate alınarak palplanş duvar malzemesinin rayiç bedeli güncellenmiştir.

**Tablo 2.** LSN tipi palplanşa ait kesit modülleri ve birim fiyatlar.

Kesit tipi	Kesit modülü ( $cm^3/m$ )	Birim fiyat ( $TL/m^2$ )
LSN 22	1260	172,55
LSN23	2000	191,65
LSN 24	2500	203,21
LSN 25	3040	221,12
LSN VI	4200	269,68
LSN VII	5010	281,25

### III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Analizler sonucunda  $r=1,9$  için elde edilen çakma derinlikleri, maksimum eğilme momentleri ve maliyetler normalize edilmiş ve elde edilen bu değerlerin,  $K_p/K_a$ 'ya dolayısı ile zeminin içsel sürtünme açısına bağlı değişimini içeren grafikler her bir durum için (Durum I-III) Şekil 2 ve Şekil 3 içerisinde verilmiştir. Grafikler içerisindeki çakma derinlikleri, Denklem 4, Denklem 7 ve Denklem 18'den hesaplanan teorik çakma derinliklerinin %30 arttırılmış halini temsil etmektedir.



**Şekil 2.**  $r=1,9$  için çakma derinliği oranı ve moment oranının  $K_p/K_a$ 'ya bağlı değişimi (a) Durum I, (b) Durum II, (c) Durum III.

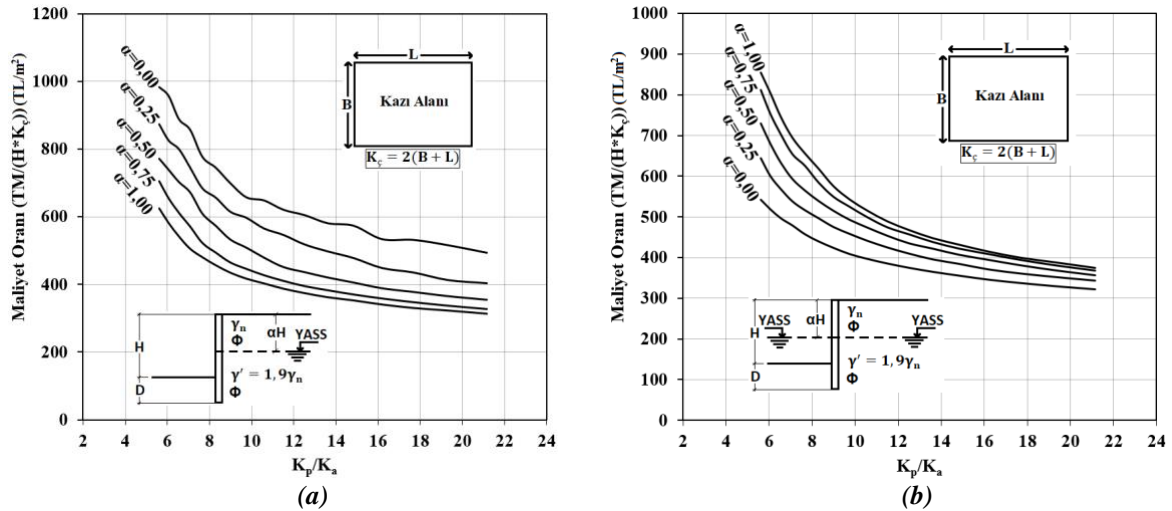
Denklem 22-24'te verilen eşitliklerden faydalanarak 1,9'dan farklı  $r$  değerleri için çakma derinliği, maksimum eğilme momenti ve toplam maliyet değerleri kolaylıkla hesaplanabilir. Şekil 2-3'te  $r=1,9$  için verilen grafiklerden ilgili  $\alpha$  ve  $K_p/K_a$  değerlerine karşılık alınan çakma derinliği oranı, moment oranı ve maliyet oranı verileri sırasıyla Denklem 22-24'te gösterilen  $\varepsilon_d$ ,  $\varepsilon_m$  ve  $\varepsilon_c$  değerleri ile çarpılarak 1,9'dan farklı  $r$  değerleri için hesaplar yapılabilir. Farklı  $\alpha$ ,  $r$  ve  $K_p/K_a$  değerlerine karşılık  $\varepsilon_d$ ,  $\varepsilon_m$  ve  $\varepsilon_c$  katsayılarının alacağı değerler EK Tablo 2-3 içerisinde verilmiştir.

$$\left(\frac{D}{H}\right)_{\gamma'} = \varepsilon_d * \left(\frac{D}{H}\right)_{r=1,9} \quad (22)$$

$$\left(\frac{M_{\max}}{\frac{1}{6}\gamma_n K_a H^3}\right)_{\gamma'} = \varepsilon_m * \left(\frac{M_{\max}}{\frac{1}{6}\gamma_n K_a H^3}\right)_{r=1,9} \quad (23)$$

$$\left(\frac{TM}{H * K_\zeta}\right)_{\gamma'} = \varepsilon_c * \left(\frac{TM}{H * K_\zeta}\right)_{r=1,9} \quad (24)$$

Denklem 22-24'te, eşitliğin sol tarafındaki değerler sırasıyla, 1,9'dan farklı  $r$  değerlerine karşılık gelen çakma derinliği oranı, moment oranı ve maliyet oranı değerlerini temsil etmektedir. Eşitliğin sağ tarafında parantez içerisindeki değerler ise sırasıyla, ilgili  $\alpha$  ve  $K_p/K_a$  değerlerine karşılık Şekil 2-3'ten okunan çakma derinliği oranı, moment oranı ve maliyet oranı değerlerini temsil etmektedir.



Şekil 3.  $r=1,9$  için maliyet oranının  $K_p/K_a$ 'ya bağlı değişimi (a) Durum I, (b) Durum III.

Bu çalışma kapsamında verilen grafikler geleneksel toprak basıncı teorileri kullanılarak kohezyonsuz zeminler için oluşturulmuştur. Şekil 3'te verilen maliyet grafiklerinde, her bir  $\alpha$  değeri için aynı  $K_p/K_a$  değerine karşılık farklı kazı derinliklerinden elde edilen normalize edilmiş maliyetlerin ortalama değeri grafik içerisinde verilmiş olup sadece ön tasarım aşamasında bir ön fikir vermesi açısından bu değerler kullanılabilir. Şekil 3'te verilen maliyet değerleri kazı alanından bağımsız olarak verilmiştir. Bu nedenle arazide palplanş duvar inşaatı gerçekleştirilecek olan kazı alanının boyutları dikkate alınarak arazi toplam palplanş duvar inşaatı maliyetleri belirlenmelidir. Şekil 3 içerisinde verilen  $K_\zeta$ ; palplanş duvar inşası gerçekleştirilen kazı çevresini temsil etmekte olup ortalama arazi toplam palplanş maliyeti ( $PTM_f$ ); arazide yapılacak kazının derinliği ve  $K_\zeta$  değerleri ile grafiklerden okunan maliyet oranı değerinin çarpılması sonucu elde edilmelidir (Denklem 25).

$$PTM_f = (\text{Maliyet Oranı}) * H * K_c \quad (25)$$

Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen grafikler incelendiğinde genel olarak zeminin içsel sürtünme açısı değerinin artması sonucu ( $K_p/K_a$  oranının büyümesi ile) aktif basınçların azalması ve pasif basınçların da büyümesi nedeniyle çakma derinliği oranı, moment oranı ve maliyet oranı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca yine tüm grafiklerde  $\alpha$  değeri büyüdükçe her bir grafik içerisindeki eğrilerin birbirine yaklaştığı gözlenmektedir. Bununla birlikte Şekil 2'de verilen grafiklerden,  $K_p/K_a$  oranı yaklaşık olarak 9 ( $\phi=30^\circ$ ) değerine ulaşana kadar moment oranının değişimini temsil eden eğrilerin eğiminin daha büyük olduğu, bu değerden sonra ise eğimin azaldığı gözlenmektedir. Çakma derinliği oranını temsil eden eğrilerde ise yukarıda bahsi geçen durum,  $K_p/K_a$  oranı yaklaşık olarak 10,59 ( $\phi=32^\circ$ ) olduğunda gerçekleşmektedir. Sonuç olarak zeminin içsel sürtünme açısının 30~32°'den daha küçük olduğu çok gevşek ve gevşek sıklık durumlarında moment oranı, çakma derinliği oranı ve dolayısı ile maliyet oranının değişiminin içsel sürtünme açısının değişiminden daha fazla etkilendiği söylenebilir. Öte taraftan Durum I için oluşturulan Şekil 2a ve Şekil 3a'ya bakıldığında, YASS yükseldikçe ( $\alpha$  küçüldükçe) hem çakma derinliği oranı hem de moment oranının arttığı ve dolayısı ile maliyetlerin de yükseldiği görülmektedir. Durum III için verilen Şekil 2c ve Şekil 3b'deki eğriler incelendiğinde ise Durum I'in aksine YASS yükseldikçe ( $\alpha$  küçüldükçe) çakma derinliği ve moment oranı değerlerinin azaldığı dolayısı ile maliyetlerin düştüğü gözlenmektedir. Tüm analizlerden elde edilen çakma derinlikleri dikkate alınarak çakma derinliği oranının zeminin sıklığına, YASS'nin varlığına ve konumuna bağlı aralıkları Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 5.** Çakma derinliği oranının değişimi (Durum II).

$\phi$ (°)	Sıklık	D/H
24-28	Çok gevşek	1,51-1,80
28-30	Gevşek	1,35-1,42
30-36	Orta sıkı	0,95-1,30
36-40	Sıkı	0,78-0,90

**Tablo 6.** Çakma derinliği oranının değişimi (Durum I ve Durum III).

	$\phi$ (°)	Sıklık	D/H				
			$\alpha=0,00$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,50$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1,00$
<b>Durum I</b>	24-28	Çok gevşek	2,43-3,25	2,18-2,88	1,96-2,55	1,79-2,29	1,66-2,08
	28-30	Gevşek	2,09-2,46	1,88-2,18	1,70-1,93	1,55-1,73	1,45-1,58
	30-36	Orta sıkı	1,52-2,11	1,33-1,87	1,18-1,66	1,06-1,50	0,99-1,40
	36-40	Sıkı	1,28-1,53	1,11-1,33	0,97-1,15	0,87-1,03	0,81-0,95
<b>Durum III</b>	24-28	Çok gevşek	1,73-2,26	2,00-3,16	2,17-3,84	2,31-4,42	2,42-4,94
	28-30	Gevşek	1,54-1,78	1,76-2,46	1,92-2,95	2,05-3,35	2,13-3,69
	30-36	Orta sıkı	1,07-1,58	1,22-2,18	1,32-2,60	1,40-2,93	1,43-3,21
	36-40	Sıkı	0,87-1,10	1,00-1,49	1,07-1,74	1,12-1,92	1,15-2,05

Amer [19], gevşek, orta sıkı ve sıkı kuru kum zeminlerde sırasıyla kazı derinliğinin 1,5 katından, 1,25 katından ve 1 katından daha büyük penetrasyon derinliklerinin duvarın davranışını etkilemediğini ileri sürmüştür. Gevşek, orta sıkı ve sıkı granüler zeminler için Tablo 5'te verilen çakma derinliği oranlarının Amer [19] tarafından önerilen sınır değerlerin altında kaldığı görülmektedir.

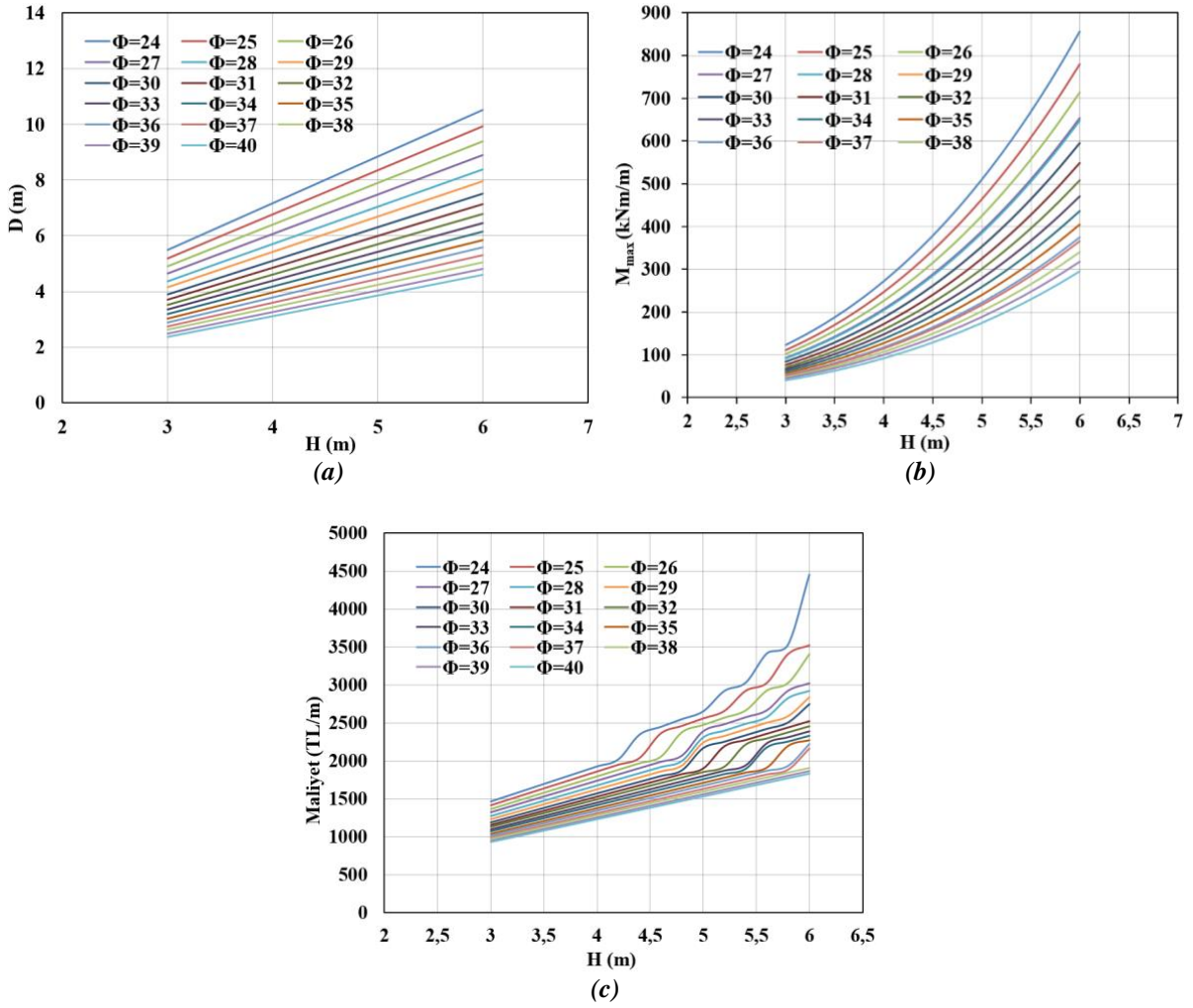
Şekil 2-3'te verilen grafiklere alternatif olarak EK Tablo 1 ve EK Tablo 4-13 içerisinde zeminin içsel sürtünme açısına, YASS'nin varlığına ve konumuna ve  $r$  katsayısına bağlı olarak minimum konsol palplanş duvar boyları (L), maksimum eğilme momentini karşılayacak minimum kesitler ve bunlara karşılık gelen maliyet değerleri verilmiştir. Bu tablolarda verilen maliyetler de kazı alanının plan boyutlarından bağımsız olarak verilmiştir. Bu nedenle arazide inşa edilecek palplanş duvarın maliyetinin

hesaplanabilmesi için, bu tablolardan alınan ilgili maliyet değerinin sadece  $K_c$  ile çarpılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında tercih edilen LSN tipi kesitlerin mukavemet açısından yetersiz olduğu durumlar, Tablo 8-10 içerisinde (-) ile gösterilmiştir.

Durum I için yapılan hesaplarda  $\alpha=0$  ve  $r=1,9$  olması durumunda;  $\emptyset=24$  için 4,4 m,  $\emptyset=25$  ve 26 için 4,6 m,  $\emptyset=27$  için 4,8 m,  $\emptyset=28$  için 5 m,  $\emptyset=29$  için 5,2 m,  $\emptyset=30$  ve 31 için 5,4 m,  $\emptyset=32$  ve 33 için 5,6 m,  $\emptyset=34$  ve 35 için 5,8 m,  $\emptyset=36$  ve 37 için 6 m'den daha derin bir kazıda konsol palplanş duvar kullanılması durumunda bu çalışma kapsamında kullanılan LSN tipi kesitler yetersiz kalmaktadır. Ayrıca yine Durum I için  $\alpha=0,25$  ve  $r=1,9$  olması durumunda  $\emptyset=24$  için 5 m,  $\emptyset=25$  için 5,2 m,  $\emptyset=26$  ve 27 için 5,4 m,  $\emptyset=28$  için 5,6 m,  $\emptyset=29$  için 5,8 m,  $\emptyset=30$  için 6 m'den ve  $\alpha=0,5$  ve  $r=1,9$  olması durumunda  $\emptyset=24$  için 5,6 m,  $\emptyset=25$  için 5,8 m,  $\emptyset=26$  için 6 m'den daha derin bir kazı için de aynı durum söz konusu olmaktadır. Bununla birlikte Durum III için de  $\alpha=1$  ve  $r=1,9$  olması durumunda  $\emptyset=24$  için 6 m'den daha derin bir kazıda benzer durum ortaya çıkmaktadır. Şekil 3'te Durum I ile Durum III için verilen maliyet grafikleri, bahsi geçen bu sınır kazı derinlikleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Buna karşılık  $r=1,9$  için verilen çakma derinliği oranı ve moment oranı grafikleri (Şekil 2) 3-6,2 m arasındaki tüm kazı derinlikleri için oluşturulmuştur. Geoteknik tasarımcılar, zemine ait tasarım parametrelerine ( $\gamma, \alpha, \emptyset$ ) karşılık gelen çakma derinliği ve moment değerlerini ilgili grafiklerden seçebilir,  $r$  değeri 1,9'dan farklı ise EK Tablo 2-3'te verilen ilgili  $\epsilon$  katsayıları ile seçtiği bu değerleri çarparak ilgili  $r$  değerine ait verileri hesaplayabilir ve piyasada mevcut palplanş broşürlerinden faydalanarak Denklem 21 yardımı ile hesapladıkları minimum kesit modülünü karşılayacak yeterli mukavemet özelliklerine sahip palplanş duvar kesitlerini belirleyebilirler. Bu amaç için tasarımcılar, bu çalışma kapsamında kullanılmayan diğer kesit türlerini de tercih edebilirler. Alternatif olarak Şekil 3'teki maliyet grafiklerine bakılarak maliyetler hakkında ön bilgi edinilebilir. Şekil 3'teki maliyet grafikleri  $r=1,9$  için oluşturulduğu için bu grafiklerden alınan ilgili verilerin EK Tablo 2-3'te verilen ilgili  $\epsilon$  katsayıları ile çarpılması sonucu 1,9'dan farklı  $r$  değerlerine ilişkin maliyet değerleri de hesaplanabilir.

Konsol palplanş duvarlarda YASS'nin varlığına ve konumuna bağlı farklı durumlar için incelenen kesitlerden (Durum I-II-III) elde edilen çakma derinliği, maksimum eğilme momenti ve maliyet değerlerinin kazı derinliğine bağlı değişim davranışı benzer olup Şekil 4 içerisinde verilmiştir.

Kazı derinliğinin artması sonucu aktif itkilerin büyümesi nedeniyle çakma derinliği ve maksimum eğilme momenti değerleri artmaktadır. Şekil 4c'de verilen maliyet grafiği içerisindeki eğrilerde meydana gelen sıçramaların nedeni, kazı derinliğinin artması sonucu artan maksimum eğilme momentini karşılayacak duvarın kesit modülünün ve dolayısıyla birim maliyetinin büyümesidir. Grafiğe bakıldığında genel olarak kazı derinliğinin artması ile gerekli duvar boyu artmakta ve sonuç olarak maliyetler de artmaktadır. Bununla birlikte içsel sürtünme açısının artması ile  $K_p/K_a$  oranı büyümekte ve bunun bir sonucu olarak duvara etki eden aktif itkiler küçülmekte, pasif itkiler ise büyümektedir. Böylece aynı kazı derinliği için içsel sürtünme açısının büyümesi ile gerekli duvar boyları kısalmakta ve bu nedenle maliyetler de azalmaktadır. Ayrıca Şekil 4c'ye bakıldığında içsel sürtünme açısı arttıkça eğrilerde meydana gelen sıçramaların azaldığı görülmektedir. Bu durumun nedeni; daha yüksek içsel sürtünme açıları duvara etki eden maksimum eğilme momentlerinin küçülmesi sonucu azalan kesit modülünün; palplanş birim maliyetleri (PBM) için Tablo 2'de verilen belirli bir aralık içerisinde kalması ve dolayısı ile PBM'nin değişmemesidir. Durum I için  $r$  katsayısının artması ile genel olarak çakma derinliği oranı, maksimum eğilme momenti oranı ve maliyet oranı değerleri azalmaktadır.  $\alpha$  değerinin 0,75'ten ve  $\emptyset$  değerinin 36'dan küçük olması durumunda bu azalışın daha belirgin olduğu görülmektedir. Durum III'te ise genel olarak  $r$ 'nin artması ile çakma derinliği oranı, maksimum eğilme momenti oranı ve maliyet oranı değerleri artmaktadır. Ancak Durum III'te sadece  $\alpha$ 'nın sıfır olması durumunda  $r$ 'nin artması ile bu çalışmada kullanılan tüm zemin türleri için moment oranı değerleri azalmaktadır. Durum III için  $\alpha$ 'nın sıfıra eşit olması durumunda, çakma derinliği oranında meydana gelen artışın maliyet oranı üzerindeki artırıcı etkisinin moment oranındaki azalmanın maliyet oranı üzerindeki azaltıcı etkisine baskın gelmesi,  $r$ 'nin artması ile maliyetlerde meydana gelen artışın nedenini açıklamaktadır.



Şekil 4. (a) Çakma derinliğinin, (b) Maksimum eğilme momentinin, (c) Toplam maliyetin kazı derinliğine bağlı değişimi.

## IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, içsel sürtünme açısı  $24-40^{\circ}$  arasında değişen granüler zeminler içerisinde gerçekleştirilen 3-6,2 m derinliklerindeki kazılarda geçici olarak bir iksa duvarı kullanılması gereken durumlar için bir alternatif olarak çelik konsol palplanş duvar ile ilgili detaylar verilmiştir. Geoteknik tasarımcılara kolaylık sağlaması amacıyla çakma derinliği ve maksimum eğilme momenti değerlerini içeren tasarım abakları ile minimum palplanş duvar boyları, kesit türleri ve bunlara karşılık gelen maliyet değerlerini içeren tablolar oluşturulmuştur.

Kohezyonsuz zeminler içerisinde geçici kazı desteğine ihtiyaç duyulan durumlarda, zemine ait tasarım parametrelerine karşılık gelen çakma derinliği ve moment değerleri, bu çalışma kapsamında verilen grafiklerden seçilebilir ve piyasada mevcut palplanş broşürlerinden faydalanılarak minimum kesit modülünü karşılayacak yeterli mukavemet özelliklerine sahip duvar kesitleri belirlenebilir. Ayrıca zeminin içsel sürtünme açısına karşılık verilen ortalama maliyet oranı grafikleri kullanılarak tasarıma başlamadan önce maliyetler ile ilgili bir ön fikir edinilebilir. Alternatif olarak, yine bu çalışma kapsamında verilen tablolardan minimum duvar boyu, minimum kesit türü ve bunlara karşılık gelen maliyet değerleri alınabilir.

Analizlerde duvar deplasmanları hesaplanmadığı için, oluşturulan bu abak ve tablolar kullanılarak seçilen kesitlerin deplasman değerlerinin literatürde verilen veya kullanım amacına uygun izin verilebilir deplasman sınırlarının içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilmelidir.

Palplanş duvarların deplasman analizleri için piyasada mevcut olan paket programların kullanılması durumunda, ilgili programların veri girişi aşamasında bu çalışma kapsamında verilen abak ve tablolardan faydalanılarak duvar boyu ve kesit özellikleri tanımlanabilir.

Genel olarak içsel sürtünme açısının artması sonucu aktif itkilerin küçülmesi ve pasif itkilerin büyümesi nedeniyle çakma derinliği, maksimum eğilme momenti ve maliyet değerlerinin azaldığı sonucu elde edilmiştir. Ayrıca Durum I için  $\alpha$  değerinin küçülmesi sonucu (YASS'nin yükselmesi ile) duvara gelen yatay basınçların büyümesi ile çakma derinliği ve maksimum eğilme momenti değerlerinin arttığı, dolayısı ile maliyetlerin de büyüdüğü görülmüştür. Durum III içinse benzer durumun,  $\alpha$  değerinin büyümesi (YASS'nin alçalması ile) sonucu meydana geldiği gözlenmiştir.

Durum I'de BBHA değerinin azalması ile ( $r$  değerinin artması) genel olarak çakma derinliği oranı, moment oranı ve maliyet oranı değerleri azalmaktadır. Durum III için benzer davranış, BBHA değerinin artması ile ( $r$  değerinin azalması) meydana gelmektedir.

Çok gevşek ve gevşek zeminlerde moment oranı, çakma derinliği oranı ve dolayısı ile maliyet oranının değişiminin içsel sürtünme açısının ve  $r$  değerinin değişiminden daha fazla etkilendiği gözlenmiştir.

**EK Tablo 1.** 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılacak LSN tipi konsol palplanş duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum II).

Durum II									
$\emptyset$ (°)	H (m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	$\emptyset$ (°)	H (m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	8,50	LSN 22	1466,68	32	3,00	6,55	LSN 22	1130,20
	3,60	10,10	LSN 22	1742,76		3,60	7,80	LSN 22	1345,89
	4,20	11,70	LSN 22	2018,84		4,20	9,05	LSN 22	1561,58
	4,80	13,30	LSN 22	2294,92		4,80	10,30	LSN 22	1777,27
	5,40	14,95	LSN 24	3037,99		5,40	11,55	LSN 23	2213,56
	6,00	16,55	LSN VI	4463,21		6,00	12,80	LSN 23	2453,12
28	3,00	7,40	LSN 22	1276,87	36	3,00	5,90	LSN 22	1018,05
	3,60	8,80	LSN 22	1518,44		3,60	7,05	LSN 22	1216,48
	4,20	10,20	LSN 22	1760,01		4,20	8,20	LSN 22	1414,91
	4,80	11,60	LSN 22	2001,58		4,80	9,30	LSN 22	1604,72
	5,40	13,00	LSN 23	2491,45		5,40	10,45	LSN 22	1803,15
	6,00	14,40	LSN 24	2926,22		6,00	11,60	LSN 23	2223,14
30	3,00	6,55	LSN 22	1130,20	40	3,00	5,40	LSN 22	931,77
	3,60	7,80	LSN 22	1345,89		3,60	6,45	LSN 22	1112,95
	4,20	9,05	LSN 22	1561,58		4,20	7,50	LSN 22	1294,13
	4,80	10,30	LSN 22	1777,27		4,80	8,50	LSN 22	1466,68
	5,40	11,55	LSN 23	2213,56		5,40	9,55	LSN 22	1647,85
	6,00	12,80	LSN 23	2453,12		6,00	10,60	LSN 22	1829,03

*EK Tablo 2. Durum I için  $\varepsilon$  katsayıları.*

	$\phi=24^\circ$			$\phi=28^\circ$			$\phi=32^\circ$			$\phi=36^\circ$			$\phi=40^\circ$			
	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_c$	
$\alpha=0,00$	r=2,4	0,94	0,88	0,93	0,95	0,90	0,94	0,96	0,91	0,95	0,97	0,94	0,94	0,97	0,94	0,98
	r=2,9	0,90	0,80	0,88	0,92	0,84	0,90	0,94	0,86	0,92	0,95	0,89	0,94	0,96	0,90	0,96
	r=3,4	0,88	0,76	0,84	0,90	0,80	0,86	0,92	0,83	0,89	0,93	0,86	0,93	0,94	0,88	0,94
	r=3,9	0,86	0,72	0,80	0,89	0,77	0,85	0,90	0,80	0,88	0,92	0,83	0,89	0,94	0,86	0,93
$\alpha=0,25$	r=2,4	0,95	0,90	0,93	0,96	0,92	0,96	0,97	0,93	0,97	0,97	0,95	0,98	0,98	0,95	0,99
	r=2,9	0,92	0,84	0,89	0,93	0,87	0,92	0,95	0,89	0,95	0,96	0,91	0,95	0,96	0,93	0,97
	r=3,4	0,89	0,80	0,88	0,92	0,84	0,90	0,93	0,86	0,93	0,95	0,89	0,94	0,95	0,91	0,96
	r=3,9	0,88	0,77	0,84	0,90	0,81	0,87	0,92	0,84	0,92	0,94	0,87	0,93	0,95	0,89	0,96
$\alpha=0,50$	r=2,4	0,96	0,93	0,96	0,97	0,95	0,98	0,98	0,96	0,99	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,99
	r=2,9	0,93	0,88	0,93	0,95	0,91	0,94	0,96	0,93	0,96	0,97	0,94	0,98	0,98	0,95	0,99
	r=3,4	0,92	0,85	0,90	0,94	0,89	0,93	0,95	0,91	0,94	0,96	0,93	0,97	0,97	0,94	0,98
	r=3,9	0,90	0,83	0,89	0,93	0,87	0,93	0,94	0,90	0,94	0,95	0,92	0,97	0,96	0,93	0,98
$\alpha=0,75$	r=2,4	0,97	0,96	0,97	0,98	0,97	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00
	r=2,9	0,95	0,93	0,96	0,97	0,95	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,99
	r=3,4	0,94	0,91	0,93	0,96	0,94	0,97	0,97	0,96	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,98	0,99
	r=3,9	0,93	0,90	0,93	0,95	0,93	0,97	0,96	0,95	0,98	0,97	0,97	0,99	0,98	0,97	0,99
$\alpha=1,00$	r=2,4	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	r=2,9	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
	r=3,4	0,96	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99	1,00	1,00
	r=3,9	0,95	0,95	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00



*EK Tablo 3. Durum III için  $\varepsilon$  katsayıları*

	$\phi=24^\circ$			$\phi=28^\circ$			$\phi=32^\circ$			$\phi=36^\circ$			$\phi=40^\circ$			
	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_c$	
$\alpha=0,00$	$r=2,4$	1,03	0,86	1,01	1,03	0,85	1,01	1,02	0,85	1,01	1,02	0,85	1,01	1,02	0,84	1,01
	$r=2,9$	1,05	0,77	1,02	1,05	0,76	1,02	1,05	0,75	1,03	1,05	0,75	1,03	1,05	0,74	1,02
	$r=3,4$	1,08	0,70	1,03	1,08	0,69	1,03	1,07	0,68	1,04	1,07	0,68	1,04	1,07	0,67	1,03
	$r=3,9$	1,11	0,66	1,04	1,10	0,64	1,05	1,09	0,63	1,05	1,09	0,63	1,05	1,09	0,62	1,04
$\alpha=0,25$	$r=2,4$	1,09	1,01	1,06	1,09	1,00	1,06	1,08	0,99	1,05	1,08	0,99	1,04	1,08	0,98	1,04
	$r=2,9$	1,18	1,04	1,12	1,17	1,02	1,12	1,16	1,00	1,10	1,16	0,98	1,09	1,15	0,97	1,08
	$r=3,4$	1,26	1,07	1,19	1,25	1,04	1,17	1,24	1,01	1,14	1,23	0,99	1,13	1,22	0,98	1,11
	$r=3,9$	1,34	1,11	1,27	1,32	1,07	1,22	1,31	1,03	1,18	1,29	1,00	1,16	1,28	0,98	1,14
$\alpha=0,50$	$r=2,4$	1,13	1,10	1,13	1,12	1,08	1,12	1,12	1,07	1,08	1,11	1,06	1,07	1,11	1,04	1,06
	$r=2,9$	1,25	1,21	1,25	1,24	1,17	1,23	1,22	1,14	1,16	1,21	1,11	1,13	1,20	1,09	1,11
	$r=3,4$	1,37	1,33	1,37	1,35	1,26	1,34	1,33	1,21	1,23	1,31	1,17	1,19	1,29	1,13	1,17
	$r=3,9$	1,48	1,44	1,50	1,45	1,36	1,42	1,43	1,28	1,30	1,40	1,23	1,24	1,38	1,18	1,21
$\alpha=0,75$	$r=2,4$	1,16	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	1,14	1,12	1,10	1,13	1,10	1,09	1,12	1,08	1,07
	$r=2,9$	1,30	1,35	1,31	1,28	1,29	1,27	1,27	1,24	1,22	1,25	1,19	1,16	1,18	1,12	1,10
	$r=3,4$	1,45	1,54	1,46	1,42	1,44	1,40	1,39	1,36	1,34	1,36	1,29	1,24	1,34	1,23	1,20
	$r=3,9$	1,59	1,74	1,61	1,55	1,60	1,54	1,51	1,48	1,46	1,48	1,39	1,32	1,45	1,31	1,26
$\alpha=1,00$	$r=2,4$	1,18	1,23	1,19	1,16	1,19	1,16	1,15	1,16	1,14	1,14	1,13	1,10	1,13	1,10	1,08
	$r=2,9$	1,35	1,48	1,37	1,32	1,39	1,34	1,30	1,31	1,27	1,28	1,25	1,19	1,19	1,16	1,11
	$r=3,4$	1,52	1,74	1,57	1,48	1,60	1,50	1,44	1,48	1,43	1,41	1,38	1,29	1,38	1,30	1,23
	$r=3,9$	1,69	2,03	1,75	1,63	1,82	1,66	1,58	1,65	1,58	1,54	1,51	1,38	1,50	1,40	1,29

**EK Tablo 4.**  $r=1,9$  için 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılacak LSN tipi konsol palplanş duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına ve YASS'nin konumuna bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum I).

$\phi$ (°)	H (m)	Durum I														
		$\alpha=0,00$			$\alpha=0,25$			$\alpha=0,50$			$\alpha=0,75$			$\alpha=1,00$		
		L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	12,85	LSN 23	2462,71	11,80	LSN 22	2036,09	10,85	LSN 22	1872,17	10,05	LSN 22	1734,13	9,45	LSN 22	1630,60
	3,60	15,35	LSN 25	3394,19	14,05	LSN 23	2692,68	12,90	LSN 23	2472,29	11,95	LSN 22	2061,97	11,20	LSN 22	1932,56
	4,20	17,80	LSN VI	4800,31	16,30	LSN 25	3604,26	14,95	LSN 24	3037,99	13,85	LSN 23	2654,35	12,95	LSN 23	2481,87
	4,80	-	-	-	18,55	LSN VII	5217,19	17,00	LSN 25	3759,04	15,70	LSN 24	3190,40	14,75	LSN 23	2826,84
	5,40	-	-	-	-	-	-	19,05	LSN VII	5357,81	17,60	LSN VI	4746,37	16,50	LSN 25	3648,48
	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,50	LSN VII	5484,38	18,30	LSN VI	4935,15
28	3,00	10,50	LSN 22	1811,78	9,65	LSN 22	1665,11	8,90	LSN 22	1535,70	8,30	LSN 22	1432,17	7,85	LSN 22	1354,52
	3,60	12,55	LSN 23	2405,21	11,50	LSN 23	2203,98	10,60	LSN 22	1829,03	9,90	LSN 22	1708,25	9,35	LSN 22	1613,34
	4,20	14,55	LSN 25	3217,30	13,35	LSN 23	2558,53	12,30	LSN 23	2357,30	11,45	LSN 22	1975,70	10,85	LSN 22	1872,17
	4,80	16,60	LSN VI	4476,69	15,20	LSN 25	3361,02	14,00	LSN 24	2844,94	13,05	LSN 23	2501,03	12,35	LSN 23	2366,88
	5,40	-	-	-	17,05	LSN VI	4598,05	15,70	LSN 25	3471,58	14,60	LSN 24	2966,87	13,85	LSN 23	2654,35
	6,00	-	-	-	-	-	-	17,40	LSN VI	4692,43	16,20	LSN 25	3582,15	15,35	LSN 25	3394,19
32	3,00	8,90	LSN 22	1535,70	8,20	LSN 22	1414,91	7,60	LSN 22	1311,38	7,10	LSN 22	1225,11	6,80	LSN 22	1173,34
	3,60	10,60	LSN 23	2031,49	9,75	LSN 22	1682,36	9,05	LSN 22	1561,58	8,50	LSN 22	1466,68	8,10	LSN 22	1397,66
	4,20	12,35	LSN 24	2509,64	11,35	LSN 23	2175,23	10,50	LSN 22	1811,78	9,85	LSN 22	1699,62	9,40	LSN 22	1621,97
	4,80	14,05	LSN VI	3789,01	12,95	LSN 24	2631,57	11,95	LSN 23	2290,22	11,20	LSN 22	1932,56	10,70	LSN 22	1846,29
	5,40	15,80	LSN VII	4443,75	14,50	LSN 25	3206,24	13,45	LSN 24	2733,18	12,60	LSN 23	2414,79	12,00	LSN 23	2299,8
	6,00	-	-	-	16,10	LSN VI	4341,85	14,90	LSN 25	3294,69	13,95	LSN 24	2834,78	13,35	LSN 23	2558,53
36	3,00	8,00	LSN 22	1380,40	7,30	LSN 22	1259,62	6,75	LSN 22	1164,71	6,35	LSN 22	1095,69	6,10	LSN 22	1052,56
	3,60	9,55	LSN 22	1647,85	8,75	LSN 22	1509,81	8,10	LSN 22	1397,66	7,55	LSN 22	1302,75	7,25	LSN 22	1250,99
	4,20	11,10	LSN 23	2127,32	10,20	LSN 22	1760,01	9,40	LSN 22	1621,97	8,80	LSN 22	1518,44	8,45	LSN 22	1458,05
	4,80	12,70	LSN 25	2808,23	11,60	LSN 23	2223,14	10,70	LSN 22	1846,29	10,00	LSN 22	1725,50	9,60	LSN 22	1656,48
	5,40	14,25	LSN VI	3842,94	13,05	LSN 24	2651,89	12,00	LSN 23	2299,8	11,25	LSN 22	1941,19	10,75	LSN 22	1854,91
	6,00	15,80	LSN VII	4443,75	14,45	LSN VI	3896,88	13,30	LSN 24	2702,69	12,45	LSN 23	2386,04	11,95	LSN 23	2290,18
40	3,00	7,15	LSN 22	1233,73	6,55	LSN 22	1130,20	6,05	LSN 22	1043,93	5,70	LSN 22	983,54	5,50	LSN 22	949,03
	3,60	8,55	LSN 22	1475,30	7,85	LSN 22	1354,52	7,25	LSN 22	1250,99	6,80	LSN 22	1173,34	6,55	LSN 22	1130,20
	4,20	9,95	LSN 23	1906,92	9,10	LSN 22	1570,21	8,40	LSN 22	1449,42	7,90	LSN 22	1363,15	7,65	LSN 22	1320,01
	4,80	11,35	LSN 24	2306,43	10,40	LSN 23	1993,16	9,60	LSN 22	1656,48	9,05	LSN 22	1561,58	8,70	LSN 22	1501,19
	5,40	12,75	LSN 25	2819,28	11,70	LSN 23	2242,31	10,80	LSN 22	1863,54	10,15	LSN 22	1751,38	9,75	LSN 22	1682,36
	6,00	14,15	LSN VI	3815,97	12,95	LSN 25	2863,51	11,95	LSN 23	2290,22	11,25	LSN 22	1941,19	10,80	LSN 22	1863,54

**EK Tablo 5.**  $r=2,4$  için 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılabilir LSN tipi konsol palplanş duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına ve YASS'nin konumuna bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum I).

$\emptyset$ (°)	H (m)	Durum I														
		$\alpha=0,00$			$\alpha=0,25$			$\alpha=0,50$			$\alpha=0,75$			$\alpha=1,00$		
		L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	12,30	LSN 23	2357,30	11,35	LSN 22	1958,44	10,50	LSN 22	1811,78	9,80	LSN 22	1690,99	9,30	LSN 22	1604,72
	3,60	14,65	LSN 24	2977,03	13,50	LSN 23	2587,28	12,50	LSN 23	2395,63	11,65	LSN 22	2010,21	11,05	LSN 22	1906,68
	4,20	17,00	LSN VI	4584,56	15,70	LSN 25	3471,59	14,50	LSN 23	2778,93	13,50	LSN 23	2587,28	12,80	LSN 23	2453,12
	4,80	-	-	-	17,85	LSN VI	4813,79	16,50	LSN 25	3648,48	15,40	LSN 24	3129,43	14,55	LSN 23	2788,51
	5,40	-	-	-	-	-	-	18,50	LSN VI	4989,08	17,25	LSN VI	4651,98	16,30	LSN 25	3604,26
	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,10	LSN VII	5371,88	18,05	LSN VI	4867,72
28	3,00	10,15	LSN 22	1751,38	9,40	LSN 22	1621,97	8,70	LSN 22	1501,19	8,20	LSN 22	1414,91	7,80	LSN 22	1345,89
	3,60	12,10	LSN 23	2318,97	11,20	LSN 22	1932,56	10,35	LSN 22	1785,89	9,75	LSN 22	1682,36	9,30	LSN 22	1604,72
	4,20	14,05	LSN 25	3106,74	13,00	LSN 23	2491,45	12,05	LSN 23	2309,38	11,30	LSN 22	1949,82	10,75	LSN 22	1854,91
	4,80	16,05	LSN VI	4328,37	14,80	LSN 25	3272,58	13,70	LSN 24	2783,98	12,85	LSN 23	2462,70	12,25	LSN 23	2347,71
	5,40	-	-	-	16,60	LSN VI	4476,69	15,35	LSN 25	3394,19	14,40	LSN 24	2926,22	13,75	LSN 23	2635,19
	6,00	-	-	-	-	-	-	17,05	LSN VI	4598,04	15,95	LSN 25	3526,86	15,20	LSN 25	3361,02
32	3,00	8,65	LSN 22	1492,56	8,00	LSN 22	1380,40	7,45	LSN 22	1285,50	7,05	LSN 22	1216,48	6,75	LSN 22	1164,71
	3,60	10,35	LSN 23	1983,58	9,55	LSN 22	1647,85	8,90	LSN 22	1535,70	8,40	LSN 22	1449,42	8,05	LSN 22	1389,03
	4,20	12,05	LSN 23	2309,38	11,10	LSN 23	2127,32	10,35	LSN 22	1785,89	9,75	LSN 22	1682,36	9,35	LSN 22	1613,34
	4,80	13,70	LSN 25	3029,36	12,65	LSN 24	2570,61	11,80	LSN 23	2261,47	11,10	LSN 22	1915,31	10,65	LSN 22	1837,66
	5,40	15,40	LSN VI	4153,07	14,20	LSN 25	3139,90	13,20	LSN 24	2682,37	12,45	LSN 23	2386,04	11,95	LSN 23	2290,22
	6,00	-	-	-	15,75	LSN VI	4247,46	14,65	LSN 25	3239,41	13,80	LSN 24	2804,30	13,25	LSN 23	2539,36
36	3,00	7,85	LSN 22	1354,52	7,20	LSN 22	1242,36	6,70	LSN 22	1156,09	6,30	LSN 22	1087,07	6,05	LSN 22	1043,93
	3,60	9,35	LSN 22	1613,34	8,60	LSN 22	1483,93	8,00	LSN 22	1380,40	7,50	LSN 22	1294,13	7,25	LSN 22	1250,99
	4,20	10,90	LSN 23	2088,99	10,00	LSN 22	1725,50	9,30	LSN 22	1604,72	8,75	LSN 22	1509,81	8,40	LSN 22	1449,42
	4,80	12,45	LSN 24	2529,97	11,40	LSN 23	2184,21	10,60	LSN 22	1829,03	9,95	LSN 22	1716,87	9,55	LSN 22	1647,85
	5,40	13,95	LSN VI	3762,04	12,80	LSN 24	2601,09	11,85	LSN 23	2271,05	11,15	LSN 22	1923,93	10,75	LSN 22	1854,91
	6,00	15,50	LSN VII	4359,38	14,20	LSN VI	3829,46	13,15	LSN 24	2672,21	12,40	LSN 23	2376,46	11,90	LSN 23	2280,64
40	3,00	7,05	LSN 22	1216,48	6,45	LSN 22	1112,95	6,00	LSN 22	1035,30	5,70	LSN 22	983,54	5,50	LSN 22	949,03
	3,60	8,40	LSN 22	1449,42	7,75	LSN 22	1337,26	7,20	LSN 22	1242,36	6,80	LSN 22	1173,34	6,55	LSN 22	1130,20
	4,20	9,80	LSN 23	1878,17	9,00	LSN 22	1552,95	8,35	LSN 22	1440,79	7,90	LSN 22	1363,15	7,60	LSN 22	1311,38
	4,80	11,20	LSN 24	2275,95	10,25	LSN 23	1964,41	9,50	LSN 22	1639,23	9,00	LSN 22	1552,95	8,65	LSN 22	1492,56
	5,40	12,55	LSN 25	2775,06	11,55	LSN 23	2213,56	10,70	LSN 22	1846,29	10,10	LSN 22	1742,76	9,75	LSN 22	1682,36
	6,00	13,95	LSN VI	3762,04	12,80	LSN 25	2830,34	11,85	LSN 23	2271,05	11,20	LSN 22	1932,56	10,80	LSN 22	1863,54

**EK Tablo 6.**  $r=2,9$  için 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılabilir LSN tipi konsol palplanş duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına ve YASS'nin konumuna bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum I).

$\emptyset$ (°)	H (m)	Durum I														
		$\alpha=0,00$			$\alpha=0,25$			$\alpha=0,50$			$\alpha=0,75$			$\alpha=1,00$		
		L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	11,90	LSN 23	2280,64	11,05	LSN 22	1906,68	10,30	LSN 22	1777,27	9,70	LSN 22	1673,74	9,20	LSN 22	1587,46
	3,60	14,20	LSN 24	2885,58	13,15	LSN 23	2520,20	12,25	LSN 22	2113,74	11,50	LSN 22	1984,33	10,95	LSN 22	1889,42
	4,20	16,50	LSN VI	4449,72	15,30	LSN 24	3109,11	14,20	LSN 23	2721,43	13,35	LSN 23	2558,53	12,70	LSN 23	2433,96
	4,80	18,80	LSN VII	5287,50	17,40	LSN VI	4692,43	16,15	LSN 25	3571,09	15,15	LSN 24	3078,63	14,40	LSN 23	2759,76
	5,40	-	-	-	-	-	-	18,15	LSN VI	4894,69	17,00	LSN VI	4584,56	16,15	LSN 25	3571,09
	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,85	LSN VI	5083,47	17,90	LSN VI	4827,27
28	3,00	9,90	LSN 22	1708,25	9,20	LSN 22	1587,46	8,60	LSN 22	1483,93	8,10	LSN 22	1397,66	7,75	LSN 22	1337,26
	3,60	11,80	LSN 23	2261,47	10,95	LSN 22	1889,42	10,25	LSN 22	1768,64	9,65	LSN 22	1665,11	9,25	LSN 22	1596,09
	4,20	13,75	LSN 24	2794,14	12,75	LSN 23	2443,54	11,90	LSN 23	2280,64	11,20	LSN 22	1932,56	10,70	LSN 22	1846,29
	4,80	15,65	LSN VI	4220,49	14,50	LSN 25	3206,24	13,50	LSN 23	2587,28	12,75	LSN 23	2443,54	12,20	LSN 23	2338,13
	5,40	-	-	-	16,30	LSN VI	4395,78	15,15	LSN 25	3349,97	14,30	LSN 24	2905,90	13,65	LSN 23	2616,02
	6,00	-	-	-	18,05	LSN VII	5076,56	16,80	LSN VI	4530,62	15,85	LSN 25	3504,75	15,15	LSN 25	3349,97
32	3,00	8,50	LSN 22	1466,68	7,90	LSN 22	1363,15	7,40	LSN 22	1276,87	7,00	LSN 22	1207,85	6,75	LSN 22	1164,71
	3,60	10,15	LSN 22	1751,38	9,45	LSN 22	1630,60	8,80	LSN 22	1518,44	8,35	LSN 22	1440,79	8,05	LSN 22	1389,03
	4,20	11,80	LSN 23	2261,47	10,95	LSN 23	2098,57	10,25	LSN 22	1768,64	9,70	LSN 22	1673,74	9,35	LSN 22	1613,34
	4,80	13,45	LSN 25	2974,06	12,50	LSN 23	2395,63	11,65	LSN 23	2232,72	11,05	LSN 22	1906,68	10,65	LSN 22	1837,66
	5,40	15,10	LSN VI	4072,17	14,00	LSN 25	3095,68	13,10	LSN 24	2662,05	12,40	LSN 23	2376,46	11,95	LSN 23	2290,22
	6,00	-	-	-	15,55	LSN VI	4193,52	14,50	LSN 25	3206,24	13,75	LSN 24	2794,14	13,25	LSN 23	2539,36
36	3,00	7,70	LSN 22	1328,64	7,15	LSN 22	1233,73	6,65	LSN 22	1147,46	6,30	LSN 22	1087,07	6,05	LSN 22	1043,93
	3,60	9,25	LSN 22	1596,09	8,50	LSN 22	1466,68	7,95	LSN 22	1371,77	7,50	LSN 22	1294,13	7,20	LSN 22	1242,36
	4,20	10,75	LSN 23	2060,24	9,90	LSN 22	1708,25	9,20	LSN 22	1587,46	8,70	LSN 22	1501,19	8,40	LSN 22	1449,42
	4,80	12,25	LSN 24	2489,32	11,30	LSN 23	2165,65	10,50	LSN 22	1811,78	9,90	LSN 22	1708,25	9,55	LSN 22	1647,85
	5,40	13,75	LSN VI	3708,10	12,70	LSN 24	2580,77	11,80	LSN 23	2261,47	11,15	LSN 22	1923,93	10,70	LSN 22	1846,29
	6,00	15,30	LSN VII	4303,13	14,10	LSN 25	3117,79	13,10	LSN 24	2662,05	12,35	LSN 23	2366,88	11,90	LSN 23	2280,64
40	3,00	6,95	LSN 22	1199,22	6,40	LSN 22	1104,32	6,00	LSN 22	1035,30	5,65	LSN 22	974,91	5,50	LSN 22	949,03
	3,60	8,30	LSN 22	1432,17	7,70	LSN 22	1328,64	7,15	LSN 22	1233,73	6,75	LSN 22	1164,71	6,55	LSN 22	1130,20
	4,20	9,70	LSN 23	1859,01	8,95	LSN 22	1544,32	8,30	LSN 22	1432,17	7,85	LSN 22	1354,52	7,60	LSN 22	1311,38
	4,80	11,05	LSN 23	2117,73	10,20	LSN 23	1954,83	9,45	LSN 22	1630,60	8,95	LSN 22	1544,32	8,65	LSN 22	1492,56
	5,40	12,40	LSN 25	2741,89	11,45	LSN 23	2194,39	10,65	LSN 22	1837,66	10,05	LSN 22	1734,13	9,70	LSN 22	1673,74
	6,00	13,80	LSN VI	3721,58	12,70	LSN 24	2580,77	11,80	LSN 23	2261,47	11,15	LSN 22	1923,93	10,80	LSN 22	1863,54

**EK Tablo 7.**  $r=3,4$  için 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılabilir LSN tipi konsol palplanş duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına ve YASS'nin konumuna bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum I).

$\emptyset$ (°)	H (m)	Durum I														
		$\alpha=0,00$			$\alpha=0,25$			$\alpha=0,50$			$\alpha=0,75$			$\alpha=1,00$		
		L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	11,65	LSN 22	2010,21	10,85	LSN 22	1872,17	10,15	LSN 22	1751,38	9,60	LSN 22	1656,48	9,15	LSN 22	1578,83
	3,60	13,90	LSN 24	2824,62	12,95	LSN 23	2481,87	12,10	LSN 22	2087,86	11,40	LSN 22	1967,07	10,90	LSN 22	1880,80
	4,20	16,15	LSN VI	4355,33	15,00	LSN 24	3048,15	14,05	LSN 23	2692,68	13,20	LSN 23	2529,78	12,60	LSN 23	2414,79
	4,80	18,40	LSN VII	5175,00	17,10	LSN VI	4611,53	15,95	LSN 25	3526,86	15,05	LSN 24	3058,31	14,35	LSN 23	2750,18
	5,40	-	-	-	19,15	LSN VII	5385,94	17,90	LSN VI	4827,27	16,85	LSN 25	3725,87	16,05	LSN 25	3548,98
	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,65	LSN VI	5029,53	17,80	LSN VI	4800,30
28	3,00	9,75	LSN 22	1682,36	9,10	LSN 22	1570,21	8,50	LSN 22	1466,68	8,05	LSN 22	1389,03	7,75	LSN 22	1337,26
	3,60	11,65	LSN 23	2232,72	10,85	LSN 22	1872,17	10,15	LSN 22	1751,38	9,60	LSN 22	1656,48	9,20	LSN 22	1587,46
	4,20	13,50	LSN 24	2743,34	12,55	LSN 23	2405,21	11,75	LSN 23	2251,89	11,15	LSN 22	1923,93	10,70	LSN 22	1846,29
	4,80	15,40	LSN VI	4153,07	14,30	LSN 24	2905,90	13,40	LSN 23	2568,11	12,65	LSN 23	2424,37	12,15	LSN 23	2328,55
	5,40	17,30	LSN VII	4865,63	16,05	LSN VI	4328,36	15,05	LSN 25	3327,86	14,20	LSN 24	2885,58	13,65	LSN 23	2616,02
	6,00	-	-	-	17,80	LSN VII	5006,25	16,65	LSN VI	4490,17	15,75	LSN 25	3482,64	15,10	LSN 25	3338,91
32	3,00	8,40	LSN 22	1449,42	7,80	LSN 22	1345,89	7,35	LSN 22	1268,24	7,00	LSN 22	1207,85	6,75	LSN 22	1164,71
	3,60	10,05	LSN 22	1734,13	9,35	LSN 22	1613,34	8,75	LSN 22	1509,81	8,35	LSN 22	1440,79	8,05	LSN 22	1389,03
	4,20	11,65	LSN 23	2232,72	10,85	LSN 23	2079,40	10,20	LSN 22	1760,01	9,65	LSN 22	1665,11	9,35	LSN 22	1613,34
	4,80	13,30	LSN 25	2940,90	12,35	LSN 23	2366,88	11,60	LSN 23	2223,14	11,00	LSN 22	1898,05	10,60	LSN 22	1829,03
	5,40	14,95	LSN VI	4031,72	13,90	LSN 25	3073,57	13,00	LSN 23	2491,45	12,35	LSN 23	2366,88	11,90	LSN 23	2280,64
	6,00	-	-	-	15,40	LSN VI	4153,07	14,45	LSN 25	3195,18	13,70	LSN 24	2783,98	13,20	LSN 23	2529,78
36	3,00	7,65	LSN 22	1320,01	7,10	LSN 22	1225,11	6,60	LSN 22	1138,83	6,25	LSN 22	1078,44	6,05	LSN 22	1043,93
	3,60	9,15	LSN 22	1578,83	8,45	LSN 22	1458,05	7,90	LSN 22	1363,15	7,45	LSN 22	1285,50	7,20	LSN 22	1242,36
	4,20	10,65	LSN 23	2041,07	9,85	LSN 22	1699,62	9,15	LSN 22	1578,83	8,70	LSN 22	1501,19	8,35	LSN 22	1440,79
	4,80	12,15	LSN 24	2469,00	11,20	LSN 23	2146,48	10,45	LSN 22	1803,15	9,90	LSN 22	1708,25	9,55	LSN 22	1647,85
	5,40	13,65	LSN VI	3681,13	12,60	LSN 24	2560,45	11,75	LSN 23	2251,89	11,10	LSN 22	1915,31	10,70	LSN 22	1846,29
	6,00	15,15	LSN VII	4260,94	14,00	LSN 25	3095,68	13,00	LSN 24	2641,73	12,30	LSN 23	2357,30	11,85	LSN 23	2271,05
40	3,00	6,90	LSN 22	1190,60	6,40	LSN 22	1104,32	5,95	LSN 22	1026,67	5,65	LSN 22	974,91	5,50	LSN 22	949,03
	3,60	8,25	LSN 22	1423,54	7,65	LSN 22	1320,01	7,10	LSN 22	1225,11	6,75	LSN 22	1164,71	6,55	LSN 22	1130,20
	4,20	9,60	LSN 23	1839,84	8,90	LSN 22	1535,70	8,30	LSN 22	1432,17	7,85	LSN 22	1354,52	7,60	LSN 22	1311,38
	4,80	11,00	LSN 23	2108,15	10,15	LSN 22	1751,38	9,45	LSN 22	1630,60	8,95	LSN 22	1544,32	8,65	LSN 22	1492,56
	5,40	12,35	LSN 25	2730,83	11,40	LSN 23	2184,81	10,60	LSN 22	1829,03	10,05	LSN 22	1734,13	9,70	LSN 22	1673,74
	6,00	13,70	LSN VI	3694,62	12,65	LSN 24	2570,61	11,75	LSN 23	2251,89	11,15	LSN 22	1923,93	10,80	LSN 22	1863,54

**EK Tablo 8.**  $r=3,9$  için 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılabilir LSN tipi konsol palplanş duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına ve YASS'nin konumuna bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum I).

$\emptyset$ (°)	H (m)	Durum I														
		$\alpha=0,00$			$\alpha=0,25$			$\alpha=0,50$			$\alpha=0,75$			$\alpha=1,00$		
		L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	11,50	LSN 22	1984,33	10,70	LSN 22	1846,29	10,05	LSN 22	1734,13	9,55	LSN 22	1647,85	9,10	LSN 22	1570,21
	3,60	13,70	LSN 23	2625,61	12,75	LSN 23	2443,54	12,00	LSN 22	2070,60	11,35	LSN 22	1958,44	10,85	LSN 22	1872,17
	4,20	15,90	LSN 25	3515,81	14,80	LSN 24	3007,51	13,90	LSN 23	2663,94	13,15	LSN 23	2520,20	12,55	LSN 23	2405,21
	4,80	18,10	LSN VII	5090,63	16,85	LSN VI	4544,11	15,80	LSN 25	3493,70	14,95	LSN 24	3037,99	14,25	LSN 23	2731,01
	5,40	-	-	-	18,90	LSN VII	5315,63	17,70	LSN VI	4773,34	16,75	LSN 25	3703,76	16,00	LSN 25	3537,92
	6,00	-	-	-	-	-	-	19,60	LSN VII	5512,50	18,50	LSN VI	4989,08	17,70	LSN VI	4773,34
28	3,00	9,65	LSN 22	1665,11	9,00	LSN 22	1552,95	8,45	LSN 22	1458,05	8,05	LSN 22	1389,03	7,70	LSN 22	1328,64
	3,60	11,50	LSN 23	2203,98	10,75	LSN 22	1854,91	10,05	LSN 22	1734,13	9,55	LSN 22	1647,85	9,20	LSN 22	1587,46
	4,20	13,35	LSN 24	2712,85	12,45	LSN 23	2386,04	11,70	LSN 23	2242,31	11,10	LSN 22	1915,31	10,65	LSN 22	1837,66
	4,80	15,25	LSN VI	4112,62	14,20	LSN 24	2885,58	13,30	LSN 23	2548,95	12,60	LSN 23	2414,79	12,15	LSN 23	2328,55
	5,40	17,10	LSN VII	4809,38	15,90	LSN VI	4287,91	14,90	LSN 25	3294,69	14,15	LSN 24	2875,42	13,60	LSN 23	2606,44
	6,00	-	-	-	17,65	LSN VII	4964,06	16,55	LSN VI	4463,20	15,65	LSN 25	3460,53	15,05	LSN 25	3327,86
32	3,00	8,30	LSN 22	1432,17	7,75	LSN 22	1337,26	7,30	LSN 22	1259,62	6,95	LSN 22	1199,22	6,75	LSN 22	1164,71
	3,60	9,95	LSN 22	1716,87	9,25	LSN 22	1596,09	8,70	LSN 22	1501,19	8,30	LSN 22	1432,17	8,05	LSN 22	1389,03
	4,20	11,55	LSN 23	2213,56	10,80	LSN 22	1863,54	10,15	LSN 22	1751,38	9,65	LSN 22	1665,11	9,30	LSN 22	1604,72
	4,80	13,20	LSN 25	2918,78	12,30	LSN 23	2357,30	11,55	LSN 23	2213,56	11,00	LSN 22	1898,05	10,60	LSN 22	1829,03
	5,40	14,80	LSN VI	3991,26	13,80	LSN 25	3051,46	12,95	LSN 23	2481,87	12,30	LSN 23	2357,30	11,90	LSN 23	2280,64
	6,00	16,40	LSN VII	4612,50	15,30	LSN VI	4126,10	14,35	LSN 25	3173,07	13,65	LSN 24	2773,82	13,20	LSN 23	2529,78
36	3,00	7,60	LSN 22	1311,38	7,05	LSN 22	1216,48	6,60	LSN 22	1138,83	6,25	LSN 22	1078,44	6,05	LSN 22	1043,93
	3,60	9,10	LSN 22	1570,21	8,40	LSN 22	1449,42	7,85	LSN 22	1354,52	7,45	LSN 22	1285,50	7,20	LSN 22	1242,36
	4,20	10,55	LSN 23	2021,91	9,80	LSN 22	1690,99	9,15	LSN 22	1578,83	8,65	LSN 22	1492,56	8,35	LSN 22	1440,79
	4,80	12,05	LSN 24	2448,68	11,15	LSN 23	2136,90	10,40	LSN 22	1794,52	9,85	LSN 22	1699,62	9,55	LSN 22	1647,85
	5,40	13,55	LSN VI	3654,16	12,55	LSN 24	2550,29	11,70	LSN 23	2242,31	11,10	LSN 22	1915,31	10,70	LSN 22	1846,29
	6,00	15,05	LSN VII	4232,81	13,90	LSN 25	3073,57	12,95	LSN 24	2631,57	12,30	LSN 23	2357,30	11,85	LSN 23	2271,05
40	3,00	6,85	LSN 22	1181,97	6,35	LSN 22	1095,69	5,95	LSN 22	1026,67	5,65	LSN 22	974,91	5,45	LSN 22	940,40
	3,60	8,20	LSN 22	1414,91	7,60	LSN 22	1311,38	7,10	LSN 22	1225,11	6,75	LSN 22	1164,71	6,55	LSN 22	1130,20
	4,20	9,55	LSN 22	1647,85	8,85	LSN 22	1527,07	8,25	LSN 22	1423,54	7,85	LSN 22	1354,52	7,60	LSN 22	1311,38
	4,80	10,90	LSN 23	2088,99	10,10	LSN 22	1742,76	9,40	LSN 22	1621,97	8,95	LSN 22	1544,32	8,65	LSN 22	1492,56
	5,40	12,25	LSN 25	2708,72	11,35	LSN 23	2175,23	10,55	LSN 22	1820,40	10,05	LSN 22	1734,13	9,70	LSN 22	1673,74
	6,00	13,60	LSN VI	3667,65	12,60	LSN 24	2560,45	11,75	LSN 23	2251,89	11,10	LSN 22	1915,31	10,75	LSN 22	1854,91

**EK Tablo 9.**  $r=1,9$  için 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılabilir LSN tipi konsol palplanş duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına ve YASS'nin konumuna bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum III).

$\emptyset$ ( $e$ )	H (m)	Durum III														
		$\alpha=0,00$			$\alpha=0,25$			$\alpha=0,50$			$\alpha=0,75$			$\alpha=1,00$		
		L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	9,45	LSN 22	1630,60	10,35	LSN 22	1785,89	11,05	LSN 22	1906,68	11,60	LSN 22	2001,58	12,00	LSN 22	2070,60
	3,60	11,15	LSN 22	1923,93	12,25	LSN 22	2113,74	13,10	LSN 22	2260,41	13,75	LSN 22	2372,56	14,30	LSN 22	2467,47
	4,20	12,85	LSN 22	2217,27	14,15	LSN 22	2441,58	15,15	LSN 23	2903,50	15,90	LSN 23	3047,24	16,50	LSN 23	3162,23
	4,80	14,55	LSN 22	2510,60	16,05	LSN 23	3075,98	17,20	LSN 23	3296,38	18,05	LSN 24	3667,94	18,75	LSN 25	4146,00
	5,40	16,25	LSN 23	3114,31	17,95	LSN 24	3647,62	19,20	LSN 25	4245,51	20,20	LSN VI	5447,54	21,00	LSN VI	5663,28
	6,00	17,90	LSN 23	3430,54	19,85	LSN 25	4389,23	21,25	LSN VI	5730,70	22,40	LSN VII	6300,00	23,25	LSN VII	6539,06
28	3,00	8,10	LSN 22	1397,66	8,80	LSN 22	1518,44	9,30	LSN 22	1604,72	9,70	LSN 22	1673,74	9,95	LSN 22	1716,87
	3,60	9,55	LSN 22	1647,85	10,40	LSN 22	1794,52	11,05	LSN 22	1906,68	11,50	LSN 22	1984,33	11,85	LSN 22	2044,72
	4,20	11,05	LSN 22	1906,68	12,05	LSN 22	2079,23	12,80	LSN 22	2208,64	13,30	LSN 22	2294,92	13,75	LSN 22	2372,56
	4,80	12,50	LSN 22	2156,88	13,70	LSN 22	2363,94	14,50	LSN 23	2778,93	15,15	LSN 23	2903,50	15,60	LSN 23	2989,74
	5,40	14,00	LSN 22	2415,70	15,30	LSN 23	2932,25	16,25	LSN 23	3114,31	16,95	LSN 24	3444,41	17,50	LSN 24	3556,18
	6,00	15,45	LSN 23	2960,99	16,95	LSN 24	3444,41	18,00	LSN 25	3980,16	18,80	LSN VI	5069,98	19,35	LSN VI	5218,31
32	3,00	7,05	LSN 22	1216,48	7,65	LSN 22	1320,01	8,00	LSN 22	1380,40	8,30	LSN 22	1432,17	8,50	LSN 22	1466,68
	3,60	8,40	LSN 22	1449,42	9,05	LSN 22	1561,58	9,55	LSN 22	1647,85	9,85	LSN 22	1699,62	10,10	LSN 22	1742,76
	4,20	9,70	LSN 22	1673,74	10,50	LSN 22	1811,78	11,05	LSN 22	1906,68	11,45	LSN 22	1975,70	11,70	LSN 22	2018,84
	4,80	11,00	LSN 22	1898,05	11,95	LSN 22	2061,97	12,55	LSN 22	2165,50	13,00	LSN 22	2243,15	13,30	LSN 23	2548,95
	5,40	12,30	LSN 22	2122,37	13,35	LSN 22	2303,54	14,10	LSN 23	2702,27	14,60	LSN 23	2798,09	14,90	LSN 23	2855,59
	6,00	13,60	LSN 22	2346,68	14,80	LSN 23	2836,42	15,60	LSN 24	3170,08	16,15	LSN 24	3281,84	16,50	LSN 24	3352,97
36	3,00	6,35	LSN 22	1095,69	6,80	LSN 22	1173,34	7,05	LSN 22	1216,48	7,25	LSN 22	1250,99	7,40	LSN 22	1276,87
	3,60	7,50	LSN 22	1294,13	8,05	LSN 22	1389,03	8,40	LSN 22	1449,42	8,65	LSN 22	1492,56	8,80	LSN 22	1518,44
	4,20	8,70	LSN 22	1501,19	9,35	LSN 22	1613,34	9,75	LSN 22	1682,36	10,00	LSN 22	1725,50	10,20	LSN 22	1760,01
	4,80	9,90	LSN 22	1708,25	10,60	LSN 22	1829,03	11,10	LSN 22	1915,31	11,40	LSN 22	1967,07	11,60	LSN 22	2001,58
	5,40	11,05	LSN 22	1906,68	11,90	LSN 22	2053,35	12,45	LSN 22	2148,25	12,80	LSN 22	2208,64	13,05	LSN 23	2501,03
	6,00	12,25	LSN 22	2113,74	13,20	LSN 22	2277,66	13,80	LSN 23	2644,77	14,20	LSN 23	2721,43	14,45	LSN 23	2769,34
40	3,00	5,70	LSN 22	983,54	6,10	LSN 22	1052,56	6,30	LSN 22	1087,07	6,45	LSN 22	1112,95	6,50	LSN 22	1121,58
	3,60	6,80	LSN 22	1173,34	7,25	LSN 22	1250,99	7,50	LSN 22	1294,13	7,70	LSN 22	1328,64	7,80	LSN 22	1345,89
	4,20	7,90	LSN 22	1363,15	8,40	LSN 22	1449,42	8,70	LSN 22	1501,19	8,90	LSN 22	1535,70	9,00	LSN 22	1552,95
	4,80	8,95	LSN 22	1544,32	9,55	LSN 22	1647,85	9,90	LSN 22	1708,25	10,15	LSN 22	1751,38	10,30	LSN 22	1777,27
	5,40	10,05	LSN 22	1734,13	10,70	LSN 22	1846,29	11,15	LSN 22	1923,93	11,40	LSN 22	1967,07	11,55	LSN 22	1992,95
	6,00	11,10	LSN 22	1915,31	11,85	LSN 22	2044,72	12,35	LSN 22	2130,99	12,60	LSN 22	2174,13	12,80	LSN 23	2453,12

**EK Tablo 10.**  $r=2,4$  için 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılacak LSN tipi konsol palplanş duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına ve YASS'nin konumuna bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum III).

$\emptyset$ ( $e$ )	H (m)	Durum III														
		$\alpha=0,00$			$\alpha=0,25$			$\alpha=0,50$			$\alpha=0,75$			$\alpha=1,00$		
		L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	9,65	LSN 22	1665,11	11,05	LSN 22	1906,68	12,05	LSN 22	2079,23	12,90	LSN 22	2225,90	13,60	LSN 22	2346,68
	3,60	11,35	LSN 22	1958,44	13,05	LSN 22	2251,78	14,30	LSN 22	2467,47	15,30	LSN 22	2640,02	16,15	LSN 23	3095,15
	4,20	13,05	LSN 22	2251,78	15,05	LSN 22	2596,88	16,50	LSN 23	3162,23	17,70	LSN 23	3392,21	18,70	LSN 24	3800,03
	4,80	14,75	LSN 22	2545,11	17,05	LSN 23	3267,63	18,75	LSN 24	3810,19	20,10	LSN 25	4444,51	21,20	LSN VI	5717,22
	5,40	16,45	LSN 22	2838,45	19,05	LSN 24	3871,15	20,95	LSN 25	4632,46	22,50	LSN VI	6067,80	23,75	LSN VII	6679,69
	6,00	18,15	LSN 23	3478,45	21,05	LSN 25	4654,58	23,15	LSN VI	6243,09	-	-I	-	-	-	-
28	3,00	8,25	LSN 22	1423,54	9,30	LSN 22	1604,72	10,05	LSN 22	1734,13	10,65	LSN 22	1837,66	11,10	LSN 22	1915,31
	3,60	9,75	LSN 22	1682,36	11,00	LSN 22	1898,05	11,95	LSN 22	2061,97	12,65	LSN 22	2182,76	13,20	LSN 22	2277,66
	4,20	11,20	LSN 22	1932,56	12,70	LSN 22	2191,39	13,80	LSN 22	2381,19	14,65	LSN 23	2807,67	15,30	LSN 23	2932,25
	4,80	12,70	LSN 22	2191,39	14,45	LSN 22	2493,35	15,70	LSN 23	3008,91	16,65	LSN 23	3190,97	17,35	LSN 24	3525,69
	5,40	14,15	LSN 22	2441,58	16,15	LSN 23	3095,15	17,55	LSN 24	3566,34	18,60	LSN 25	4112,83	19,45	LSN 25	4300,78
	6,00	15,65	LSN 22	2700,41	17,85	LSN 24	3627,30	19,45	LSN 25	4300,78	20,60	LSN VI	5555,41	21,55	LSN VI	5811,60
32	3,00	7,20	LSN 22	1242,36	8,00	LSN 22	1380,40	8,60	LSN 22	1483,93	9,00	LSN 22	1552,95	9,30	LSN 22	1604,72
	3,60	8,50	LSN 22	1466,68	9,50	LSN 22	1639,23	10,20	LSN 22	1760,01	10,70	LSN 22	1846,29	11,05	LSN 22	1906,68
	4,20	9,80	LSN 22	1690,99	11,00	LSN 22	1898,05	11,80	LSN 22	2036,09	12,40	LSN 22	2139,62	12,85	LSN 22	2217,27
	4,80	11,15	LSN 22	1923,93	12,50	LSN 22	2156,88	13,45	LSN 22	2320,80	14,10	LSN 23	2702,27	14,60	LSN 23	2798,09
	5,40	12,45	LSN 22	2148,25	14,00	LSN 22	2415,70	15,05	LSN 23	2884,33	15,80	LSN 23	3028,07	16,35	LSN 24	3322,48
	6,00	13,75	LSN 22	2372,56	15,50	LSN 23	2970,58	16,65	LSN 24	3383,45	17,50	LSN 25	3869,60	18,15	LSN 25	4013,33
36	3,00	6,40	LSN 22	1104,32	7,05	LSN 22	1216,48	7,50	LSN 22	1294,13	7,80	LSN 22	1345,89	8,00	LSN 22	1380,40
	3,60	7,60	LSN 22	1311,38	8,40	LSN 22	1449,42	8,90	LSN 22	1535,70	9,30	LSN 22	1604,72	9,50	LSN 22	1639,23
	4,20	8,80	LSN 22	1518,44	9,75	LSN 22	1682,36	10,35	LSN 22	1785,89	10,75	LSN 22	1854,91	11,05	LSN 22	1906,68
	4,80	10,00	LSN 22	1725,50	11,05	LSN 22	1906,68	11,75	LSN 22	2027,46	12,25	LSN 22	2113,74	12,55	LSN 22	2165,50
	5,40	11,15	LSN 22	1923,93	12,40	LSN 22	2139,62	13,20	LSN 22	2277,66	13,75	LSN 23	2635,19	14,10	LSN 23	2702,27
	6,00	12,35	LSN 22	2130,99	13,75	LSN 22	2372,56	14,60	LSN 23	2798,09	15,20	LSN 23	2913,08	15,60	LSN 23	2989,74
40	3,00	5,80	LSN 22	1000,79	6,30	LSN 22	1087,07	6,65	LSN 22	1147,46	6,85	LSN 22	1181,97	7,00	LSN 22	1207,85
	3,60	6,85	LSN 22	1181,97	7,50	LSN 22	1294,13	7,90	LSN 22	1363,15	8,15	LSN 22	1406,28	8,30	LSN 22	1432,17
	4,20	7,95	LSN 22	1371,77	8,70	LSN 22	1501,19	9,15	LSN 22	1578,83	9,45	LSN 22	1630,60	9,65	LSN 22	1665,11
	4,80	9,05	LSN 22	1561,58	9,90	LSN 22	1708,25	10,45	LSN 22	1803,15	10,80	LSN 22	1863,54	11,00	LSN 22	1898,05
	5,40	10,10	LSN 22	1742,76	11,10	LSN 22	1915,31	11,70	LSN 22	2018,84	12,10	LSN 22	2087,86	12,35	LSN 22	2130,99
	6,00	11,20	LSN 22	1932,56	12,30	LSN 22	2122,37	13,00	LSN 22	2243,15	13,40	LSN 23	2568,11	13,70	LSN 23	2625,61



**EK Tablo 11.**  $r=2,9$  için 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılacak LSN tipi konsol palplanş duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına ve YASS'nin konumuna bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum III).

$\emptyset$ (°)	H (m)	Durum III														
		$\alpha=0,00$			$\alpha=0,25$			$\alpha=0,50$			$\alpha=0,75$			$\alpha=1,00$		
		L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	9,90	LSN 22	1708,25	11,70	LSN 22	2018,84	13,05	LSN 22	2251,78	14,20	LSN 22	2450,21	15,20	LSN 22	2622,76
	3,60	11,60	LSN 22	2001,58	13,80	LSN 22	2381,19	15,45	LSN 22	2665,90	16,85	LSN 23	3229,30	18,00	LSN 23	3449,70
	4,20	13,30	LSN 22	2294,92	15,90	LSN 22	2743,55	17,85	LSN 23	3420,95	19,45	LSN 24	3952,43	20,80	LSN 25	4599,30
	4,80	15,00	LSN 22	2588,25	18,00	LSN 23	3449,70	20,25	LSN 24	4115,00	22,05	LSN VI	5946,44	23,65	LSN VI	6377,93
	5,40	16,70	LSN 22	2881,59	20,10	LSN 24	4084,52	22,60	LSN VI	6094,77	24,70	LSN VII	6946,88	-	-	-
	6,00	18,40	LSN 23	3526,36	22,20	LSN 25	4908,86	25,00	LSN VII	7031,25	-	-	-	-	-	-
28	3,00	8,40	LSN 22	1449,42	9,80	LSN 22	1690,99	10,80	LSN 22	1863,54	11,55	LSN 22	1992,95	12,20	LSN 22	2105,11
	3,60	9,90	LSN 22	1708,25	11,55	LSN 22	1992,95	12,80	LSN 22	2208,64	13,75	LSN 22	2372,56	14,50	LSN 22	2501,98
	4,20	11,40	LSN 22	1967,07	13,35	LSN 22	2303,54	14,80	LSN 22	2553,74	15,90	LSN 23	3047,24	16,80	LSN 23	3219,72
	4,80	12,85	LSN 22	2217,27	15,15	LSN 22	2614,13	16,80	LSN 23	3219,72	18,05	LSN 24	3667,94	19,10	LSN 25	4223,39
	5,40	14,35	LSN 22	2476,09	16,95	LSN 23	3248,47	18,80	LSN 24	3820,35	20,20	LSN 25	4466,62	21,35	LSN VI	5757,67
	6,00	15,80	LSN 22	2726,29	18,75	LSN 24	3810,19	20,80	LSN VI	5609,34	22,40	LSN VI	6040,83	23,65	LSN VII	6651,56
32	3,00	7,30	LSN 22	1259,62	8,40	LSN 22	1449,42	9,15	LSN 22	1578,83	9,70	LSN 22	1673,74	10,10	LSN 22	1742,76
	3,60	8,65	LSN 22	1492,56	9,95	LSN 22	1716,87	10,85	LSN 22	1872,17	11,50	LSN 22	1984,33	12,00	LSN 22	2070,60
	4,20	9,95	LSN 22	1716,87	11,50	LSN 22	1984,33	12,55	LSN 22	2165,50	13,35	LSN 22	2303,54	13,95	LSN 22	2407,07
	4,80	11,25	LSN 22	1941,19	13,05	LSN 22	2251,78	14,25	LSN 22	2458,84	15,15	LSN 23	2903,50	15,85	LSN 23	3037,65
	5,40	12,55	LSN 22	2165,50	14,60	LSN 22	2519,23	16,00	LSN 23	3066,40	17,00	LSN 24	3454,57	17,75	LSN 24	3606,98
	6,00	13,90	LSN 22	2398,45	16,15	LSN 23	3095,15	17,70	LSN 24	3596,82	18,80	LSN 25	4157,06	19,65	LSN VI	5299,21
36	3,00	6,50	LSN 22	1121,58	7,35	LSN 22	1268,24	7,90	LSN 22	1363,15	8,30	LSN 22	1432,17	8,60	LSN 22	1483,93
	3,60	7,70	LSN 22	1328,64	8,75	LSN 22	1509,81	9,40	LSN 22	1621,97	9,90	LSN 22	1708,25	10,20	LSN 22	1760,01
	4,20	8,90	LSN 22	1535,70	10,10	LSN 22	1742,76	10,90	LSN 22	1880,80	11,45	LSN 22	1975,70	11,85	LSN 22	2044,72
	4,80	10,10	LSN 22	1742,76	11,50	LSN 22	1984,33	12,40	LSN 22	2139,62	13,05	LSN 22	2251,78	13,50	LSN 22	2329,43
	5,40	11,25	LSN 22	1941,19	12,90	LSN 22	2225,90	13,90	LSN 22	2398,45	14,60	LSN 23	2798,09	15,10	LSN 23	2893,92
	6,00	12,45	LSN 22	2148,25	14,25	LSN 22	2458,84	15,40	LSN 23	2951,41	16,20	LSN 23	3104,73	16,75	LSN 24	3403,77
40	3,00	5,85	LSN 22	1009,42	6,55	LSN 22	1130,20	6,95	LSN 22	1199,22	7,25	LSN 22	1250,99	7,40	LSN 22	1276,87
	3,60	6,95	LSN 22	1199,22	7,80	LSN 22	1345,89	8,30	LSN 22	1432,17	8,60	LSN 22	1483,93	8,85	LSN 22	1527,07
	4,20	8,05	LSN 22	1389,03	9,00	LSN 22	1552,95	9,60	LSN 22	1656,48	10,00	LSN 22	1725,50	10,25	LSN 22	1768,64
	4,80	9,10	LSN 22	1570,21	10,25	LSN 22	1768,64	10,95	LSN 22	1889,42	11,40	LSN 22	1967,07	11,70	LSN 22	2018,84
	5,40	10,20	LSN 22	1760,01	11,50	LSN 22	1984,33	12,25	LSN 22	2113,74	12,75	LSN 22	2200,01	13,10	LSN 22	2260,41
	6,00	11,25	LSN 22	1941,19	12,70	LSN 22	2191,39	13,60	LSN 22	2346,68	14,15	LSN 23	2711,85	14,50	LSN 23	2778,93

**EK Tablo 12.**  $r=3,4$  için 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılacak LSN tipi konsol palpları duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına ve YASS'nin konumuna bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum III).

$\emptyset$ (°)	H (m)	Durum III														
		$\alpha=0,00$			$\alpha=0,25$			$\alpha=0,50$			$\alpha=0,75$			$\alpha=1,00$		
		L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	10,10	LSN 22	1742,76	12,30	LSN 22	2122,37	14,00	LSN 22	2415,70	15,45	LSN 22	2665,90	16,70	LSN 22	2881,59
	3,60	11,85	LSN 22	2044,72	14,50	LSN 22	2501,98	16,60	LSN 22	2864,33	18,30	LSN 23	3507,20	19,80	LSN 24	4023,56
	4,20	13,55	LSN 22	2338,05	16,70	LSN 22	2881,59	19,15	LSN 23	3670,10	21,15	LSN 24	4297,89	22,90	LSN VI	6175,67
	4,80	15,25	LSN 22	2631,39	18,90	LSN 23	3622,19	21,70	LSN 25	4798,30	24,00	LSN VI	6472,32	26,00	LSN VII	7312,50
	5,40	16,95	LSN 22	2924,72	21,10	LSN 24	4287,73	24,25	LSN VI	6539,74	26,85	LSN VII	7551,56	-	-	-
	6,00	18,65	LSN 22	3218,06	23,30	LSN 25	5152,10	26,80	LSN VII	7537,50	-	-	-	-	-	-
28	3,00	8,55	LSN 22	1475,30	10,25	LSN 22	1768,64	11,50	LSN 22	1984,33	12,45	LSN 22	2148,25	13,30	LSN 22	2294,92
	3,60	10,05	LSN 22	1734,13	12,10	LSN 22	2087,86	13,60	LSN 22	2346,68	14,80	LSN 22	2553,74	15,80	LSN 23	3028,07
	4,20	11,55	LSN 22	1992,95	14,00	LSN 22	2415,70	15,75	LSN 22	2717,66	17,10	LSN 23	3277,22	18,30	LSN 24	3718,74
	4,80	13,05	LSN 22	2251,78	15,85	LSN 22	2734,92	17,85	LSN 23	3420,95	19,45	LSN 24	3952,43	20,75	LSN 25	4588,24
	5,40	14,50	LSN 22	2501,98	17,70	LSN 23	3392,21	19,95	LSN 25	4411,34	21,75	LSN VI	5865,54	23,25	LSN VI	6270,06
	6,00	16,00	LSN 22	2760,80	19,55	LSN 24	3972,76	22,10	LSN VI	5959,93	24,10	LSN VII	6778,13	-	-	-
32	3,00	7,45	LSN 22	1285,50	8,75	LSN 22	1509,81	9,65	LSN 22	1665,11	10,35	LSN 22	1785,89	10,90	LSN 22	1880,80
	3,60	8,75	LSN 22	1509,81	10,35	LSN 22	1785,89	11,45	LSN 22	1975,70	12,30	LSN 22	2122,37	12,95	LSN 22	2234,52
	4,20	10,05	LSN 22	1734,13	11,95	LSN 22	2061,97	13,25	LSN 22	2286,29	14,25	LSN 22	2458,84	15,00	LSN 23	2874,75
	4,80	11,40	LSN 22	1967,07	13,60	LSN 22	2346,68	15,05	LSN 23	2884,33	16,20	LSN 23	3104,73	17,05	LSN 23	3267,63
	5,40	12,70	LSN 22	2191,39	15,20	LSN 22	2622,76	16,85	LSN 23	3229,30	18,15	LSN 24	3688,26	19,10	LSN 25	4223,39
	6,00	14,00	LSN 22	2415,70	16,80	LSN 23	3219,72	18,70	LSN 24	3800,03	20,10	LSN VI	5420,57	21,15	LSN VI	5703,73
36	3,00	6,60	LSN 22	1138,83	7,65	LSN 22	1320,01	8,30	LSN 22	1432,17	8,80	LSN 22	1518,44	9,15	LSN 22	1578,83
	3,60	7,80	LSN 22	1345,89	9,05	LSN 22	1561,58	9,90	LSN 22	1708,25	10,45	LSN 22	1803,15	10,90	LSN 22	1880,80
	4,20	9,00	LSN 22	1552,95	10,50	LSN 22	1811,78	11,45	LSN 22	1975,70	12,15	LSN 22	2096,48	12,65	LSN 22	2182,76
	4,80	10,20	LSN 22	1760,01	11,90	LSN 22	2053,35	13,00	LSN 22	2243,15	13,80	LSN 22	2381,19	14,40	LSN 23	2759,76
	5,40	11,35	LSN 22	1958,44	13,35	LSN 22	2303,54	14,60	LSN 23	2798,09	15,45	LSN 23	2960,99	16,10	LSN 23	3085,57
	6,00	12,55	LSN 22	2165,50	14,75	LSN 22	2545,11	16,15	LSN 23	3095,15	17,15	LSN 24	3485,05	17,85	LSN 24	3627,30
40	3,00	5,95	LSN 22	1026,67	6,75	LSN 22	1164,71	7,25	LSN 22	1250,99	7,60	LSN 22	1311,38	7,85	LSN 22	1354,52
	3,60	7,05	LSN 22	1216,48	8,00	LSN 22	1380,40	8,65	LSN 22	1492,56	9,05	LSN 22	1561,58	9,35	LSN 22	1613,34
	4,20	8,10	LSN 22	1397,66	9,30	LSN 22	1604,72	10,00	LSN 22	1725,50	10,50	LSN 22	1811,78	10,85	LSN 22	1872,17
	4,80	9,20	LSN 22	1587,46	10,55	LSN 22	1820,40	11,40	LSN 22	1967,07	11,95	LSN 22	2061,97	12,35	LSN 22	2130,99
	5,40	10,30	LSN 22	1777,27	11,85	LSN 22	2044,72	12,80	LSN 22	2208,64	13,40	LSN 22	2312,17	13,85	LSN 23	2654,35
	6,00	11,35	LSN 22	1958,44	13,10	LSN 22	2260,41	14,15	LSN 23	2711,85	14,85	LSN 23	2846,00	15,35	LSN 23	2941,83

**EK Tablo 13.**  $r=3,9$  için 3-6 m kazı derinliği içerisinde geçici olarak kullanılacak LSN tipi konsol palplanş duvarlar için zeminin içsel sürtünme açısına ve YASS'nin konumuna bağlı duvar boyu, kesit türü ve maliyet değerleri (Durum III).

$\emptyset$ (°)	H (m)	Durum III														
		$\alpha=0,00$			$\alpha=0,25$			$\alpha=0,50$			$\alpha=0,75$			$\alpha=1,00$		
		L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)	L (m)	Kesit	TM (TL/m)
24	3,00	10,35	LSN 22	1785,89	12,95	LSN 22	2234,52	14,95	LSN 22	2579,62	16,70	LSN 22	2881,59	18,25	LSN 23	3497,61
	3,60	12,05	LSN 22	2079,23	15,25	LSN 22	2631,39	17,70	LSN 23	3392,21	19,75	LSN 23	3785,09	21,60	LSN 24	4389,34
	4,20	13,80	LSN 22	2381,19	17,50	LSN 22	3019,63	20,40	LSN 23	3909,66	22,85	LSN 25	5052,59	25,00	LSN VI	6742,00
	4,80	15,50	LSN 22	2674,53	19,80	LSN 23	3794,67	23,10	LSN 25	5107,87	25,90	LSN VI	6984,71	-	-	-
	5,40	17,20	LSN 22	2967,86	22,10	LSN 24	4490,94	25,80	LSN VI	6957,74	-	-	-	-	-	-
	6,00	18,90	LSN 22	3261,20	24,40	LSN VI	6580,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	3,00	8,75	LSN 22	1509,81	10,70	LSN 22	1846,29	12,15	LSN 22	2096,48	13,35	LSN 22	2303,54	14,35	LSN 22	2476,09
	3,60	10,25	LSN 22	1768,64	12,65	LSN 22	2182,76	14,40	LSN 22	2484,72	15,85	LSN 22	2734,92	17,05	LSN 23	3267,63
	4,20	11,70	LSN 22	2018,84	14,60	LSN 22	2519,23	16,65	LSN 23	3190,97	18,30	LSN 23	3507,20	19,75	LSN 24	4013,40
	4,80	13,20	LSN 22	2277,66	16,50	LSN 22	2847,08	18,90	LSN 23	3622,19	20,80	LSN 25	4599,30	22,40	LSN VI	6040,83
	5,40	14,70	LSN 22	2536,49	18,45	LSN 23	3535,94	21,10	LSN 25	4665,63	23,30	LSN VI	6283,54	25,10	LSN VII	7059,38
	6,00	16,20	LSN 22	2795,31	20,35	LSN 24	4135,32	23,35	LSN VI	6297,03	25,75	LSN VII	7242,19	-	-	-
32	3,00	7,55	LSN 22	1302,75	9,10	LSN 22	1570,21	10,15	LSN 22	1751,38	11,00	LSN 22	1898,05	11,65	LSN 22	2010,21
	3,60	8,90	LSN 22	1535,70	10,75	LSN 22	1854,91	12,05	LSN 22	2079,23	13,05	LSN 22	2251,78	13,85	LSN 22	2389,82
	4,20	10,20	LSN 22	1760,01	12,40	LSN 22	2139,62	13,95	LSN 22	2407,07	15,10	LSN 22	2605,51	16,05	LSN 23	3075,98
	4,80	11,50	LSN 22	1984,33	14,10	LSN 22	2432,96	15,85	LSN 23	3037,65	17,15	LSN 23	3286,80	18,25	LSN 24	3708,58
	5,40	12,85	LSN 22	2217,27	15,75	LSN 22	2717,66	17,70	LSN 23	3392,21	19,25	LSN 25	4256,56	20,45	LSN VI	5514,96
	6,00	14,15	LSN 22	2441,58	17,40	LSN 23	3334,71	19,60	LSN 25	4333,95	21,30	LSN VI	5744,18	22,65	LSN VI	6108,25
36	3,00	6,70	LSN 22	1156,09	7,90	LSN 22	1363,15	8,70	LSN 22	1501,19	9,25	LSN 22	1596,09	9,70	LSN 22	1673,74
	3,60	7,90	LSN 22	1363,15	9,35	LSN 22	1613,34	10,35	LSN 22	1785,89	11,05	LSN 22	1906,68	11,55	LSN 22	1992,95
	4,20	9,10	LSN 22	1570,21	10,85	LSN 22	1872,17	11,95	LSN 22	2061,97	12,80	LSN 22	2208,64	13,40	LSN 22	2312,17
	4,80	10,30	LSN 22	1777,27	12,30	LSN 22	2122,37	13,60	LSN 22	2346,68	14,55	LSN 22	2510,60	15,25	LSN 23	2922,66
	5,40	11,50	LSN 22	1984,33	13,75	LSN 22	2372,56	15,25	LSN 23	2922,66	16,30	LSN 23	3123,90	17,10	LSN 23	3277,22
	6,00	12,65	LSN 22	2182,76	15,25	LSN 22	2631,39	16,85	LSN 23	3229,30	18,05	LSN 24	3667,94	18,95	LSN 25	4190,22
40	3,00	6,00	LSN 22	1035,30	6,95	LSN 22	1199,22	7,55	LSN 22	1302,75	7,95	LSN 22	1371,77	8,25	LSN 22	1423,54
	3,60	7,10	LSN 22	1225,11	8,25	LSN 22	1423,54	9,00	LSN 22	1552,95	9,45	LSN 22	1630,60	9,80	LSN 22	1690,99
	4,20	8,20	LSN 22	1414,91	9,55	LSN 22	1647,85	10,40	LSN 22	1794,52	11,00	LSN 22	1898,05	11,40	LSN 22	1967,07
	4,80	9,25	LSN 22	1596,09	10,85	LSN 22	1872,17	11,85	LSN 22	2044,72	12,50	LSN 22	2156,88	12,95	LSN 22	2234,52
	5,40	10,35	LSN 22	1785,89	12,20	LSN 22	2105,11	13,25	LSN 22	2286,29	14,00	LSN 22	2415,70	14,55	LSN 23	2788,51
	6,00	11,45	LSN 22	1975,70	13,50	LSN 22	2329,43	14,70	LSN 23	2817,26	15,55	LSN 23	2980,16	16,10	LSN 23	3085,57

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] M. F. Yazıcı ve S. N. Keskin, "İki ankrajlı çelik palplanş sisteminin optimum tasarımı," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 10, s. 1, ss. 34-50, 2019.
- [2] *Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler Genelgesi*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2018.
- [3] B. M. Das, *Principle of Foundation Engineering*, 8th ed., Boston, USA: Global Engineering, 2016, pp. 709-773.
- [4] G. J. W. King, "Analysis of cantilever sheet pile walls in cohesionless soil," *J. Geotech. Eng.*, vol 121, no. 9, pp. 629-635, 1995.
- [5] D. G. Anderson, G. R. Martin, I. P. Lam and J. N. J. Wang, "Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Buried Structures, Slopes and Embankments," National Cooperative Highway Research Program, Washington, USA, NCHRP Report 611, 2008.
- [6] J. E. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, 5th ed., New York, USA: McGraw Hill, 2012, pp. 725-782.
- [7] E. Conte, A. Troncone and M. Vena, "A method for the design of embedded cantilever retaining walls under static and seismic loading," *Geotechnique*, vol. 67, no. 12, pp. 1081–1089, 2017.
- [8] C. J. Padfield and R. J. Mair, "Design of retaining walls embedded in stiff clays," Construction Industry Research and Information Association (Ciria), London, UK, Report 104, 1984.
- [9] *Naval Facilities Engineering Command Design Manual Foundations and Earth Structures*, NAVFAC DM7-02, 1986.
- [10] A. P. Singh and K. Chatterjee, "Lateral earth pressure and bending moment on sheet pile walls due to uniform surcharge," *Geomech. Eng.*, vol. 23, no. 1, pp. 71-83, 2020.
- [11] A. P. Singh and K. Chatterjee, "Effect of soil-wall friction angle on behaviour of sheet pile wall under surcharge loading," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 91, no. 1, pp. 169-179, 2021.
- [12] M. Georgiadis and C. Anagnostopoulos, "Lateral pressure on sheet pile walls due to strip load," *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, vol. 124, no. 1, pp. 95–98, 1998.
- [13] Aparna and N. K. Samadhiya, "Evaluation of model sheet pile wall adjacent to a strip footing-an experimental investigation," *Int. J. Geotech. Eng.*, vol. 14, no. 7, pp. 828-835, 2020.
- [14] R. Conti and G. M. B. Viggiani, "A new limit equilibrium method for the pseudostatic design of embedded cantilevered retaining walls," *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, vol. 50, pp. 143–150, 2013.
- [15] T. Muni, D. Devi and S. Baishya, "Parametric study of sheet pile wall using abaqus," *Civil Engineering Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 71-82, 2021.
- [16] W. C. Teng, *Foundation Design*, 3rd ed., New Delhi, India: Prentice Hall, 1992, pp. 3-29.
- [17] I. M. Mahdi and A. M. Ebid, "Optimum penetration depth of cantilever sheet pile walls in dry granular soil based on reliability analysis concept and its impact on the shoring system cost," *International Journal of Application or Innovation in Engineering&Management*, vol. 4, no. 5, pp. 11-21, 2015.

- [18] *Steel Sheet Piling Design Manual*, United States Steel (USS), 1984.
- [19] H. A. R. Amer, “Effect of Wall Penetration Depth on the Behaviour of Sheet Pile Walls,” MSc Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering and Engineering Mechanics, University of Dayton, Dayton, USA, 2013.
- [20] *Excavation Safety and Precautions Circular*, Turkish Building Seismic Code (TBSC), 2018.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Kastamonu ve Düzce İllerinde Yeni Bir Zararlı *Phloeomyzus passerinii* (Signoret, 1875) (Hemiptera: Aphididae)

 Beşir YÜKSEL<sup>a</sup>,  Nuray ÖZTÜRK<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: nurayozturk@duzce.edu.tr

### ÖZ

Kavak pamuklu kabukbiti, *Phloeomyzus passerinii* (Signoret) (Hemiptera: Aphididae), kavak plantasyonlarının önemli monofag kültür zararlılarından biridir. *P. passerinii* Avrasya kökenli bir tür olup Türkiye’de Orta Anadolu’da kavaklarda oldukça önemli zararlar yaptığı bilinmektedir. Düzce - Çilimli ve Kastamonu’nun ilçelerinde 2021 yılı Mayıs - Ağustos aylarında kavak ağaçlandırma sahalarında sörveyler yapılmıştır. Arazide yapılan incelemeler neticesinde kavakların gövde ve dallarındaki çatlaklarda beyaz bir pamuk tabakası içerisinde bulunan zararlı örnekleri laboratuvara getirilmiş ve teşhis işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kabukbitinin neden olduğu zarara ilişkin kavak örneklerinin görüntüleri ve zarar şekli literatürdeki bilgilerle değerlendirilmiştir. Bu afit kolonileri, esas olarak aptera partenogenetik dişileri tarafından üretilen çok sayıda bireyleri ve mumsu salgılarıyla varlığını göstermiştir. Bu çalışma ile *P. passerinii* Kastamonu ve Düzce illerinden ilk defa rapor edilmiştir. Karadeniz bölgesinde kavak ağaçlandırma sahaları ve özellikle I-214 klonu için önemli bir zararlı olma potansiyeli bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Düzce, Kastamonu, *Phloeomyzus passerinii*

## A New Pest *Phloeomyzus passerinii* (Signoret, 1875) (Hemiptera: Aphididae) For Kastamonu and Düzce Provinces

### ABSTRACT

Poplar woolly bark aphid, *Phloeomyzus passerinii* (Signoret) (Hemiptera: Aphididae) is one of the important monophagous cultural pests of poplar plantations. *P. passerinii* is a species of Eurasia origin which known to cause significant damage to poplars in Central Anatolia in Turkey. In Düzce-Çilimli and Kastamonu districts, it has been observed as a host in poplar plantation stands since May-August 2021. As a result of the survey, the pest found in a white woolly/waxy layer in the cervices on the trunk and branches of the poplars was brought to the laboratory and identification procedures were carried out. The aphid colonies were revealed by the abundant flocks and waxy exudates, which are produced in abundance mainly by apterous parthenogenetic females. With this study, *P. passerinii* was reported for the first time from Kastamonu and Düzce provinces. It has the potential to be an important pest for the poplar plantation areas in the Black Sea Region and especially for the I-214 clone.

**Keywords:** Düzce, Kastamonu, *Phloeomyzus passerinii*

## I. GİRİŞ

Kavak pamuklu kabukbiti, *Phloeomyzus passerinii* (Signoret, 1875) (Hemiptera: Aphididae) Avrupa, Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da bulunan kavak (*Populus L.*) türlerinin başlıca zararlısı olarak kabul edilir [1]-[4]. Yayılışı Avrupa'dan (İngiltere, Hollanda, Belçika, Fransa, Almanya, İspanya, İtalya, Yunanistan, Macaristan, Rusya) Orta Doğu ülkelerine (İsrail, Suriye, İran, Mısır) ve yeni bir alttürün tespit edildiği Pakistan ve Çin'e kadar uzanır [5], [6]. Ülkemizde Adıyaman, Afyonkarahisar, Amasya, Ankara, Çankırı, Çorum, İstanbul, Kayseri, Kırıkkale, Konya, Kütahya, Malatya, Samsun, Sinop, Şanlıurfa, Trabzon illerinde yayılış yapmakla birlikte [7]-[18] Orta Anadolu' daki kavak ağaçlarında oldukça önemli zararlar yaptığı bilinmektedir [19].

*P. passerinii*, genç sürgünlerde, dal, gövde ve köklerdeki kabuk çatlakları arasında koloniler oluşturmaktadır. Fazla yaygın olmamakla birlikte popülasyonunun fazla olması durumunda kavak fidanlarında ciddi zarar yaptığı da ifade edilmektedir [20]. Enfekte ağaçların kabuk yüzeylerinde çatlaklar ve nekrozlar, tomurcuk patlamalarında gecikme, büyümelerinde azalma ve alt dallarda ölüm görülmektedir [21]. *P. passerinii*, parankimal doku materyali ile beslenirken aynı anda zehirli salyalarını odunsu dokuya enjekte ederek işgal ettiği kabuk bölümünün ölümüne neden olmaktadır. Bu salgıların kabuk içi gallerde yoğunlaşmasıyla kabukbitinin zarar şiddeti artmaktadır. Kabuğun ölümü ile su ve besin dolaşımı bozulan kavak köklerinin strese girmesiyle yaz aylarında devrildikleri ya da rüzgar tarafından kırıldıkları rapor edilmiştir [22].

Şiddetli salgın durumunda ise önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır [21]. *P. passerinii*, İtalya, Suriye, Belçika ve Macaristan'da yetiştirilen kavakların ekonomik açıdan önemli bir zararlısı olarak kabul edilirken [23], Fransa [24] ve İspanya [25] gibi diğer ülkelerde virulans etkisinin arttığı kanıtlanmıştır. Periyodik olarak (5 - 10 yıllık aralıklarla) İtalya'nın kuzeyindeki kavak plantasyon sahalarında oldukça zarar yapan *P. passerinii*'ye karşı kavak klonlarının yaklaşık %80'inin hassas olduğu bilinmektedir [26]. Sık sık tekrar eden salgınlar, binlerce ağacın ölümüyle sonuçlanan ağır ekonomik kayıpları ve akabinde pahalı kimyasal mücadele gereksinimini zorunlu kılmıştır [27]. Ülkemizde de, Kütahya'da 2014 yılında *P. passerinii*'nin hızlı bir şekilde yayılarak salgına neden olduğu ve yakın gelecekte kavak sahaları için önemli bir sorun olacağı ifade edilmiştir [28].

İklim koşullarına bağlı olarak arazi şartlarında 12'den fazla generasyon yaptığı bilinen *P. passerinii*'nin [5] laboratuvar ortamında ise 30'dan fazla generasyon yapabildiği belirtilmektedir. Koloniler, sıcaklıkların uygun hale gelmesiyle birlikte Mayıs - Haziran aylarında görülmeye başlar. Her generasyon, hava sıcaklığına ve konağın koşullarına bağlı olarak 9 - 31 gün (ortalama 11 gün) sürer [5]. Dişi bireyler bu generasyon süresinde yaklaşık 170 adet nimf meydana getirmektedir [29]. *P. passerinii*, yaşlı kavak meşcerelerinde, genellikle yerden 5 - 6 m yükseklikte kabuk kısmındaki yarıklarda gelişmeye başlar. Afit kolonileri, çoğunlukla kanatsız dişiler tarafından bol miktarda üretilen pamuğumsu ve beyazımsı mumsu salgılar tarafından belirginleşmektedir. Kışlama, ikinci veya üçüncü larva evresinde (nadiren dördüncü evrede), genellikle köklerin yüzeysel kısımlarındaki yarıklarda meydana gelir.

Bu çalışmada Kastamonu Daday - Elmayazı, Kayabağı köyleri, Merkez-Hasköy ve Düzce Çilimli - Topçular köyü mevkiinde bulunan farklı kavak plantasyon sahalarında böcek zararının etki oranı değerlendirilmiştir. Gözlem süresince zarar gören klonlar ile dal ve gövdelerden alınan zararlıya ait örnekler laboratuvara getirilerek gerekli teşhis işlemleri yapılmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Kastamonu Daday - Elmayazı (41°27'54.5"K 33°24'26.4"D - 41°27'54.0"K 33°24'25.9"D) ve Kayabağı köyleri (41°27'01.3"K 33°31'06.2"D) ile Kastamonu Hasköy mevki (41°27'24.7"K 33°50'35.1"D - Daday Çayı, 41°27'36.3"K 33°50'48.4"D - Kuruçayı bölgesi) ve Düzce Çilimli - Topçular köyü (40°51'24.8"K 31°03'28.5"D) kavak plantasyon sahalarında kavak yetiştiriciliği yapan üreticiler tarafından görülen zararlı böceklerin tespitine yönelik talep doğrultusunda arazi çalışmaları

yapılmıştır. Düzce Çilimli - Topçular köyünde 2021 yılı Mayıs - Ağustos ayları arasında aylık periyotlarla, Kastamonu bölgesinde ise 2021 yılı Ağustos ayında arazi çalışmaları yapılmıştır. Kastamonu ilçelerinde Melez kavak (*Populus x canadensis* (I-214)) klonu, Düzce - Çilimli'de ise Samsun (I-77/51 *Populus deltoides* Bartr.) kavak klonları kullanılmıştır.

Zarar görülen kavakların gövde ve dallarındaki çatlaklarda bulunan böcekli materyallerin fotoğrafları çekilerek kilitli buzdolabı poşetlerine konulmuş ve Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Entomolojisi ve Koruma Laboratuvarına getirilmiştir. Örneklerin morfolojik karakterlerin ölçümleri Olympus SZ-4045 marka mikroskop yardımıyla ve ilgili literatür [30], [31] kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kavak pamuklu kabukbiti, beyazımsı / mumsu salgıların ağaç gövdesini kaplaması, kolonilerin kuruluşu, kabukta çatlakların artması ve koloninin bu çatlaklarda toplanması, ölmüş veya ölmekte olan ağaçlar, sürgün ve taç kurumaları, gövdede kabuk çatlakları ve doku kaybı gibi durumlar dikkate alınarak zararın etki oranı değerlendirilmiştir (Tablo 1).

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

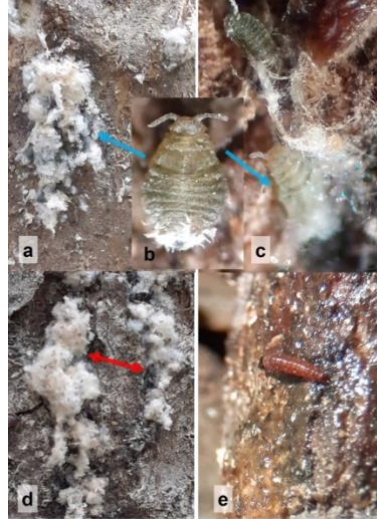
Kastamonu-Hasköy, Daday - Elmayazı ve Kayabağı Köyleri ile Düzce Çilimli - Topçular Köyü Melez kavak (*Populus x canadensis* (I-214)) klonu ve Samsun (I-77/51 *Populus deltoides* Bartr.) kavağı ağaçlandırma sahalarında önemli zararlı olarak *Phloeomyzus passerinii* türü tespit edilmiştir (Şekil 1b). Kanatsız dişi bireylerin vücut uzunlukları 1,5-1,6 mm iken kanatlı ovipar dişi bireyler 1,4 mm olarak ölçülmüştür.

**Tablo 1.** *P. passerinii*'nin zarar oranı.

Konum	Koordinat	Yükselti (m)	Kabuk Yüzeyi Salgılar	
			Beyazımsı Mumsu Salgı Oranı (%)	Sıvı Salgı Oranı (%)
Daday - Elmayazı	41°27'54.5"K 33°24'26.4"D	985	70,43-82,27	90 - 100
Daday - Elmayazı	41°27'54.0"K 33°24'25.9"D	983	100	100
Daday - Kayabağı	41°27'01.3"K 33°31'06.2"D	878	64,06-79,84	80 - 100
Kastamonu - Hasköy (Daday Çayı) -	41°27'24.7"K 33°50'35.1"D	695	76,69-84,04	80 - 100
Kastamonu - Hasköy (Kurucaçayı)	41°27'36.3"K 33°50'48.4"D	695	0,0-9,32	0 - 10
Düzce Çilimli - Topçular Köyü	40°51'24.8"K 31°03'28.5"D	130	0,0-6,78	0-10

Kastamonu yöresinde, genç ve yaşlı kavak ağaçlarının kabuk yüzeyleri bu zararlının birbirini takip eden katlı generasyonu ile son nimf dönemine kadar üretilen salgılarla örtülmüştür. Ayrıca Kayabağı köyünde kuruyan kavak dalları üzerinde Ağaç kızılkurdu, *Cossus cossus* (L., 1758) (Lepidoptera: Cossidae) (Şekil 1e) ile Hasköy genç kavak sürgünlerinde Saydam kanatlı kavak kelebeği, *Paranthrene tabaniformis* (Rott., 1775) (Lepidoptera: Sesiidae) (Şekil 2) larvaları görülmüştür.





**Şekil 1.** (a) Elmayazı köyü kavak kabuğu üzerinde mumsu salgılar ve güçlü koloniler, (b) Kayabağı köyünde boylu kavak ağaçlarının taç altında kuruyan dallarda aptera vivipar dişiler, (c) genç nimfler, (d) Hasköy kavaklarında kabukbiti tarafından kolonizasyonun kabuk çatlaklarında kuruluşu ve gelişimi, (e) Kayabağı köyünde afit istilası sonrasında serbest amino asitlerin toplandığı kuruyan kavak dalı üzerinde Ağaç kızılkurdu, *Cossus cossus* (Lepidoptera: Cossidae) larvası.

Zarar gören yaşlı ağaçların gövdelerinde şişkinlik ve taç kaybı gözlenmiştir. Ayrıca yoğun popülasyonu durumunda taç ve kabuğun büyük bölümlerinde nekrozlar görülmüştür. Hasköy Kurucaçayı mevkiinde iki yaşındaki genç plantasyon haricinde diğer bireylerin öldükleri gözlenmiştir. Düzce yöresinde Samsun (I-77/51 *Populus deltoides* Bartr.) kavak klonunun gövde ve dallarında ise bu kabukbitinin gelişimi ve mumsu oluşum oldukça zayıf, amino asit salgısı belirsiz düzeyde gözlenmiştir.



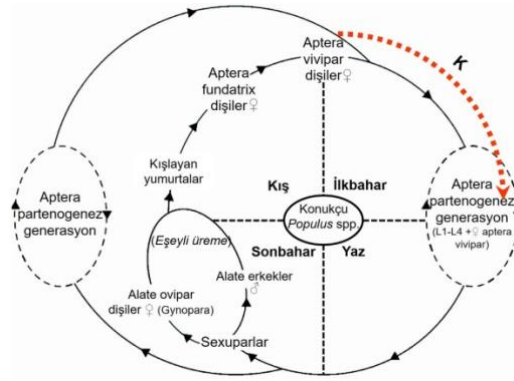
**Şekil 2.** Hasköy genç kavak sürgünlerinde Saydam kanatlı kavak kelebeği, *Paranthrene tabaniformis* (Lepidoptera: Sesiidae)'in larvası ve zarar şekli.

Kastamonu ve çevresinde *P. passerinii*'nin bulunduğu bölgelerde entegre mücadele sisteminde dirençli kavak genotiplerin tercihi ve kimyasal mücadele stratejileri [32] ile kültürel yetiştirme ortamı istekleri uyumlu bir şekilde değerlendirilmelidir.

Araştırma sahalarında kullanılan Melez kavak (*Populus x canadensis* (I-214)) hibriti *P. passerinii*'ye karşı en hassas türlerden biridir. Ayrıca *Populus nigra* (Vereecken-NL), Dorskamp, Triplo, I-214, Soligo, I-45-51, *Populus x canadensis f. erecta* (*Populus serotina erecta*-Belçika), Boccalari, BL Costanzo, Pan, Triplo gibi bazı klonlar da duyarlı olduğu bilinmektedir. *Populus deltoides* (Alcinde-FR), Brenta, Koster, *Populus trichocarpa* (Trichobel-US) [21], [33] Harvard, Luisa Avanzo, San

Martino, Onda, Dvina, Neva, Lena, Eridano, Villafranca hibritlerinin bu zararlıya karşı daha dirençli oldukları rapor edilmiştir. Türkiye’de *Phloeomyzus passerinii*’i Kara kavak (*Populus nigra* L.), Ak kavak (*Populus alba* L.) ve Melez kavak (*Populus x canadensis* (I-214))’de salgın yapmıştır [20], [28]. *Populus x canadensis*’in I-214 ve I-45/51 klonları üzerinde yapılan çalışmada afitlerin üreme enerjisi ve doğal artış oranı bakımından I-45/51 klonunda daha zayıf gelişme (%39,11 - 60,88) görülmüştür. Önceki deneyler ve saha sörveyleri, I-45/51 klonunun kabukbiti gelişimini azalttığı ve doğurganlığını düşürdüğü belirtilmiştir [21], [34].

Kavak pamuklu kabukbiti, popülasyonlarının çok yüksek düzeylere ulaştığı ve etkin zarar yaptığı alanlarda seçilen klonların orta ve yüksek düzeyde duyarlı türlerden (I-214 gibi) oluşması durumunda kimyasal mücadeleye gereksinim duyulur. Şiddetli salgın durumunda sistemik etkili Dimethoat etken maddeli organik fosforlu ilaçlar ile (Poligor, Rogor, Korumagor vb.) beyaz mineral yağların karışımı salgınların başlangıcında gövde ve dalların yüzeylerine püskürtülerek uygulandığında etkili olduğu kanıtlanmıştır [35]-[39]. *P. passerinii*’ye karşı kimyasal mücadele için en uygun zamanın belirlenmesinde türe özgü temel biyolojik gözlemler yapılarak karar verilmelidir. *P. passerinii* kolonilerinin kavak gövdelerinde belirginleşmesi ile birlikte ilk müdahalenin yapılması gerekmektedir (Şekil 3). Avrupa’da Mayıs ve Haziran aylarında uygun sıcaklık koşullarında *P. passerinii* kolonilerinin gelişmeye başlaması ile birlikte mücadele uygulamalarının yapılabileceği ifade edilmektedir [40]. Melez kavak (*Populus x canadensis* (I-214)) bahçesinde yapılan bir çalışmada, 13 m boyunda bir ağacın gövdesinin 2,5 m’lik kısmının ilaçlanması durumunda zararlının % 97 - 100’ünün, 7-8 m’ye kadar ilaçlanması durumunda ise zararlının tamamının öldüğü ortaya konulmuştur [25].



**Şekil 3.** Kavak pamuklu kabukbitinin (*Phloeomyzus passerinii*) yaşam döngüsü. K: kritik mücadele eşiği, L1-L4: larva evreleri, N3-N4: nimf evreleri [11], [29], [41], [42].

*P. passerinii*’nin olduğu kavak bahçelerinde kavak dikim aralığı en az 6 x 6 m olması gerekmektedir. Bu durum belli bir gelişim çağına kadar ortamda yeterli ışık, hava hareketi ve düşük bağıl nem düzeyi oluşturacağından kabukbitinin gelişimini zayıflatacak ve verdiği zarar düzeyini de düşürecektir [29].

Gübrelemede, potasyumlu gübreler veya potasyum oranı yüksek olan gübreler tercih edilmelidir. Fazla azotlu (nitrat) gübreler kullanılması durumunda vejetatif gelişmeye bağlı su miktarının da artması ile birlikte bitki özsuyu ile beslenen sokucu-emici ağız parçalarına sahip böceklerin tercih ettiği ortamın kurulması ve böylece aşırı çoğalıp daha zararlı olmaları teşvik edilmiş olacaktır. Melez kavakların I-214 ve I-45/51 klonlarında yapılan üç farklı gübreleme denemelerinde, her iki klonun gübreleme oranının artışına bağlı olarak, gövdede afit popülasyonu yerleşim alanının arttığı tespit edilmiştir [43].

## **IV. SONUÇ**

Bu çalışmada Kastamonu ili Daday - Elmayazı ve Kayabağı Köyleri ile Hasköy yöresinde kavak ağaçlandırma sahalarında görülen zararlının teşhisi yapılmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmaları

sonucunda kavak pamuklu kabukbiti, *P. passerinii*'nin Kastamonu ilinde Melez kavak türlerindeki varlığı ilk kez bildirilmektedir.

Sonuç olarak bu zararlının kontrolünde kimyasal ilaç kullanımı uygulayıcılar tarafından en çok tercih edilen yöntem olsada uzun vadede bu mücadelenin sürdürülebilir olmadığı görülmektedir.

Bunun yanı sıra Türkiye'nin farklı ekolojik koşullarında yüksek dirençli kavak klonlarının belirlenmesi ve yetiştirilmesi daha uygun görülmektedir. Ayrıca, üreticilere kabukbitine karşı dirençli ve uygun kavak hibritlerinin kullanımı teşvik edilmelidir. Kısa vadede *Phloeomyzus passerinii*'ye karşı orta derece dirençli *Populus x canadensis*'in I-45/51 klonunun kullanılması öngörülmektedir. Ülkemizde *Populus nigra* Anadolu TR-56/75, Gazi TR-56/52, Behiçbey TR-62/154, Geyve TR-67/1, Kocabey TR-77/10, TR-64/13 ve TR-63/135, *Populus x canadensis* I-214 ve I-45/51, Samsun (I-77/51), İzmit (S.307-26) ve 89.M.060 hibritlerinin bu zararlıya karşı farklı ekolojik koşullarda direnç deneme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Çalışmaların laboratuvar, sera ve doğal koşullarda yapılması ile zararlı yönetiminin ekolojik olarak sürdürülebilir olması beklenmektedir. Samsun (I-77/51 *Populus deltoides* Bartr.)

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] A. Arzone, and C. Vidano, "Indagini su *Phloeomyzus passerinii* (Sign.) in Piemonte," *Annali della Facoltà di Scienze Agrarie della Università degli Studi di Torino*, vol. 13, pp. 337-356, 1984.
- [2] A. Sallé, and A. Battisti, *Native sap-sucker insects in the Mediterranean Basin. In insects and diseases of Mediterranean forest systems*, 1th ed., Springer International Publishing : Imprint: Springer, 2016, ch. 5, pp. 89-103.
- [3] S.E. Sadeghi, N.A. Rajabi-Mazhar, and S. Moharramipour, "A study on the incidence of woolly poplar aphid, *Phloeomyzus passerinii* (Hom.: Aphididae) on poplar species and clones in Hamedan province, Iran," *Journal of Entomological Society of Iran*, vol. 26, no. 2, pp. 47-59, 2007.
- [4] G. Allegro, and L. Cagelli, "Susceptibility of *Populus nigra* L. to the woolly poplar aphid (*Phloeomyzus passerinii* Sign.)," *Forest Genetics*, vol. 3, no. 1, pp. 23-26, 1996.
- [5] J.G. Isebrands, and J. Richardson, *Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment*, Boston, MA : CABI ; Rome : FAO, 2014, pp. 491-494.
- [6] G.X. Zhang, and T.S. Zhong, "New species and subspecies of Chinese Aphidoidea," *Sinozoologica*, no. 2, pp.19-28, 1982.
- [7] F.S. Bodenheimer, and E. Swirski, *The Aphidoidea of the Middle East*, Jerusalem, Israel: Weizmann Science Press 1957, pp. 378.
- [8] Ö. Şenol, G. Görür ve H. Akyıldırım Beğen, "Contributions of the Anatolian Diagonal effect on Turkish aphid diversity," *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, vol. 20, no. 1, pp. 102-109, 2019.
- [9] N. Tuatay, and G. Remaudière, "Premiere contribution au catalogue des Aphididae (Homoptera) de la Turquie," *Rev. de Path. Vegveale et D'entomologie Agricole de France*, vol. 43, no. 4, pp. 243-278, 1964.
- [10] N. Tuatay, S. Gül, A. Demirtola, N. Kalkandelen ve N. Aysev, *Nebat Koruma Müzesi Böcek Kataloğu (1961-1966)*, Ankara, Türkiye: T.C. Tarım Bakanlığı Zirai Mücadele ve Zirai Karantina Genel Müdürlüğü Yayınları, 1967, ss. 66.

- [11] R.L. Blackman, and V.F. Eastop, *Aphids on the world's trees - an identification and information guide*, First edition, UK: CAB International, 1994, pp. 493.
- [12] H. Çanakçıoğlu, "Über das Vorkommen von Blattlausarten (Aphidoidea) im Türkischen Forest," *Anzeiger für Schädlingskunde und Pflanzenschutz*, vol. 45, no. 10, pp. 152-154, 1972.
- [13] G. Görür, Ü. Zeybekoğlu, B. Akyürek, M. Işık ve H. Akyıldırım, "Trabzon, Rize ve Artvin illerinin afit (Homoptera: Aphididae) faunasının belirlenmesi," TÜBİTAK, Türkiye, Rap. 107T450, 2009.
- [14] G. Görür, "İç Batı Anadolu bölümü afit (Hemiptera: Aphidoidea) faunasının belirlenmesi," TÜBİTAK, Türkiye, Rap. 111T866, 2014.
- [15] Ş. Kök, and I. Özdemir, "Annotated systematic checklist of the aphids (Hemiptera: Aphidomorpha) of Turkey," *Zootaxa*, vol. 4925, no. 1, pp. 001-0074, 2021
- [16] I. Özdemir, "Some new records on aphid (Hemiptera, Aphididae) fauna of Turkey and aphid host plant interactions," *Journal of the Entomological Research Society*, vol. 22, no. 2, pp. 191-201, 2020.
- [17] O. Özkazanç ve M. Yücel, *Yarı Kurak Mıntika Ağaçlandırmalarında Zarar Yapan Böcekler Üzerine Araştırmalar*, Ankara, Türkiye: Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, 1985, ss. 15.
- [18] S. Toros, N. Uygun, R. Ulusoy, S. Satar ve I. Özdemir, *Doğu Akdeniz Bölgesi Aphidoidea Türleri*, Ankara, Türkiye: Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Yayınları, 2002, ss. 108.
- [19] S. Toros, *Park ve Süs Bitkileri Zararlıları*, Ankara, Türkiye: Peyzaj Mimarisi Derneği Yayınları, 1988, ss. 165.
- [20] N. Tuatay, "Türkiye yaprakbitleri (Homoptera: Aphididae):V. Chaitophorinae, Lachninae ve Thelaxinae," *Bitki Koruma Bülteni*, c. 39, s. 1-2, ss. 1-21, 1999.
- [21] S. Pointeau, A. Salle', V. Lesieur, S. Bankhead-Dronnet, M. Bonnaffoux, and F. Lieutier, "Estimating the effect of poplar resistance on the performance of the woolly poplar aphid, *Phloeomyzus passerinii*, in various experimental conditions," *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 41, no. 6, pp. 1233-1241, 2011.
- [22] G. Lapietra, and G. Allegro, "La difesa del pioppeto: cenni sulla biologia e sui metodi di controllo degli insetti più dannosi," *L'Informatore Agrario*, vol. 37, no.34, pp. 16995-16998, 1981.
- [23] L. Nef, and J.F. Menu, "Internationally important damaging poplar insects. Results of an inquiry among the members of the International Poplar Commission," *Proc. Meeting FAO/IPC*, Turkey, 1994, pp. 12.
- [24] F. Maugard, and G. Chauvel, "Impact of a severe woolly poplar aphid (*Phloeomyzus passerinii*) outbreak," *International Conference on Pests in Agriculture*, France, 1997, pp. 919-926
- [25] C. Aparisi, "Note on the poplar woolly aphid *Phloeomyzus passerinii* Signoret, and tests on its treatment. (Noticia sobre el afido lanigero del chopo, *Phloeomyzus passerinii* Signoret, y ensayos para su tratamiento.)," *Boletín del Servicio de Plagas Forestales*, vol. 14, no. 27, pp. 3-11, 1971.
- [26] G.M. Arru, "Annotated list of the most important insects injurious to the cultivation of poplar in Italy," *Cellulosa e Carta*, vol. 26, no. 11, pp. 47-50, 1975.

- [27] G. Allegro, “Nuove infestazioni di Afide lanigero del pioppo (*Phloeomyzus passerinii* Sign.) in Pianura Padana,” *Sherwood - Foreste ed alberi oggi*, 27, pp. 41-45, 1997
- [28] Ş. Tarla, O. Altın ve G. Tarla, “Kütahya ilinde kavak pamuklu yaprak biti, *Phloeomyzus passerinii* (Signoret) (Hemiptera: Aphididae)’nin salgını,” *Gap VII. Tarım Kongresi*, Şanlıurfa, Türkiye, 2015, ss. 369.
- [29] A. Arzone, and C. Vidano, “Investigations on *Phloeomyzus passerinii* (Sign.) in Piedmont,” in *Annali della Facolta di Scienze Agrarie della Universita degli Studi di Torino*, vol. 13, Torino, Tip. V. Bona, Italy, 1984, pp. 337-356.
- [30] R.L. Blackman, and V.F. Eastop, *Aphids on the World’s Herbaceous Plants and Shrubs Volume 1 Host Lists and Keys. Volume 2: The Aphids*, John Wiley & Sons Chichester UK, 2006, p.1415.
- [30] I. Özdemir, “Some new records on aphid (Hemiptera, Aphididae) fauna of Turkey and aphid host plant interactions,” *Journal of the Entomological Research Society*, vol. 22, no. 2, pp. 191-201, 2020.
- [32] M. Gennaro, and A. Giorcelli, “The biotic adversities of poplar in Italy: a reasoned analysis of factors determining the current state and future perspectives,” *Annals of Silvicultural Research*, vol. 43, no. 1, pp. 41-51, 2019.
- [33] J. Rueda, and J.L. García Caballero, *Populus ×euramericana ‘Triplo’ en Castilla y León*, Valladolid, Spain: Junta de Castilla y León, Consejería de Fomento y Medio Ambiente, 2020, pp. 28.
- [34] S. Pointeau, A. Ameline, A. Salle, S. Bankhead-Dronnet, and F. Lieutier, “Characterization of antibiosis and antixenosis to the woolly poplar aphid (Hemiptera: Aphididae) in the bark of different poplar genotypes,” *Journal of Economic Entomology*, vol.106, no. 1, pp. 473-81, 2013.
- [35] C. Aparisi, “Note on the poplar woolly aphid *Phloeomyzus passerinii* Signoret, and tests on its treatment,” *Boletín del Servicio de Plagas Forestales*, vol. 14, no. 27, pp. 3-11, 1971.
- [36] G. Lapietra, and G. Allegro, “La difesa del pioppeto: cenni sulla biologia e sui metodi di controllo degli insetti più dannosi,” *L’Informatore Agrario*, vol. 37, no. 34, pp. 16995-16998, 1981.
- [37] G. Allegro, “Defence against insect pests of poplar: a revised technique,” *Informatore Agrario*, vol. 45, no. 16, pp. 93-96, 1989.
- [38] G. Allegro, “Nuove infestazioni di Afide lanigero del pioppo (*Phloeomyzus passerinii* Sign.) in Pianura Padana,” *Sherwood - Foreste ed alberi oggi*, vol. 3, no. 9, pp. 41–45, 1997.
- [39] A. Giorcelli, and G. Allegro, “I trattamenti per una corretta difesa fitosanitaria del pioppeto,” *Sherwood - Foreste Ed Alberi Oggi*, 5: (5) 39-44 39-44, 1999.
- [40] V. De Tillesse, L. Nef, J. Charles, A. Hopkin, and S. Augustin, “Damaging poplar insects: Internationally Important Species,” Italy: FAO International Poplar Commission, 1999, pp. 41.
- [41] S. Pointeau, “Interactions peuplier - puceron lanigère (*Phloeomyzus passerinii* (Sign)) et processus à l’origine de l’émergence et de l’expansion des pullulations,” Ph.D. dissertation, University of Orléans, France, 2011.

[42] J. Rueda, *Efecto del ataque de Phloeomyzus passerinii (Sign.) en una parcela experimental de clones de chopos en el valle del Cega (Segovia)*, Valladolid, Spain: Junta de Castilla y León, Consejería de Fomento y Medio Ambiente, 2014, pp. 5


[43] F. Dardeau, M. Body, A. Berthier, F. Miard, J.P. Christidès, M. Feinard-Duranceau, F. Brignolas, D. Giron, F. Lieutier, and A. Sallé, “Effects of fertilisation on amino acid mobilisation by a plant-manipulating insect,” *Ecological Entomology*, vol. 40, no. 6, pp. 814–822, 2015.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Some Results on Important Inequalities for Univalent Functions with Positive and Negative Coefficients

 Alaattin AKYAR<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Duzce Vocational School, Düzce University, Düzce, TURKEY*

\* *Corresponding author's e-mail address: alaattinakyar28@gmail.com*

### ABSTRACT

As it is known from Real Analysis, inequalities are used to give the definition of many mathematical concepts formally and to analyze them analytically. Similarly, the geometric characterizations of the range of analytic and univalent functions in the open unit disc  $U = \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$  can be easily analyzed with inequalities and easily classified these functions.

**Keywords:** *Analytic function, Convex function, Starlike function, Univalent function*

## Pozitif ve Negatif Katsayılı Univalent Fonksiyonlar için Bazı Önemli Eşitsizlikler

### Öz

Reel analizden bilindiği gibi, eşitsizlikler birçok matematiksel kavramın tanımını formal olarak vermek ve onları analitik olarak analiz etmek için kullanılır. Benzer olarak birim açık disk  $U = \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$  da analitik ve univalent olan geometrik fonksiyonların görüntü kümeleri eşitsizliklerle kolayca analiz edilebilir ve kolayca bu fonksiyonlar sınıflandırılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** *Analitik fonksiyon, Konveks fonksiyon, Starlike(yıldızlı) fonksiyon, Univalent(Yalınkat) Fonksiyon.*

# I. INTRODUCTION

Let  $S$  denote the class of functions of the form

$$w = f(z) = z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n = z + a_2 z^2 + \dots \quad (1)$$

which are both analytic and univalent in the open unit disc  $U = \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$ . Functions of the form (1) under their conditions, also satisfy the equations  $f(0) = 0$  and  $f'(0) = 1$  which are known as normalization conditions. It is a known fact that the concept of univalent, which counterpart in the Real analysis is one-to-one, has contributed to the development of Geometric function theory, as a much stronger property referring to both analytic and univalent function in Complex analysis. More importantly, this property is used as a basic mathematical tool in the classification of analytic functions that take the open unit disc  $U$  as the domain in the Riemann mapping theorem without loss of generality. Therefore it can be said Riemann's theorem constitutes the scientific foundations of the Geometric function theory. In this sense the inequalities given in this study are valid for univalent functions whose domain is the open unit disc  $U$ .

If the range of a function  $f$  of class  $S$  exhibits respect to the origin, then the inequality

$$Re\left(\frac{zf'(z)}{f(z)}\right) > 0 \quad (2)$$

is satisfied and vice versa. Accordingly, this class of functions is denoted by  $S^*$  and can be analytically given as

$$S^* = \left\{f(z) \in S : Re\left(\frac{zf'(z)}{f(z)}\right) > 0, z \in U\right\}. \quad (3)$$

The more specific subclass of starlike functions is the class of starlike functions of order  $\alpha$ , denoted by  $S^*(\alpha)$  with  $0 \leq \alpha < 1$ . This subclass can be given as

$$S^*(\alpha) = \left\{f(z) \in S : Re\left(\frac{zf'(z)}{f(z)}\right) > \alpha, \alpha \in [0,1), z \in U\right\}. \quad (4)$$

Another geometric characterization that a function  $f(z)$  belonging to the class  $S$  can exhibit is usual convexity. A function  $f \in S$  with this geometric characterization of the range provides the inequality

$$Re\left(1 + \frac{zf''(z)}{f'(z)}\right) > 0 \quad (5)$$

and vice versa. The class of  $f(z)$  functions that belonging to the class  $S$ , and additionally provide this last inequality, is denoted by  $C$  and can be analytically given by

$$C = \left\{f(z) \in S : Re\left(1 + \frac{zf''(z)}{f'(z)}\right) > 0, z \in U\right\}. \quad (6)$$

Also, the more specific subclass of convex functions is the class of convex functions of order  $\alpha$ , denoted  $C(\alpha)$  with  $0 \leq \alpha < 1$ . This class can be given as



$$C(\alpha) = \left\{ f(z) \in S : \operatorname{Re} \left( 1 + \frac{zf''(z)}{f'(z)} \right) > \alpha, \alpha \in [0,1), z \in U \right\}. \quad (7)$$

Based on the information given so far and the fact that a convex domain is also a starlike region with respect to every point at the same time, thus  $C(\alpha) \subset S^*(\alpha) \subset S$  can be written using the subset relation. The classes  $S^*(\alpha)$  and  $C(\alpha)$  satisfies Alexander duality relation [2];

$$zf'(z) \in S^*(\alpha) \Leftrightarrow f(z) \in C(\alpha), 0 \leq \alpha < 1. \quad (8)$$

The basic argument provided by this theorem, also known as the Alexander duality theorem that  $f(z)$  is univalent and convex if and only if  $zf'(z)$  can be univalent and convex. In this case, it can be said immediately that  $f$  is convex, according to the argument of Alexander's theorem, since the function  $f$  satisfies the normalization conditions and a convex region is also a starlike region with respect to each point. This brilliant theorem, which is not difficult to prove, is used as very useful mathematical tool in obtaining many result set forth in univalent function theory. On the other hand, it is clear that the functions belonging to these classes produce a set of adequacy conditions when mapping the open unit disc to simple regions which have as cute as it is interesting geometric characterizations. The theory of geometric function basically aims to classify analytic functions that are defined in the open unit disc  $U$  and have certain conditions such as being univalent, convex and starlike by relating them to the geometric characterization that all members of the most of specific class have, but not vice versa. Moreover, the common geometric characterization belonging to a class imposes very clear limitations on the Taylor coefficient of the functions belonging to the class. The best known among this is Bieberbach conjecture states that for every function  $f(z) = z + a_2z^2 + a_3z^3 + \dots$  of class  $S$ ,  $|a_n| \leq n, n \geq 2$ . Equality in inequality is considered an extremal property for these functions [1]. There is only one function that satisfies this property and is therefore known as the extremal function in Univalent function theory. This is the  $k(z) = z(1-z)^{-2}, |z| < 1$  function known as the Koebe function.

It should also be noted that all Taylor coefficients of  $f(z) \in S$  functions are positive, including the coefficient. Further, another subclass can be created by imposing a more specific condition on  $f(z)$  function. For example, let's take the function

$$w = f(z) = z - \sum_{n=2}^{\infty} |a_n| z^n = z - a_2z^2 - \dots \quad (9)$$

where all nonzero Taylor coefficients are negative starting from the second Taylor coefficient. Let the class of functions belonging to class  $S$ , which have the form (9) and are both analytic and univalent, be denoted by  $\lambda$  [6], [7]. According to the information given, class  $\lambda$  is a subclass of class  $S$ . In this case, the classes of  $\alpha$  order starlike and  $\alpha$  order convex functions denoted  $\lambda^*(\alpha)$  and  $\mathcal{K}(\alpha)$  with  $\alpha \in [0,1)$ , respectively [4], [5]. A function of the form (9) belongs to class  $\lambda$  if and only if the inequality  $\sum_{n=2}^{\infty} na_n \leq 1$  is satisfied [8]. Similarly, the condition  $\sum_{n=2}^{\infty} n|a_n| \leq 1$  is sufficient for all functions  $f(z)$  of the form (1) to be in  $S$ . Further, such functions are also starlike, since in this case  $\left| \frac{zf'(z)}{f(z)} \right| < 1 (z \in U)$  is proved. The coefficient restriction and thus geometric characterization make class  $\lambda$  more guidable then class  $S$ . Therefore, the solution of problems in class  $S$  is completely based on the solution of related problems in class  $\lambda$ .

## II. MAIN RESULTS

**Theorem 2.1.** Let the function  $f(z)$  have the form (1). In this case, the condition

$$\sum_{n=2}^{\infty} (n - 2^{-r}) |a_n| < 1 - 2^{-r}, r \in \mathbb{N}_0 \tag{10}$$

$$= \{0\} \cup \mathbb{N}$$

is a sufficient conditions for  $f(z) \in S^*(2^{-r})$ .

**Proof.** Based on the hypothesis of the theorem, to prove its conclusion, it is sufficient to show that  $zf'(z)/f(z)$  is in a circle with center  $w = 1$  and radius  $1 - 2^{-r}$ . Then,

$$\begin{aligned} \left| \frac{zf'(z)}{f(z)} - 1 \right| &= \left| \frac{zf'(z) - f(z)}{f(z)} \right| = \left| \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (n-1)a_n z^n}{z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n} \right| \\ &\leq \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (n-1)|a_n||z|^{n-1}}{1 - \sum_{n=2}^{\infty} |a_n||z|^{n-1}} \\ &\leq \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (n-1)|a_n|}{1 - \sum_{n=2}^{\infty} |a_n|}. \end{aligned}$$

The resulting last inequality is bounded above by  $1 - 2^{-r}$  if

$$\sum_{n=2}^{\infty} (n - 2^{-r}) |a_n| \leq (1 - 2^{-r}) \left( 1 - \sum_{n=2}^{\infty} |a_n| \right).$$

which is equivalent to

$$\sum_{n=2}^{\infty} (n - 2^{-r}) |a_n| < 1 - 2^{-r}. \tag{11}$$

But (11) is accurate by hypothesis. Hence  $\left| \frac{zf'(z)}{f(z)} - 1 \right| \leq 1 - 2^{-r}$ , and the theorem is proved.

A more general case of Theorem 2.1 can be found in [3]. In the light of the information given first chapter, the following corollary it can be easily deduced from Theorem 2.1.

**Corollary 2.1.** Let the function  $f(z)$  have the form (1). In this case, the condition

$$\sum_{n=2}^{\infty} n(n - 2^{-r}) |a_n| < 1 - 2^{-r}, r \in \mathbb{N} \tag{12}$$

then  $f(z) \in C(2^{-r})$ .

**Proof.** According to the Alexander's duality theorem (8), which points to the relations between  $C(2^{-r})$  and  $S^*(2^{-r})$ , that is  $f(z) \in C(2^{-r}) \Leftrightarrow zf'(z) \in S^*(2^{-r})$ . On the other hand, since  $zf'(z) = z + \sum_{n=2}^{\infty} na_n z^n$ , may be replace  $a_n$  with  $na_n$  in Theorem 2.1. At this stage, the desired result is obtained with a direct calculation.

**Theorem 2.2.** Let the function  $f(z)$  have the form (9). Then,  $f(z) \in \lambda^*(2^{-r})$  if and only if

$$\sum_{n=2}^{\infty} (n - 2^{-r}) |a_n| < 1 - 2^{-r}, r \in \mathbb{N}. \quad (13)$$

**Proof.** From Theorem 2.1, it is sufficient to prove only the if part. Since,

$$Re\left(\frac{zf'(z)}{f(z)}\right) = Re\left(\frac{z - \sum_{n=2}^{\infty} n|a_n|z^n}{z - \sum_{n=2}^{\infty} |a_n|z^n}\right) > 2^{-r}, r \in \mathbb{N}, z \in \mathbb{N}. \quad (14)$$

Here, when the  $z$  values choose on the real axis. If  $z \rightarrow 1$  is taken after necessary simplifications in (14), we have

$$1 - \sum_{n=2}^{\infty} n|a_n| \geq 2^{-r} \left(1 - \sum_{n=2}^{\infty} |a_n|\right).$$

Thus  $\sum_{n=2}^{\infty} (n - 2^{-r}) |a_n| \leq 1 - 2^{-r}$ , and the proof is completed.

**Corollary 2.2.** Let the function  $f(z)$  have the form (9). Then,  $f(z) \in C(2^{-r})$  if and only if

$$\sum_{n=2}^{\infty} n(n - 2^{-r}) |a_n| < 1 - 2^{-r}, r \in \mathbb{N}. \quad (15)$$

Its proof is a natural consequence of Theorem 2.1.

**Corollary 2.3.** Letting  $r \rightarrow \infty$  in Theorem 2.2., then,  $\lambda^*(2^{-r}) = \lambda^*(0) = \lambda^*$ .

The proof is obtained directly from the proof of Theorem 2.1.

### III. CONCLUSION

The main purpose of this study is to bring a different perspective to the inequalities used in the classification of analytical and univalent complex functions in the open unit disc  $U$  according to the geometric characterizations of the image regions. In this sense, general information and related resources are given in the first chapter. In the second part, our main results and their proofs are given.

### IV. REFERENCES

- [1] L. Brickman, T.H. MacGregor, D. R. Wilken, "Generating functions for some classes of univalent Convex hulls of some classical families of univalent functions," *Transactions of the American Mathematical Society*, vol.156, pp.91-107, 1971 .



- [2] P. L. Duren, *Univalent Functions*, Springer–Verlag, 1983.
- [3] A. W. Goodman, “Univalent functions and nonanalytic curves,” *Proceedings of the American Mathematical Society*, vol.8, no.3, pp.598-601, 1957 .
- [4] T.H. MacGregor, “The radius of convexity for starlike functions of order  $\frac{1}{2}$ ,” *Proceedings of the American Mathematical Society*, vol.14, no.1, pp.71-76, 1963
- [5] T.H. MacGregor, “Subordination for convex functions of order  $\alpha$ , ” *Journal of the London Mathematical Society*, vol.2, no.4, pp.530-536, 1975.
- [6] A. Schild, “On a class of functions schlicht in the unit circle, ” *Proceedings of the American Mathematical Society*, vol.5, no.1, pp.115-120, 1954.
- [7] A. Schild, “On a class of univalent, star shaped mappings, ” *Proceedings of the American Mathematical Society*, vol.9, no.5, pp.751-757, 1958.
- [8] H. Silverman, “Univalent functions with negative coefficients, ” *Proceedings of the American mathematical society*, vol.51, no.1, pp.109-116, 1975.
- [9] A. Akyar, “A new subclass of certain analytic univalent functions associated with hypergeometric functions, ” *Turkish Journal of Mathematics*, vol.46, no.1, pp.145-156, 2022.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## İzmir İli, Çiğli İlçesinin Mevcut ve İmar Uygulama Planındaki Açık Yeşil Alan Yeterliliğinin İrdelenmesi

 İzzet YÜKSEK <sup>a,\*</sup>,  Yeşim ESEN <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Mimarlık Bölümü, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, TÜRKİYE

<sup>b</sup> İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, Çiğli Belediyesi, İzmir, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: yeshim.esen@gmail.com

DOI: 10.29130.dubited.1067200

### ÖZ

Ülkemizde, özellikle büyükşehirlerde sanayileşmeye paralel olarak, kırsal alandan kentlere göçle beraber kentsel nüfus hızla artmıştır ve artmaya devam etmektedir. Nüfus artışı beraberinde düzensiz kentleşmeyi de getirmiştir. Plansız kentleşme, kentlilerin ihtiyacı olan asgari şartların sağlanmasını olumsuz etkilemektedir. Bu ihtiyaçlardan biri de açık – yeşil alanlardır. Açık-yeşil alanlar; halkın yaşam kalitesini olumlu yönde etkileyen ve kentleri pek çok açıdan daha yaşanabilir kılan, halkın sosyalleşme, spor ve temiz hava gibi ihtiyaçlarını karşılayabildikleri yerlerdir. Bu alanların yetersiz olması kent sakinlerinin yeşil alan ihtiyaçlarını kendilerine daha uzak, kırsal alanlardan karşılamasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada İzmir ili, Çiğli ilçesi örneğinde 1/1000 ölçekli uygulama imar planı üzerinden, açık-yeşil alanların yeterliliği analiz edilecektir. Bu bağlamda, toplam açık yeşil alan miktarı ve kişi başına düşen miktar ve oranları, yeşil alan parsel büyüklükleri mevcut açık-yeşil alan verileriyle karşılaştırılarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; ilçede kişi başına düşen açık-yeşil alan miktarı belirlenmiş, açık-yeşil alanların nitelik değerlerinin uluslararası standartlar çerçevesinde yetersiz olduğu tespit edilmiş ve çözüm önerileri geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Açık-yeşil alanlar, İzmir, Çiğli

## Investigating Adeacy of Open Green Spaces in The Current And Implementary Development Plan of Cigli Dististrict in Izmir Province

### ABSTRACT

In Turkey, parallel with industrialization, especially in metropolitan cities, the population is increasing rapidly with migration from rural areas to metropolitan regions. Increase in population has opened a road to unplanned urbanisation. Unplanned urbanisation negatively affects the life conditions of city dwellers. One of the most important needs of the city dwellers' is open-green spaces. Open-green spaces are the locations that positively affect the individuals life quality and make cities more livable in many respects. City dwellers can meet the many needs in open-green spaces like socialization, exercise and fresh air. The inadequacy of these spaces may divert city dwellers to rural areas far from them meet their green space needs. The current study aims to investigate adequacy of open-green spaces in 1/1000 scaled implementary development plan in case of Cigli district in Izmir province. In this context, the total size of open-green space and the size and rates per capita, green area parcel sizes were compared with the current open-green space data. In the result of the study; the size of open-green spaces per capita in the district has been determined, the values of open-green spaces are insufficient within the framework of international standards and suggestions for solution offered.

## **I. GİRİŞ**

Tarih öncesi uygarlıklarda açık-yeşil alan kavramına yapılan araştırma ve literatür tarama çalışmaların da rastlanılmamıştır. İlk çağlarda açık-yeşil alandan söz edilmese de o çağlardan kalan şehir kalıntıları, eser toplulukları bugünün açık alan olma potansiyelini taşımış ve günümüz açık-yeşil alan kriterlerinden birini oluşturmuştur. Yapılaşmaya yeni geçilmiş olması, herhangi bir yapı ve nüfus yoğunluğunun olmaması, insanların tarım ile uğraşması gibi sebepler yeşile duyulan ihtiyacın hissedilmemesine neden olabileceği düşünülmektedir.

Ülkemizde planlı bir park ve yeşil alan Cumhuriyet Dönemi ile başlamaktadır. Ancak kentleşme baskıları ve şehir planlama kavramının yeni başlaması nedeni ile yeşil alan anlayışı pasif bir tutum sergilemiş olup imar planlarında önerilen yeşil alanlar gerçekleşmemiştir. Ayrıca yasal mevzuat doğrultusunda hazırlanan imar planları ile sınırlı da olsa ayrılan açık-yeşil alanlar da siyasi amaçlara, oy kaygılarına, rant elde etme çabalarına alet olmakta ve birer birer konut, ticaret vb. fonksiyonlarla yapılaşmaya açılmaktadır. Ancak son yıllarda küresel ısınma kavramı açık-yeşil alana dolayısıyla doğaya duyulan ihtiyacı tetiklemiş ve tüm dünya ülkelerini harekete geçirmiştir. Ülkemizde yeşil alanların, yetersiz olması, fonksiyonel olmaması ve donatı eksikliğinin yanı sıra, halk tarafından kötü kullanımı ve tahribi de söz konusudur [1].

İmar Yönetmeliğinde, yeşil alan kavramı “Toplumun yararlanması için ayrılan oyun bahçesi, çocuk bahçesi, dinlenme, gezinti, piknik, eğlence, rekreasyon ve rekreatif alanların toplamıdır. Uluslararası ölçekteki fuar, botanik ve hayvanat bahçeleri ve bölgesel parkları da yeşil alan kapsamındadır” denilmektedir. Açık-yeşil alan kavramı ise “kent ve mahalle parkı, çocuk bahçesi ve oyun alanlarının toplamıdır” şeklinde tanımlanmaktadır [2], [3], [4]. Açık-yeşil alanlar kent insanının sosyo kültürel, psikolojik ve rekreasyonel açıdan gelişimi üzerine büyük etkiye sahiptir. Kentlerin estetik ve mimari formunun güçlü bir elemanı olan açık-yeşil alanlar, ekolojik olarak önemli olmanın yanı sıra, sosyal kaynaşmayı sağladığı, toplumsal gelişmeyi körüklediği, ekonomik amaç ve aktiviteleri desteklediği için de önemlidir [5], [6]. Erbatmaz’ a [7] göre açık-yeşil alanlar; kentlerin doğayla ilişkilerini sürdürmelerine olanak tanıyarak her yaştaki insanlar için farklı aktiviteler sunmaktadır. Bu nedenle kentli açısından öneminin göz ardı edilmemesi gereklidir. Mevcut açık-yeşil alanlar korunmalı yeni yapılacaklar ise hem büyüklük hem de işlevsel olarak kullanıcıların gereksinimlerine cevap verecek şekilde planlanmalı ve tasarlanmalıdır [6], [8].

Literatürde açık-yeşil alan normu için, kentin fiziksel yani gözlemlenebilir özellikleri kadar sosyal, kültürel, ekonomik faktörlerle birlikte kullanım yoğunluğunun da önemli rol oynadığı görülmüştür. Açık-yeşil alan normu, tüm açık-yeşil alanların kentin nüfus büyüklüğüne oranı yani kişi başına düşen açık yeşil alan şeklinde ifade edilmektedir. Ancak bu ifade sadece niceliksel bir yaklaşımdır. Açık-yeşil alanların mevcut alanı kadar, sahip olduğu ekipmanı, fonksiyonelliği ve görünümü de önemlidir. Bu norm, yaşadığımız kentten değerine de değişiklik göstermektedir. Çünkü kentlerde yaşayan insanların öğrenim durumu, ekonomik durumu ve yaşı değişiklik göstereceğinden bu normlarda farklılıklar göstermektedir. Açık-yeşil alanların, insanların oturdukları bölgelere yakın yani kolayca ulaşılabilir olmaları da önem arz etmektedir. Gelişmiş ülkelere bakıldığında, kişi başına düşen açık yeşil alan miktarı, ülkemizde çok düşük seviyede kalmaktadır. Ülkemizde bu oran 1,2 m<sup>2</sup>/kişi’ dir [9].

Türkiye’de kişi başına düşen yeşil alan miktarı ilk kez YapıYolları Kanunu ve kent düzenleme planlarında 4 m<sup>2</sup>/kişi olarak önerilmiştir [10]. Bu öneri İmar Kanununun 1956 yılında yürürlüğe girmesiyle son bulmuştur. 6785 /1605 Sayılı İmar Kanununun 28. maddesinde ise bu durum en az toplam 7 m<sup>2</sup>/kişi olarak planlanmıştır [9], [11]. İmar İskân Bakanlığı İmar İşleri Genel Müdürlüğü Yüksek Kurulu’nun 22.12.1975 tarihli genelge gereği, Metropolitan Alan Nazım Planı’nda, iskâna açılan alanlarda geliştirilecek uygulama planlamasında kişi başına 9,25 metrekarelik açık-yeşil alan normu getirilmiştir [12]. 02.11.1985 tarih ve 18916 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanan 3194 Sayılı İmar Kanununun yürürlüğe giren Plan Yapımına Ait Esaslara Dair Yönetmelikte kişi başına 7 metrekarelik

açık-yeşil alan normu önerilmiştir [13]. 3194 sayılı İmar Kanunu'nun, yönetmeliğine bakıldığında belediyelerde bu durum 10 m<sup>2</sup>/kişi olarak düzenlenmiştir (Tablo.1) [14], [15], [16], [17].

**Tablo 1. Ülkemizde Açık-Yeşil Alanlara Yönelik Yasal Düzenlemeler.**

KANUN	TOPLAM (m <sup>2</sup> / kişi)
2290 Sayılı Yapı Yollar Kanunu ile Yeşil Alanlar	4,00
6875/1605 Sayılı İmar Kanunu, 06.07.1956 Tarihli Resmi Gazete	7,00
Metropolitan Alan Nazım Planı, 22.12.1975 Tarihli Genelge	9,25
3194 Sayılı İmar Kanunu, 02.11.1985 Tarihli ve 18916 Sayılı Resmi Gazete	7,00
3194 Sayılı İmar Kanunu, 02.09.1999 Tarihli ve 23804 Sayılı Resmi Gazete	10,00

Ancak bu yönetmelikte, yeşil alanlarla ilgili planlama, dağılım ve uygulama hakkında açıklayıcı bir hükme yer verilmediği görülmüştür. Bu nedenle açık-yeşil alanların büyüklüklerini Tablo 2' deki gibi değerlendirmek de mümkündür [18].

**Tablo2. Açık yeşil alanların kullanım yerine göre en az ve en uygun alan büyüklüğü.**

AÇIK YEŞİL ALANLAR	ALAN BÜYÜKLÜĞÜ (da) EN AZ-EN UYGUN	KULLANIM YERİ
Çocuk Bahçeleri	2-6	Tek olarak oyun alanları, mahalle, semt ve kent parkları, özel bahçeler içinde
Çocuk Oyun Alanları	8-20	Mahalle ve kent parkları, okul bahçelerinde
Spor Alanları	40-60	Tek olarak veya semt parkları içinde
Mahalle Parkları	20-40	Tek olarak veya semt parkları içinde
Semt Parkları	200-400	Tek olarak veya semt parkları içinde
Kent Parkları	400-1000	Kent rekreasyon dokusu içinde ana rekreasyon alanı olarak
Yöre Parkları ve Mesire Yerleri	1000-2000	Kent yakın çevresinde 300 dakikalık araba sürüş mesafesinde
Bölge Parkları	3000-4000	Kent uzak çevresinde 1-2 saatlik sürüş mesafesinde

Açık yeşil alanları ele aldığımızda, Yıldızci' ya [19] göre İmar ve İskân Bakanlığı Metropolitan Alan Nazım Planında mahalle ünitesini nüfusu minimum 15000 kişi, alanı 45 ha, yoğunluğu ise maksimum 350 kişi/ha olarak kabul eder. Mahalle ünitesi düzeyinde donatım çeşidi olarak kişi başına 2 metrekare oyun ve spor alanı ile 2 metrekare mahalle parkı önerilmektedir [6], [20]. Küçük parklar alan büyüklüğü 5001-20.000 metrekareye kadar olan mahalle biriminde komşuluk grubu içerisinde yer alan ve genellikle çocuk bahçesi ve okul bahçesi ile bütün olarak ele alınan parklardır [6], [21]. Mahalle parkları, hizmet yarıçapları 400-800 metre olup 1000-2000 kişiye hizmet verebilir. Spor alanları ve meydanlar, semt parkları da mahalle ünitesi düzeyindedir. Kent ünitesi düzeyinde açık-yeşil alanlar spor tesis alanları, kent parkları, tema parkları, kent içi yollar ve refüjler, kent koruları, kent küçük bahçeleri, mezarlıkları içermektedir. Kırsal açık-yeşil alanları ele aldığımızda, orman alanları, bölge parkları ve koruma alanlarını içermektedir. Bölge parkları, kullanıcılar parka özel otomobil, toplu taşıma araçları, bisiklet ya da yaya olarak ulaşabilmeli, ortalama ulaşım süresi ise 30 dakika ile 1 saat arasında olmalıdır. Hizmet yarıçapı en az 16 km, büyüklükleri ise 2000 dekadardır [6], [22,]. Açık-yeşil alan miktarının saptanmasında genel kural, yürüme mesafesinin kısalmasıyla açık yeşil alanın artması ve donanım ihtiyacının karmaşıklaşması denilmektedir (Tablo. 3) [4], [23].

**Tablo. 3 Türkiye'deki mevcut açık-yeşil alan sınıflandırması [6].**

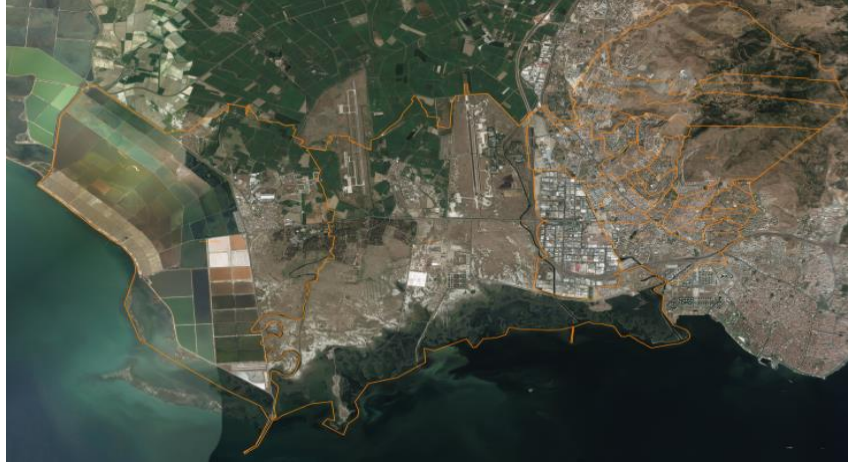
TÜRKİYEDEKİ MEVCUT AÇIK-YEŞİL ALAN TİPOLOJİSİ							
DÜZEYLERİ		ETKİ HİZMET ALANI (m)	ALAN BÜYÜKLÜĞÜ (da)	YÜRÜME UZAKLIĞI Ort. - Max. (m)	YÜRÜME SÜRESİ Ort. - Max. (dk)		
							BİNA (KONUT) DÜZEYİNDE AÇIK-YEŞİL ALANLAR
	Toplu Konut Bahçeleri						
		Çocuk Oyun Yeri (1-3yaş)	100 m (Max.)	0,05 da - 0,2 da	30 m		
İLKÖĞRETİM (KOMŞULUK) DÜZEYİNDE AÇIK-YEŞİL ALANLAR	Çocuk Oyun Alanları	Çocuk Bahçesi Yeri (4-7yaş)	200 m - 600 m	2 da - 6 da	400 m - 600 m	10 dk - 15 dk	
		Oyun Alanları (8-15yaş)	400 m - 600 m	8 da - 16 da	400 m - 600 m	10 dk - 15 dk	
	Okul Bahçeleri						
AÇIK-YEŞİL ALANLAR	MAHALLE VE SEMT ÜNİTESİ DÜZEYİNDE AÇIK-YEŞİL ALANLAR	Küçük Parklar		5 da - 20 da			
		Mahalle Parkları	800 m - 1600 m	20 da - 40 da	800 m - 1200 m	20 dk - 30 dk	
	Spor Alanları	800 m - 1600 m	40 da - 60 da	800 m - 1200 m	20 dk - 30 dk		
	Meydanlar						
	Semt Parkları	1500 m - 2500 m	80 da - 400 da	800 m - 1200 m	20 dk - 30 dk		
	Spor Tesis Alanları	800 m - 1600 m	40 da - 60 da	800 m - 1200 m	20 dk - 30 dk		
	Kent Parkları	1 km - 10 km	400 da - 10000 da	1200 m - 1600 m	30 dk - 40 dk		
	KENT ÜNİTESİ DÜZEYİNDE AÇIK-YEŞİL ALANLAR	Tema Parkları	Hayvanat Bahçeleri	Tüm Kent	Min. 400 da		
			Botanik Bahçeleri	Tüm Kent	Min. 200 da		
		Fuar ve Festival Alanları	Tüm Kent				
Kent İçi Yollar ve Refüjler		Tüm Kent					
Kent Koruları	Tüm Kent		Min. 40 da				
Hobi Bahçeleri	Tüm Kent						
Mezarlıklar	Tüm Kent						
KIRSAL AÇIK-YEŞİL ALANLAR	BÖLGE DÜZEYİNDE AÇIK-YEŞİL ALANLAR	Ormanlar	Tüm Kent				
		Bölge Parkları	5 km - 25 km	Min. 1000 da		60 dk sürüş uzaklığı	
	Koruma Alanları	Milli Parklar	Bölgesel - Ulusal ve Uluslararası				
		Tabiat Parkları					
		Tabiat Koruma Alanları					
Tabiat Anıtları							



Ülkemizde çarpık kentleşme eğilimi ve düzensiz uygulanan planlamalar, insanları doğal ortamdan uzaklaştırmakta, monotonlaştırmakta, fiziksel ve zihinsel olarak da olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu durum, insan sağlığı ve yaşam kalitesinin de düşmesine neden olmaktadır. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda açık yeşil alanların artırılması gerektiği düşünülmektedir.

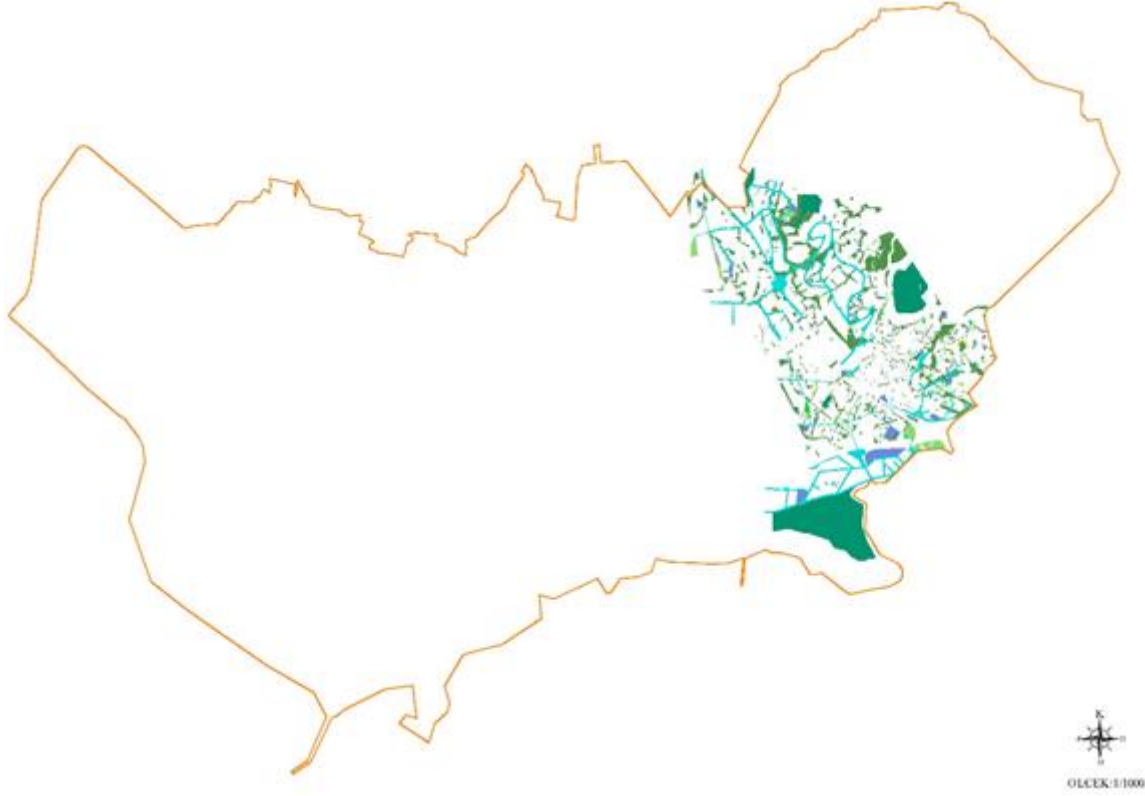
## **II. ÇALIŞMA ALANI VE MATERYAL - YÖNTEM**

Çiğli, İzmir Körfezi'nin kuzeyinde, eski Gediz yatağının oluşturduğu ovada kurulmuştur, yüzölçümü 138 km<sup>2</sup> dir. Kuzeyinde Menemen, güneybatısında İzmir Körfezi, doğusunda Karşıyaka bulunmaktadır. İlçenin denizden yüksekliği 1-150 m. arasındadır. Hizmetleri İzmir Büyükşehir Belediyesi ve İzmir Çiğli Belediyesi tarafından yürütülmekte olan ilçeye ait toplam 27 adet mahalle bulunmaktadır (Şekil 1). Bu mahallelerin 1 tanesi AOSB' de (Atatürk Organize Sanayi Bölgesi) bulunmakta ve 5 mahallesinde de 1/1000 ölçekli imar planlarında değişiklik yapılmaktadır. Yörenin genelde bataklık ve sazlık olması ve yeşil alanlara çok çığ düşmesinden dolayı, ilk yerleşenler tarafından buraya "Çiğli" adının verildiği söylenmektedir. Katip Çelebi Üniversitesinin 2010 yılında kurulması ve Bakırçay Üniversitesi Çiğli Eğitim ve Araştırma Hastanesinin birlikte sosyal, ekonomik, ekolojik ve kültürel açıdan değişiklikler saptanmaktadır. Bu tür değişimler açık yeşil alanlar ve rekreasyon alanlarının da ihtiyaç ve etkinliklerini artır maktadır.



*Şekil 1. Çalışma alanının Google görüntüsü.*

İzmir ili Çiğli ilçesine ait mevcut ve 1/1000 ölçekli imar planında bulunan açık-yeşil alanlar çalışmanın ana materyalini oluşturmaktadır. Planda bulunan açık-yeşil alanların sayısallaştırma çalışması Çiğli Belediyesi Plan ve Proje Müdürlüğünden alınan 1/1000 ölçekli imar uygulama planlarından sağlanmıştır. Mevcut açık-yeşil alanlarla ilgili bilgiler Çiğli Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü'nün raporları ve yerinde incelemelerle elde edilmiştir. İmar planı üzerinde sayısallaştırma çalışmalarında Netcad 4.0 ve AutoCAD 2016 yazılımlarından yararlanılmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında, elektronik ortamda alınan paftalar bilgisayara aktarılmış ve sayısallaştırma çalışması ile plandaki açık-yeşil alanların imar planındaki yerleri belirlenmiştir (Şekil 2). Sayısallaştırma işleminde açık-yeşil alanlar (park, çocuk bahçesi, spor alanları ve oyun alanları) değerlendirmeye alınmış olup, mevcut açık-yeşil alanlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, güncel nüfus verilerinin sayısallaştırılan plandaki ve mevcut açık-yeşil verilerine oranı yardımıyla kentsel alanda kişi başına düşen açık-yeşil alan miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra açık-yeşil alanların sayıları ve genişlikleri belirlenerek yeşil alan parsellerinin parçalılık durumu ve ideal ölçülere uygunlukları incelenmiştir.



*Şekil 2. Yeşil alanların sayısallaştırılması.*

Açık-yeşil alanların alan çalışması yapılırken imar planı ile karşılaştırıldığında planda önerilmeyen bazı açık-yeşil alanların varlığı ve planda önerilen ancak bir kısmının yeşil alan olarak yapıldığı tespit edilmiştir. Mevcutta açık-yeşil alanların bir kısmı 1/1000 ölçekli imar planında farklı kullanıma ayrılmış belediye mülkiyetindeki alanlarda yer almakta olduğu da tespit edilmiştir.

### **III. BULGULAR**

Çiğli İlçesine bağlı 27 mahalle ve buraya ait imar planında 13.856 ha alan bulunmaktadır (Şekil 3). İmar planı üzerinde yapılan sayısallaştırma sonucunda 295 ha alanın açık-yeşil alan olarak planlandığı belirlenmiştir. Mevcuda bakıldığında 59,24 ha açık-yeşil alanın kullanılıyor olduğu görülmüştür. Planda ve mevcut karşılaştırıldığında, imar planındaki açık-yeşil alanların %20 oranında gerçekleştiği görülmektedir. Çalışma kapsamında bulunan Çiğli Belediyesi sınırları içerisindeki imar planında bulunan Atatürk Organize Sanayi Bölgesi, Cumhuriyet Mahallesi, Harmandalı Gazi Mustafa Kemal Atatürk Mahallesi, İnönü Mahallesi, Sasalı Mahallesi ve Kaklıç Mahallelerini kapsamamaktadır. Söz konusu durum, ilçenin bir kısmında imar çalışmalarının henüz yapılmamış veya değişikliğe uğrayacak olmasından ve organize sanayi bölgesinde bulunmasından kaynaklanmaktadır. İmar planında açık-yeşil alan miktarı ve ilçenin nüfusu göz önüne alındığında, plandaki kişi başına düşen açık-yeşil alan miktarı 14,52 m<sup>2</sup>/kişi'dir (Tablo 4).



Şekil 3. Çiğli mahalle sınırları haritası.

Tablo 4. 1/100 Ölçekli İmar Planı açık-yeşil alanların mahallelere göre kişi başına düşen yeşil alan miktarı.

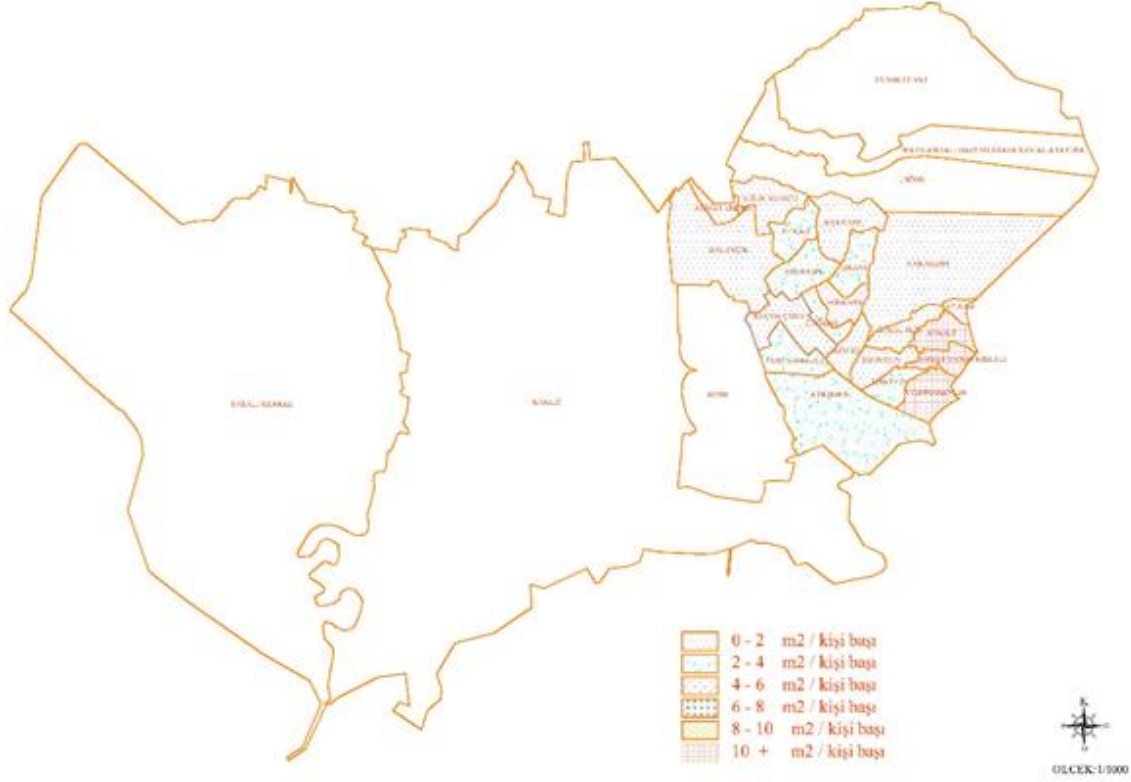
SIRA NO	MAHALLE ADI	MAHALLE ALANI (m <sup>2</sup> )	TOPLAM AÇIK-YEŞİL ALAN (m <sup>2</sup> )	NÜFUS (2019 YILI)	KİŞİ BAŞINA DÜŞEN YEŞİL ALAN ORANI (m <sup>2</sup> /kişi)
1	AHMET EFENDİ	281.534,15	44.425,63	1107	40,13
2	AHMET TANER KIŞLALI	444.247,53	56.837,00	6732	8,44
3	ATAŞEHİR	3.367.039,79	405.615,26	26736	15,17
4	ATATÜRK	1.071.841,75	119.272,01	11569	10,31
5	AYDINLIKEVLER	738.447,80	132.818,30	3933	33,77
6	BALATÇIK	3.001.892,76	288.002,79	14121	20,40
7	CUMHURİYET	9.582.623,67	0,00	6931	0,00
8	ÇAĞDAŞ	350.505,76	87.024,19	9736	8,94
9	EGEKENT	507.405,28	61.145,50	8678	7,05
10	ESENTEPE	847.926,37	160.520,47	4679	34,31
11	EVKA-2	581.078,26	115.654,14	4491	25,75
12	EVKA-5	636.793,45	90.032,75	13184	6,83
13	EVKA-6	159.853,23	14.914,56	2393	6,23
14	GÜZELTEPE	539.370,69	45.897,52	6665	6,89
15	HARMANDALI GAZİ MUSTAFA KEMAL ATATÜRK	399.845,42	0,00	2449	0,00
16	İNÖNÜ	5.245.119,20	0,00	6851	0,00
17	İZKENT	668.043,59	181.713,07	6568	27,67
18	KAKLIÇ	50.636.630,40	0,00	1623	0,00
19	KÖYÜÇİ	460.640,29	24.862,79	4230	5,88
20	KÜÇÜK ÇİĞLİ	1.027.579,70	48.854,02	19802	2,47
21	MALTEPE	450.961,72	49.713,55	3826	12,99
22	SASALI MERKEZ	43.894.483,52	0,00	3759	0,00
23	ŞİRİNTEPE	599.159,57	62.008,98	8345	7,43
24	UĞUR MUMCU	869.904,01	348.980,09	4794	72,80
25	YAKAKENT	4.972.788,65	561.510,23	8790	63,88
26	YENİ MAHALLE	751.301,70	50.292,69	11213	4,49
27	AOSB	6.480.244,95	0,00	-	0,00
	TOPLAM	138.567.263,21	2.950.095,54	203.205,00	14,52

Mevcut açık-yeşil alan miktarı ve güncel ilçe nüfusu dikkate alınarak yapılan hesaplama sonucunda ise, kişi başına düşen açık-yeşil alan miktarı 2,92 m<sup>2</sup>/kişi olarak belirlenmiştir (Tablo 5).

**Tablo 5.** Mevcut açık-yeşil alanların mahallelere göre kişi başına düşen yeşil alan miktarı.

SIRA NO	MAHALLE ADI	MAHALLE ALANI (m <sup>2</sup> )	TOPLAM AÇIK-YEŞİL ALAN-ÇİĞLİ (m <sup>2</sup> )	TOPLAM AÇIK-YEŞİL ALAN-BÜYÜKŞEHİR (m <sup>2</sup> )	NÜFUS (2019 YILI)	KİŞİ BAŞINA DÜŞEN YEŞİL ALAN ORANI (m <sup>2</sup> /kişi)
1	AHMET EFENDİ	281.534,15	0	0,00	1107	0
2	AHMET TANER KİŞLALİ	444.247,53	39.370,00	47.978,00	6732	12,98
3	ATAŞEHİR	3.367.039,79	64.607,59	41.155,00	26736	3,96
4	ATATÜRK	1.071.841,75	5.750,00	0,00	11569	0,5
5	AYDINLIKEVLER	738.447,80	6.400,00	61.860,00	3933	17,36
6	BALATÇIK	3.001.892,76	11.045,00	0,00	14121	0,78
7	CUMHURİYET	9.582.623,67	5.980,00	0,00	6931	0,86
8	ÇAĞDAŞ	350.505,76	29.204,00	0,00	9736	3
9	EGEKENT	507.405,28	9.000,00	30.387,00	8678	4,54
10	ESENTEPE	847.926,37	10.600,00	0,00	4679	2,27
11	EVKA-2	581.078,26	35.607,00	12.884,00	4491	10,8
12	EVKA-5	636.793,45	14.401,00	19.782,00	13184	2,59
13	EVKA-6	159.853,23	11.256,00	0,00	2393	4,7
14	GÜZELTEPE	539.370,69	4.108,00	3.500,00	6665	1,14
15	HARMANDALI GAZİ MUSTAFA KEMAL ATATÜRK	399.845,42	4.150,00	0,00	2449	1,69
16	İNÖNÜ	5.245.119,20	5.250,00		6851	0,77
17	İZKENT	668.043,59	11.206,00	11.456,00	6568	3,45
18	KAKLIÇ	50.636.630,40	0	0,00	1623	0
19	KÖYİÇİ	460.640,29	2.250,00	0,00	4230	0,53
20	KÜÇÜK ÇİĞLİ	1.027.579,70	14.544,00	8.530,00	19802	1,17
21	MALTEPE	450.961,72	9.962,00	0,00	3826	2,6
22	SASALI MERKEZ	43.894.483,52	0	0,00	3759	0
23	ŞİRİNTEPE	599.159,57	3.370,00	0,00	8345	0,4
24	UĞUR MUMCU	869.904,01	8.550,00	0,00	4794	1,78
25	YAKAKENT	4.972.788,65	14.269,00	0,00	8790	1,62
26	YENİ MAHALLE	751.301,70	21.120,00	12.900,00	11213	3,03
27	AOSB	6.480.244,95	0,00	0,00	-	0,00
	TOPLAM	138.567.263,21	341.999,59	250.432,00	203.205,00	2,92

Bu miktar, günümüz için geçerli olan 10 m<sup>2</sup>/kişi bakımından değerlendirildiğinde kişi başına 7,08 m<sup>2</sup>/kişi açık-yeşil alan eksiği bulunduğu, yani imar planında, planlanan açık-yeşil alanının 144 ha alanı kadar daha mevcut yeşil alanın kullanıma açılmış olması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu miktar 10 m<sup>2</sup>/kişi normunun mevcut açık-yeşil alan miktarları mahalle bazında incelendiğinde, açık-yeşil alan bulunan 27 mahallenin 21 tanesi değerlendirildiğinde yalnızca 3' ünde kişi başına miktarın 10 m<sup>2</sup>/kişi ve üzerinde olduğu belirlenmiştir. 9 mahallede bu miktar 2-8 m<sup>2</sup>/kişi arasında değişmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Açık-yeşil alan dağılım haritası.

Çiğli’de yapılan çalışma sonucu elde edilen sonuçlara bakıldığında kişi başına düşen mevcut açık-yeşil alan miktarı Ahmet Taner Kışlalı, Aydınlıkevler ve Evka-2 Mahallelerinde %10’un üzerinde ancak Ataşehir, Köyiçi ve Yenimahalle mahalleleri gibi ilçenin merkezinde yer alan bu 3 mahallede ise elde edilen bulgular % 4’ün altında olduğu saptanmıştır.

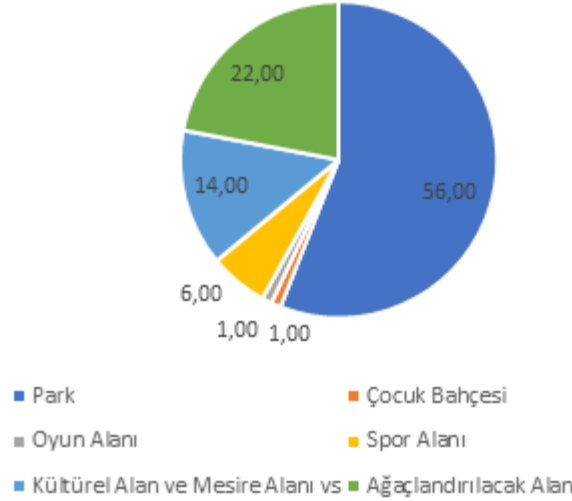
Çiğli’de açık-yeşil alanların çok parçalı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. İmar planında birbiri ile bağımsız olarak planlanmış 1133 adet açık-yeşil alan parseli olduğu da görülmektedir. Bu parsellerin %79’u 0,2 ha ve altında büyüklüğe sahiptir. 0,21-0,4 ha arası büyüklüğü olan açık-yeşil alan parsellerinin oranı %11 iken 0,4 ha ve üzeri %10 büyüklüğe sahiptir. Uygulaması yapılmış mevcut açık-yeşil alan parsel sayısı ise 215’ tir. Mevcut parsellerin % 62’ si 0,2 ha ve daha az, %22’si 0,21-0,4 ha arasında büyüklüğe sahip iken 0,4 ha ve üzeri %16 büyüklüğe sahiptir (Tablo 6). En geniş mevcut açık-yeşil alan parseli, 2,52 ha alana sahip Egekent Mahallesi’nde bulunmaktadır. Yeşil alanların ideal genişlikleri ülkemizde ve diğer ülkelerde planlanan normların genel ortalamalarını alarak mahalle parkı için 4 ha ve semt parkı için de 16 ha değerleri belirlenmiştir [24]. Tablo 1 incelendiğinde, öngörülen açık-yeşil alan parsellerinin 4 adedinin 4,01 ha ve daha fazla genişliğe sahip olduğu ancak mevcut parsellerin hiçbirinde bu şartın sağlanmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 6. Planda ve mevcutta açık-yeşil alan sayılarının kapladıkları alanlara göre dağılımı.

	ALAN (ha)											
	0,1-0	0,20-0,11	0,40-0,21	0,60-0,41	0,80-0,61	1,00-0,81	1,20-1,01	1,60-1,21	2,00-1,61	4,00-2,01	7,60-4,01	Toplam
Öngörülen	711	189	122	45	25	8	8	14	2	5	4	1133
Mevcut	94	39	47	16	5	2	2	4	3	3	-	215

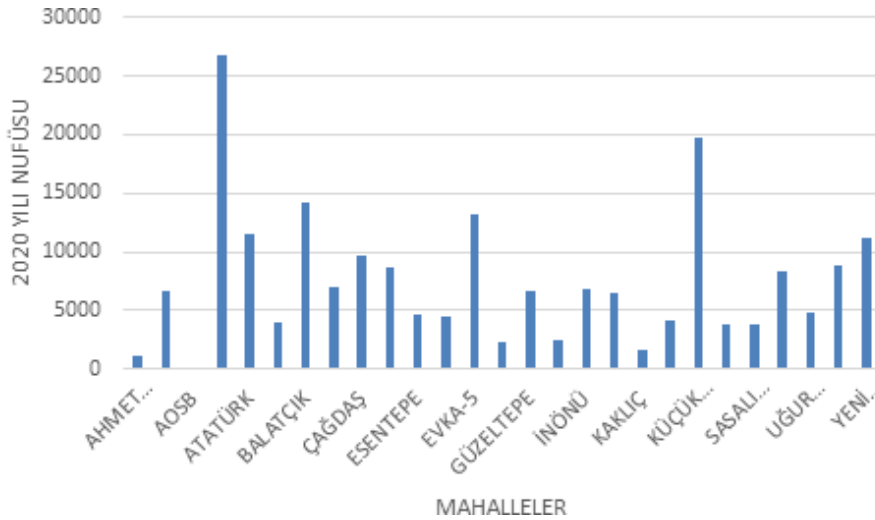
Açık-yeşil alanların konutlara yakın olduğunda daha sık ziyaret edileceği [14, 25, 26, 27] ve bu ölçüde açık-yeşil alanların konut seçimini de etkilediği düşünülmektedir [28]. İmar planlarında yer alan toplam açık-yeşil alanların %56'sını parklar, %22'sini ağaçlandırılacak alanlar, %14'ünü kültürel alanlar-mesire alanları vs., % 6'sını spor alanları, %1'ini çocuk bahçeleri, %1'inin de oyun alanlarından oluştuğu görülmektedir (Şekil 5).

Nüfus dağılımı açısından mahalleler bakıldığında, 0–1000 arası nüfuslu mahallenin olmadığı, 1000–5.000 arası nüfuslu 11 mahallenin, 5.000–10.000 arası nüfuslu 9 mahallenin, 10.000–15.000 arası nüfuslu 4 mahallenin, 15.000–20.000 arası nüfuslu 1 mahallenin ve 20.000 kişiden daha fazla nüfuslu 1 mahallenin bulunduğu, AOSB ile birlikte toplam 27 tane mahallenin bulunduğu da tespit edilmiştir (Tablo 7).



Şekil 5. İmar planı verilerine göre Çiğli İlçesi açık-yeşil alanlarının türleri.

Tablo 7. Çiğli'de bulunan mahallelerin nüfusları.



## IV. SONUC VE ÖNERİLER

Çalışmada Çiğli genelinde elde edilen verilere bakıldığında ulaşılan sonuçlar şu şekildedir. İlçede mahalle bazında kişi başına düşen açık-yeşil alan miktarlarında, birbirini tutmayan ölçütler görülmektedir. Normlara bakıldığında kişi başına düşen açık-yeşil alan miktarının 10 m<sup>2</sup>/kişi olması beklenirken bu miktarın 18 mahallede (Ahmet Efendi, Ataşehir, Atatürk, Balatçık, Çağdaş, Egekent,

Esentepe, Evka-5, Evka-6, Güzeltepe, İzkent, Köyiçi, Küçük Çiğli, Maltepe, Şirintepe, Uğur Mumcu, Yakakent ve Yeni Mahalle Mahallelerinde) 5 m<sup>2</sup>/kişi den az olduğu görülmüştür.

Çiğli'de açık-yeşil alanların, planda ve mevcutta küçük ve çok parçalı olması, bir yeşil alanı aynı anda kullanabilecek kişi sayısının düşmesine, alanın verimli kullanılmamasına ve kent yaşamına katkıları bakımından da birtakım olumsuzluklara sebep olduğu düşünülmektedir. Bu alanların toplam büyüklükleri, kent genelindeki dağılımları ve parsel boyutları bakımından yeniden verimli bir şekilde kullanılması gerektiği, ayrıca birbirleriyle bağlantı kurulması, koridorlar oluşturulması da önem arz etmektedir. Bunlara ek olarak resmi kurum binalarına ait bahçelerin, kurum ve kuruluşlarla protokol düzenlenerek bu bahçelerin bir kısmının açık-yeşil alan olarak vatandaşların yararlanabileceği bir yer haline getirilebilmesi de önerilmektedir.

İzmir ili, Çiğli ilçesi için açık-yeşil alanların yeterliliğinin incelenmesinde kullanılan bakış açıların ve çözüm önerilerinin, henüz bu bakımdan incelenmemiş kentler için yapılacak araştırmalara ve yerel yönetimlerin imar planı çalışmalarına ışık tutacağı düşünülmektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] Özdamar, U., “Açık-Yeşil Alanların Kullanımlarının İmar Planlarındaki Dağılımları ve Uygulama Sorunları-Bursa Osmangazi Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2006.
- [2] 3194 Sayılı İmar Kanunu ve İlgili Yönetmelikler, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye: Anonim, 2000.
- [3] Önder, S. ve Polat, A.T., “Kentsel Açık-Yeşil Alanların Kent Yaşamındaki Yeri”, *Kentsel Peyzaj Alanlarının Oluşumu ve Bakım Esasları Semineri*, Konya, 2012.
- [4] Gül, A. ve Küçük, V., “Kentsel Açık-Yeşil Alanlar ve Isparta Kenti Örneğinde İrdelenmesi” *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. A, s.2, ss. 27-48, 2001.
- [5] Etli, B., “Edirne ili merkez ilçe yeşil alan sisteminin peyzaj mimarlığı ilkeleri yönünden irdelenmesi”, *Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 47-59, 2002.
- [6] Önen, E., “Kentsel Açık-Yeşil Alan Stratejilerinin Belirlenmesi: Güzelbahçe (İzmir) İlçesi Örneği”, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2015.
- [7] Erbatmaz, E., “İzmir İli Gaziemir İlçesi Mevcut Alan Kullanım Kararları ve Açık Yeşil Alanların Saptanması Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 1999.
- [8] Tosun, E., “Tekirdağ İli Çorlu İlçesi Açık ve Yeşil Alanların Saptanması Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Trakya Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2007.
- [9] Yıldızcı, A.C., “Kentsel Yeşil Alanlar”, Yüksek Lisans Ders Notları, İstanbul, 1987.
- [10] Yapı Yolları Kanunu, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı:2433, 21.06.1933.
- [11] İmar Kanunu, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı:9359, 16.07.1956.
- [12] Metropolitan Alan Nazım Planı, 1975.

- [13] 3194 Sayılı İmar Kanunu, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı:18916, 1985.
- [14] Doygun, H. ve İltter, AA., “Kahramanmaraş Kentinde Mevcut ve Önerilen Açık-yeşil Alan Yeterliliğinin İncelenmesi”, *Ekoloji Dergisi*, s. 17, s. 65, ss. 21-27, 2007.
- [15] Demir, Z., Kırkık Aydemir, P., Önem, H., “Kentsel Yeşil Alanların Düzce Akçakoca Örneğinde Ulaşılabilirlik Bakımından İrdelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 3, ss. 272-282, 2015.
- [16] 3194 Sayılı İmar Kanunu, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı:23804, 1999.
- [17] Çebi, T. Ve Demir, Z., “Düzce İli Kalıcı Konutlar Bölgesindeki Spor Alanlarının Yeterliliğinin İrdelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 8, ss. 485-498, 2020.
- [18] Tümer, S., *Rekreasyon Alan ve Tesisleri Ölçütleri*, Ankara, Türkiye: T.T.B. Planlama Dairesi Yayınları Başkanlığı, Ankara, 1976.
- [19] Yıldızcı, A. C., “Kentsel Yeşil Alan Planlaması ve İstanbul Örneği”, Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1982.
- [20] Aksoy, Y., “İstanbul Kenti Yeşil Alan Durumunun İrdelenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (yayımlanmamış), 2001.
- [21] Kesim, G. A., Demir, Z., Kutay, E., Örneççi, S. ve Yerli, Ö., “Yeni düzce yerleşiminde bir parkın fonksiyonel açıdan irdelenmesi”, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, s. 2, s. 1, ss. 11-27, 2006.
- [22] Özkan, M. B., *Kentsel Rekreasyon Alan Planlaması Ders Kitabı*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, İzmir, Türkiye, 2001, 79 s.
- [23] Ergin, Ş. “Kentsel Açık-Yeşil Alan Donanımının Niceliksel Değerlendirilmesine Yönelik Matematiksel Bir Model Önerisi”, *D.E.Ü. M.M.F. M.M.F./ŞBP*, s. 187, İzmir, 1989.
- [24] Altunkasa, M.F., “Adana'nın Kentsel Gelişim Süreci ve Yeşil Alanlar”, Adana Kent Konseyi Çevre Çalışma Grubu Bireysel Raporu, Adana, Türkiye, 2004.
- [25] Burgess J, Harrison C.M., Limb M, “People, parks and the urban green: a study of popular meanings and values for open spaces in the city”, *Urban Studies*, vol. 25, pp. 455-473, 1988.
- [26] Coles R.W, “Bussey S.C., Urban forest landscapes in the UK - progressing the social agenda”, *Landscape and Urban Planning*, vol. 52, pp. 181-188, 2000.
- [27] Grahn P, Stigsdotter U.A., “Landscape planning and stress”, *Urban Forestry and Urban Greening*, vol. 2, pp. 1-18, 2003.
- [28] Karadağ, A.A., Gültekin, Y.S., Mutlu, S., “Açık ve Yeşil Alanların Konut Seçimine Etkisinin Belirlenmesi Temelinde Bir Ölçek Geliştirme Çalışması”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 7, ss. 223-238, 2019.





# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Repurposing of Triazole Drugs to Combat Common Cancer Cases

 Sevilay CENGİZ ŞAHİN <sup>a,\*</sup>,  Berna KAVAKCIOĞLU YARDIMCI <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Science, Pamukkale University, Denizli, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Chemistry, Faculty of Science, Pamukkale University, Denizli, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: scengiz@pau.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.999217

### ABSTRACT

Cancer with its prevalence and high mortality rates is an important problem that health authorities are trying to deal with all over the world. According to the data of the International Agency for Research on Cancer, 19.3 million new cancer cases occurred worldwide in 2020, and unfortunately, about 10 million of them resulted in death. The discovery of new drugs is compulsory due to restrictions such as the side effects of currently used anti-cancer drugs, drug resistance developing over time, and so on. Unfortunately, the development of novel drugs requires especially a long time and a huge amount of cost. At this point, the repurposing approach, which refers to the secondary use of various drugs that was approved by FDA for other purposes, has a vital importance. In this study, the anti-proliferative effects of itraconazole and fluconazole (ICZ and FCZ), which are actually antifungal drugs, on breast (MCF-7 and MDA-MB-231) and lung (A549) cancer cells were evaluated. Results revealed that both of the drugs had a low inhibitory effect on A549 cell proliferation (inhibition rate was determined as 34.6% and 25.3% for 48 hours exposure to ICZ and FCZ, respectively), whereas they caused promising inhibition on MCF-7 (inhibition rate was determined as 44.1% and 38.3%, respectively for the same conditions) and MDA-MB-231 cell proliferation (Inhibition rate was determined as 35.4% and 43.3%, respectively again for the same conditions).

**Keywords:** Breast cancer, Fluconazole, Itraconazole, Lung cancer, Repurposing.

## Triazol İlaçlarının Yaygın Kansere Vakalarıyla Mücadelede Yeniden Kullanımı

### ÖZET

Yaygınlığı ve yüksek ölüm oranları ile kanser, tüm dünyada sağlık otoritelerinin başa çıkmaya çalıştığı önemli bir sorundur. Uluslararası Kansere Araştırmaları Ajansı'nın verilerine göre 2020 yılında dünya genelinde 19.3 milyon yeni kanser vakası meydana gelmiş ve ne yazık ki, bunların yaklaşık 10 milyonu ölümlerle sonuçlanmıştır. Halihazırda kullanılan anti-kanser ilaçlarının yan etkileri, zamanla gelişen ilaç direnci vb. kısıtlamalar nedeniyle yeni ilaçların keşfi zorunludur. Ne yazık ki, yeni ilaçların geliştirilmesi özellikle uzun bir zaman ve büyük bir maliyet gerektirmektedir. Bu noktada FDA tarafından farklı amaçlarla onaylanan çeşitli ilaçların başka amaçlarla sekonder kullanımını ifade eden yeniden kullanım yaklaşımı hayati bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada aslında antifungal ilaçlar olan itraconazol ve flukonazolün (ICZ ve FCZ) meme (MCF-7 ve MDA-MB-231) ve akciğer (A549) kanser hücreleri üzerindeki antiproliferatif etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, her iki ilacın da A549 hücre proliferasyonu üzerinde düşük bir inhibitör etkiye sahip olduğunu (48 saat süreyle ICZ ve FCZ maruziyeti

için inhibisyon oranı sırasıyla %34,6 ve %25,3 olarak belirlenmiştir), buna karşın MCF-7 (aynı koşullar için inhibisyon oranı sırasıyla %44,1 ve %38,3 olarak belirlenmiştir) ve MDA-MB-231 hücre proliferasyonu üzerinde umut verici bir inhibisyona neden olduklarını ortaya koymuştur (inhibisyon oranı yine aynı koşullar için sırasıyla %35,4 ve %43,3 olarak belirlenmiştir).

*Anahtar Kelimeler: Meme kanseri, Flukonazol, Itrakonazol, Akciğer kanseri, Yeniden kullanım.*

## **I. INTRODUCTION**

Cancer is a principal health problem worldwide which cause high incidence of morbidity and mortality. According to annual analysis of American Cancer Society, approximately 3% of annual deaths in the world are associated with cancer disease [1]. It was declared that approximately 14 million newly diagnosed cancer cases occurred in the world in 2012 and with more than half of them resulted with death. In addition, with regret to say that it has been estimated the annual new cases will exceed 20 million by 2025 [2]. Despite such a serious picture and many studies have been conducted on related disease; unfortunately, it is not known exactly why this disease is caused. On the other hand, it is known that unrepaired DNA damage caused by various factors in cells is effective in the development of cancer [1,3]. Once cancer cells are formed, rapidly multiplied malignant cells take the control of the body. Hence, the primary target of chemotherapeutic drugs is to induce the programmed cell death in tumoral cells [3-5]. Not only the pharmacotherapy, but also the surgery and radiation therapy are used alone or in combination in order to deal with cancer cases [6]. The main challenges of using chemotherapeutic drugs in such cases are the resistance of cancer cells against the used drugs by time and the side effects caused from the relative similarities between malignant and healthy cells [4,5,7]. Since the use of selective drugs with minimum side effects is very crucial in terms of pharmacotherapy, there is a great need to develop effective and selective anticancer drugs. Repurposed drugs could be the promising alternative at this point. Actually, repurposing strategy refers to the secondary use of drugs besides their approved treatments [8-13]. Since drug development studies require very high costs and a long process, the repurposing strategy is very important for both to accelerate the process and reduce the cost. In addition to these advantages, this strategy provides the advantage of skipping the toxicity and safety test stages and doing directly clinical trials as a result of the use of currently used approved drugs in drug repositioning [8]. The expected value of €26.6 billion in global market for drug repurposing by 2020 also highlights the importance of related subject in the current pharmacological research area [6,14]. It has been well documented that many drugs with known pharmacology such as aspirin, itraconazole, verapamil and chloroquine that had not been produced for cancer therapy have exhibited at least one anticancer activity [6,12].

Itraconazole (ICZ), an antifungal antibiotic, has an antitumor activity against various types of cancer such as acute myeloid leukemia [15], non-small cell lung cancer [16], breast cancer [17], recurrent prostate cancer [18,19], glioblastoma [20], gastric cancer [21], melanoma [22,23] and colon cancer [24]. The mechanism of action of itraconazole is mainly based on the inhibition of both angiogenesis and the Hedgehog signalling pathway, decreased Bcl-2 expression and apoptosis induced by increased caspase-3 activity [17,18,23,25]. Although there are not many studies on the anticancer activity of fluconazole (FCZ), a triazole antibiotic which is also in the same class with ICZ, it is generally used for the prevention of invasive fungal infections in immunocompromised individuals due to cancer treatment, HIV and similar reasons. Oude Lashof et al. (2004) compared the efficiency of ICZ and

FCZ in the prevention of oropharyngeal candidiasis infection and found that FCZ was more effective than ICZ [26].

Breast and lung cancers are the most common type of cancer in women and men, respectively [27]. In fact, breast cancer ranks second among all cancer cases in the world [6].

Although much advances have been made in the treatment of breast cancer especially in recent years and the chance of life is gradually increasing, death rates are still very high and it is the fifth among all cancer types. Both the existence of different types of breast cancer and the lack of valid treatment protocol for some types have a big share at high mortality rate. For instance, while estrogen-dependent breast cancer types respond to a high rate of treatment with hormone-specific drugs, these drugs are ineffective in triple-negative species [28-30]. Lung cancer, the most common cancer type in men, is the leading cause of cancer related deaths in the world. The American Cancer Society predicted that approximately 229,000 new lung cancer cases would occurred in the United States in 2020, and approximately 60% of these cases would resulted in death (As of 2021, it is not known whether it is the case). With this high mortality rate, lung cancer ranks first among all cancer types with a share of approximately 25% [31]. As is well known, the initial step in establishing potential novel anticancer drugs is to determine the cytotoxic effect of the relevant components on cancer cells. Therefore, the present study aims to investigate the cytotoxic effect of two triazole antifungal drugs named ICZ and FCZ on breast and lung cancer cell lines.

## **II. MATERIALS and METHODS**

### **A. CELL CULTURE**

Human breast adenocarcinoma (MCF-7 and MDA-MB-231), human lung carcinoma (A549) and human lung fibroblast (MRC-5) cell lines were obtained from American Type Culture Collection (ATCC; USA). While MCF-7, MDA-MB-231 and MRC-5 cell lines were grown in DMEM high-glucose medium, A549 cell lines were grown in DMEM-F12 medium. All the media used were supplemented with 20% fetal bovine serum, 100 IU/mL penicillin and 100 µg/mL streptomycin in a humidified atmosphere containing 5% CO<sub>2</sub> at 37°C.

### **B. MTT ASSAY**

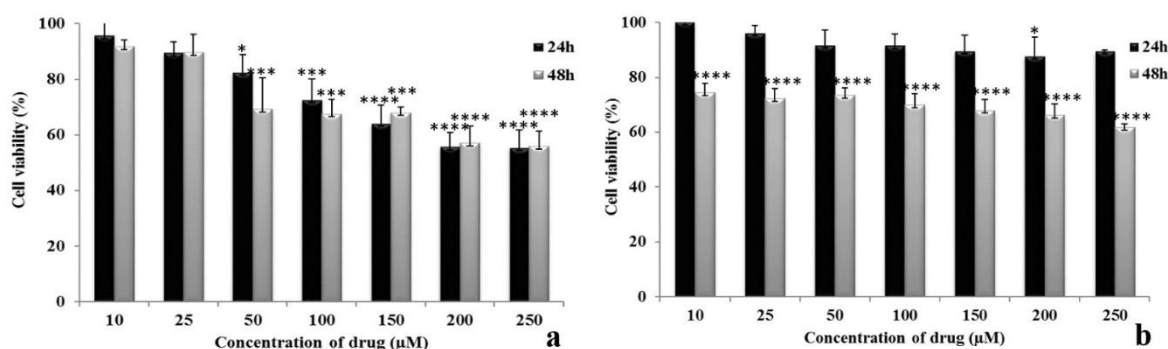
Cytotoxicity assessment of ICZ and FCZ on studied cell lines was performed by MTT (3-(4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) assay. This method is based on the detection of cell proliferation of studied cells which are exposed or not exposed to potential inhibitor by the reduction of MTT into formazan dye by active mitochondria [32]. For the experimental design, firstly 5x10<sup>3</sup> cells/well were seeded into well plates and incubated in above described culture conditions for 24 hours. Following this step, all the cells were exposed to various concentrations of ICZ and FCZ for 24 and 48 h and 5 mg/mL MTT solutions were added to each well at the end of incubation period. After the new 4 hours incubation with MTT solution, the MTT media were aspirated from all wells. The produced formazan crystals were dissolved in DMSO and the cell proliferation were subsequently detected by measuring absorbance at 570 nm. Cell viability was expressed as percentage survival in relation to control groups treated with 0.1% DMSO alone.

### C. STATISTICAL ANALYSIS

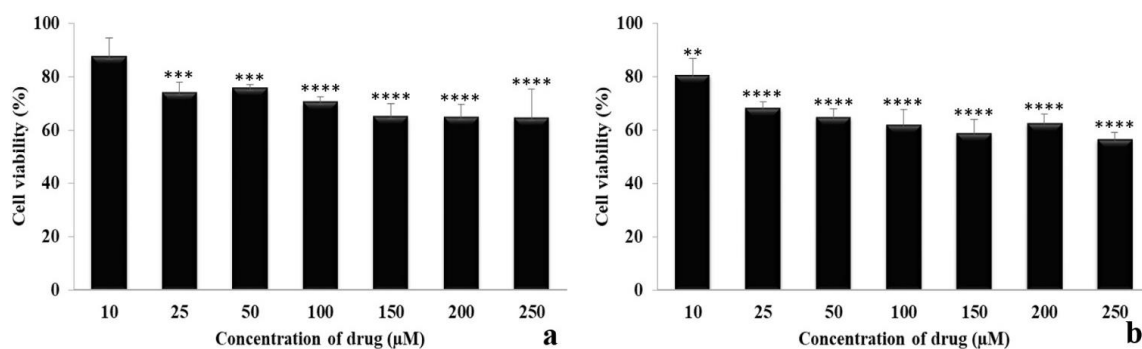
Graphpad prism 5.0 statistics software was used for statistical analysis (GraphPad, La Jolla, CA, USA). One-way ANOVA followed by Tukey's test was used to evaluate the experimental data. The error bars in the figures show the standard deviations ( $\pm$ SD).

## III. RESULTS and DISCUSSIONS

Due to the fact that the drugs that can be used in the fight against various types of cancer have vital importance in preventing the proliferation of related cells, the potential cytotoxic effects of two antifungal drugs, ICZ and FCZ, on breast and lung cancer cells were evaluated in the present study. For this purpose, both the breast and lung cancer cell lines were exposed to the drugs in the concentration range of 10-250  $\mu$ M for 24 h and 48 h. The effects of used drugs on two different breast cancer cell lines, MCF-7 and MDA-MB-231, were presented in Figure 1 and 2, respectively.



**Figure 1.** The effects of itraconazole (a) and fluconazole (b) on cell viability of human breast cancer cell line MCF-7. The percentages of viability were calculated compared with the control group. The results were presented as mean  $\pm$  SD of three independent experiments.  $*$ = $p < 0.05$ ;  $**$ = $p < 0.01$ ;  $***$ = $p < 0.001$ ;  $****$ = $p < 0.0001$  indicate significant differences between control and other studied groups by Tukey's multiple range tests.



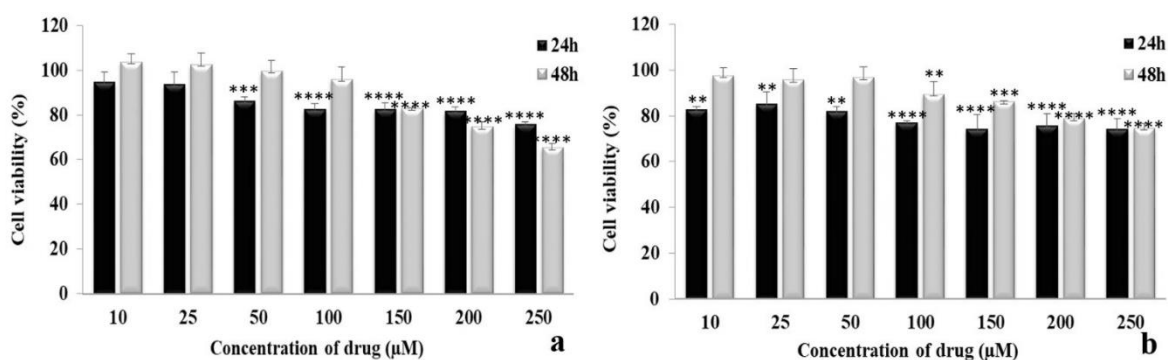
**Figure 2.** The effects of itraconazole (a) and fluconazole (b) on cell viability of human breast cancer cell line MDA-MB-231. The percentages of viability were calculated compared with the control group. The results were presented as mean  $\pm$  SD of three independent experiments.  $*=p<0.05$ ;  $**=p<0.01$ ;  $***=p<0.001$ ;  $****=p<0.0001$  indicate significant differences between control and other studied groups by Tukey's multiple range tests.

While ICZ did not show cytotoxic effects on MCF-7 cells at low concentrations for 24 h exposure, its effect increased with increasing concentration. However, no statistically significant difference was observed between the data obtained for concentrations of 150  $\mu$ M and above in the experimental conditions ( $p>0.05$ ). Similar to 24 h drug exposure, the effectiveness of ICZ increased with increasing concentration at 48 h exposure. However, the statistically significant difference could not be detected between the results obtained for 24 and 48 h treatment ( $p>0.05$ ). When evaluated in terms of FCZ, it has been clearly seen that the cytotoxic effect of the drug on MCF-7 cells was negligible under 24 h exposure conditions. Although the efficacy of FCZ at low concentrations was higher than ICZ at 48 h of drug exposure, there was no statistically significant difference in the efficacy of drugs at high concentrations. This was the result of that no statistically significant change was observed in the efficacy of FCZ used in increasing concentrations. For all that, the cytotoxic effect of ICZ against MCF-7 cells was higher than FCZ under the condition of 24 h exposure with 100, 150, 200 and 250  $\mu$ M of the drug ( $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ,  $p<0.0001$ ,  $p<0.0001$ , respectively).

Both antifungals were found non-toxic on MDA-MB-231 cell line for 24 h drug exposure, therefore the related data were discarded. As stated before, the triple-negative MDA-MB-231 strain is a much more aggressive cell type than MCF-7 cells, which could explain the ineffectiveness of both drugs applied for 24 h. In the case of 48 h exposure, the cytotoxicity of both drugs was statistically significantly different at all concentrations compared to the control group. ( $p<0.05$ ). On the other hand, the results obtained at 25  $\mu$ M and above for both drugs did not show a statistically significant difference from each other ( $p>0.05$ ). Unfortunately, no difference was observed between the effectiveness of drugs on this aggressive type of breast cancer. Briefly, both drugs had moderate effects on the two different breast cancer cell lines in terms of proliferation inhibition. However, it should be emphasized that ICZ was found to be more effective than FCZ, especially on estrogen-dependent MCF-7 cells. Bae et al. (2018) investigated the effects of four main azole drugs (clotrimazole, ketoconazole, fluconazole and itraconazole) on cell proliferation, apoptosis, cell cycle, migration and invasion of MCF-7 and MDA-MB-231 cancer cells. They reported that all the imidazole drugs inhibited the proliferation of both cell lines. Despite that, only a little inhibition of proliferation was determined for ICZ in MDA-MB-231 cells while it was almost negligible for FCZ in both cell lines. The authors also declared that both 50  $\mu$ M ICZ and FCZ induced apoptosis only in MCF-7 cells [33]. Similar to Bae et al. (2018), Somchit et al. (2002) and Somchit et al. (2004) also

showed that ICZ induced a greater cytotoxicity than FCZ in rat hepatocytes *in vitro* and rat liver *in vivo*, respectively [33-35]. In another study evaluating the cytotoxic effect of ICZ on MCF-7 and SKBR-3 breast cancer cell lines, it was found that ICZ dramatically decreased cell viability depending on time and concentration. It was reported that ICZ inhibited cell growth by arresting cells in the G0/G1 phase. In addition, when MCF-7 and SKBR-3 cell lines were treated with ICZ, it was observed that both mitochondrial membrane potential changed and Bcl-2 protein expression decreased depending on the dose in both cell lines. Furthermore, caspase-3 activity was increased in the SKBR-3 cells. In the light of all these data, it was reported that apoptosis was induced as a result of ICZ treatment [17]. Correia et al. (2018) evaluated the effects of various combinations of verapamil or ICZ with the reference drug, 5-Fluorouracil, on the proliferation of MCF-7 cells in order to test that whether the combining drugs could be more effective in cancer treatment. The effects on non-tumoral cell line of both the individual and combining drugs were also investigated by using MCF-10A cell line. The authors emphasized that although both drug combinations used had promising effect in breast cancer treatment along with very little effect on MCF-10A cell line, the results pointed to ICZ, and particularly its combination with 5-Fluorouracil was the most effective one [6]. Santos Correa et al. (2018) investigated the cytotoxic effects of FCZ on African Green Monkey Kidney (Vero) cell line since the cytotoxicity studies are controversial. They found that 24 h exposure to 2612.1  $\mu\text{M}$  FCZ reduced cell viability to 35% compared with the control. They also reported that FCZ induced necrosis in Vero cell line both for all concentrations used and tested harvest times as compared with the negative control [36]. Despite that, Rodriguez et al (1995) reported that FCZ had no significant effect on the cell viability in a primary culture system of rat hepatocytes for 0.5-6 h exposure to 25-200  $\mu\text{M}$  of FCZ [37]. Similar to latter investigation, De Logu et al. (2005) stated that no significant change was observed in the viability of Vero cells exposed 3265  $\mu\text{M}$  FCZ for 72 h [38].

In order to determine the potential of these drugs in the treatment of lung cancer cases, the cytotoxic effects of these drugs on A549 cell line were analysed and the results were presented in Figure 3.



**Figure 3.** The effects of itraconazole (a) and fluconazole (b) on cell viability of human lung cancer cell line A549. The percentages of viability were calculated compared with the control group. The results were presented as mean  $\pm$  SD of three independent experiments. \*= $p < 0.05$ ; \*\*= $p < 0.01$ ; \*\*\*= $p < 0.001$ ; \*\*\*\*= $p < 0.0001$  indicate significant differences between control and other studied groups by Tukey's multiple range tests.

The cytotoxic effects of both drugs on the A549 cell line were very limited, and the maximum inhibition values for proliferation were determined as 34% and 25% for ICZ and FCZ, respectively. Interestingly, unlike the results obtained for breast cancer cell lines, the anti-proliferative effect of

drugs used on the A549 cell line generally decreased as the drug exposure time increased. When the effectiveness of the drugs was compared within each concentration value, the cytotoxic effect of 10  $\mu\text{M}$  FCZ for 24 h drug exposure was significantly greater than 10  $\mu\text{M}$  ICZ and the cytotoxic effect of 250  $\mu\text{M}$  ICZ for 48 h drug exposure was statistically significantly greater than that of FCZ at the same concentration ( $p < 0.05$ ). Although we determined that the ICZ was not very effective in preventing the proliferation of A549 cells, it was shown to inhibit angiogenesis in non-small cell lung cancer and have antitumor activity in prostate cancer patients in some previous studies [18,39]. In fact, these results are compatible with the finding of approximately 68% reduction in the formation of new vessels observed as a result of ICZ treatment in matrigel pretreated mice, in other words, ICZ has the power to suppress angiogenesis *in vivo* [40]. Rudin et al. (2013) evaluated the potential of ICZ usage for the treatment of metastatic non-squamous non-small cell lung cancer in pre-clinical investigations. The knowledge that tumor-associated angiogenesis plays an important role in tumor growth and progression was the mainstay of the study hypothesis. The authors found that ICZ selectively inhibited endothelial cell proliferation with an  $\text{IC}_{50}$  value of 0.16 M, despite that no inhibitory effect was determined in multiple nonendothelial controls ( $\text{IC}_{50} > 100 \text{ M}$ ). They also found that ICZ inhibited endothelial cell proliferation such as vascular endothelial growth factor and fibroblast growth factor in a dose-dependent manner in pre-clinical studies. It was reported that oral administration of ICZ to animals with non-small cell lung cancer significantly inhibited tumor growth, similar to cisplatin, which is widely used for this purpose, and even more significant growth suppression was observed when these two drugs were administered together. The reduced tumor microvessel density, in other words, the antiangiogenic effect of the drug, probably plays an important role in suppressing tumor growth. Beside this, the potential anticancer activities of standard chemotherapy drugs pemetrexed and the combination of pemetrexed and ICZ were evaluated clinically in lung cancer patients. The results of the study clearly revealed that the overall survival time of patients who used the combination of pemetrexed and ICZ increased from 8 months to 32 months compared to the control group using only pemetrexed [41].

In summary, although both ICZ and FCZ are not very effective in preventing the proliferation of lung cancer cells, both drugs have a moderate cytotoxic effect on MDA-MB-231 and especially MCF-7 breast cancer cells. In addition to these studies, MRC-5 fibroblast cell line was used in order to determine the effect of used drugs on healthy cells. It is a great chance that the both of these drugs did not show any cytotoxic effects on MRC-5 fibroblast cells even after 48 h of exposure (data not shown). Therefore, ICZ might be used in the alternative treatment of breast cancer cases but further studies are needed to identify the mechanism of action.

#### **IV. CONCLUSION**

The cytotoxicity of the azole compounds is mainly based on the inhibitory effects of these compounds on the cytochrome P450 enzyme system. Triazole compounds constitute an important group in repurposing studies since they are less toxic than imidazole compounds as a result of lower affinity for cytochrome P450 enzymes. In the light of aforementioned information, it is inevitable that triazole compounds are involved in repurposing studies for cancer treatment.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** The authors would like to thank Prof. Dr. Vural Küçükataş and his staff from Pamukkale University, Faculty of Medicine, and Department of Physiology, who opened their laboratory to them and offered all their equipment to their use.

## **V. REFERENCES**

- [1] O. Prakash, A. Kumar, P. Kumar and Ajeet, "Anticancer potential of plants and natural products: A review," *Am. J. Pharmacol. Sci.*, vol. 1, no. 6, pp. 104-115, Dec. 2013, doi:10.12691/ajps-1-6-1.
- [2] J. Ferlay, I. Soerjomataram, R. Dikshit, S. Eser, C. Mathers, M. Rebelo, D.M. Parkin, D. Forman and F. Bray, "Cancer incidence and mortality worldwide: Sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012," *Int J Cancer*, vol. 136, no. 5, pp. E359-E386, Mar. 2015, doi:10.1002/ijc.29210.
- [3] J.F. Alhmoud, J.F. Woolley, A.E. Al Moustafa and M.I. Malki, "DNA Damage/Repair Management in Cancers," *Cancers*, vol. 12, no. 4, Apr. 2020, Art no. 1050, doi:10.3390/cancers12041050.
- [4] R.G. Amaral, S.V.F. Gomes, A.R. Antonioli, M.C. dos Santos Luciano, C. do Ó Pessoa, L.N. Andrade, P. Severino, G.C. Brandão, L.M. Bomfim, D.P. Bezerra, J.M. David and A.A. Carvalho, "Evaluation of the cytotoxic potential of extracts from the genus *Passiflora* cultivated in Brazil against cancer cells," *bioRxiv*, Jun. 2018, doi:10.1101/337253.
- [5] M. Hedvat, L. Emdad, S.K. Das, K. Kim, S. Dasgupta, S. Thomas, B. Hu, S. Zhu, R. Dash, B.A. Quinn, R.A. Oyesanya, T.P. Kegelmann, U.K. Sokhi, S. Sarkar, E. Erdogan, M.E. Menezes, P. Bhoopathi, X.-Y. Wang, M.G. Pomper, J. Wei, B. Wu, J.L. Stebbins, P.W. Diaz, J.C. Reed, M. Pellecchia, D. Sarkar and P.B. Fisher, "Selected Approaches for Rational Drug Design and High Throughput Screening to Identify Anti-Cancer Molecules," *Anticancer Agents Med Chem*, vol. 12, no. 9, pp. 1143-1155, Nov. 2012, doi:10.2174/187152012803529709.
- [6] A. Correia, D. Silva, A. Correia, M. Vilanova, F. Gärtner and N. Vale, "Study of New Therapeutic Strategies to Combat Breast Cancer Using Drug Combinations," *Biomolecules*, vol. 8, no. 4, Dec. 2018, Art no.175, doi:10.3390/biom8040175.
- [7] F.R. Li, F.X. Yu, S.T. Yao, Y.H. Si, W. Zhang and L.L. Gao, "Hyperin extracted from Manchurian Rhododendron leaf induces apoptosis in human endometrial cancer cells through a mitochondrial pathway," *Asian Pac J Cancer Prev*, vol. 13, no. 8, pp. 3653-3656, Aug. 2012, doi:10.7314/apjcp.2012.13.8.3653.
- [8] Kirtonia, K. Gala, S.G. Fernandes, G. Pandya, A.K. Pandey, G. Sethi, E. Khattar and M. Garg, "Repurposing of drugs: An attractive pharmacological strategy for cancer therapeutics," *Sem Cancer Biol*, vol. 68, pp. 258-278, Jan. 2021, doi:10.1016/j.semcancer.2020.04.006.



- [9] Verbaanderd, L. Meheus, I. Huys and P. Pantziarka, “Repurposing drugs in oncology: next steps,” *Trends Cancer*, vol. 3, no. 8, pp. 543-546, Aug. 2017, doi:10.1016/j.trecan.2017.06.007.
- [10] S. Aminzadeh-Gohari, D.D. Weber, S. Vidali, L. Catalano, B. Kofler and R.G. Feichtinger, “From old to new - repurposing drugs to target mitochondrial energy metabolism in cancer,” *Semin Cell Dev Biol*, vol. 98, pp. 211-223, Feb. 2020, doi:10.1016/j.semcd.2019.05.025.
- [11] S.M. Corsello, J.A. Bittker, Z. Liu, J. Gould, P. McCarren, J.E. Hirschman, S.E. Johnston, A. Vrcic, B. Wong, M. Khan, J. Asiedu, R. Narayan, C.C. Mader, A. Subramanian and T.R. Golub, “The drug repurposing hub: a next-generation drug library and information resource,” *Nat Med*, vol. 23, no. 4, pp. 405-408, Apr. 2017, doi:10.1038/nm.4306.
- [12] F. Bertolini, V.P. Sukhatme and G. Bouche, “Drug repurposing in oncology—patient and health systems opportunities,” *Nat Rev Clin Oncol*, vol. 12, no. 12, pp. 732-742, Dec. 2015, doi:10.1038/nrclinonc.2015.169.
- [13] S.C. Gupta, B. Sung, S. Prasad, L.J. Webb and B.B. Aggarwal, “Cancer drug discovery by repurposing: teaching new tricks to old dogs,” *Trends Pharmacol Sci*, vol. 34, no. 9, pp. 508-517, Sep. 2013, doi:10.1016/j.tips.2013.06.005.
- [14] J.J. Hernandez, M. Prysizlak, L. Smith, C. Yanchus, N. Kurji, V.M. Shahani and S.V. Molinski, “Giving Drugs a Second Chance: Overcoming Regulatory and Financial Hurdles in Repurposing Approved Drugs as Cancer Therapeutics,” *Front Oncol*, vol. 7, Nov. 2017, Art no. 273, doi:10.3389/fonc.2017.00273.
- [15] J. Wang, X. Xu, R. Zhou and K. Guo, “Effects of itraconazole plus doxorubicin on proliferation and apoptosis in acute myeloid leukemia cells,” *Chin J Cancer*, vol. 95, no. 4, pp. 299-305, Jan. 2015, PMID: 25877249.
- [16] A. Saxena, D. Becker, I. Preeshagul, K. Lee, E. Katz and B. Levy, “Therapeutic effects of repurposed therapies in non-small cell lung cancer: what is old is new again,” *Oncologist*, vol. 20, no. 8, pp. 934-945, Aug. 2015, doi:10.1634/theoncologist.2015-0064.
- [17] X. Wang, S. Wei, Y. Zhao, C. Shi, P. Liu, C. Zhang, Y. Lei, B. Zhang, B. Bai, Y. Huang and H. Zhang, “Anti-proliferation of breast cancer cells with itraconazole: Hedgehog pathway inhibition induces apoptosis and autophagic cell death,” *Cancer Lett*, vol. 385, pp. 128-136, Jan. 2017, doi:10.1016/j.canlet.2016.10.034.
- [18] E.S. Antonarakis, E.I. Heath, D.C. Smith, D. Rathkopf, A.L. Blackford, D.C. Danila, S. King, A. Frost, A.S. Ajiboye, M. Zhao, J. Mendonca, S.K. Kachhap, M.A. Rudek and M.A. Carducci, “Repurposing itraconazole as a treatment for advanced prostate cancer: a noncomparative randomized phase II trial in men with metastatic castration-resistant prostate cancer,” *Oncologist*, vol. 18, no. 2, pp. 163-173, Feb. 2013, doi:10.1634/theoncologist.2012-314.
- [19] M. Lee, H. Hong, W. Kim, L. Zhang, T.W. Friedlander, L. Fong, A.M. Lin, E.J. Small, X.X. Wei, T.J. Rodvelt, B. Miralda, B. Stocksdale, C.J. Ryan and R. Aggarwal, “Itraconazole as a Noncastrating Treatment for Biochemically Recurrent Prostate Cancer: A Phase 2 Study,” *Clin Genitourin Cancer*, vol. 17, no. 1, pp. e92-e96, Feb. 2019, doi:10.1016/j.clgc.2018.09.013.

- [20] R. Liu, J. Li, T. Zhang, L. Zou, Y. Chen, K. Wang, Y. Lei, K. Yuan, Y. Li, J. Lan, L. Cheng, N. Xie, R. Xiang, E.C. Nice, C. Huang and Y. Wei, "Itraconazole suppresses the growth of glioblastoma through induction of autophagy: involvement of abnormal cholesterol trafficking," *Autophagy*, vol. 10, no. 7, pp. 1241-1255, Jul. 2014, doi:10.4161/auto.28912.
- [21] Q. Hu, Y.C. Hou, J. Huang, J.Y. Fang and H. Xiong, "Itraconazole induces apoptosis and cell cycle arrest via inhibiting Hedgehog signaling in gastric cancer cells," *J Exp Clin Canc Res*, vol. 36(1):50, Apr. 2017, doi:10.1186/s13046-017-0526-0.
- [22] G. Liang, M. Liu, Q. Wang, Y. Shen, H. Mei, D. Li and W. Liu, "Itraconazole exerts its anti-melanoma effect by suppressing Hedgehog, Wnt, and PI3K/mTOR signaling pathways," *Oncotarget*, vol. 8, pp. 28510-28525, Apr. 2017, doi:10.18632/oncotarget.15324.
- [23] C. Carbone, C. Martins-Gomes, V. Pepe, A.M. Silva, T. Musumeci, G. Puglisi, P.M. Furneri and E.B. Souto, "Repurposing itraconazole to the benefit of skin cancer treatment: A combined azole-DDAB nanoencapsulation strategy," *Colloids Surf B Biointerfaces*, vol. 167, pp. 337-344, Jul. 2018, doi:10.1016/j.colsurfb.2018.04.031.
- [24] M. Ghadi, S.J. Hosseinimehr, F. Talebpour Amiri, A. Mardanshahi and Z. Noaparast, "Data on the *in vitro* and *in vivo* anti-tumor effects of itraconazole, paclitaxel, and the two in combination in HT-29 and YM-1 cancer cell line and HT-29 colon cancer xenograft models," *Data Brief*, vol. 35:106862, Apr. 2021, doi:10.1016/j.dib.2021.106862
- [25] J. Kim, J.Y. Tang, R. Gong, J. Kim, J.J. Lee, K.V. Clemons, C.R. Chong, K.S. Chang, M. Fereshteh, D. Gardner, T. Reya, J.O. Liu, E.H. Epstein, D.A. Stevens and P.A. Beachy, "Itraconazole, a commonly used antifungal that inhibits Hedgehog pathway activity and cancer growth," *Cancer cell*, vol. 17, no. 4, pp. 388-399, Apr. 2010, doi:10.1016/j.ccr.2010.02.027.
- [26] A.M. Oude Lashof, R. De Bock, R. Herbrecht, B.E. de Pauw, V. Krcmery, M. Aoun, M. Akova, J. Cohen, H. Siffnerová, M. Egyed, M. Ellis, A. Marinus, R. Sylvester, B.J. Kullberg and EORTC Invasive Fungal Infections Group, "An open multicentre comparative study of the efficacy, safety and tolerance of fluconazole and itraconazole in the treatment of cancer patients with oropharyngeal candidiasis," *Eur J Cancer*, vol. 40, no. 9, pp. 1314-1319, Jun. 2004, doi:10.1016/j.ejca.2004.03.003.
- [27] L.A. Torre, F. Bray, R.L. Siegel, J. Ferlay, J. Lortet-Tieulent and A. Jemal, "Global cancer statistics, 2012," *CA Cancer J Clin*, vol. 65, no. 2, pp. 87-108, Mar. 2015, doi:10.3322/caac.21262.
- [28] T.A. Theodossiou, M. Ali, M. Grigalavicius, B. Grallert, P. Dillard, K.O. Schink, C.E. Olsen, S. Wälchli, E.M. Inderberg, A. Kubin, Q. Peng and K. Berg, "Simultaneous defeat of MCF7 and MDA-MB-231 resistances by a hypericin PDT-tamoxifen hybrid therapy," *NPJ Breast Cancer*, vol. 5, Apr. 2019, Art no. 13, doi:10.1038/s41523-019-0108-8.
- [29] B. Fisher, J.P. Costantino, D.L. Wickerham, R.S. Cecchini, W.M. Cronin, A. Robidoux, T.B. Bevers, M.T. Kavanah, J.N. Atkins, R.G. Margolese, C.D. Runowicz, J.M. James, L.G. Ford and N. Wolmark, "Tamoxifen for the prevention of breast cancer: current status of the National Surgical

Adjuvant Breast and Bowel Project P-1 study,” *J Natl Cancer Inst*, vol. 97, no. 22, pp. 1652-1662, Nov. 2005, doi:10.1093/jnci/dji372.

[30] M.D. Radmacher and R. Simon, “Estimation of tamoxifen's efficacy for preventing the formation and growth of breast tumors,” *J Natl Cancer Inst*, vol. 92, no. 1, pp. 48-53, Jan. 2000, doi:10.1093/jnci/92.1.48.

[31] American Cancer Society, *Key Statistics for Lung Cancer*, 2012. [Online]. Available: <https://www.cancer.org/cancer/lung-cancer/about/key-statistics.html>

[32] R.-F. Li, Y.-L. Lu, Y.-B. Lu, H.-R. Zhang, L. Huang, Y. Yin, L. Zhang, S. Liu, Z. Lu and Y. Sun, “Antiproliferative effect and characterization of a novel antifungal peptide derived from human Chromogranin A,” *Exp Ther Med*, vol. 10, no. 6, pp. 2289-2294, Dec. 2015, doi:10.3892/etm.2015.2838.

[33] S.H. Bae, J.H. Park, H.G. Choi, H. Kim and S.H. Kim, “Imidazole Antifungal Drugs Inhibit the Cell Proliferation and Invasion of Human Breast Cancer Cells,” *Biomol Ther*, vol. 26, no. 5, pp. 494-502, Sep. 2018, doi:10.4062/biomolther.2018.042.

[34] N. Somchit, S.M. Hassim and S.H. Samsudin, “Itraconazole and fluconazole-induced toxicity in rat hepatocytes: a comparative in vitro study,” *Hum Exp Toxicol*, vol. 21, no. 1, pp. 43-48, Jan. 2002, doi:10.1191/0960327102ht208oa.

[35] N. Somchit, A.R. Norshahida, A.H. Hasiah, A. Zuraini, M.R. Sulaiman and M.M. Noordin, “Hepatotoxicity induced by antifungal drugs itraconazole and fluconazole in rats: a comparative in vivo study,” *Hum Exp Toxicol*, vol. 23, no. 11, pp. 519-525, Nov. 2004, doi:10.1191/0960327104ht479oa.

[36] R.M. dos Santos Correa, T.C. Mota, A.C. Guimarães, L.T. Bonfim, R.R. Burbano and M. de Oliveira Bahia, “Cytotoxic and Genotoxic Effects of Fluconazole on African Green Monkey Kidney (Vero) Cell Line,” *Biomed Res Int*, Nov. 2018, Art no. 6271547, doi:10.1155/2018/6271547.

[37] R.J. Rodriguez and D. Jr. Acosta, “Comparison of ketoconazole- and fluconazole-induced hepatotoxicity in a primary culture system of rat hepatocytes,” *Toxicology*, vol. 96, no. 2, pp. 83-92, Feb. 1995, doi:10.1016/0300-483x(94)02911-d.

[38] De Logu, M. Saggi, M.C. Cardia, R. Borgna, C. Sanna, B. Saggi and E. Maccioni, “In vitro activity of 2-cyclohexylidenehydrazo-4-phenyl-thiazole compared with those of amphotericin B and fluconazole against clinical isolates of *Candida* spp. and fluconazole-resistant *Candida albicans*,” *J Antimicrob Chemother*, vol. 55, no. 5, pp. 692-698, May 2005, doi:10.1093/jac/dki084.

[39] B.T. Aftab, I. Dobromilskaya, J.O. Liu and C.M. Rudin, “Itraconazole inhibits angiogenesis and tumor growth in non-small cell lung cancer” *Cancer Res*, vol. 71, no. 21, pp. 6764-6772, Nov. 2011, doi:10.1158/0008-5472.CAN-11-0691.

[40] C.R. Chong, J. Xu, J. Lu, S. Bhat, D.J. Jr. Sullivan and J.O. Liu, “Inhibition of Angiogenesis by the Antifungal Drug Itraconazole,” *ACS Chem Biol*, vol. 2, no. 4, pp. 263-270, Apr. 2007, doi:10.1021/cb600362d.

[41] C.M. Rudin, J.R. Brahmer, R.A. Juergens, C.L. Hann, D.S. Ettinger, R. Sebree, R. Smith, B.T. Aftab, P. Huang and J.O. Liu, "Phase 2 study of pemetrexed and itraconazole as second-line therapy for metastatic nonsquamous non-small-cell lung cancer," *J Thorac Oncol*, vol. 8, no. 5, pp. 619-623, May 2013, doi:10.1097/JTO.0b013e31828c3950.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Gerİ Dönüştürülmüş Atık EPS'nin Yüksek Dayanımlı Hafif Şap Üretiminde Kullanımının Araştırılması

 İsmail İsa ATABEY<sup>a,\*</sup>,  Zehra ALMAZ ÖZCAN<sup>b</sup>,  Serhan İLKENTAPAR<sup>c</sup>,  Uğur DURAK<sup>c</sup>,  Okan KARAHAN<sup>c</sup>,  Cengiz Duran ATIŞ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, TÜRKİYE

<sup>b</sup> İnşaat Bölümü, Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu, Kayseri Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE

<sup>c</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ismailatabey@nevsehir.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1069044

### ÖZ

Bu çalışmada, atık genleştirilmiş polistiren (EPS) agregası dere kumu ile yer değiştirerek yüksek dayanımlı hafif şap harçları üretilmiştir. Kaplama ve tesviye amacı ile kullanılan şap harçlarında, atık EPS kullanarak harçların birim hacim ağırlığının azaltılması, ısı performanslarının artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, bir grup geleneksel şap harcı ve beş grup atık EPS içeren, 400 kg/m<sup>3</sup> -500 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen çimento dozajlarına sahip hafif şap harcı hazırlanmıştır. Atık EPS agregaları, dere agregası ile hacimce %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 oranında yer değiştirilmiştir. Geleneksel ve hafif şap harçlarının yayılma çapı, birim ağırlık, su emme oranı, görünür boşluk oranı, kılcal su emme, basınç ve eğilme dayanımı, aşınmaya karşı direnç ve ısı iletkenlik performansı ölçülmüştür. Atık EPS içeren harçların birim hacim ağırlıkları 750 kg/m<sup>3</sup> -1950 kg/m<sup>3</sup> arasında belirlenerek hafif ağırlıklı şap harcı elde edilmiştir. Ayrıca geleneksel şap harcının ısı iletkenlik katsayısı 0,6617 W.m/K'dan tamamen atık EPS ikamesi ile 0,2553 W.m/K'ya düşerek %61 daha düşük ısı iletkenlik elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar atık EPS agregasının yer değişim oranına bağlı olarak 6,1 MPa-43,4 MPa aralığında hem orta dayanımlı hem de taşıyıcı hafif beton sınıfında hafif şap harçlarının elde edilebildiğini ortaya koymuştur. Harçlardaki birim ağırlığın düşmesi, yapı ağırlığının azalmasına ve ısı yalıtım özelliğinin iyileşmesine katkı sunmaktadır. Böylece deprem yükü, yalıtım özellikleri ve atık EPS'nin geri dönüşümü açısından sürdürülebilir hafif şap harcı elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık EPS, Hafif şap, Geri dönüşüm, Yüksek dayanım, Isıl iletkenlik

## Investigation of the Use of Recycled Waste EPS in the Production of High Strength Lightweight Screed

### ABSTRACT

In this study, high-strength lightweight screed mortars were produced by replacing waste-expanded polystyrene (EPS) aggregate with river sand. It is aimed to reduce the unit weight and increase the thermal performance of the screed mortars produced for surface coating and leveling purposes by using waste EPS. For this purpose, a light screed mortar with cement dosages varying between 400-500 kg/m<sup>3</sup>, containing one group of conventional screed mortar and five groups of waste EPS was prepared. Waste EPS aggregates were replaced by river sand at the ratios of 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% by volume. The flow table test, unit weight, water absorption, apparent porosity, capillary water absorption, compressive and flexural strength, abrasion resistance, and thermal

conductivity properties of conventional and light screed mortars were measured. The unit weight of the mortars containing waste EPS was determined between 750-1950 kg/m<sup>3</sup> and lightweight screed mortars were obtained. In addition, the thermal conductivity coefficient of conventional screed mortar decreased from 0.6617 W.m/K to 0.2553 W.m/K with waste EPS replacement, resulting in 61% lower thermal conductivity. Experimental results show that depending on the replacement ratio of the waste EPS aggregate, light screed mortars can be obtained in both medium strength and load-bearing lightweight concrete classes with different physical and mechanical properties. With the decrease in the unit weight of mortars, the thermal insulation property increases and it contributes to the decrease in the weight of the building. Thus, sustainable lightweight screed mortar was obtained in terms of earthquake load, insulation properties, and recycling of waste EPS.

*Keywords: Waste EPS, Lightweight screed, Recycling, High strength, Thermal conductivity*

## **I. GİRİŞ**

Modern inşaat uygulamalarının çoğunda ekonomik ve hafif yapılar elde etmek için hafif betona olan talep artmaktadır. Hafif betonların binalarda kullanıldığı durumlarda, ısı iletkenlik özelliği normal betonlara göre daha düşük olduğu için enerji tüketimini azaltır ve binalarda taşıma özelliği gerektirmeyen yerlerde dolgu amaçlı olarak kullanılabilir [1], [2].

Yapı harcı genellikle yapı mühendisliğinde taş ve tuğlaları birleştirmek, sıva yapmak, duvardaki boşlukları ve panellerin derzlerini vb. doldurmak, taş ve fayansları döşemek için kullanılır. Yapı harcı; duvar harcı, yüzey harcı ve ısı ve ses yalıtımı gibi özel uygulamalar için harçlar olarak sınıflandırılabilir [3].

Son yıllarda agrega olarak kullanılan malzemeler ile atık yapı malzemelerinin yer değiştirdiği harçların davranışlarını belirleyen çalışmalar artmaktadır. Atık malzemelerin kullanılması fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerine etki ederken çevresel ve ekonomik de faydalar sunmaktadır [4].

Genleştirilmiş polistiren köpük (EPS), kapalı hücreli yapıya sahip termoplastik bir polimerdir. Dünyada, ısı ve ses yalıtımında, ambalajlamada, gıdaların yeniden kullanılmasında ve depolanmasında artan kullanım nedeniyle atık EPS miktarı artmaktadır [5]. Atık EPS, agrega ile yer değiştirdiğinde hafif harç elde edilebilmektedir. Genel olarak, deprem ivmesi ve büyüklüğü bir yapının ağırlığından önemli ölçüde etkilendiğinden, hafif elemanlar ile deprem hasarı riskini azaltma, düşük yoğunluk ile düşük ısı iletkenlik katsayıları ve ses izolasyon özellikleri elde edilmesi, normal harçlara göre hafif betonun avantajları olarak kabul edilmektedir [6]. Hafif beton/harç üretiminde doğal agregaların kısmen veya tamamen atık EPS ile değiştirilmesi atık bertarafı sorununa çözüm sunmakta ve doğal agregaların korunmasına da yardımcı olmaktadır [7].

Hafif agregalar betonlarda, harçlarda ve şaplarda geleneksel mineral agregaların yerini almak, ağırlıklarını azaltmak, termal ve akustik performansı iyileştirmek için kullanılır. Çimento esaslı kompozitlerde hafif agrega kullanımı bina maliyetlerini düşürür ve çevrecidir. Son yıllarda çeşitli ülkelerde doğal ve yapay (veya sentetik) hafif agregalı çimento esaslı veya çimentosuz harçlar üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. [8], [9]. Ancak endüstriyel ürünlerin atıklarının hafif harç yapımında kullanımına dair çalışmalar hem bina yükü hem de çevresel etkiler açısından üzerinde durulması gereken konulardandır.

Sayadi ve ark. [6] EPS kullanılarak üretilen köpük betonların yangın direnci, ısı geçirimsizliği ve basınç dayanımlarını incelemişlerdir. EPS hacminin artırılmasının betonun ısı iletkenliğinde ve basınç dayanımında önemli bir azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Eren ve ark. [10], EPS içeren geopolimer harçların özelliklerini araştırdıkları çalışmada EPS ikamesinin harcın yalıtım performansını iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Altuncu ve ark. [11] şap harçları üzerinde genleştirilmiş cam agregaları ve genleştirilmiş perlit agregaları ile birim ağırlığın azaltılarak, ses ve ısı yalıtım özelliklerinin geliştirilmesi için çalışma yapmışlardır. Kum yerine hafif agrega ikame edilerek şap üretiminin, çevre dostu hafif yapı malzemesi elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Ali ve ark. [12], atık EPS'nin briket üretiminde kullanımını araştırmışlardır. Yük taşımayan duvarlarda kullanılan

briketlerde atık EPS boşluklu blokların mukavemeti, tokluğu ve dayanıklılığı göz önüne alındığında dış ve iç taşıyıcı olmayan duvar uygulamaları için uygun olabileceğini belirtmişlerdir.

Bu deneysel çalışmada, binalarda kullanılan geleneksel şap harçlarının yalıtım ve ısı geçirgenlik direncini geri dönüştürülmüş atık EPS ile iyileştirerek hafif şap harcı için fiziksel, mekanik ve ısı özellikler incelenmiştir. Atık EPS %0, %20, %40, %60, %80, %100 oranlarında dere kumu ile yer değiştirilerek 400 kg/m<sup>3</sup>-500 kg/m<sup>3</sup> aralığında çimento dozajı ile yüksek dayanımlı hafif harçlar üretilmiştir. Tüm harç gruplarına yayılma çapı, birim ağırlık, su emme oranı, görünür boşluk oranı, kılcal su emme, basınç ve eğilme dayanımı, aşınmaya karşı direnç ve ısı iletkenlik testleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

## **II. MALZEME VE METOT**

### **A. MALZEME**

#### **A. 1. Çimento**

Hafif şap harcı üretiminde TS EN 197-1 [13] standartlarına uygun CEM I 42,5 R Portland Çimentosu kullanılmış, fiziksel ve dayanım özellikleri Tablo 1’de, kimyasal özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur.

*Tablo 1. Çimentonun fiziksel ve dayanım özellikleri*

<b>Özellikler</b>	<b>Değerler</b>
Blaine ( <i>cm<sup>2</sup>/gr</i> )	3468
Özgül Ağırlık ( <i>g/cm<sup>3</sup></i> )	3,15
İncelik (90 Mikron), (%)	0,9
Priz Başı ( <i>dak</i> )	162
Priz Sonu ( <i>dak</i> )	215
Hacim Genleşmesi ( <i>mm</i> )	1,0
2 günlük dayanım ( <i>MPa</i> )	26,5
7 günlük dayanım ( <i>MPa</i> )	39,0
28 günlük dayanım ( <i>MPa</i> )	49,7

*Tablo 2. Çimentonun kimyasal özellikleri*

<b>Bileşenler</b>	<b>Değerler (%)</b>
CaO	62,90
SiO <sub>2</sub>	18,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,61
MgO	1,73
SO <sub>3</sub>	3,57
Cl	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,38
K <sub>2</sub> O	0,93
LOI	1,87
Çözünabilir kalıntı	1,00

## A. 2. Atık EPS

Atık EPS, Koyuncu Kimya Ltd. Şti.'den temin edilerek hafif agrega olarak kullanılmıştır. Atık EPS genel olarak Şekil 1 'de görülen üretim esnasında kırılan parçalar öğütücü ile 0-4 mm çapında ince atık EPS köpük agregaya geri dönüştürülmüştür. Atık EPS yoğunluğu  $12 \text{ kg/m}^3$  dür.



Şekil 1. Atık EPS'lerin geri dönüşümü

## A. 3. Kum

Çalışmalarda agrega olarak tane büyüklüğü 0-4 mm dere kumu kullanılmıştır. Dere kumu için TS EN 933-1:2012 [14]'e göre tane dağılımı analizi yapılmış ve Tablo 3'de verilmiştir. İncelik modülü 1,88 olan dere kumunun piknometre deneyi ile kuru yoğunluğu 2,60 ve su emme değeri %1,70 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Kumun tane boyutu dağılımı

Elek Çapı	4,0	2,0	1,0	0,5	0,25	Tava
Geçen (%)	100	82,4	66,6	47,0	16,1	0,0

## A. 4. Ajan ve Su

Atık EPS agregalı hafif şap üretiminde EPS granülleri ile çimento harç arasında bağ kurması amacıyla ajan adı verilen kimyasal katkı kullanılmıştır. Ajan olarak Koyuncu Kimya Dış Tic. İnş. Elektr. Elektronik. San. Ltd. Şti.'den temin edilen İtalyan Edilteco firmasına ait çimento ile uyum sağlayan, ileriki yaşta mukavemet kaybı oluşturmayan, çatlamaya dirençli E 200P kodu ile sınıflandırılmış katkı kullanılmıştır. Ajanın teknik özellikleri aşağıdaki Tablo 4 'te özetlenmiştir. Hafif şap üretiminde, şehir şebekesinden alınan TS EN 1008 [15] standardına uygun içilebilir musluk suyu kullanılmıştır.

Tablo 4. E 200P ajanın teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Görünüş	Sıvı
Renk	Kahverengi
Özgül Ağırlık	1,15
pH	7,0
Çözünürlük	Sınırsız
Donma derecesi	-10°C
Yangın reaktifliği	Yanmaz



## B. METOT

Bu çalışmada atık EPS agregalı hafif şap betonları, geleneksel şap betonlarında ince agrega olarak kullanılan dere kumu ile %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 olacak şekilde hacimce değiştirilmiştir. Üretilen harçların hafif şap olarak kullanılabilirliğini sağlamak amacıyla hafif harçlarda yüksek dayanım hedefi belirlenmiştir. Böylece su ve çimento miktarları artırılarak yayılma çapı değeri iyileşirken dayanım değerinin de düşmesinin önüne geçilmiştir. Atık EPS agregalı şap üretiminde yoğunluğu  $16 \text{ kg/m}^3$  olan atık EPS kullanılmıştır. Karışım oranları Tablo 5’de [16] sunulmuştur.

*Tablo 5. Atık EPS agregalı harçların karışım oranları*

Karışım	S/Ç	Su ( $\text{kg/m}^3$ )	Çimento ( $\text{kg/m}^3$ )	Kum ( $\text{kg/m}^3$ )	Atık EPS ( $\text{kg/m}^3$ )	Ajan ( $\text{kg/m}^3$ )
M0	0,5	200	400	1723	0,0	0,0
M20	0,5	210	420	1437	1,17	0,11
M40	0,5	220	440	1126	2,44	0,24
M60	0,5	230	460	786	3,84	0,38
M80	0,5	240	480	412	5,37	0,53
M100	0,5	250	500	0,0	7,06	0,69

Deneyisel çalışmalar için, Hobart mikserinde TS EN 196-1 [17]’e uygun harç karışımları hazırlanmıştır. Tüm harç grupları kalıplara sıkıştırma işlemi yapılarak yerleştirilip ertesi gün kalıptan alınarak suda kür uygulanmıştır. M0 grubu harçlar tamamen dere kumu ile üretilen kontrol grubu harcıdır. Harçlarda atık EPS ikame oranına göre karışım kodlaması yapılmıştır. Örneğin M20 grubu harçlar, %20 atık EPS %80 dere kumu içeren hafif şap harcıdır.

Üretilen harçlardan farklı boyutlarda  $40 \times 40 \times 160$  mm ebatlarında prizma harç numuneleri,  $71 \times 71 \times 71$  mm boyutlarında aşınma için küp numuneler ve  $50 \times 50 \times 5$  cm boyutlarında ısıl iletkenlik için plakalar hazırlanmıştır. Hazırlanan ısıl iletkenlik numunelerine ait fotoğraflar Şekil 2’de gösterilmiştir.



*Şekil 2. Isıl iletkenlik numunelerinin görünümü*

Hazırlanan numuneler, sıcaklığı  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  olan kür havuzunda 7 ve 28 gün boyunca kür edilmiştir. Taze harçlar üzerinde yayılma tablası ve sertleşmiş numuneler üzerinde birim hacim ağırlık ölçümü, su emme ve görünür boşluk oranı, basınç ve eğilme dayanımı, aşınma direnci ve kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca atık EPS içeren hafif agregalı şap numunelerinin ısıl iletkenlik katsayıları ölçülmüştür. Deneyisel araştırmaların sonucunda, atık EPS hafif agregalı harçlar, kontrol şap betonu olan geleneksel kumlu şap betonları ile karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışmada üretilen şap harçlarına, TS EN 1015-3 [18] standardına göre kıvam deneyi olarak bilinen yayılma tablası yöntemi uygulanmıştır. Sertleşmiş atık EPS içeren hafif şap numunelerine 7 ve 28 gün

ıslak kür uygulandıktan hemen sonra 24 saat 105°C’de etüvde kurutulup, ardından oda sıcaklığına soğutulup havadaki ağırlıkları tartılmış ve numunenin görünen hacmine ağırlıkları bölünerek birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Su emme ve görünür boşluk oranlarının tayini ise TS EN 480-11 [19]’e uygun olarak 7 ve 28 gün ıslak kür edilen 40×40×160 mm’lik prizmatik harç numunelerine uygulanmıştır. Dayanım deneyleri için; eğilme dayanımı deneyi gerçekleştirilip ortadan ikiye bölünen numunelerin kalıptan çıkan düzgün yan yüzeylerine TS EN 1015-11 [20] standardına uygun olarak basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Harç numunelerin aşınmaya karşı dayanımları, böhme aşındırma cihazı ile 71×71×71 mm’lik küp numuneler üzerinde TS 699 [21] ve TS 2824 EN 1338 [22]’e uygun olarak belirlenmiştir. Kılcallık deneyi için, numuneler önce etüvde kurutulmuş daha sonra sadece alt yüzeyi suya degecek şekilde alüminyum folyo bandı ile kaplanmıştır. Kılcal su emme katsayısı ise ASTM C 1585 [23]’e göre 1, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 300 ve 360. dakikalarda ve 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. günlerde su emme miktarları ölçülerek belirlenmiştir. Isıl iletkenlik katsayısı; bir malzemenin ısı iletkenlik değeri, TS ISO 8302 [24] “Plaka metodu ile Isı İletkenliğinin Tayini” standardında ön görülen prensiplere göre ölçümü yapılmıştır. Isı iletim katsayısı cihaz tarafından plaka yöntemi ile hesaplanmıştır. Isıl iletkenlik katsayısı W/m.K birimi, homojen ısı özellikleri incelenmek istenen bir malzemenin denge durumunda iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının 1°C olduğu zaman 1 m<sup>2</sup> alanda ve bu alana dik yönde ve 1 m kalınlığından 1 saatte geçen ısı miktarıdır.

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **A. YAYILMA ÇAPI**

Çalışmada üretilen kontrol grubu dere kumu ile üretilen harçların yayılma çapı 110 mm elde edilirken atık EPS agregalı hafif şapların yayılma değerleri ise 118-225 mm arasında ölçülmüştür (Tablo 6). Atık EPS oranındaki artışın taze harç kıvamlarını arttırma eğiliminde olduğu görülmüştür. Kum miktarının azalması atık EPS miktarının artması ile yüzey alanı azalmış ve EPS’nin homojen dağılımı için kullanılan ajan, harçların yayılma çapı değerlerini arttırmıştır.

*Tablo 6. Harçların yayılma çapı değerleri*

<b>Karışımlar</b>	<b>M0</b>	<b>M20</b>	<b>M40</b>	<b>M60</b>	<b>M80</b>	<b>M100</b>
<b>Yayılma Çapı (mm)</b>	110	118	172	210	222	225

#### **B. BİRİM AĞIRLIK**

Atık EPS agregalı hafif şapların ve kontrol harcının birim hacim ağırlıkları 720 kg/m<sup>3</sup> – 2040 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmiştir (Tablo 7). Hafif şapların 7 ve 28 günlük birim hacim ağırlıkları birbirine yakın olduğu görülmüştür. Atık EPS miktarı arttıkça kuru yoğunluğu 2,64 g/cm<sup>3</sup> olan kumun azalması ve yerine 16 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklu hafif EPS agregası girmesiyle birim ağırlık değerlerinde azalma görülmüştür. Hafif şap harcının 28 günlük M100 numunelerinin birim ağırlıkları M0 karışımına göre %63 daha düşüktür. EPS içeriğinin artması ile birim ağırlıklardaki düşüş önceki çalışmalarla da uyumludur [10], [25].

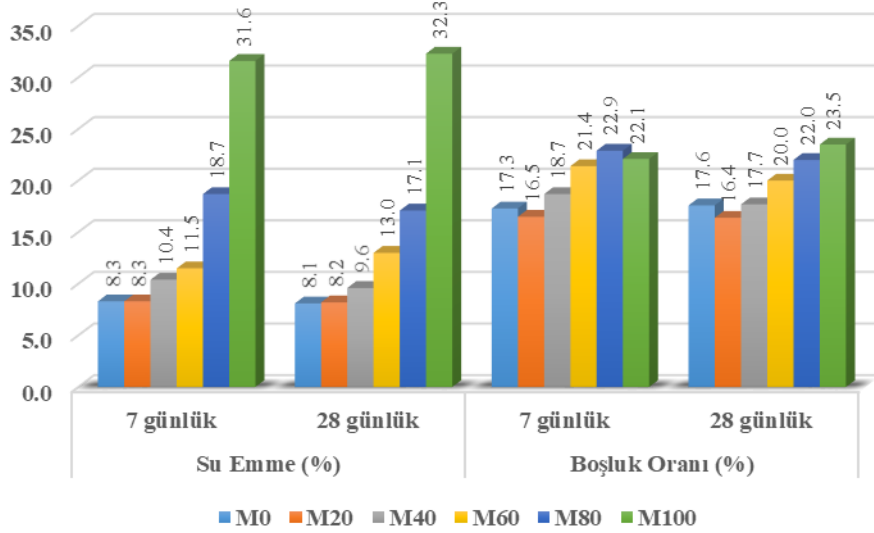
*Tablo 7. Harçların birim hacim ağırlık değerleri*

<b>Karışımlar</b>	<b>7 günlük</b>	<b>28 günlük</b>
	<b>BHA (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>M0</b>	2030	2040
<b>M20</b>	1940	1950
<b>M40</b>	1790	1830
<b>M60</b>	1630	1550

<b>M80</b>	1210	1240
<b>M100</b>	720	750

### C. SU EMME VE GÖRÜNÜR BOŞLUK ORANI

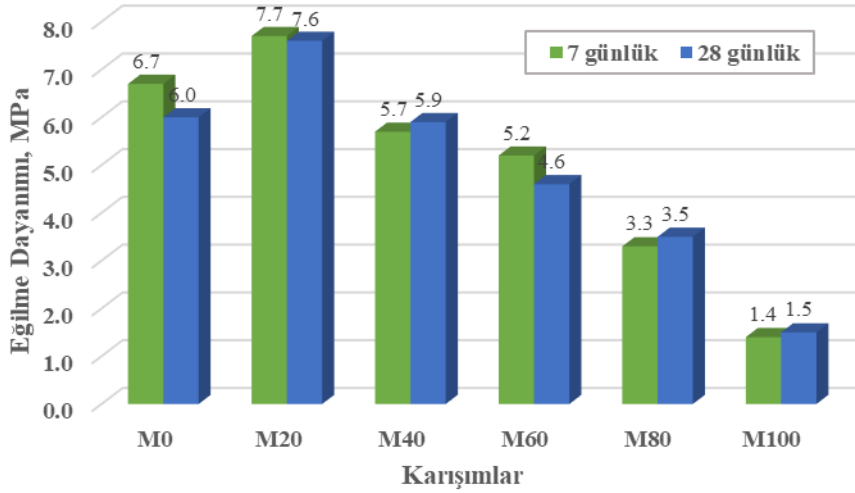
Atık EPS agregalı hafif şap harçlarının su emme ve görünür boşluk oranı değişimi Şekil 3’de verilmiştir. Harçların 28 günlük su emme değerleri M0, M20, M40, M60, M80 ve M100 için sırasıyla %8,1, %8,2, %9,6, %13,0, %17,1 ve %32,3’tür. M0’dan M100’e harçların su emme oranları yaklaşık %300 artmıştır. Ancak M60 grubu harçlarda artış yaklaşık %60’tır. M0, M20, M40, M60, M80 ve M100 grubu numunelerin görünür boşluk oranı değerleri ise sırasıyla %17,6, %16,4, %17,7, %20, %22 ve %23,5’dur. M0’dan M100’e harçların görünür boşluk oranları yaklaşık %34 artarken M0’dan M60’a yaklaşık %14 artmıştır. Hem su emme hem görünür boşluk oranı M20, M40 ve M60 için kontrol grubuna yakın veya bir miktar üstündedir. 7 ve 28 günde atık EPS miktarı arttıkça su emme ve görünür boşluk oranları da artmıştır. Ancak su emme ve görünür boşluk oranlarında 7 günde en yüksek değere ulaştığı 28 günlüklere yakın sonuçlar elde edilmiştir. EPS’nin boşluklu yapısı suyu bünyesine alarak kısa sürede yüksek su emme kapasitesine ulaşmıştır. EPS’nin yüksek su emme kapasitesini destekleyen bir çalışmada Köksal vd. vermikülit ile EPS içeren hafif harçların özelliklerini karşılaştırmışlardır. EPS’nin daha fazla su emme kapasitesine sahip olduğunu vurgulamışlardır [3].



Şekil 3. Harçların su emme ve görünür boşluk oranları

### D. EĞİLME DAYANIMI

Sertleşmiş harç numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları Şekil 4’de sunulmuştur. Harçların 7 günlük eğilme dayanımları 6,7 MPa ile 1,4 MPa arasında değişirken, 28 günlük eğilme dayanımları 6,0 ile 1,5 MPa arasındadır. Eğilme dayanımları atık EPS oranı arttıkça azalmıştır. Harçların 28 günlük eğilme dayanımı sonuçlarına göre M0’dan M40 grubuna kadar yaklaşık %23 gibi bir dayanım kaybı oluşurken M100’e geldiğinde %75’e ulaşmıştır. Düşük EPS oranlarında eğilme dayanımında kayıplar daha azdır. Ayrıca M20 grubunda bir miktar artış gözlemlenmiş bu da EPS’nin daha elastik yapısının rijit harç içinde bir miktar iyileştirme yapmasına bağlanabilir. Ancak yüksek oranda EPS kullanımı dere kumu arasında oluşan güçlü bağı azaltarak eğilme dayanımının düşmesine sebep olmuştur. Atık EPS oranı arttıkça eğilme dayanımında düşüşün artmasına EPS’lerin tane büyüklüğünün de katkısı olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan EPS 4 mm’den küçük ancak 4 mm’ye daha yakın tane boyutu ağırlıktadır. Bu da dayanım kaybını arttırmıştır. Daha önceki çalışmalarda da bu durum vurgulanmıştır. Liu ve Chen, [25] 1 mm + 5 mm EPS partiküllü EPS betonun eğilme mukavemetini sadece 1 mm EPS partiküllü betona göre daha düşük bulmuşlardır. Bu da büyük boyutlu EPS partiküllerinin eğilme mukavemetini büyük ölçüde zayıflattığını göstermektedir [25].

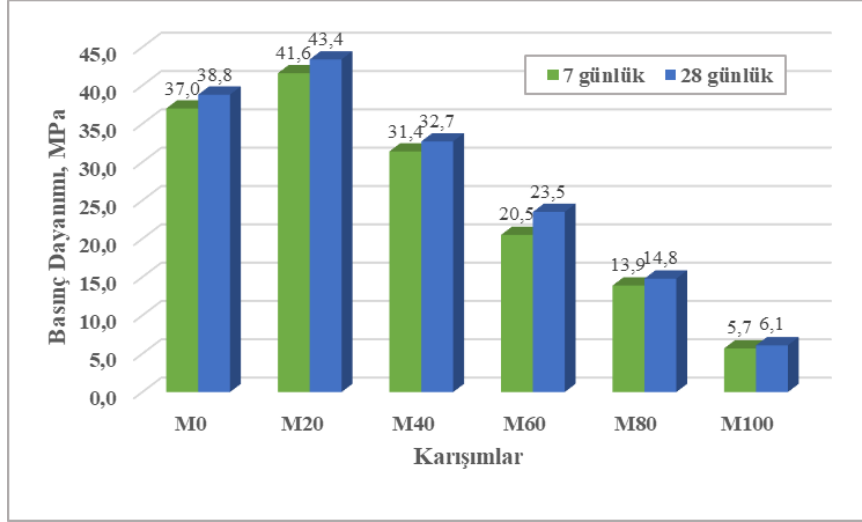


Şekil 4. Harçların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları

## E. BASINÇ DAYANIMI

Atık EPS esaslı harçların basınç dayanımları Şekil 5’de verilmiştir. M0-M100 arası harçların basınç dayanımı değerleri 7 günlük 41,6 MPa ile 5,7 MPa, 28 günlük 43,4 MPa ile 6,1 MPa arasında değişmektedir. Eğilme dayanımında olduğu gibi en yüksek basınç dayanımı M20 grubunda elde edilirken en düşük M100 grubunda elde edilmiştir. M0 grubu kontrol harçlarına kıyasla M40 grubunda yaklaşık %16 dayanım kaybı oluşmuştur. Harçlar basınç dayanımını büyük oranda 7 günde kazanmıştır. M0 harcı 7 günden 28 güne %5 artarken, M100 harcı ise yaklaşık %7 artmıştır. EPS agregalı harçların birim ağırlıklarındaki düşüş ile basınç dayanımlarındaki düşüş orantılıdır. M0 grubunda birim ağırlık 2040 kg/m<sup>3</sup> iken basınç dayanımı 38,8 MPa’dır. M80 grubunda ise 28 günlük birim ağırlık 1240 kg/m<sup>3</sup> iken basınç dayanımı 14,8 MPa ölçülmüştür. Bu çalışma ile uyumlu olarak Liu ve Chen EPS agregalı hafif beton ürettikleri çalışmalarında 1300 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip numunelerin basınç dayanımı yaklaşık 12 MPa elde etmişlerdir [25].

Atık EPS’nin %20 yer değişiminde kontrol harcına göre bir miktar basınç dayanım artışı görülmüştür. M0’da 38,8 MPa olan basınç dayanımı M20’de 43,4 MPa çıkmıştır. Bu durum iki sebebe bağlanabilir; birincisi, hacimce yer değişimi yapıldığından karışımdan çıkan dere kumu tane dağılımı daha ince olduğu için daha fazla yüzey alanı çıkarılmıştır. Yerine ilave edilen EPS miktarının daha az yüzey alanına sahip olması ile karışımda kalan dere kumu çimento hamuru ile daha sıkı bir yapı oluşturmuştur. İkinci ise; karışımda su/çimento oranı sabit tutulması için M20 karışımına 20 kg fazla çimento eklenmiştir. Aynı oranda 10 kg su da eklenmiştir ancak atık EPS boşluklu yapısı nedeni ile suyu bünyesine alarak karışımın su/çimento oranını düşürmüştür. Bu da düşük oranda EPS ikamesinin dayanım artışı olarak oluşmuştur.



Şekil 5. Harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Hafif betonlar ısı yalıtım özellikleri açısından sınıflandırıldığında birim ağırlıkları  $300 \text{ kg/m}^3$ - $800 \text{ kg/m}^3$  arasında ise yalıtım betonları,  $800 \text{ kg/m}^3$ - $1400 \text{ kg/m}^3$  arasında ise orta mukavemetli hafif betonlar,  $1400 \text{ kg/m}^3$ 'den büyük olan betonlar ise taşıyıcı hafif betonlar olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca  $7 \text{ MPa}$ - $14 \text{ MPa}$  arasında basınç dayanımına sahip olan betonlar orta dayanımlı betonlar,  $17 \text{ MPa}$ - $41 \text{ MPa}$  basınç dayanımına sahip olanlar ise taşıyıcı hafif beton olarak sınıflandırılmaktadır [26]. Atık EPS ile üretilen farklı çimento dozajlarına sahip hafif harçlarda 28 günde yaklaşık  $6 \text{ MPa}$ - $43 \text{ MPa}$  arasında basınç dayanımı belirlenerek hem orta dayanımlı hem de taşıyıcı hafif beton sınıfında hafif şap harcı elde edilmiştir. Bu durum 28 günlük numunelerin birim ağırlık deney sonuçları ile desteklenmektedir. Böylece üzerine gelecek kaplama ve hareketli yükleri taşıyabilecek hafif şap harcı üretilmiştir.

## F. AŞINMA DİRENCİ

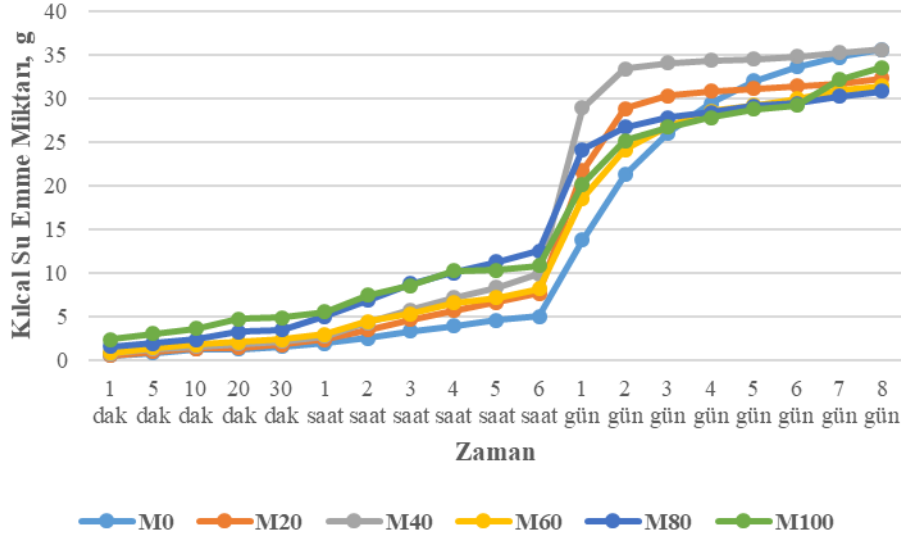
Atık EPS agregalı harçların kütle kayıpları M0, M20, M40, M60, M80 ve M100 karışımları için sırasıyla 26,0, 25,8, 29,5, 34,4, 41,0 ve 54,7 gram olarak ölçülmüştür (Tablo 8). Hacim kayıpları ise kütle kayıplarına benzer bir şekilde artmıştır. Özellikle hacim kayıplarının kütle kayıplarından daha net bir şekilde daha büyük farkta arttığı görülmüştür. Atık EPS agregalı harçların aşınma direncinde EPS oranının artışı ile oldukça önemli ve ciddi anlamda düşüş gözlenmiştir. Elde edilen aşınmadaki düşüş basınç dayanım sonucu ile anlamlı ve doğrudan ilişkilidir. Dayanımı yüksek olan malzemenin aşınmasının da düşük olması normal olarak beklenen bir durumdur. Hafif harçlarda %20 oranında atık EPS kullanımının aşınma direnci açısından kontrol numunesine benzer aşınma değerleri göstermiştir. Aşınma direnci basınç dayanımı ile bağlantılı olarak benzer hacim kaybı oluşturmuştur. M0'dan M100'e basınç dayanımı %84 kayıp oluştururken aşınma direnci %77 hacim kaybına sahiptir.

Tablo 8. Harçların aşınma direnci değerleri

EPS Oranı (%)	Yüksek Dayanımlı	
	Kütle Kaybı (g)	Hacim Kaybı ( $\text{mm}^3/5000\text{mm}^2$ )
M0	26,0	13765
M20	25,8	12732
M40	29,5	16215
M60	34,4	21459
M80	41,0	31400
M100	54,7	60196

## G. KILCAL SU EMME

Atık EPS içeren hafif şapların zamanla kılcal su emme değerleri Şekil 6’da görüldüğü gibi 6 saatlik kayıpları M0, M20, M40, M60, M80 ve M100 karışımları için sırasıyla 5,0, 7,6, 9,8, 8,1, 12,5 ve 10,8 gram olarak ölçülmüştür. 8 günlük ise sırasıyla 35,6, 32,3, 35,6, 31,4, 30,8 ve 33,5 gram olarak ölçülmüştür. Atık EPS oranı arttıkça hafif şap numunelerinin 8 gün sonunda kılcal su emme değerleri birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ancak 6 saatlik kılcal su emme değerinde M0, M100’den yaklaşık %100 daha fazla su emerken 8. Gün sonunda birbirine yakın değerde 35,6 ve 33,5 gr su emmişlerdir. EPS içeren hafif şap harçları ve dere kumu ile üretilen geleneksel harçlar 8. Gün sonunda benzer kılcal su emme değerine ulaşmıştır.



Şekil 6. Harçların kılcal su emme miktarları

## H. ISIL İLETKENLİK KATSAYISI

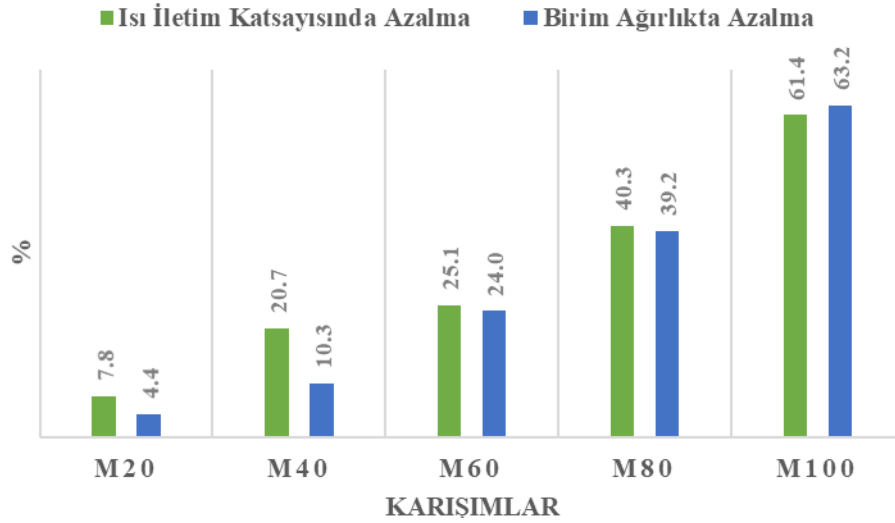
Atık EPS içeren 50×50×5 cm boyutlarındaki hafif şap numunelerinin plaka yöntemi ile ölçülen ısı iletkenlik katsayısı değerleri Tablo 9’da verilmiştir. Şap harçlarının EPS içermeyen kontrol grubu M0’ın ısı iletkenlik katsayısının değeri 0,6617 W/m.K olduğu görülmüştür. EPS agregalı hafif şap harçlarının içerisindeki kum oranı azalıp EPS oranı arttıkça M20, M40, M60, M80 ve M100 için sırasıyla ısı iletkenlik katsayıları 0,6099 W/m.K, 0,5244 W/m.K, 0,4957 W/m.K, 0,3953 W/m.K ve 0,2553 W/m.K olarak ölçülmüştür. Genel olarak atık EPS agregalı hafif şapların ısı iletkenlik değerlerinin M20 grubundan sonra önemli oranda düştüğü belirlenmiştir. Isıl iletkenlik değerindeki azalma M0 grubu kontrol harcına kıyasla M20, M40, M60, M80 ve M100 için sırasıyla yaklaşık %8, %21, %25, %40, %61’dir. Geleneksel şaplara kıyasla EPS ilavesi tüm oranlarda ısıl özelliklerini iyileştirmektedir. Bu çalışmaya benzer sonuçlar İlkentapar ve Eren’in [8] hazırlamış olduğu harçlarda da görülmektedir. EPS ve dere kumu değişimi ile ürettikleri geopolimer harcında %100 EPS ile dere kumu değişiminde ısıl iletkenlik yaklaşık %78 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

Şaplar için, üzerine gelen kaplama yükleri ve hareketli yükler de göz önüne alındığında %20’den fazla atık EPS içermesi hem basınç dayanımı hem de ısıl iletkenlik özellikleri açısından olumlu sonuç vermektedir. %100 atık EPS ile üretilen harçlar ısıl özellikleri açısından %61’lik daha az ısı iletimi sağladığı için düşük yük etkisinde kalacak döşemeler için uygun şap karışımıdır. Moreira ve ark., [27] çalışmalarında hafif şap harcının ısıl özelliklerinin iyileştirilmesi ile enerji maliyetlerinde de azalmalar olacağı için avantajlı olduğunu vurgulamaktadırlar.

Tablo 9. Harçların ısı iletkenlik katsayısı sonuçları

Karışımlar	M0	M20	M40	M60	M80	M100
Isı İletkenlik Katsayısı ( $\lambda$ ) W/m.K	0,6617	0,6099	0,5244	0,4957	0,3953	0,2553

Atık EPS içeren hafif şap harçlarında EPS oranının %20'den %100'e kadar yer değişiminde birim hacim ağırlık ile ısı iletkenlik katsayısındaki azalma özellikle M60 grubu harçlardan sonra daha kararlı bir şekilde gerçekleşmiştir. M60, M80 ve M100 için birim ağırlıktaki azalma sırasıyla %24, %39,2 ve %63,2 iken ısı iletkenlik katsayısında azalma %25,1, %40,3 ve %61,4'tür (Şekil 7). Bu durum Ferrándiz-Mas ve ark. [4] tarafından yapılan çalışma ile de desteklenmektedir. EPS içeren hafif çimento harçları düşük yoğunluğa ve düşük ısı iletkenliğine sahip olduğu vurgulanmıştır.



Şekil 7. Atık EPS içeren harçların birim ağırlık-ısı iletkenlik katsayısı karşılaştırması

## IV. SONUÇ

Atık EPS'nin dere kumu ile %, %20, %40, %60, %80 ve %100 oranında yer değişimi ile üretilen yüksek dayanımlı şap harçlarının mekanik, fiziksel ve ısı özelliklerine ait aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Atık EPS ile üretilen harçlar artan EPS oranı ile beraber yayılma çapını %105'e kadar arttırmıştır.
- Geleneksel normal agregalı şap harçları %20 ve üzerinde atık EPS ilavesi ile birim ağırlığı 2000 kg/m<sup>3</sup>'den düşük hafif harçlar elde edilmiştir.
- EPS taneciklerinin boşluklu yapısı sebebi ile su emme ve görünür boşluk oranı değerleri genel olarak artış göstermekte ancak %20 ve %40 oranında EPS ikamesi kontrol harcına yakın su emme ve boşluk oranına sahiptir.
- Basınç ve eğilme dayanımı değerleri %40 ve üzeri atık EPS ikamesi ile azalmaktadır. Ancak M20-M40 ve M60 grubu harçlarda, 1400 kg/m<sup>3</sup> üzerinde birim ağırlık değerlerine sahip yüksek dayanımlı hafif şap harcı elde edilmiştir.
- Hafif şap harçlarında atık EPS miktarının artması ile aşınma direncinin azalması beklenen bir durumdur. Ancak %40' a kadar ikame oranlarında aşınma direnci kontrol karışımına yakın değerlerdedir.

- Atık EPS ikame edilen harçlar kısa süreli (6 saat) kılcal su emme özelliği geleneksel şaplardan yüksek olsa da uzun süreli (8 gün) kılcal su emme değerleri yakındır.
- Birim ağırlık ve basınç dayanımı birlikte değerlendirildiğinde orta dayanımlı ve taşıyıcı hafif beton sınıfında şap harçları elde edilmiştir.
- Üretilen hafif şapların tesviye şapı olarak kullanılması uygun olacağı özellikle %20 hatta %40 oranlarında atık EPS agregasının hafif şap uygulamalarında kullanılabileceği gerek yapı ağırlığının azaltılması gerekse ısı yalıtımı yönüyle faydalı olacağı belirlenmiştir. Ancak kullanım alanlarına göre %60-%100 atık EPS içeren harçlar da ısıl özellikler ve deprem yükü açısından olumlu özellikler sergilemektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, atık EPS kullanılarak sürdürülebilir hafif şap harçlarının üretilebileceğini göstermektedir. Bu harçların, iç mekân uygulamalarında, yapısal olmayan bileşenler olarak deprem yükü ve ısı yalıtımı açısından yapı endüstrisinde kullanılacak umut verici harçlar olduğu söylenebilir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışmanın yürütülmesine FBA-2014-5191 nolu proje ile destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine ve Atık EPS temininde destek veren Koyuncu Kimya Ltd. Şti.'ye teşekkür ederiz.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] A. Bicer, "Investigation of waste EPS foams modified by heat treatment method as concrete aggregate," *Journal of Building Engineering*, vol. 42, no. 102472, pp. 1-7, 2021.
- [2] M. Kaya, Z. B. Yıldırım, F. Köksal, A. Beycioğlu, and I. Kasprzyk, "Evaluation and multi-objective optimization of lightweight mortars parameters at elevated temperature via box-behnken optimization approach," *Materials*, vol. 14, no. 23, pp. 1-19, 2021.
- [3] F. Koksall, E. Mutluay and O. Gencil, "Characteristics of isolation mortars produced with expanded vermiculite and waste expanded polystyrene," *Construction and Building Materials*, vol. 236, no. 117789, pp. 1-13, 2020.
- [4] V. Ferrándiz-Mas, T. Bond, E. García-Alcocel, and C. R. Cheeseman, "Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash," *Construction and Building Materials*, vol. 61, pp. 285-292, 2014.
- [5] V. Corinaldesi, G. Gnappi, G. Moriconi, and A. Montenero, "Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars," *Waste Management*, vol. 25, no. 2, pp. 197-201, 2005.
- [6] A. A. Sayadi, J. V. Tapia, T. R. Neitzert, and G. C. Clifton, "Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 112, pp. 716-724, 2016.
- [7] B. A. Herki, and J. M. Khatib, "Valorisation of waste expanded polystyrene in concrete using a novel recycling technique," *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 21, no. 11, pp. 1384-1402, 2017.
- [8] S. İlkentapar, ve H. Eren, "EPS ile ikame edilmiş uçucu küllü geopolimer hafif harcın fiziksel, mekanik ve ısıl geçirimsizlik özelliklerinin incelenmesi," *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, c. 9, s.1, ss. 28-38, 2021.



- [9] M. Sarıdemir, and S. Çelikten, “Investigation of fire and chemical effects on the properties of alkali-activated lightweight concretes produced with basaltic pumice aggregate,” *Construction and Building Materials*, vol. 260, no. 119969, 2020.
- [10] H. Eren, S. İlkentapar, ve U. Durak, “Alkali ile aktive edilmiş eps ikameli harçların mekanik özelliklerinin, ısı geçirimsizlik özelliklerinin ve yüksek sıcaklığa karşı dirençlerinin araştırılması,” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 10, s. 4, ss. 1515-1526, 2021.
- [11] Y. T. Altuncı, C. Öcal, K. Saphioğlu, H. H. İnce ve M. Çevikbaş, “Genleştirilmiş cam agregalı ve genleştirilmiş perlit agregalı şap harçlarının performans özellikleri,” *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, c.8, no. 1, ss. 11-20, 2021.
- [12] Y. A. Ali, E. H. Fahmy, M. N. AbouZeid, Y. B. Shaheen, and M. N. A. Mooty, “Use of expanded polystyrene wastes in developing hollow block masonry units,” *Construction and Building Materials*, vol. 241, no. 118149, pp. 1-14, 2020.
- [13] *Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 197-1, 2012
- [14] *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 933-1:2012(EN), 2012.
- [15] *Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1008, 2003.
- [16] O. Karahan, Z. Almaz, ve İ. İ. Atabey, “Atık eps agregalı hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması,” Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Türkiye, FBA-2014-5191, 2016.
- [17] *Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 196-1, 2016.
- [18] *Kagir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile)*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1015-3, 2000.
- [19] *Kimyasal katkılar- Beton, harç ve şerbet için- Deney metotları- bölüm 11: Sertleşmiş betonda hava boşluğu özelliklerinin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 480-11, 2008.
- [20] *Kagir harcı- Deney yöntemleri- Bölüm 11: Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1015-11, 2020.
- [21] *Doğal yapı taşları- İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri*, Türk Standartları Enstitüsü, TS 699/T1, 2016.
- [22] *Zemin döşemesi için beton kaplama blokları- Gerekli şartlar ve deney metotları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 2824 EN 1338/AC, 2009.
- [23] *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*, ASTM C1585-13, 2013.
- [24] *Isı yalıtımı- Kararlı halde ısı direncin ve ilgili özelliklerin tayini- Mahfazalı sıcak plaka cihazı*, Türk Standartları Enstitüsü TS ISO 8302, 2002.

- [25] N. Liu, and B. Chen, "Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 68, pp. 227-232, 2014.
- [26] C. Taşdemir, "Hafif betonların ısı yalıtım ve taşıyıcılık özellikleri," *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, c. 427, ss. 57-61, 2003.
- [27] A. Moreira, J. António, and A. Tadeu, "Lightweight screed containing cork granules: Mechanical and hygrothermal characterization," *Cement and Concrete Composites*, vol. 49, pp. 1-8, 2014.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Al/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO/pSi/Al Schottky Diyotların Akım-Voltaj Karakterizasyonu

 Erhan İBRAHİMOĞLU<sup>a,\*</sup>,  Fatih ÇALIŞKAN<sup>a</sup>,  Zafer TATLI<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: erhanibrahimoglu@subu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1074946

### ÖZET

Son yıllarda toksik ve doğaya zarar veren kimyasallar yerine doğal materyaller kullanılarak çeşitli nano malzemelerin sentezi ilgi çekmektedir. Biyolojik sentez yöntemi doğal malzemeler kullanılarak uygulanan bir sentez yöntemidir. Biyolojik sentez ile doğaya zarar veren ve toksik kimyasallar yerine indirgeyici ajan ve stabilizör olarak doğal katkı maddeleri kullanılarak üretilen nano boyutlu tozlar biyomedikal, enerji depolama gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Biyolojik yöntem ile sentezlenen nano partiküllerin diyotlarda kullanıldığında performansı nasıl etkileyeceği konusunda çalışmalar mevcut değildir. Bu çalışmada çinkooksit (ZnO) tozu hibiskus bitki ekstraktı kullanılarak biyolojik yöntemle sentezlenmiş ve ince film olarak p tipi silisyum altlık üzerine kaplanmıştır. Sentezlenen ZnO tozları X ışını kırınımı (XRD) analizi ile incelenmiş hegzagonal wurtize formunda olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın bir bölümü biyolojik sentez ile ZnO ince filmin kaplanmasına odaklanırken devamında elde edilen ZnO ince filmler silisyum nitür (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) katkılanarak temel diyot parametrelerinden idealite faktörünün nasıl değiştiği incelenmiştir. Yapıya Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkısı gerçekleştirilerek elektron deşik rekombinasyonunun azaltılması ve ara yüzey pasivizasyonunun artırılması amaçlanmıştır. Hazırlanan Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkılı ZnO solüsyonu silisyum altlık yüzeyine 3000 devir/dakika dönme hızında 10 saniyede kaplanmıştır ve elde edilen ince filmler 400 °C'de tavlansmıştır. Hazırlanan ince film kaplamaların elektriksel karakterizasyonunu belirlemek amacıyla alüminyum ohmik ve doğrultucu kontaklar fiziksel buhar biriktirme (PVD) ile kaplanmıştır. Daha sonra taramalı elektron mikroskobu(FESEM) analizi ile diyotlar morfolojik olarak incelenerek kaplama kalınlığının ortalama 200 nm olduğu gözlemlenmiştir. Hazırlanan diyotlara Keithley 2400 cihazında karanlıkta akım-voltaj (I-V) analizi yapılmıştır. Elde edilen I-V analizinden Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkılı ve katkısız diyotların idealite faktörleri sırasıyla 2,92 ve 4,17; doğrultma oranları ise 96,3 ve 10,8 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyolojik sentez, Çinko oksit, Silisyum nitür, Diyotlar

## Current-Voltage Characterization of Al/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO/pSi/Al Schottky Diodes

### ABSTRACT

In recent years, the synthesis of various nanomaterials has been attracting attention by using natural materials instead of toxic and environmentally harmful chemicals. The biosynthesis is a green synthesis method to obtain nanoparticles using natural resources. Nano-sized powders synthesized by the green method, in which natural additives are used as reducing agents and stabilizers instead of harmful and toxic chemicals, are used in different applications such as biomedicine and energy storage devices. There are no studies on the effect of thin films prepared with the green synthesized nanoparticles on the performance of diodes. In this study, zinc oxide (ZnO)

nano-powders were synthesized by the green synthesis method using hibiscus plant extract and coated on p-type silicon substrate as a thin film. The synthesized powders were examined by XRD analysis and determined to be in the hexagonal wurtzite phase. Another part of the study focused on the coating of ZnO thin film by green synthesis. The ZnO thin films obtained by doping silicon nitride ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) were subsequently investigated to influence the ideality factor of the diode. It is aimed to reduce electron hole recombination and increase interfacial passivation by adding  $\text{Si}_3\text{N}_4$  to the structure. The obtained  $\text{Si}_3\text{N}_4$  doped ZnO solution was coated on the silicon substrate surface at a rotational speed of 3000 rpm for 10 seconds and the resulting thin films were annealed at 400 °C. Aluminum ohmic and rectifier contacts were coated with physical vapor deposition (PVD) to determine the electrical characterization of the thin film coatings. Then, the diodes were examined morphologically by FESEM analysis and it was observed that the average coating thickness was 200 nm. Current-voltage (I-V) analysis was performed on the prepared diodes with Keithley 2400 device in the dark. The ideality factors of the  $\text{Si}_3\text{N}_4$  doped and undoped diodes from the obtained I-V analysis were 2.92 and 4.17, respectively; correction ratios were calculated as 96.3 and 10.8.

*Keywords: Green synthesis, Zinc oxide, Silicon nitride, Diodes*

## I. GİRİŞ

Nanomateriyaller azalan partikül boyutu ve artan yüzey alanı gibi ayırt edici özellikleri nedeniyle son zamanlarda araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir [1]. 1-100 nm boyutunda olan nanopartiküller (NPs) benzersiz yüzey, optik, elektrik, biyolojik ve manyetik özelliklere sahiptir [2]. Bu nedenle son dönemlerde titanyum (Ti) [3], kobalt oksit ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ) [4], magnezyum oksit (MgO) [5], çinko oksit (ZnO) [6], gibi metalik ve metalik olmayan birçok malzeme nano boyutlu olarak üretilerek farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalara gaz sensörleri [7], enerji depolama teknolojileri, güneş enerji sistemleri[8], sağlık sektörü gibi spesifik alanlar örnek olarak gösterilebilir. Bu nanopartiküllerden metal oksit olanlar optoelektronik aygıtlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Metal oksit NPs'ler arasında çinko oksidin (ZnO) mükemmel kimyasal stabilitesi, toksik olmaması, düşük maliyetli olması nedeniyle kullanım alanı geniştir. Ayrıca ZnO FDA (Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Birimi)'ne göre genellikle güvenli bir malzeme olarak raporlanmıştır [8]. ZnO'nun eksiton bağlanma enerjisinin yüksekliği (60meV), geniş bant aralığı (3,37 eV), UV ışımına karşı duyarlılığı onu optoelektronik alanında gözde bir malzeme haline getirmiştir [9,10].

ZnO büyük ölçüde kimyasal ve mekanik yöntemlerle sentezlenmektedir [11,12]. Mekanik metotlar pahalı ve enerji tüketimi yüksek olan yöntemlerdir. ZnO partiküllerin kimyasal üretiminde tehlikeli ve zararlı stabilizer ve indirgeyici ajanlar kullanılmaktadır. Araştırmalar yüksek enerji tüketimlerini azaltmak ve kullanılan kimyasalların çevreye verdikleri zararları minimize etmek üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle son yıllarda çevre dostu, ekonomik ve kolay uygulanabilir bir yöntem olan biyolojik sentez yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Biyolojik sentez yönteminde; kimyasal yöntemde kullanılan zararlı ve toksik kimyasallar yerine bitki ekstraktları (yaprak, meyve, çiçek, tohum vb) ve mikroorganizmalar (bakteriler,virüsler vb) kullanılmaktadır [13]. Bakteri ve virüs kullanılarak gerçekleştirilen yöntemlerde ekstra hücre kültürüne ihtiyaç duyulduğu için bitki ekstraktları kullanılarak gerçekleştirilen üretimler daha çok tercih edilmektedir. Bitki ekstraktları stabilizer ve indirgeyici ajan olarak hareket etmektedir. Literatür çalışmalarında akdeniz defnesi [14], tesbih ağacı [15], zeytin [16], muz [17] gibi farklı bitki ve meyve ekstraktları kullanılarak nano boyutlu ZnO tozları sentezlenmiştir.

Tüm avantajlarına rağmen ZnO elektron-deşik rekombinasyonu ve görünür ışıkta etkisiz kullanımı nedeniyle pratik uygulaması sınırlıdır. Başka malzemeler ile kompozit oluşturulması ya da katkılanması ile bu özelliklerin geliştiği literatür çalışmalarından gözlemlenmektedir. Çalışmada bu katkı malzemesi silisyum nitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) olarak tercih edilmiştir.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  sert, yoğun bir refrakter malzemesidir. Si-N-Si yapısı iki bağdan ziyade üç bağ oluşturan azot ile sertlik verilir. Azot atomları silisyum etrafında tetrahedral biçimde kabaca düzenlenmektedir. Optoelektronik cihazlarda MIS (metal-yalıtkan-yarıiletken) yapılarında kullanılmaktadır [18]. Yapıda metal olarak adlandırılan kısım kontak malzemesi, katkılanan  $\text{Si}_3\text{N}_4$  yalıtkan, altlık malzemesi olan silisyum yarıiletkenidir. Arayüzey

tabakası ya da katkı olarak yalıtkan bir malzemenin seçiminde en temel kriterler; yüksek dielektrik sabiti, yüzeyi pasivize edebilmesi, kontrollü akım-iletim mekanizmasına sahip olması, sızıntı akımını en aza indirebilmesidir [19,20].

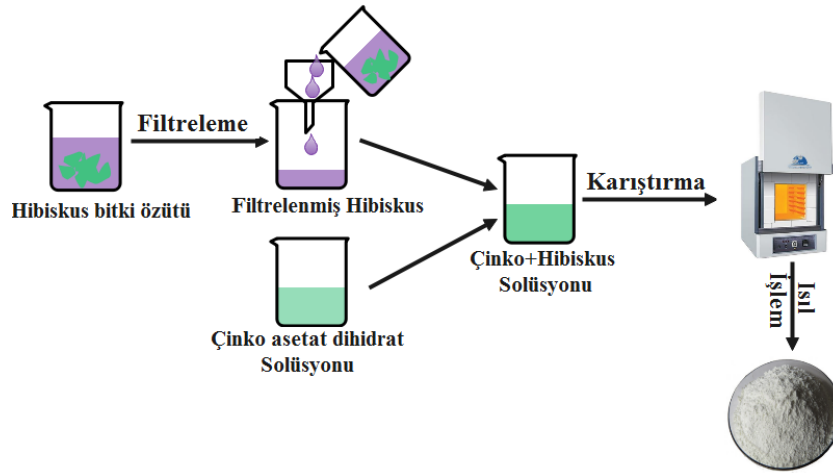
Son zamanlarda yapılan çalışmalarda nitrür esaslı ince filmler, yalıtkan tabaka olarak elektronları üzerinde toplayarak ara yüzeyi pasivize etmekte ve ters beslem akımını önlemektedir [21]. Böylece diyotların fotokatalitik özellikleri gelişmektedir. Nitrür ara filmler silisyumun oksijenle temasını önleyerek silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) tabakasının oluşmasını önlemektedir. Ayrıca silisyum nitrür (5.3 eV) silisyum dioksit oranla daha dar bant aralığına sahip olduğu için kızılötesi ve görünür ışıktaki etkili bir fotolüminans göstermektedir [22]. Bu çalışmada literatürden farklı olarak çinko oksit içerisine silisyum nitrür katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Silisyum nitrürün dielektrik sabitinin yüksek olmasından dolayı arttırmasını diyotun ters beslem (sızıntı) akımını azaltarak doğrultma oranını arttırması ve diyotu ideale yaklaştırması beklenmektedir. Üretilen diyotların karanlık ortamda akım voltaj karakteristikleri incelenmiştir. Ayrıca elde edilen ince filmler ve ZnO tozu kimyasal ve morfolojik olarak incelenmiştir.

## **II. MATERYAL VE METOT**

Çalışmalar kapsamında çinko asetat dihidrat (Zn(CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) %99.0 saflıkta, isopropanol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O), silisyum nitrür (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) kullanılmıştır. Altlık malzemesi olarak (100) oryantasyonunda, yaklaşık 380 µm kalınlığında bor (B) katkılı p-tipi silisyum kullanılmıştır. Tüm deneylerde temizlik işlemleri için saf su ve etil alkol kullanılmıştır. Hibiskus bitki ekstrantı Sakarya Türkiye'den temin edilmiştir.

### **A. ZnO NANO PARTİKÜLLERİN BİYOLOJİK SENTEZİ**

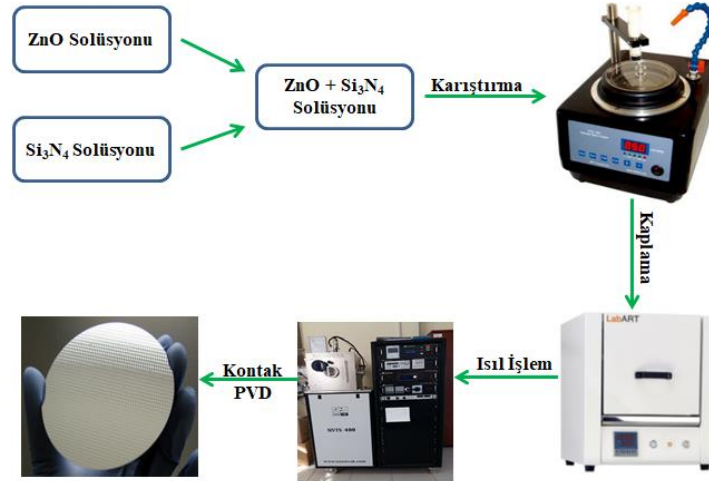
0,4 M çinko asetat dihidrat (ZnAc) tozu 80 ml isopropanol içerisine eklenerek 400 devir/dakika'da yarım saat oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra Hibiskus ekstraktı damla damla pH 7 olana kadar eklenmiştir. Bu sayede partiküllerin çökmesi ya da aglomere olması önlenmiştir. Eklenen bitki ekstraktı ile karışımın rengi beyazdan mora dönmüştür. Hazırlanan karışım 60 °C'de 4 saat karıştırılmıştır. Daha sonra elde edilen tozlar santrifüj edilmiş ve saf su ile yıkanmıştır. Hazırlanan tozlar 60 °C'de 6 saat kurutulmuştur. Elde edilen katı tozlar 500 °C'de 1 saat kalsine edilerek yapıdaki istenmeyen materyaller uzaklaştırılmıştır. Biyolojik yöntemle ZnO nano partiküllerin sentezi işlem basamakları Şekil 1'de verilmiştir.



*Şekil 1. Biyolojik sentez yöntemiyle ZnO eldesine ait şematik gösterim.*

## B. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO KOMPOZİT SOLÜSYONUNUN HAZIRLANMASI VE KAPLANMASI

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO kompozitinin hazırlanmasında daha önce biyolojik olarak sentezlenmiş olan ZnO tozları kullanılmıştır. İlk olarak Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> tozları etanol içerisinde 70 °C'de 3 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Farklı bir beher içerisinde 20 ml etanol içerisinde 0,8 M ZnO tozu oda sıcaklığında 1 saat çözündürülmüştür. Hazırlanan her iki solüsyon birleştirilerek oda sıcaklığında yaklaşık 30 dakika karıştırılmıştır. Elde edilen nihai solüsyon mikropipet yardımıyla altlık yüzeyine damlatılmış ve 3000 devir/dakikada 15 saniye kaplanmıştır. Bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır. Hazırlanan ince filmler kaplama işlemi sonrasında 400 °C'de 30 dakika tavlansmıştır.



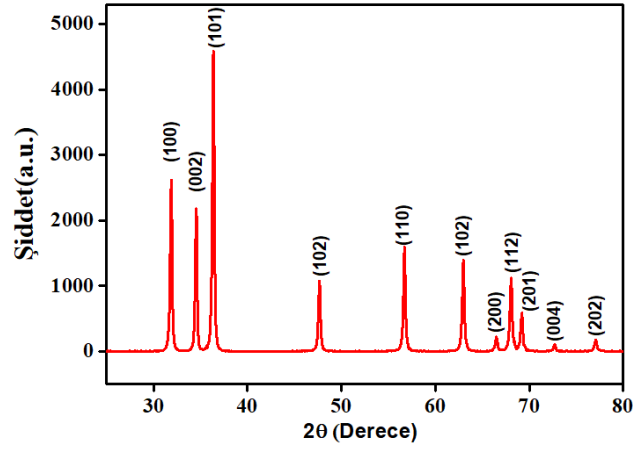
Şekil 2. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO fotodiyotların üretimine ait şematik gösterim.

Elektriksel karakterizasyonun yapılması için alüminyum ohmik ve doğrultucu kontaktları PVD cihazında kaplanmıştır. Böylece Al/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO/pSi/Al diyotun üretimi yapılmıştır. Üretim işlem adımları Şekil 2'de verilmiştir. Üretilen diyotlar elektriksel olarak Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkılanmamış diyotla karşılaştırılmıştır.

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

### A. XRD SONUÇLARI

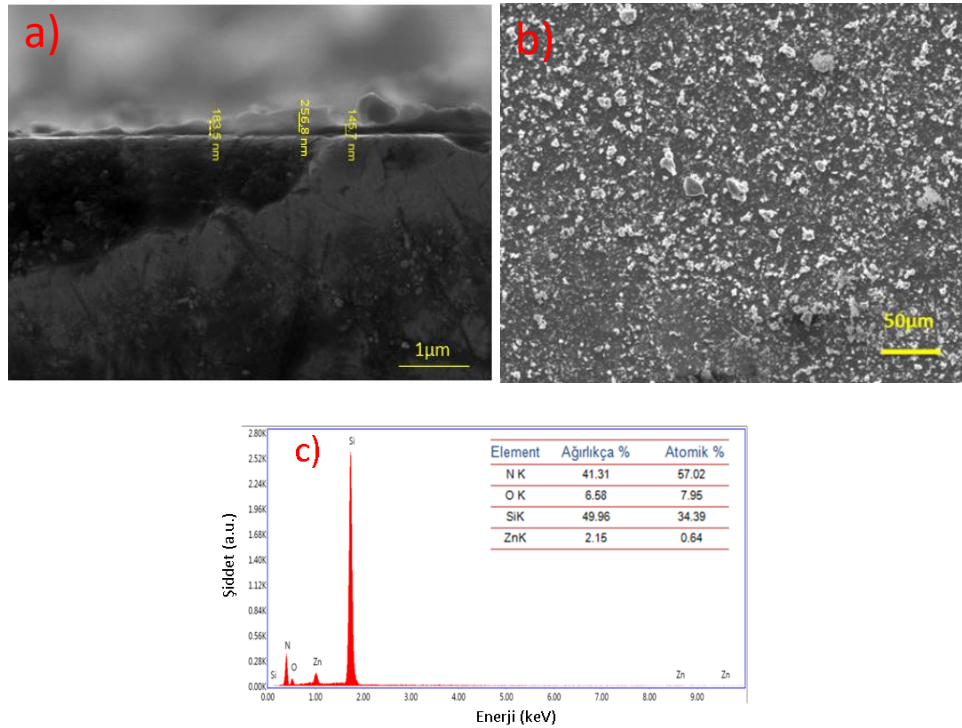
Biyolojik sentez yöntemiyle üretilen ZnO nano partiküllerin kimyasal olarak XRD analizi ile incelenmiştir. Şekil 3'te ZnO nano partiküllere ait XRD kırınım deseni verilmiştir. Verilen XRD analizi incelendiğinde kristalin ZnO NP'lerin başarı ile sentezlendiği gözlemlenmektedir. Sentezlenen ZnO NP'lerin tüm piklerin hegzagonal wurtzite kristal yapısında zincite fazına karşılık geldiği gözlemlenmektedir. Analiz sonuçlarında herhangi bir empürite faza rastlanmamıştır. 31,74°, 34,40°, 36,24°, 47,58°, ve 56,24°'de bulunan 2θ karakteristik pikleri sırasıyla ZnO fazının (100), (002), (101), (102), (110) kafes düzlemlerine karşılık gelmektedir. Bu değerler JCPDS 36-1451 standart kart değerleriyle uyushmaktadır [23, 24].



Şekil 3. Biyolojik sentez yöntemiyle üretilmiş ZnO tozuna ait XRD sonuçları.

## B. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (FESEM) VE ELEMENTEL ANALİZ (EDS) SONUÇLARI

Biyolojik sentezle üretilmiş ZnO tozu ve ticari silisyum nitrür tozu kullanılarak hazırlanan fotodiyotlar FESEM ile morfolojik olarak analiz edilmiştir. Kaplanan  $\text{Si}_3\text{N}_4:\text{ZnO}$  ince filmlerin FESEM ve EDS sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Elde edilen FESEM görüntüsü incelendiğinde  $\text{Si}_3\text{N}_4:\text{ZnO}$  ince filmlerin silisyum altlık yüzeyine kaplandığı gözlemlenmektedir. Şekil 4 (a)'da  $\text{Si}_3\text{N}_4:\text{ZnO}$  ince filmlerin yan kesit görüntüsü incelendiğinde kaplamanın kalınlığı 145-257 nm aralığında elde edilmiştir. Şekil 4 (b)'de ise  $\text{Si}_3\text{N}_4:\text{ZnO}$  ince film kaplamanın üst yüzeyden görünümü verilmiştir. Döndürme kaplama tekniğinde oluşan merkez-kaç kuvvet etkisi nedeniyle homojen kaplamanın elde edilmesi zorlaşmaktadır.



Şekil 4. (a)  $\text{Al}/\text{Si}_3\text{N}_4:\text{ZnO}/\text{pSi}/\text{Al}$  fotodiyotlara ait yan kesit görüntüsü, (b) Üst yüzeyin görünümü, (c) EDS sonuçları.

Şekil 4 (c)'de EDS analizine bakıldığında ise yapıda silisyum (Si), azot (N), oksijen (O) ve çinko (Zn) varlığı yapıda ZnO ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>'ün mevcut olduğunu göstermektedir. Silisyuma ait güçlü sinyalin varlığı hem silisyum nitür hem de silisyum altlık malzemesinden kaynaklanmaktadır.

### C. I-V ANALİZ SONUÇLARI

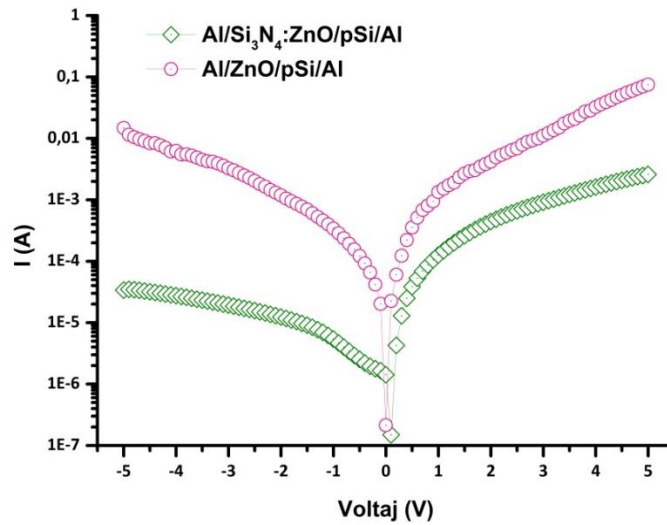
Makalede hesaplamalar Termiyonik Emisyon teorisine göre yapılmış ve hazırlanan diyotların ters doyum akımı ( $I_0$ ) ile pozitif bölge akımı arasındaki farkın daha iyi anlaşılması için elde edilen I-V grafikleri standart diyot akım eğrisinin yerine akımın mutlak değeri alınarak yarı-logaritmik olarak gösterilmiştir. Termiyonik emisyon teorisine göre diyot denklemi denklem 1'de verilmiştir.

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

Burada  $I_0$  ters doyum akımını ifade eder ve diyot karakteristiği belirlenmesinde çok önemli bir parametredir. V diyot üzerine düşen gerilim, k Boltzmann sabiti T mutlak sıcaklıktır [25]. İdeal bir diyotta yarıiletken kaplanan kontakın ohmik davranması beklenmektedir. Yani bu kısımda  $I_0$ 'ın sifıra yakın olması gerekmektedir [26]. Pozitif bölge akımı ile ters doyum akımı arasındaki farkın artması da diyotun doğrultma oranının artması anlamına gelmektedir. Denklemde yer alan n değeri ise idealite faktörünü (n) ifade etmektedir. İdealite faktörünün 1'e yakın olması ideal bir diyot için beklenen durumdur. İdealite faktörü, diyodun ideal özelliklerden sapmasını gösteren boyutsuz bir parametredir [27]. Termiyonik emisyon teorisine göre aşağıda yer alan denklem 2'den idealite faktörü hesaplanabilir.

$$\frac{dV}{d \ln I} \cdot \frac{q}{k \cdot T} = n \quad (2)$$

İdealite faktörü (n), yarıiletken ile dengede arayüzey durumları (N<sub>ss</sub>) ve metal yarıiletken arasındaki yalıtkan oksit tabakasının kalınlığı (δ) kalınlığından etkilenmektedir. n, hem yalıtkan tabaka kalınlığının artmasıyla hem de arayüzey durumlarının artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır [28].



Şekil 5. Katkısız Al/ZnO/pSi/Al diyotu ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkılı Al/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO/pSi/Al diyotlara ait yarı-logaritmik I-V eğrisi.



Şekil 5'te üretilen fotodiyotlara ait karanlık ortamda elde edilen I-V eğrileri verilmiştir. Katkısız ZnO ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkılı ZnO diyotlarının I-V eğrileri Keityhley 2400 cihazında -5 ile +5 V gerilim aralığında ölçülmüştür. -5 ve +5 V gerilimde doğrultma oranları katkısız Al/ZnO/pSi/Al diyotu ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkılı A/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO/pSi/Al diyotlar için sırasıyla 10,8 ve 96,3 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir. Diyot performansı kaplama kalınlığı, kaplamanın homojenitesi, sıcaklık, arayüzeyin büyütme süresinden oldukça etkilenmektedir [29, 30]. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>'ün varlığı diyotun doğrultma oranını yaklaşık 10 kat arttırmıştır.

Şekil 6'da I-V'den elde edilen LnI-V eğrisi verilmiştir. Grafiğin eğiminden idealite faktörü hesaplanmaktadır. Verilen denklemler ve grafiklerden Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkılı ve katkısız ZnO diyotların idealite faktörleri hesaplanmış ve Tablo 1'de paylaşılmıştır.

**Tablo 1.** Üretilen diyotların idealite faktörleri.

Numune	İdealite Faktörü (n)	Doğrultma Oranı (RR=I <sub>F</sub> /I <sub>R</sub> )
Katkısız Al/ZnO/pSi/Al diyotu	4,17	10,8
Al/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> :ZnO/pSi/Al diyotu	2,92	96,3

Tablo 1'den görüleceği üzere katkısız Al/ZnO/pSi/Al diyotu ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkılı A/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:ZnO/pSi/Al diyotlar için idealite faktörü sırasıyla 4,17 ve 2,92 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkısının idealite faktörünü yaklaşık 1,5 kat arttırdığını göstermektedir.

## **IV. SONUÇ**

Bu çalışmada p tipi silisyum üzerine biyolojik sentez ile üretilmiş ZnO nano partiküllerden hazırlanmış ZnO ince film kaplı Schottky diyotlarda Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkısının doğrultma oranı ve idealite faktöründe meydana getirmiş olduğu değişiklikler araştırılmıştır. Çalışma kapsamında hibiskus bitkisi indirgeyici ajan olarak kullanılmış ve XRD analizleriyle ZnO nano partiküllerinin biyolojik olarak başarılı bir şekilde üretildiğini göstermektedir.

Çalışmada sentezlenen ZnO tozları kullanılarak hem Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkılı hem de katkısız olarak solüsyon üretilmiştir. Elde edilen solüsyonlar sol-jel döndürme kaplama yöntemiyle silisyum altlık yüzeyine 3000 devir/dakikada 10 saniye boyunca kaplanmıştır. FESEM analizleri yüzeyde yaklaşık olarak 147-257 nm aralığında bir kaplama tabakası elde edildiği göstermektedir. EDS analizinden ise yapıda silisyum (Si), azot (N), oksijen (O) ve çinko (Zn) varlığı yapıda ZnO ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>'ün mevcut olduğu anlaşılmaktadır.

Elde edilen diyotlara karanlıkta akım-voltaj analizi yapılmıştır. Akım-voltaj eğrileri ve Termiyonik Emisyon Teorisinde yer alan denklemlerden diyotların idealite faktörleri hesaplanmıştır. Diyotların doğrultma oranları -5 ve +5 V gerilimde doğru beslem akımının ters beslem akımına oranından (RR=I<sub>F</sub>/I<sub>R</sub>) faydalanılarak hesaplanmıştır. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkılı ve katkısız ZnO diyotların sırasıyla idealite faktörleri 2,92 ve 4,17; doğrultma oranları ise 96,3 ve 10,8 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> katkısının idealite faktörünü yaklaşık 1,5 kat; doğrultma oranını yaklaşık 10 kat arttırdığını göstermektedir.

## V. KAYNAKLAR

- [1] H. Agarwal, S. Menon and V. K. Shanmugam, "Functionalization of zinc oxide nanoparticles using *Mucuna pruriens* and its antibacterial activity," *Surf. Interfaces*, 19, 2020.
- [2] Y. A. Selim, M. A. Azb, I. Ragab and M. H. M. Abd El-Azim, "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using aqueous extract of *Deverra tortuosa* and their cytotoxic activities," *Sci. Rep.*, no. 10, pp. 1–9, 2020.
- [3] R. Rajendhiran, V. Deivasigamani, J. Palanisamy, S. Masan and S. Pitchaiya, "Terminalia catappa and carissa carandas assisted synthesis of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles – A green Synthesis approach," *Materials Today:Proceedings*, pp. 2214-7853, 2020.
- [4] S. Z. Mohammadi, B. Lashkari and A. Khosravan, "Green synthesis of  $\text{Co}_3\text{O}_4$  nanoparticles by using walnut green skin extract as a reducing agent by using response surface methodology," *Surfaces and Interfaces*, 2021.
- [5] S. Abinaya, H. P.Kavitha and M.Prakash, A. Muthukrishnaraj, "Green Synthesis of magnesium oxide nanoparticles and its applications:A rewiev," *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, no. 19, pp. 100368, 2021.
- [6] R. Resmi, J. Yoonus and B. Beena, "A novel greener synthesis of ZnO nanoparticles from Nilgiriantsusciliantus leaf extract and evaluation of its biomedical applications," *Materials Today: Proceedings*, pp. 2214-7853, 2021.
- [7] S. Steven Kaye, A. Dailly, M. Omar Yaghi and R. Jeffrey Long, "Impact of preparation and handling on the hydrogen storage properties of  $\text{Zn}_4\text{O}(1,4\text{-benzenedicarboxylate})_3$  (MOF-5)," *Chem. Soc.*, pp. 46, 2007.
- [8] N. Wiesmann, W. Tremel and J. Brieger, "Zinc oxide nanoparticles for therapeutic purposes in cancer medicine," *J. Mater. Chem. B*, vol. 8, no. 23, pp. 4973-4989, 2020.
- [9] X. Y. Wan, F. L. Jiang, L. Chen, J. Pan, K. Zhou, K. Z. Su, J. D. Pang, G. X. Lyu and M.- C. Hong, "Structural variability, unusual thermochromic luminescence and nitrobenzene sensing properties of five Zn(ii) coordination polymers assembled from a terphenyl-hexacarboxylate ligand," *Cryst. Eng. Comm*, no. 17, pp. 3829–3837, 2015.
- [10] L. Zhong and W. Zinc, "Oxide nanostructures: growth, properties and applications, *Journal of Physics: Condensed Matter*," no. 16, pp. 829-858, 2004.
- [11] E. Tóthová, M. Senna, A. Yermakov, J. Kováč, E. Dutková, M. Hegedüs, M. Kaňuchová, M. Baláž, Z.L. Bujňáková, J. Briančin and P. Makreski, "Zn source-dependent magnetic properties of undoped ZnO nanoparticles from mechanochemically derived hydrozincite," *J. Alloy. Compd.*, pp. 1249-1259, 2019.
- [12] A. Narjis, H. ElAakib, M. Boukendil, M. ElHasnaoui, L. Nkhaili, A. Aberkouks and A. Outzourhit, "Controlling the structural properties of pure and aluminum doped zinc oxide nanoparticles by annealing," *J. King Saud Univ. Sci.*, 32, pp. 1074-1080, 2020.
- [13] R. K. Das, V. L. Pachapur, L. Lonappan, M. Naghdi, R. Pulicharla, S. Maiti and S. Brar, "Biological synthesis of metallic nanoparticles: plants, animals and microbial aspects," *Nanotechnol. Environ. Eng.* 2017.

- [14] F. Shabnam, J. Mina and K. F. Hassan, “Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: a comparison,” *Green Chemistry Letters and Reviews*, pp. 1751-8253, 2019.
- [15] N. Minha, A. Usman, K. Bushra and C. Bin, “Green route to synthesize Zinc Oxide Nanoparticles using leaf extracts of Cassia fistula and Melia azadarach and their antibacterial potential,” *Nature*, no. 10, pp. 9055, 2020.
- [16] A. Awwad, B. Albiss and A. L. Ahmad, “Green synthesis, characterization and optical properties of zinc oxide nanosheets using Olea europea leaf extract.,” *Advanced Materials*, no. 5, pp. 520–524, 2014.
- [17] R. Jittiporn, T.T. Jiraroj, P. Nattanan and T. Thienpraserta, “Green synthesized ZnO nanosheets from banana peel extract possess antibacterial activity and anti-cancer activity,” *Materials Today Communications*, pp. 101224, 2020.
- [18] O. Blázquez J. López-Vidrier, S. Hernández, J. Montserrat and B. Garrido “Electro-optical properties of non-stoichiometric silicon nitride films for photovoltaic applications,” *Energy Procedia*, 2013.
- [19] V. V. Ichenko, V. V. Marin, S. D. Lin, K. Y. Panarn, A. A. Buyanin and O. V. Tretyak, “Room temperature negative differential capacitance in self-assembled quantum dots,” *J. Phys. D Appl. Phys.*, no. 41, pp. 235107, 2008.
- [20] G. B. Sakr and I. S. Yahia “Effect of illumination and frequency on the capacitance spectroscopy and the relaxation process of p-ZnTe/n-CdMnTe/GaAs magnetic diode for photocapacitance applications,” *J. Alloys Compd.*, no. 503, pp. 213-219, 2010.
- [21] B. H. Lee, L. Kang, R. Nieh, W. J. Qi and J. C. Lee, “Thermal stability and electrical characteristics of ultrathin hafnium oxide gate dielectric reoxidized with rapid thermal annealing,” *Applied Physics Letters*, no. 76, pp. 1926, 2000.
- [22] N. Park, C. Choi, T. Seong, and S. Park, “Quantum Confinement in Amorphous Silicon Quantum Dots Embedded in Silicon Nitride” *Phys. Rev. Lett.* no. 86, pp. 1355, 2001.
- [23] R. Shashanka and D. Chaira, Optimization of milling parameters for the Synthesis of nano-structured duplex and ferritic stainless steel powders by high energy planetary milling, *Powder Technol.*, no. 278, pp. 35-45, 2015.
- [24] R. Yuvakkumar, J. Suresh, B. Saravanakumar, and et al. “Rambutan peels promoted biomimetic synthesis of bioinspired zinc oxide nanochains for biomedical applications,” *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, no. 137, pp. 250–258, 2015.
- [25] H. Gu, L. Yu, J. Wang, J. Yao and G. Chen, “A sol-gel preparation of ZnO/graphene composite with enhanced electronic properties,” *Materials Letters*, vol. 196, pp. 168-171, 2017.
- [26] O. Fesenko, G. Dovbeshko, A. Dementjev, R. Karpicz, T., Kaplas and Y. Svirko “Graphene-enhanced Raman spectroscopy of thymine adsorbed on single-layer graphene,” *Nanoscale Res. Lett.*, 2015.
- [27] C. Soldano, A. Mahmood and E. Dujardin “Production, properties and potential of graphene,” *Carbon*, vol. 48, pp. 2127-2150, 2010.
- [28] F. Z. Pür, “Au/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/n-Si (MIS) Yapıların Akım-Voltaj (I-V) Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2012.

[29] S. Mridha, M. Dutta and D. Basak, "Photoresponse of n-ZnO/p-Si heterojunction towards ultraviolet/visible lights: thickness dependent behavior," *Mater Sci: Mater Electron*, no. 20, pp. S376–S379, 2009.



[30] Ç. Ş. Güçlü, A.F. Özdemir and D. A. Aldemir, "Mo/n-Si Schottky Diyotların Akım-Voltaj ve Kapasite-Voltaj Karakteristiklerinin Analizi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 7, no. 3, pp. 2142-2155, 2019.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Reproductive Biology and The First Record of Egg Dimension of Collared pratincole (*Glareola pratincola*) from Southwest Turkey

 Yasemin ÖZTÜRK<sup>a\*</sup>,  Leyla ÖZKAN<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Forestry, Gölhisar Vocational School, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Department of Wildlife Ecology and Management, Faculty of Forestry, Düzce University, Düzce, TÜRKİYE

\* Corresponding author's e-mail address: yaseminozturk@mehmetakif.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1033225

### ABSTRACT

This study aims to investigate the breeding biology of Collared pratincole (*Glareola pratincola*), a migratory bird species in Antalya/Boğazkent (Turkey). There are different types of habitat in research area over 200 ha. This feature serves great biodiversity to the area. Field work was carried out from March to October between 2016 and 2017. 35 individuals and 16 nests were found in the first year and 25 individuals and eight nests in the next year. The egg volume has been calculated according to the formulation  $V=0.51 \times L \times W^2$  while egg index has been figured with regard to  $SI=100 \times W/L$  formulation. According to the hatchling size, the breeding success of the species was 86.7% in 2016 and 85.7% in 2017. Considering the fledgling size, the figures were 46.4% in 2016 and 66.7% in 2017 respectively. Many factors affecting the breeding success of the species were specified in the region. Hooded crows (*Corvus cornix*), for example, was detected as being the natural predator of the species. Furthermore, the invasion of the breeding areas by humans and human-related activities such as construction, tourism and agriculture also harmfully affect the breeding success. According to our study Antalya/Boğazkent is a very important bird area in Turkey.

**Keywords:** Breeding success, Bogazkent, egg index, *Glareola pratincola*, productivity, Turkey

## Bataklık Kırlangıcı'nın (*Glareola pratincola*) üreme biyolojisi ve yumurta boyutunun Güneybatı Türkiye'den ilk kaydı

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı Antalya/Boğazkent'te göçmen bir kuş türü olan Bataklık Kırlangıcı (*Glareola pratincola*)'nın üreme biyolojisinin incelenmesidir. Yaklaşık 200 hektarlık araştırma alanında, pek çok farklı habitat tipi vardır. Bu özelliği geniş bir biyoçeşitlilik sunmaktadır. Arazi çalışmaları 2016-2017 yıllarında Mart'tan Ekim'e kadar gerçekleştirilmiştir. İlk yıl alanda 35 birey ve 16 yuva, sonraki yıl ise 25 birey ve 8 yuva bulunmuştur. Yumurta hacmi  $V=0.51 \times L \times W^2$  formülüne göre, yumurta indeksi  $SI=100 \times W/L$  formülüne göre hesaplanmıştır. Türün üreme başarısı, açılan yumurta sayısına göre, 2016 yılında %86.7 ve 2017 yılında %85.7, juvenil yavru sayısına göre 2016'da % 46.4, 2017'de % 66.7'dir. Bölge'de türün üreme başarısını etkileyen pek çok faktör tespit edilmiştir. Örneğin, Leş kargası (*Corvus cornix*), türün doğal predatörü olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda üreme alanlarının insanlar tarafından işgal edilmesi, yapılaşma, turizm ve tarımsal aktiviteler de üreme başarısını olumsuz yönde etkilemektedir. Çalışmamıza göre Antalya/Boğazkent, Türkiye'deki çok önemli bir kuş alanıdır.

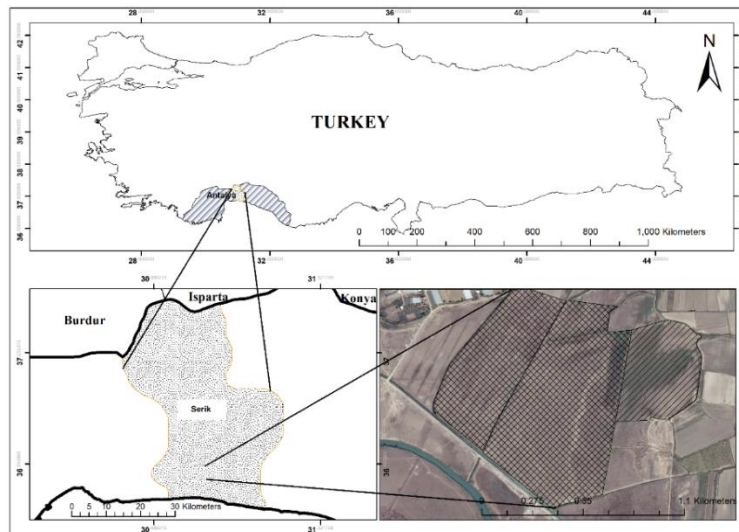
**Anahtar Kelimeler:** Üreme Başarısı, Boğazkent, Yumurta indeksi, *Glareola pratincole*, Üreme, Türkiye

# **I. INTRODUCTION**

Collared pratincole is a type of coastal bird of Afro-tropical origin which is also colonial, monogamous and mainly fed as insectivorous [1]. Along the Palearctic, it spreads on the northern coast of Mediterranean and North Africa [1, 2, 3, 4, 5, 6). Very few studies have been done regarding the breeding ecology and behaviour in reproductive populations of the species in Eastern Mediterranean (7, 8). For this reason, species-focused studies addressing Collared pratincole have become important. Being ranked among the “LC” (Least Concern) category according to IUCN (9), Collared pratincole has been evaluated in the category of “VU” (Vulnerable) for Turkey (10). It was involved in the Appx.II according to the Bern Convention (11). Although it can be seen all across Turkey, Collared pratincole has small populations. Boğazkent/Antalya is both a transition region and a breeding ground for this species. Apart from the studies concerned with the spreading parameters or the number of individuals and nests of the species, there is no detailed study in related to reproductive biology in Turkey (8, 12). Therefore, it is not possible to make a comparison between populations of the species in Mediterranean including Turkey in the studies carried out in the North Africa, Spain and France (13, 14, 5, 6). In this study, it is aimed to analyze the reproductive biology of the individuals that are in the field together with the individuals that pass through the region.

# **II. MATERIALS AND METHODS**

This research has been conducted in Belek Special Protection Area in Bogazkent where is located in 45 km east of the Antalya province (36° 50' N, 31° 11' E, approximately at sea level) (Figure 1).



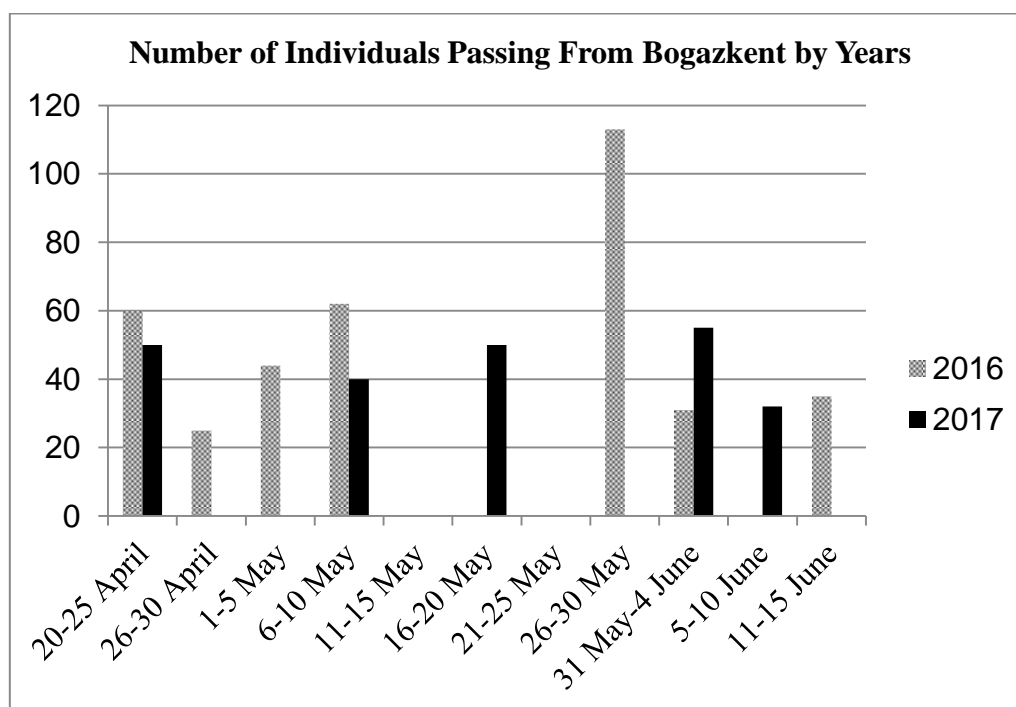
*Figure 1. Location of study area*

There are numerous different types of habitats, which have been generated by shrubberies, arable lands, marshes, pastures and cultivated areas. Every two years, from March to October, observations have been made as three days a week. In the study, direct observation method (15) has been applied and the nests has been found by following the courting and copulating behaviours and incubating individuals from determined points that have been specified so as not to disturb the birds. In the first year of the study, the number of nests, the number of eggs (clutch size) in the nests and the coordinates of the nests were determined. Collared pratincole incubates with the release of the first egg. The incubation period of the species has been specified by calculating the period of time from the release of the first egg to hatching of the first offspring (16). In the second year, necessary legal permissions were taken in order to be able to carry out the measurements of the nests and data related to width,

height and weight of the eggs were imported. The egg volume has been calculated according to the formulation  $V=0.51 \times L \times W^2$ , where V is egg volume, L is egg length, W is egg width (17). Egg index has been figured with regard to  $EI:100 \times W / L$  (18) formulation, where SI is Sphericity index, L is egg length, W is egg width. To import this data, callipers and precision scales have been used. Besides the individuals settling in the area for breeding every two years, the number of individuals using the region as a transition zone was also monitored.

### **III. RESULTS**

Most of the Collared pratincoles that have been observed in Boğazkent use the area for transition. Few of these individuals settle in the area for inhabiting and breeding. The first transits on Boğazkent/Antalya were on 24 April for 2016 and 22 April for 2017 (Figure 2).



*Figure 2. Number of Individuals Passing From Bogazkent by Years*

The 35 individuals in 2016 and 25 in 2017 breed in the area. 16 nests belonging to these individuals were found in 1, 2 and 3 clusters with an average clutch size of 1.88 and a total number of 30 eggs left in 2016. In 2017, 8 nests were found in 1 and 2 clusters with an average clutch size of 1.75 and a total of 14 eggs left (Table 1, Table 2). The incubation period was calculated as 17 days in 2016 while 16 days in 2017. In the period after the incubation, hatching was observed in 13 out of 16 nests during the breeding season of 2016 while no egg hatched in 2 nests and 1 nest was exposed to predation. When all the eggs were evaluated, hatching was observed in 26 out of 30 eggs. In 2017, the next breeding period, no egg hatched in 1 nest while hatching occurred 6 out of 8 nests.

*Table 1. Population Traits of Boğazkent/Antalya*

Population Traits	Years	
	2016	2017
<b>Individuals</b>	35	25
<b>Nest</b>	16	8
<b>Eggs</b>	30	14
<b>Hatchlings</b>	26	12
<b>Fledglings</b>	12	8
<b>Hatchling Ratio</b>	86.7%	85.7%
<b>Fledgling Ratio</b>	46.4%	66.7%

*Table 2. Egg Traits of Collared pratincoles in Antalya/Boğazkent*

Egg Traits						
	N	Width (mm)	Length (mm)	Weight (g)	Egg Volume (cm <sup>3</sup> -cc)	Egg Index (%)
<b>Min.</b>	14	23.16	28.39	8.7	8.04	74.5
<b>Max.</b>	14	25.61	32.08	11.2	10.57	83.6
<b>Mean±Sd.</b>	14	24.21±0.70	30.69±0.92	9.67±0.64	9.19±0.67	74.8±2.81

The nestlings of Collared pratincoles are in precocial type. As they feed on their own in parental control after leaving the eggs, this period has a higher risk in terms of predations and more losses. This is particularly the case for the nests with a large number of eggs. By tracking the nestlings in both periods, it has been detected that 12 out of 26 nestlings that left the eggs in 2016 grew in maturity of flying and 44 individuals were in the region during the period before migration. In 2017, the next breeding season, observations showed that 8 out of 12 nestlings that hatched grew in maturity of flying and 33 individuals were in the region during the period before migration. Data regarding the population has been given in Table 1. At the end of the breeding season, the individuals returned to the wintering grounds in August 2016. In 2017, the individuals began to leave the area in July and last individuals left Boğazkent in September.

#### **IV. DISCUSSION & CONCLUSION**

Boğazkent is home to many native and immigrant species as well as a transition zone or an accommodation area for some species (19). During the spring migration carried out from Africa to Northern regions, a large part of the population uses Boğazkent as a transition zone while few individuals settle in the area to perform breeding activities. Therefore, the area is important as being a transit zone and in a position of enabling reproductive activities. When the other populations of Collared pratincole are examined, it can be seen that the arrival dates have been reported as the first half of March for Morocco (5) the end of march for Algeria (6), the end of march and the beginning of april for Spain (13, 20) and the first half of april for France (14). Egg-laying periods have been stated as the first half of april for Morocco (5), the end of april for Algeria (6), the first half of may for France and the second half of may for Spain. Although the breeding activities of this species have been reported in Greece (7), Western Turkey (8), Russia (21) and Hungary (22), no information has been given regarding their arrival dates. In a study conducted by (12) in Boğazkent, the arrival time to the area was stated as the end of april. In our study, the time of arrival to the area has been specified as the end of april and egg-laying period has been determined as the end of may and the beginning of june. Compared to other populations, it is observed that both arrival dates and egg-laying times are the latest. In respect to clutch sizes, it was reported that figures were  $2.3 \pm 0.7$  (5) for the population of Morocco,  $2.5 \pm 0.7$  (14) for France and 2.6 (13) for Spain. (5) stated that the populations of Algeria had



smaller clutch sizes than the other two populations in Mediterranean. On the other hand, the clutch sizes for Algeria have been reported as  $2.0 \pm 0.7$  by (6). The figure has been determined as 1.88 in 2016 (23) and 1.75 in 2017 for the population of Boğazkent. In other populations, it has been stated that 1 to 3 eggs were left in the nests (5). In Boğazkent, 1 to 3 eggs in 2016 (23) and only 1 or 2 eggs in 2017 were left in the nests. Clutch size seems to have the smallest value in Boğazkent. Egg laying period was indicated as 45 days by (5) and 36 days by (6). For Boğazkent, this period is around 50 days. In different studies, it is reported that Collared pratincoles make its nests near the nests of different bird species (5, 6, 24). Calvo and Furness (1995) emphasized that the nests were interestingly made close to the nests of Lapwings *Vanellus vanellus* (24). (5) reported that Collared pratincole shares its nesting site with Kentish plover *Charadrius alexandrinus* and Little tern *Sterna albifrons* in rocky habitats and with Eurasian Thick-knee *Burhinus oedicephalus* and Crested Lark *Galerida cristata* in dune areas. It was detected that the nests of Collared pratincole in Boğazkent were close to the nests of Spur-winged lapwing *Vanellus spinosus* (25), another coastal bird with an important breeding population in the region. Especially for the birds nesting on the ground, it has been thought that nesting close to the nests of other species that nest on the ground can be a defense strategy against predators. Being a coastal settlement, Boğazkent is a very important area in terms of biodiversity and birds as it has numerous different types of habitats, generated by shrubberies, arable lands, marshes, pastures, wetlands and cultivated areas. It is also a tourism region and local people make their living from agriculture and stockbreeding. This causes a dense structuring in the region and the conversion of many areas into fields. Narrowing natural habitats, i.e. the loss of habitat negatively affects bird species (26). Nesting on the ground such as coastal birds. (24) reported that the nests were made in marsh and arable areas. It has been stated by Kiss et al. (2017) that Collared pratincole is a type of bird that breeds in meadows in Hungary but recently, it nests in agricultural areas as well (22). (5) reported that the nests of Collared pratincole were made in rocky and dune areas and the intensive conversion of marshes and meadows into modern agricultural areas became a serious threat for such species. In Boğazkent, there is small number of Collared pratincole and they make their nests only in pastures. Areas previously used as pasture area have been identified as cultivated zones in 2017. There are two pastures left for the breeding of this species. The destruction of these areas is one of the negative factors that prevent the breeding of this species in Boğazkent. On the other hand, possessed and stray dogs together with Hooded crows *Corvus cornix* are the main natural predators. Although Collared pratincole is a species observed all across Turkey, the breeding populations is not very crowded in terms of the number of individuals. For this reason, receiving 16 nests in one season shows that Boğazkent has an important breeding ground potential. On the other hand, 8 nests were found in 2017. This figure represents the half of the number of nests found in the previous year. This suggests that even though Boğazkent is an important area for birds, existing or possible negative factors have adverse effects on avifauna.

ACKNOWLEDGMENT: The study was funded by Burdur Mehmet Akif Ersoy University Scientific Search Project Unit for support (307-NAP16 project number)

## **V. REFERENCES**

[1] S. Cramp and K.E.L. Simmons, *The birds of the Western Palearctic*-Volume 3. Oxford University Press, Oxford, UK, 1983.

- [2] J. Del Hoyo, A. Elliott and J. Sargatal, *Handbook of the Birds of the World- Volume 3*. Lynx Edicions, Barcelona, Spain, 1996.
- [3] B. Calvo and L.J. Alberto, “Nest site selection of the Collared pratincole (*Glareola pratincola*) in the province of Sevilla, Spain,” *Wader Study Group Bulletin*, vol. 58, pp. 13-15, 1990.
- [4] B. Calvo, “Effects of agricultural land use on the breeding of Collared pratincole (*Glareola pratincola*) in South-west Spain,” *Biological Conservation*, vol. 70, pp. 77-83. doi:10.1016/0006-3207(94)90301-8, 1994.
- [5] S. Hanane, J. Boukhriss and S. Selmi, “Breeding ecology of Collared pratincoles (*Glareola pratincola*) in two coastal habitats in northwest Morocco,” *Bird Study*, vol. 57, pp. 236-243. doi:10.1080/00063651003610569, 2010.
- [6] E. Bensaci, N. Boutera, A. Cherief, M. Saheb, A. Moali, and M. Houhamdi, “Breeding ecology studies of Collared pratincole (*Glareola pratincola*) in the central Hauts Plateaux of Algeria”, *Wader Study Group Bulletin* 121 (1): 43-48, 2014.
- [7] V. Goutner, “Use of the Drana Lagoon (Evros Delta, Greece) by threatened colonially nesting water birds and its possible restoration,” *Biological Conservation*, vol. 81, pp. 113-120. doi:10.1016/S0006-3207(96)00051-1, 1997.
- [8] O. Onmuş, and M. Sıkı, “Shorebirds in the Gediz Delta (İzmir, Turkey): breeding and wintering abundances, distributions and seasonal occurrences,” *Turkish Journal of Zoology*, vol. 35 (5), pp. 615-629. doi:10.3906/zoo-1002-14, 2011.
- [9] BirdLife International. 2017. *Glareola pratincola*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T22694127A120026910. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T22694127A120026910.en>
- [10] D.T. Kılıç, and G. Eken, “*Türkiye'nin Önemli Kuş Alanları, 2004 Güncellemesi [Important Bird Areas of Turkey, 2004 update]*,” Doğa Derneği, Ankara, 2004.
- [11] Bern Convention, 1979, <https://www.coe.int/en/web/conventions/full-list?module=treaty-detail&treatynum=104>
- [12] H. Karaardıç, and L. Özkan, “Breeding and migratory distribution of Collared pratincole (*Glareola pratincola*) at Boğazkent, Southern Turkey,” *Acta Biologica Turcica*, vol. 30 (3), pp. 74-78, 2017.
- [13] A. Bertolero, and A. Martínez-Vilalta, “La perdiu de mar *Glareola pratincola* al delta de l'Ebre: seguiment de la població i biologia reproductora,” *Bull. Parc National Delta de l'Ebre* , vol. 10, pp. 14–19, 1999.
- [14] N. Vincent-Martin, “Statut de conservation de la Glaréole à collier *Glareola pratincola* en Camargue: identification des facteurs limitant la reproduction,” PhD Thesis, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 2007.


- [15] C. J. Bibby, N. D. Burgess, *Bird Census Techniques*, Academic Press Limited, London, pp. 257, 1992.
- [16] A. Feduccia, *The Origin and Evolution of Birds* - 2nd edition. New Haven: Yale University Press, 2001.
- [17] D. F. Hoyt, "Practical methods for estimating volume and fresh weight of birds eggs," *Auk*, vol. 96, pp. 73-77. doi:10.1093/auk/96.1.73, 1979.
- [18] W. Winkel, "Hinweise zur Art und Altersbestimmung von nestlingen, Höhlenbrütern der Vogelarten anhand ihrer körperentwicklung," *Vogelwelt*, vol. 91, pp. 52- 59, 1970.
- [19] A. Erdoğan, H. Karaardıç, and L. Özkan, "Göçmen Kuş Türlerinin Göç Hareketlerinin Kuş Halkalama Metodu Uygulanarak Belirlenmesi Projesi Sonuç Raporu," Çevre ve Orman Bakanlığı, Özel Çevre Koruma Kurumu, Türkiye, Antalya, 2011.
- [20] I. Galvan, "Activity patterns of Collared pratincoles *Glareola pratincola* in a breeding colony," *Animal Biodiversity and Conservation*, vol. 40, pp. 147-152. doi:10.32800/abc.2017.40.0147, 2017.
- [21] E. A. Lebedeva, "Waders in agricultural habitats of European Russia," *International Wader Studies*, vol. 10, pp. 315-324, 1998.
- [22] A. Kiss, A. Monoki, and Z. Vegvari, "Nest Site Selection and Population Trend of Collared Pratincoles (*Glareola pratincola*) breeding in agricultural habitats of the Nagyunsag region (Hungary)," *Ornis Hungarica*, vol. 25 (1), pp. 25-38. doi:10.1515/orhu-2017-0002, 2017.
- [23] Y. Öztürk, and Özkan L. "Breeding Data of Collared Pratincole (*Glareola pratincola*) population of Boğazkent/Antalya (Southwest Turkey) in 2016," *KSU Journal of Agriculture Nature* vol. 22 (Suppl 2), pp. 436-439. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.582227, 2019.
- [24] B. Calvo and R.W, Furness, "Colony and Nest-site Selection by Collared pratincoles (*Glareola pratincola*) in Southwest Spain," *Journal of the Colonial Waterbird Society*, vol. 18 (1), pp. 1-10. doi: 10.2307/1521393, 1995.
- [25] L. Özkan, "Antalya/Boğazkent Mahmuzlu Kızkuşu (*Vanellus spinosus* L. 1758) Populasyonunun Göç Fenolojisi Üzerine Araştırmalar," PhD, University of Akdeniz, Antalya, Turkey, 2012.
- [26] A. Mert and A. Acarer, "Wildlife Diversity in Reed Beds Around Beyşehir Lake," *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, vol. 2 (1), pp. 110-119. doi: 10.30516/bilgesci.399248, 2018



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Heyelan Meydana Gelmiş Bir Parkta Göçme Mekanizmasının Araştırılması ve Heyelan Önleme Tedbirleri

 Selman AYDIN<sup>a</sup>,  Mustafa ÖZER<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Fen İşleri Dairesi Başkanlığı, Büyükşehir Belediyesi, Ankara, TÜRKİYE

<sup>b</sup> İnşaat Müh. Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ozerm@gazi.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1060649

### ÖZ

Bu çalışmada, Ankara ilinin Çubuk ilçesi sınırları içerisinde bulunan Adnan Menderes Parkında meydana gelen bir heyelan incelenmiş ve bu heyelanı durdurmak için yapılabilecek iyileştirme yöntemleri araştırılmıştır. Ankara Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Dairesi Başkanlığı Sanat Yapıları Proje Şube Müdürlüğünden temin edilen zemin etüt verileri kullanılarak idealize zemin kesiti çıkartılmış ve bu kesit üzerinde kısa dönem ve uzun dönem duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Şev duraylılık analizleri limit denge yöntemlerini esas alan Slide 8.0 kullanılarak yapılmıştır. İnklinometre verileri ve arazi gözlemlerine dayanarak belirlenen yenilme düzlemi kullanılarak geri analizler yapılmış ve heyelan etmiş zemin yüzeyini temsil eden uzun dönem reziduel zemin parametreleri bulunmuştur. Yapılan analizler neticesinde, yatay drenler ile YASS'nin düşürülmesi, kazı yapılarak şevin düzenlenmesi ve 120 cm çapında 300 cm ara ile çift sıra fore kazık ve bunları birbirine bağlayan 1 m kalınlığında başlık kirişi yapılması ve yol kotuna kadar toprakarme duvar yapılmasıyla heyelanın durdurulabileceği tespit edilmiştir. Bu tedbirler uygulanarak yapılan duraylılık analizleri sonucunda şevin güvenlik katsayısı 1,6 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Şev duraylılığı, Şev iyileştirmesi, Geri analiz, Kısa dönem duraylılık, Uzun dönem duraylılık

## Investigation of Failure Mechanism and Landslide Prevention Measures in a Park Where Landslide Has Occurred

### ABSTRACT

In this study, a landslide that occurred in Adnan Menderes Park, located within the borders of Çubuk district of Ankara province, was examined and remediation methods that could be done for the rehabilitation of this landslide were investigated. Using the soil investigation data obtained from Ankara Metropolitan Municipality Department of Science Affairs, Department of Engineering Structures, the idealized soil section was extracted and short-term and long-term stability analyzes were carried out on this section. Slope stability analyzes were performed using Slide 8.0, which is based on limit equilibrium methods. Back analyzes were made using the failure plane determined based on inclinometer data and field observations, and long-term residual soil parameters representing the landslide soil surface were found. As a result of the analyses made, it was determined that the landslide can be rehabilitated by lowering the YASS with horizontal drains, arranging the slope by excavation, constructing a double-row of bored piles with a diameter of 120 cm with 300 cm intervals and a 1 m thick head beam connecting them, and building an earth retaining wall up to the road level. As a result of the stability analyses made by applying these measures, the safety factor of the slope was calculated as 1.6.

**Keywords:** Slope stability, Slope rehabilitation, Back analysis, Short term stability, Long term stability

## I. GİRİŞ

Heyelan, eğimli arazilerde kaya veya toprak birimlerin çeşitli nedenlerle kayma dayanımının aşılması sonucunda yer çekiminin etkisi ile eğim aşağı doğru hareket ederek şekil ve konumlarını değiştirmesidir. Heyelanların meydana geldiği doğal eğimli yüzeyler “yamaç”, insan eliyle mühendislik amaçlarına yönelik olarak yapılmış olan eğimli yüzeyler ise “şev” olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle heyelan teriminin yanı sıra “şev duraysızlığı, şev kayması, yamaç duraylılığı” gibi terimler de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Türkiye'nin iklimi, jeomorfolojik ve jeolojik özellikleri heyelanların oluşması için uygun koşullara sahiptir. Türkiye, kurak ve yarı kurak bir iklim bölgesinde bulunmaktadır. Bu iklim tipinin özelliği çok yağışsız geçen bir dönemi, bol yağışlı geçen bir dönemin izlemesidir. Bu durum, heyelanların meydana gelmesinde önemli bir nedendir. Bununla birlikte, Ülkemizde uzun süreli ve bol yağışın görüldüğü nemli iklime sahip Karadeniz bölgesi de heyelanların çok sık görüldüğü bir bölgedir. Kıyı şeridi ve vadi tabanlarındaki sınırlı düzlükler dışında bölgenin hemen her kesiminin dik ve sarp eğimli alanlardan oluşması da heyelanları tetikleyen önemli bir etkidir. Nitekim bu bölgede 1929, 1950, 1952, 1985, 1988, 1990 yıllarında büyük ölçüde can ve mal kaybına neden olan çok büyük heyelanlar meydana gelmiştir. Tortum, Geyve, Ayancık, Sinop, Of, Sürmene, Sera/Trabzon ve Maçka/Çatak heyelanları bu tarihlerde yaşanan heyelanlardan bazılarıdır [1].

Heyelanların yol açtığı can ve mal kayıplarına bakıldığında, geoteknik mühendisliğinin üzerinde önemle durulması gereken başlıca konulardan birisi olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin 21 Haziran 1990 Günü şiddetli yağışa bağlı olarak Maçka/Çatak kesiminde görülen heyelanda 65 kişi yaşamını yitirmiş ve trilyonlara varan maddi kayıplar ortaya çıkmıştır. 13 Temmuz 1995 günü Senirkent'te (Isparta) yaşanan çamur akıntısı sonucunda 74 kişi hayatını kaybetmiş, yüzlerce konut akan çamurun altında kalmıştır. Türkiye genelinde 1970 –1995 yılları arasında, çamur akmaları da dâhil olmak üzere meydana gelen heyelanlar nedeniyle 236 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. 1971-1989 tarihleri arası 1960 bina ya kısmen hasar görmüş veya tamamen yıkılmıştır. 1958 yılı haziran ayında, şiddetli yağmur sonucunda ortaya çıkan heyelan nedeniyle, Erzurum-Artvin kara yolu üç gün trafiğe kapalı kalmıştır [1]. 17 Mart 2005'te Sivas'ın Koyulhisar ilçesi yakınlarında meydana gelen Kuzulu heyelanında 15 kişi yaşamını yitirmiş, yaklaşık 30 ev moloz altında kalarak hasar görmüştür [2].

Dünya genelinde de heyelanların can ve mal kayıplarına yol açtığı çok sayıda vaka mevcuttur. Örneğin 1960 yılında İngiltere'nin Galler Bölgesi'ndeki Aberfan madencilik kasabasında pasa yığınlarının yerleşim yerine doğru kaymasıyla meydana gelen bir heyelanda bir okuldaki 116 öğrenci yaşamını yitirmiştir [3].

Heyelanların/şev kaymalarının meydana gelmesine yol açan etkenleri, doğal etkenler ve insandan kaynaklanan etkenler olmak üzere iki başlıkta toplamak mümkündür. Doğal etkenler: akarsu, göl veya deniz tarafından şevin (yamacın) topuğunun aşındırılması, sismik etkiler (deprem), volkanik aktiviteler, aşırı yağışlar ve/veya karın ani erimesi sonucunda yüzey sularının şevin içine sızması nedeniyle gözenek suyu basıncındaki artışlar, bozunma nedeniyle şevi oluşturan malzemelerin veya süreksizliklerin makaslama dayanımının azalması, şevdeki gerilme durumunun değişmesi olarak sıralanabilir. İnsandan kaynaklanan etkenler ise; şev üstüne dolgu yığılması, yapı inşa edilmesi, yol yapılması (trafik yükleri), şev topuğunda kazı yapılması, şevin içinden geçen temiz/pis su borularındaki sızıntılar, bitki örtüsünün tahrip edilmesi, şev yakınlarında patlatma yapılması şeklinde sıralanabilir [2]. Bu etkenlerden bazıları, yamacı veya şevi oluşturan malzemenin kaymaya karşı direnç gösteren makaslama dayanımını azaltırken, bazıları ise kaymaya neden olan kuvvetlerin artmasına yol açarak duraysızlığı tetiklerler [3].

Şevlerin duraylılığı limit denge yöntemleri ve sonlu elemanlar analizleri ile belirlenebilmektedir. Limit denge yöntemlerinde kaymanın belli bir yüzey boyunca olduğu kabul edilir ve kayan kütle düşey yönde dilimlere ayrılarak, kayma yüzeyi boyunca kaymaya neden olan gerilmeler ile zeminin kayma

mukavemeti karşılaştırılır. Zeminin kayma mukavemetinin kaymaya neden olan gerilmelere oranına güvenlik katsayısı denir (Eş.1).

$$G. K. = \frac{\text{Zeminin kayma dayanımı}}{\text{Kaymaya neden olan gerilmeler (kayma gerilmesi)}} \quad (1)$$

Güvenlik katsayısının 1 olması şevin denge sınırında olduğunu gösterir. Belli bir emniyet katsayısı da gözetilerek şevin güvenli olabilmesi için güvenlik katsayısının statik koşullarda 1,5'dan, dinamik koşullarda ise 1,1'den büyük olması istenir. Çeşitli varsayımlara dayanarak şevin güvenlik katsayısını hesaplayan çok sayıda limit denge yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden başlıcaları Fellenius (İsveç dilim yöntemi), Bishop, Janbu, Lowe ve Karafiath, Spencer, Sarma, Morgenstern-Price yöntemleridir.

Bu yöntemlerin bazıları dilimlere etkileyen kuvvetlerin, bazıları momentlerin, bazıları ise her ikisinin dengesini birlikte dikkate alarak güvenlik katsayısı hesaplamaktadır. Yöntemler arasındaki bu farklılıklar birçok araştırmacının ilgisini çekmiş olup bu yöntemlerle hesaplanan güvenlik katsayıları çok sayıda araştırmacı tarafından karşılaştırılmıştır (Ör. [4], [5], [6], [7]).

Sonlu elemanlar yöntemi mühendislikte karşılaşılan diferansiyel denklemlerin veya sınır değer problemlerinin çözümünde kullanılan sayısal bir tekniktir. Sonlu elemanlar yöntemlerinin limit denge yöntemlerine göre üstünlüklerinden birisi analizlerde kritik kayma dairesinin şekli veya yeri için herhangi bir varsayıma ihtiyaç duyulmamasıdır. Bununla birlikte, sonlu elemanlar yöntemleriyle şevde oluşan gerilmeler, yer değiştirmeler, gözenek suyu basınçları, sızıntıdan kaynaklanan göçmeler ve ardışık gelişen göçmeler de hesaplanabilmektedir [8].

Şev duraylılık analizlerinin en önemli adımlarından birisi de yerindeki zemini temsil eden mukavemet parametrelerinin belirlenmesidir. Bunun için gerekli olan en önemli zemin parametreleri araziden alınan örselenmemiş (UD) numuneler üzerinde gerçekleştirilecek olan kısa dönem ve uzun dönem (drenajlı ve drenajsız) kesme kutusu deneyleri ile bulunan kohezyon ( $c_u$ ,  $c'$ ) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi_u$ ,  $\phi'$ ) değerleridir.

Heyelan etmiş bir şevin/yamacın iyileştirilmesi ve duraylı hale getirilmesi için uygulanabilecek çok sayıda yöntem bulunmakta olup bunlardan başlıcaları; yük kaldırma, topuk dolgusu, drenaj, fore kazık, ankraj, zemin çivisi, geosentetiklerle ve/veya çelik şeritlerle güçlendirilmiş toprakarme duvar yapılması ve bitkilendirme gibi uygulamalardır.

Bu çalışma kapsamında, Ankara ilinin Çubuk ilçesi sınırları içerisinde bulunan Adnan Menderes Parkında meydana gelen bir heyelan incelenmiş ve heyelanı durdurmak için yapılabilecek önleme/iyileştirme yöntemleri üzerinde çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan sondaj logları, arazi ve laboratuvar deney sonuçları, vaziyet planı ve idealize zemin profilini gösteren şev kesiti Ankara Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Dairesi Başkanlığı Sanat Yapıları Proje Şube Müdürlüğünden temin edilmiştir. Şev duraylılık analizleri limit denge yöntemlerini esas alan Slide 8.0 kullanılarak yapılmıştır.

## **II. ÇALIŞMA SAHASI VE HEYELANIN TARİHÇESİ**

Heyelan sahası Ankara ilinin Çubuk ilçesi sınırları içerisinde bulunan Adnan Menderes Parkı olup, uydu görüntüsü Şekil 1'de sunulmuştur. Arazinin geçmişini bilen bölge sakinleriyle yapılan görüşmeler neticesinde heyelan sahasının eskiden dolgu alanı olarak kullanıldığı, zamanla yeşillendirilerek park haline getirildiği öğrenilmiştir. Park düzenleme çalışmaları 2012 yılında başlamış olup, 2013 senesinde tamamlanarak hizmete açılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında Adnan Menderes Bulvarını genişletmek amacıyla parkın üst kotuna istinat duvarları yapılmıştır.

2016 yılında parkın 225 metrelik bir kesiminde heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelan sonucunda istinat duvarının bir kısmının temeli açığa çıkmış (Şekil 2a), istinat perdelerinde deformasyonlar (Şekil 2b), şevin taş kısmında bulunan Adnan Menderes Bulvarında oturmalar (Şekil 2c), topuk kısmında bulunan Alparslan Türkeş caddesinde ise kabarmalar meydana gelmiştir (Şekil 2d). Bunun üzerine Adnan Menderes Bulvarı beton bariyerler vasıtasıyla daraltılmış, Alparslan Türkeş Bulvarı ise trafiğe kapatılarak geçici güvenlik önlemleri alınmıştır. Heyelanın durdurulması amacıyla 2017 yılında Ankara Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Dairesi Başkanlığı Sanat Yapıları Proje Şube Müdürlüğünden tarafından iyileştirme projesi hazırlanarak 2020 yılında projenin ihalesi yapılmış, aynı yıl imalatlar tamamlanmıştır.



*Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Heyelan sahasının uydu görüntüsü (görüntü 2018 senesinde alınmıştır)*

### **III. ARAZİ ÇALIŞMALARI**

Arazi çalışmaları kapsamında, 5 tanesi heyelanın tepe bölgesinde (SK-1 - SK-5), 3 tanesi ise topuk bölgesinde (SK-6 - SK-8) olmak üzere toplam 8 adet geoteknik sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj kuyularının toplam uzunluğu 200 metredir. Zeminin mühendislik özelliklerinin yerinde belirlenmesi amacıyla SK-3 hariç diğer sondaj kuyularında her 1,5 m'de bir SPT deneyleri yapılmıştır. Ayrıca heyelanın mevcut kayma düzleminin belirlenebilmesi amacıyla açılan her sondaj kuyusunda inklinometre ölçümleri alınmıştır. Arazi çalışmaları özel bir firma tarafından gerçekleştirilmiş olup, sondaj kuyularının yerlerini gösteren vaziyet planı Şekil 3'te, sondaj çalışmalarına ait bazı görüntüler ise Şekil 4'te sunulmuştur.

Açılan sondajlarda çeşitli derinliklerden UD tüpleriyle 7 adet örselenmemiş numune ve SPT yardımıyla 38 adet örselenmiş numune alınmıştır. Sondajlar TSM750-AUGER-ROTARY tipi makine kullanılarak yapılmıştır. Sondaj loglarında ve geoteknik etüt raporunda SPT makinasının enerji oranı belirtilmediğinden, fotoğraflara ve sondaj makinasının modeline bakılarak otomatik düşürmeli şahmerdan mekanizmasına sahip olduğu anlaşılan bu makinanın SPT enerji oranı,  $E_r$  %73 olarak tahmin edilmiştir.

Sondaj çalışmaları tamamlandıktan sonra her sondaj kuyusunda yeraltı su seviyesinin derinliği ölçülmüş olup, sonuçları Tablo 1'de sondajların kot ve derinlikleri ile birlikte sunulmuştur.

Ham SPT sayıları (SPT- $N$ ), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) [9] (TBDY-2018)'de verilen bağıntılar kullanılarak %60 enerji oranına göre düzeltilmiştir. Heyelan sahasındaki zeminler genellikle killi (kohezyonlu) zeminler olduğu için ham SPT sayılarına jeolojik (efektif) gerilme düzeltmesi uygulanmamıştır. Düzeltilmiş SPT sayıları ( $N_{60}$ ) Tablo 2'de sunulmuştur.



(a)



(b)



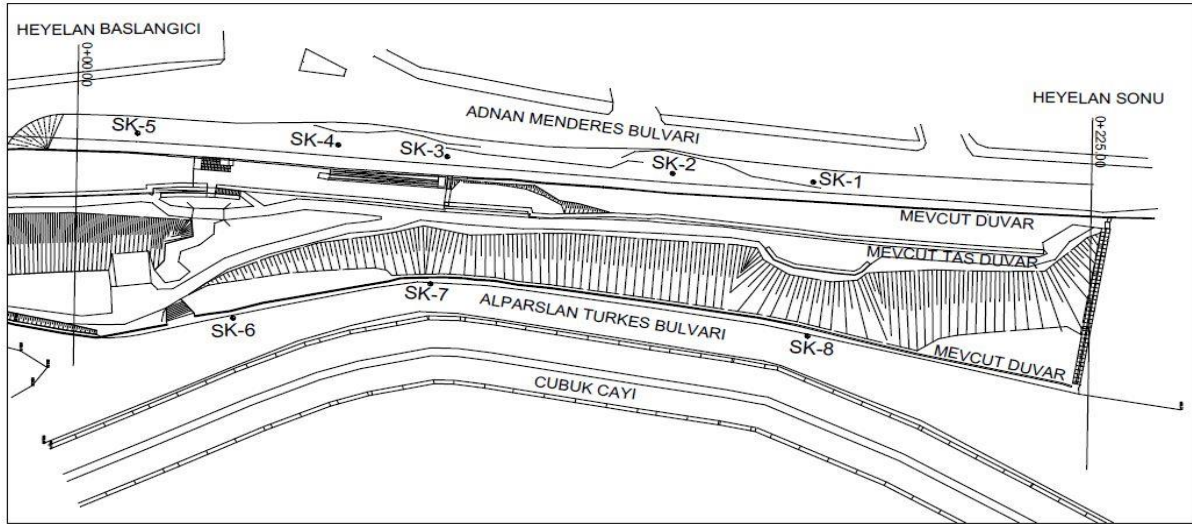
(c)



(d)

**Şekil 2.** Heyelan sonucunda; **a)** açığa çıkan istinat yapısının temellerinden bir görünüm, **b)** istinat yapısı perdelerinde meydana gelen deformasyonlardan bir görünüm, **c)** şevin taç kısmında meydana gelen oturmalarından bir görünüm, **d)** şevin topuk kısmında meydana gelen kabarmalardan bir görünüm.





Şekil 3. Heyelan sahasında sondaj yerlerini gösteren vaziyet planı

Tablo 1. Sondajların kot, derinlikleri ve Y.A.S.S. derinliği

Sondaj No	Koordinatlar		Kot (m)	Sondaj derinliği (m)	YASS derinliği (m)
	X (kuzey)	Y (doğu)			
SK-1	502239	4455427	1042,3	30,5	10
SK-2	502208	4455429	1042,3	40,0	10
SK-3	502158	4455433	1042,2	30,0	10
SK-4	502134	4455436	1041,9	20,0	7
SK-5	502089	4455439	1041,3	15,0	8
SK-6	502110	4455393	1025,7	20,0	1.5
SK-7	502154	4455401	1027,7	25,0	1
SK-8	502238	4455388	1027,1	20,0	1

Tablo 2. Düzeltilmiş SPT darbe sayıları ( $N_{60}$ )

Derinlik (m)	Düzeltilmiş SPT darbe sayıları ( $N_{60}$ )						
	SK-1	SK-2	SK-4	SK-5	SK-6	SK-7	SK-8
1,50-1,95	8	5	10	7	5	7	6
3,00-3,45	9	10	6	7	7	9	8
4,50-4,95	10	12	12	12	11	10	11
6,00-6,45	16	14	R	14	28	12	15
7,50-7,95	23	24	R	30	32	28	24
9,00-9,45	32	37	R	34	37	32	27
10,50-10,95	37	39	52	39	35	27	34
12,00-12,45	43	75	52	46	38	37	38
13,50-13,95	44	75	69	56	40	40	43
15,00-15,45	56	58	62	61	50	43	45

16,50-16,95	64	50	67	49	46	45
18,00-18,45	51	64	63	43	41	49
19,50-19,95	64	55	73	47	44	52
21,00-21,45	66	51			46	
22,50-22,95	71	69			49	
24,00-24,45	69	79			51	
25,50-25,95	68	68				
27,00-27,45	64	73				
28,50-28,95	68	78				
30,00-30,45	74	74				
31,50-31,95		79				
33,00-33,45		78				
34,50-34,95		79				
36,00-36,45		86				
37,50-37,95		86				
39,00-39,45		86				



(a)



(b)



(c)



(d)

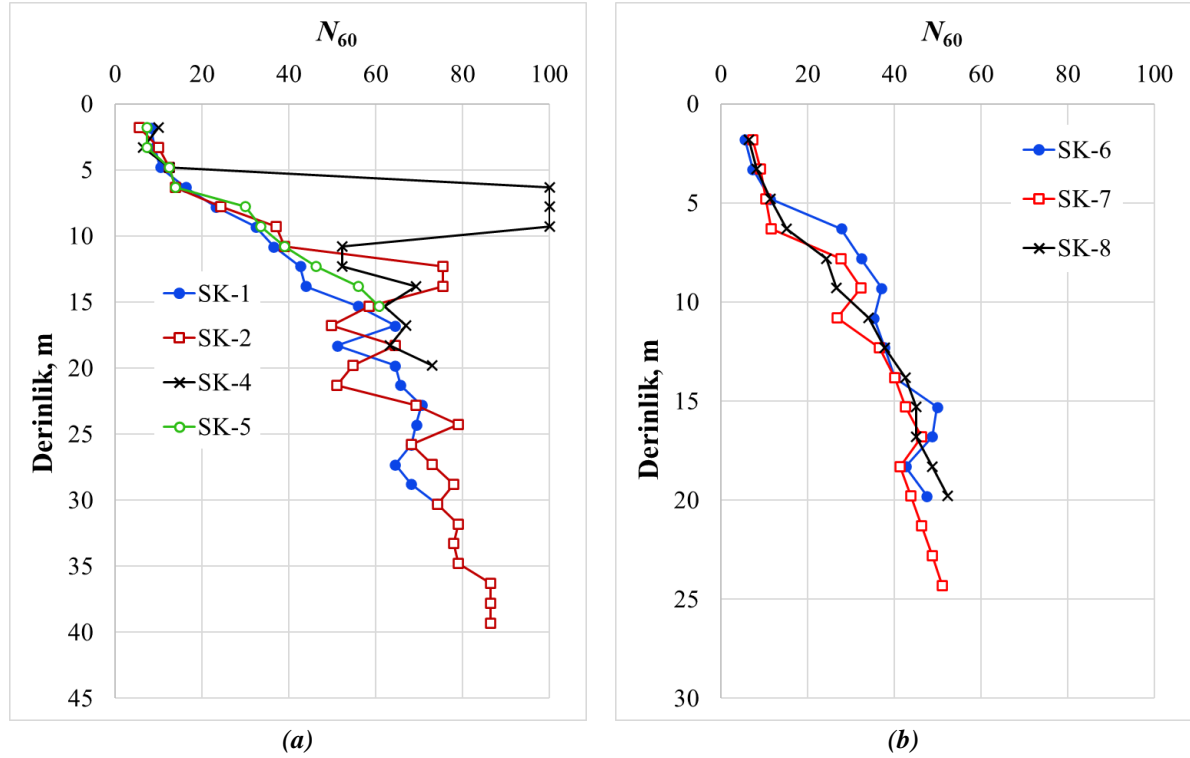
**Şekil 4.** Sondaj çalışmalarından görünüm; **a) ve b)** Adnan Menderes Bulvarı üzerinde yapılan sondajlar; **c) ve d)** Alparslan Türkeş Caddesi üzerinde yapılan sondajlar

%60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT sayılarının derinlikle birlikte değişimini gösteren grafikler Şekil 5’de sunulmuştur. Heyelanın üst (tepe) ve alt (topuk) noktasında yaklaşık 16 m kot farkı olduğundan zeminin özelliklerinin makul bir doğrulukla belirlenebilmesi amacıyla heyelanın üst bölgesinde yapılan sondajlar ile alt bölgesinde yapılan sondajlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. SK-4 kuyusunda 6,00 m ile 10,50 m arasındaki SPT sonuçları beton tabakaya rastladığından refü vermiş olup zemin özelliklerinin belirlenmesinde dikkate alınmamıştır.

## IV. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla arazide açılan sondajlarda 3 adet 2,50 – 3,00 m seviyesinden, 2 adet 5,50 – 6,0 m seviyesinden ve 1 adet 7,0 – 7,5 m seviyesinden UD numunesi alınmış ve bu numunelere konsolidasyonsuz drenajsız (UU) direk kesme, doğal birim hacim ağırlık ve doğal su muhtevası deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 3’te sunulmuştur. Laboratuvar deneyleri özel bir kuruluşa ait laboratuvarında yapılmıştır.

Tablo 3’te sunulan sonuçlar incelendiğinde zeminin drenajsız kesme dayanımının ortalama  $c_u = 57$  kPa, içsel sürtünme açısının ise ortalama  $\phi_u = 9^\circ$  olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre kısa dönem şev stabilite analizlerinde en üstten 7,5 m’ye kadar olan dolgu zemin tabakasını temsilen  $c_u = 57$  kPa,  $\phi_u = 9^\circ$  değerlerinin kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

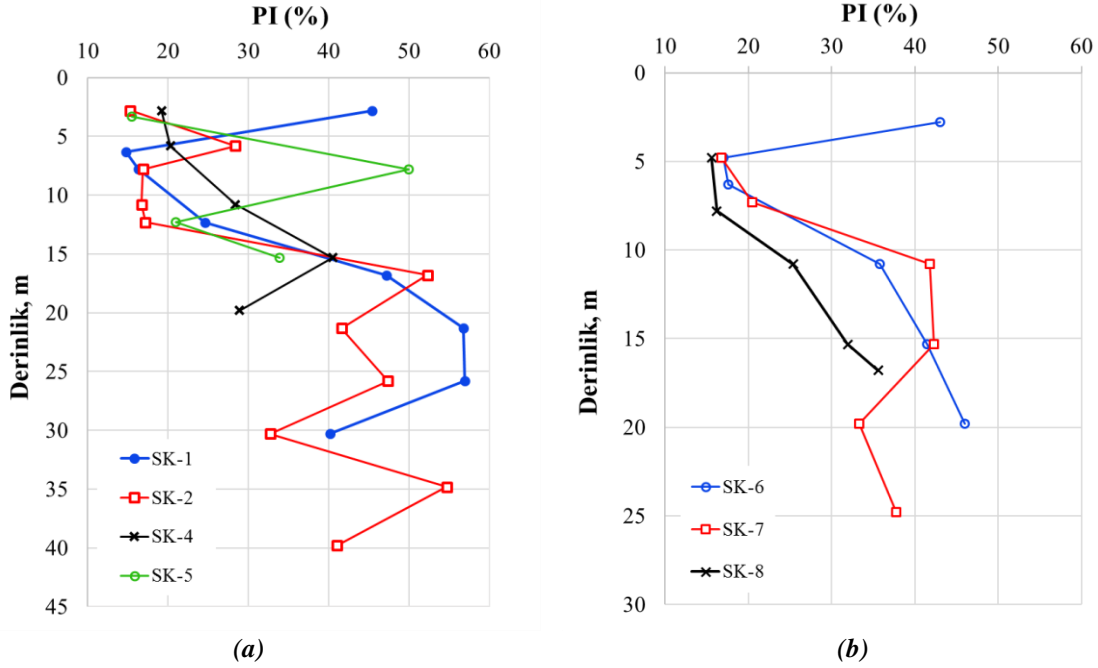


**Şekil 5.** Düzeltilmiş SPT sayılarının derinlikle birlikte değişimi; **a)** heyelanın tepe noktasında açılan sondajlar (SK-1 ila SK-5), **b)** topuk noktasında açılan sondajlar (SK-6 ila SK-8). (SK-4 kuyusunda 6.00-10.50 m arasındaki SPT deneyleri beton tabakaya rastladığından refü vermiştir)

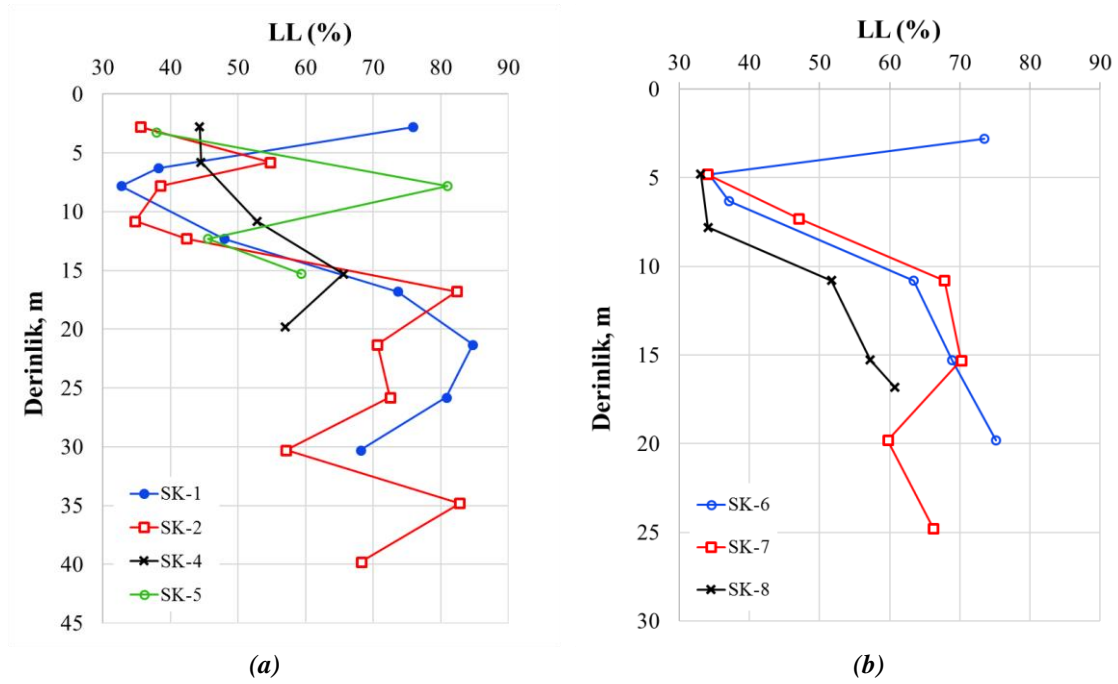
**Tablo 3.** Örselememiş (UD) numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları

Sondaj No	Numune alınan derinlik (m)	Doğal birim hacim ağırlık, $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	Kohezyon, $c_u$ (kPa)	İşsel sürtünme açısı, $\phi_u$ (°)
SK-1	2.50 – 3.00	18,2	61	10
SK-2	5.50 – 6.00	18,3	55	9
SK-4	2.50 – 3.00	18,1	51	8
SK-4	5.50 – 6.00	18,2	57	9
SK-6	2.50 – 3.00	18,2	61	9
SK-7	7.00 – 7.50	18,2	55	9

Zeminin indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla SPT ile örselenmiş numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde Atterberg limitleri ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre likit limit değerlerinin %33 ile %85, plastik limit değerlerinin %16 ile %31, plastisite indisi değerlerinin %15 ile %57, tane boyutu olarak 0,075 mm elekten geçen malzeme yüzdesinin %20 ile %97 arasında değiştiği ve USCS'ye göre zemin sınıfının CL, CH ve SC olduğu görülmüştür. Korelasyonlar vasıtasıyla zeminin mukavemet özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan plastisite indisi değerlerinin derinlikle birlikte değişimini gösteren grafikler Şekil 6'da sunulmuştur. Zeminin likit limit, plastik limit ve doğal su muhtevası değerlerinin derinlikle birlikte değişimini gösteren grafikler ise sırasıyla Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da sunulmuştur.



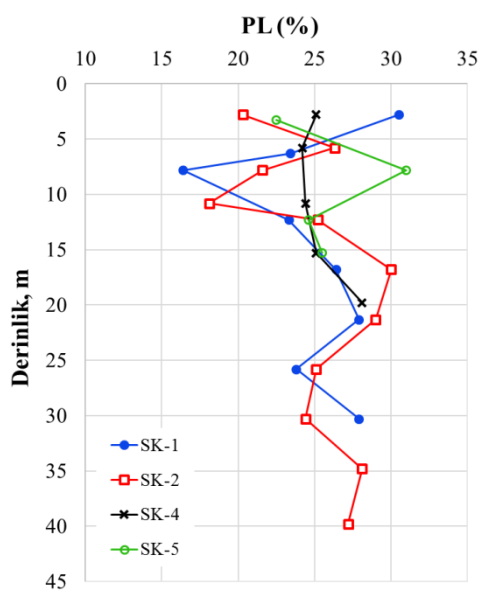
**Şekil 6.** Plastisite indisi değerlerinin derinlikle birlikte değişimi; **a)** heyelanın tepe noktasında açılan sondajlar, **b)** heyelanın topuk noktasında açılan sondajlar.



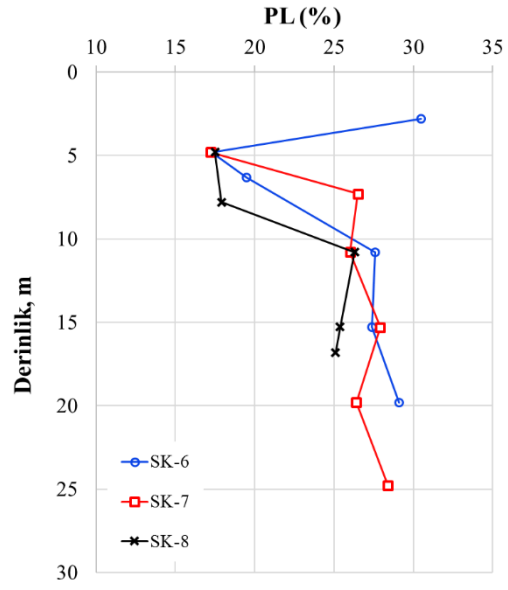
Şekil 7. Likit limit değerlerinin derinlikle birlikte değişimi; a) heyelanın tepe noktasında açılan sondajlar, b) heyelanın topuk noktasında açılan sondajlar.

## V. ANALİZE ESAS ZEMİN PARAMETRELERİNİN VE İDEALİZE ZEMİN KESİTİNİN BELİRLENMESİ

Tablo 3 incelendiğinde arazi çalışmaları esnasında UD numunelerinin genellikle dolgu zemin tabakasından alındığı, muhtemel kayma dairesinin geçtiği daha derinlerdeki tabii zemin tabakalarından UD alınmadığı görülmektedir. Ayrıca uzun dönem duraylılık analizleri için gerekli olan drenajlı dayanım parametrelerinin elde edilmesi için konsolidasyonlu-drenajlı direk kesme deneylerinin yapılmadığı, pik ve rezidüel parametrelerin elde edilmediği görülmektedir. Bu nedenle duraylılık analizlerinde kullanılmak üzere gerekli olan drenajlı ve drenajsız (kısa ve uzun dönem) zemin parametreleri, arazi deneylerine dayalı olarak literatürde genel kabul görmüş korelasyonlar yarımıyla elde edilmiştir.

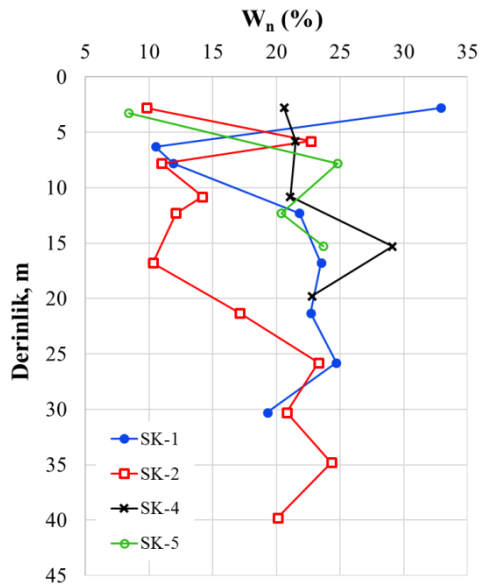


(a)

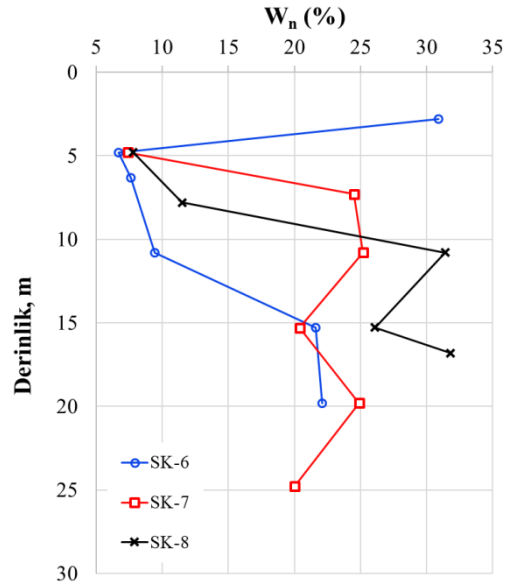


(b)

**Şekil 8.** Plastik limit değerlerinin derinlikle birlikte değişimi; **a)** heyelanın tepe noktasında açılan sondajlar, **b)** heyelanın topuk noktasında açılan sondajlar.



(a)



(b)

**Şekil 9.** Doğal su muhtevası değerlerinin derinlikle birlikte değişimi; **a)** heyelanın tepe noktasında açılan sondajlar, **b)** heyelanın topuk noktasında açılan sondajlar.

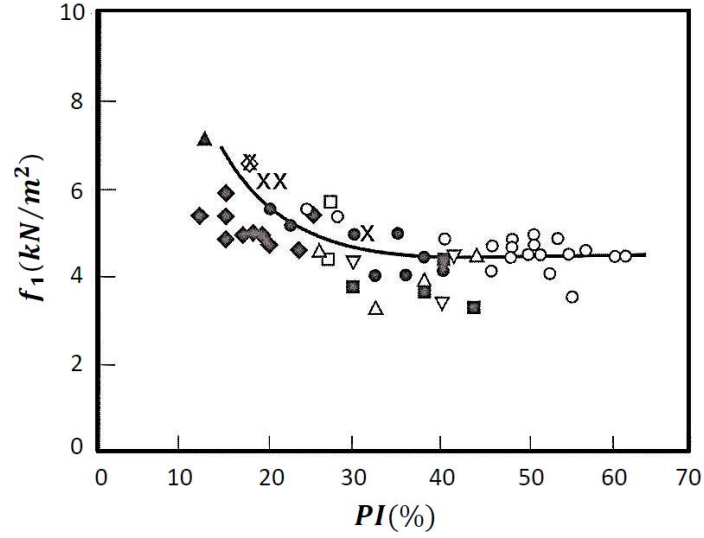
Literatürde, kohezyonlu zeminler için SPT deneylerinden zeminin drenajsız kayma dayanımının ( $c_u$ ) elde edilmesine yönelik çok sayıda eşitlik geliştirilmiş olup, bunlardan en yaygın olanlarından birisi Stroud [10] tarafından geliştirilen eşitliktir.

Stroud [10] kohezyonsuz zeminlerde SPT deneylerinden zeminin drenajsız kayma dayanımının ( $c_u$ ) elde edilebilmesi için aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$c_u = f_1 \times N_{60} \quad (2)$$

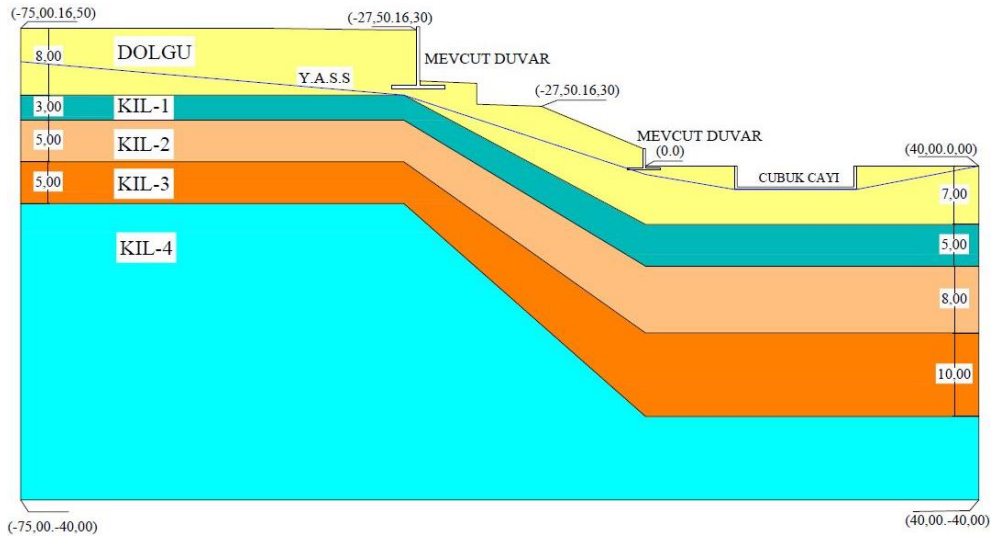
Bu bağıntıda;  $c_u$  zeminin drenajsız kayma dayanımı olup,  $f_1$  katsayısı Şekil 10'da verilen grafikten elde edilmektedir.  $N_{60}$  ise efektif gerilme düzeltmesi yapılmamış, %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT sayısıdır.

Şekil 10'da verilen  $f_1$  katsayısının zeminin plastisite indisine (PI) bağlı olduğu görülmektedir. Gerek SPT verileri gerek laboratuvar verileri incelendiğinde zeminin SPT sayılarının ve PI değerlerinin derinlikle birlikte değiştiği görülmektedir.



Şekil 10.  $f_1$  katsayısının plastisite indisine göre değişimini gösteren grafik [10]

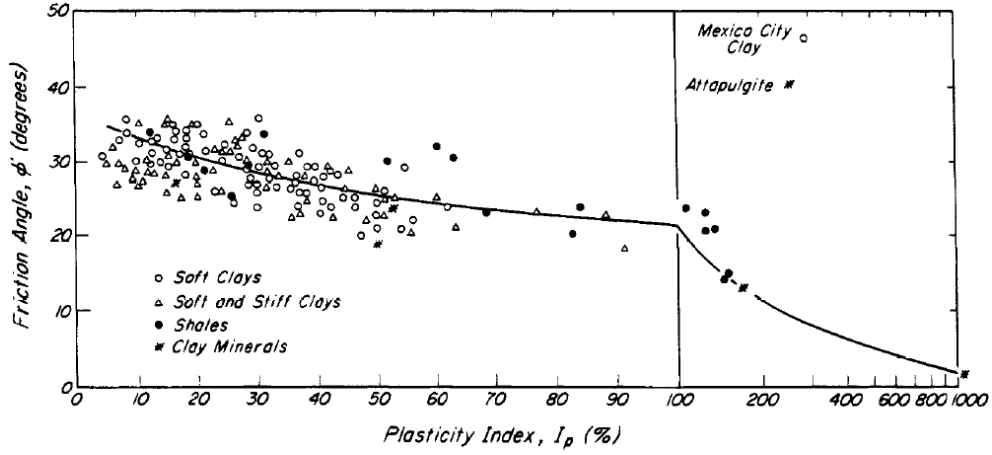
Duraylılık analizlerinde zemini mümkün olan en iyi şekilde karakterize edebilmek için SPT verileri esas alınarak (Şekil 5) heyelan bölgesindeki zemin 5 tabakaya bölünmüştür. Şevin tepe bölgesindeki tabaka kalınlıkları ile topuk bölgesindeki tabaka kalınlıklarının birbirlerine düz bir çizgi ile bağlandığı kabul edilerek şevin içindeki tabakalar oluşturulmuştur. Bu yaklaşıma dayalı olarak oluşturulan idealleştirilmiş zemin kesiti ve kurgusal zemin tabakaları Şekil 11'de sunulmuştur.



Şekil 11. Duraylılık analizlerinde kullanılmak üzere oluşturulan idealize zemin kesiti

Şekil 11'de görülen her bir tabakayı temsil eden SPT ve PI değerleri sırasıyla Şekil 5 ve 6 üzerinden yaklaşık olarak alınmış ve Eş.2 yardımıyla zeminlerin drenajsız kayma dayanımı bulunmuştur.

Uzun dönem duraylılık analizlerinde kullanılmak üzere gerekli olan drenajlı (CD) içsel sürtünme açısı ( $\phi'$ ) değerleri ise zemin katmanlarını temsil eden PI değerleri kullanılarak Terzaghi vd [11] tarafından önerilen abak (Şekil 12) yardımıyla bulunmuştur.



Şekil 12. Plastisite indisi ile efektif kayma direnci arasındaki ilişki [11]

Kil zeminlerin uzun dönem drenajlı koşullarda kohezyon değerinin kuramsal olarak sıfır olması beklenir. Ancak laboratuvar tecrübelerine dayanılarak aşırı konsolide olmuş ve bir miktar çimentolanma etkisinin bulunduğu zeminlerde drenajlı koşullarda da bir miktar kohezyon tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada zeminlerin drenajlı koşullardaki uzun dönem drenajlı (CD) efektif kohezyon değerleri ( $c'$ ) Senneset vd. [12] tarafından önerilen Eş. 3 kullanılarak elde edilmiştir.

$$c' = a \tan \phi' \quad (3)$$

Eş. 3'deki  $a$  katsayısı zemin cinsine göre Tablo 4'ten alınabilmektedir [12].

Tablo 4. Çeşitli zemin türlerine göre  $a$  katsayısının olası değerleri [12]

Zemin Cinsi	$a$	$\tan \phi'$
Yumuşak kil	5-10	0,35-0,45
Orta katı kil	10-20	0,40-0,55
Katı kil	20-50	0,50-0,60
Yumuşak silt	0-5	0,50-0,60
Orta katı silt	5-15	0,55-0,65
Katı silt	15-30	0,60-0,70

Kurgusal zemin tabakalarını temsil eden SPT ve PI değerleri, bu değerler kullanılarak Stroud [10] tarafından önerilen abak yardımıyla belirlenen  $f_1$  katsayıları, Eş. 2 ile hesaplanan drenajsız kayma dayanımı değerleri ( $c_v$ ), Terzaghi vd [11] tarafından önerilen abak (Şekil 12) yardımıyla bulunan drenajlı içsel sürtünme açısı değerleri ( $\phi'$ ), Senneset vd. [12] tarafından önerilen  $a$  katsayıları ve bu katsayılar kullanılarak Eş. 3 ile hesaplanan efektif kohezyon değerleri ( $c'$ ) toplu halde Tablo 5'de sunulmuştur.



## **VI. ŞEV DURAYLILIK ANALİZLERİ**

Şev duraylılık analizlerinde limit denge yöntemlerini esas alan “Slide 8.0” programı kullanılmıştır. Slide programı, dairesel ve dairesel olmayan kayma yüzeylerinde güvenlik sayısı hesabı yapabilen, harici yüklemeye, yeraltı suyu ve destek yapıları gibi çeşitli unsurları modellemeye olanak veren iki boyutlu şev duraylılık analiz programıdır [13].

*Tablo 5. İdealize zemin tabakaları ve mühendislik özellikleri*

Tabaka No	Tabaka Tanımı	Tabaka Kalınlığı (m)	$\gamma_n$ ( $kN/m^3$ )	SPT- $N_{60}$	PI	$f_1$	$a$	$c_u$ (kPa)	$\phi'$ ( $^\circ$ )	$c'$ (kPa)
1	Dolgu	0-8	18	10	20	5,5	9	55	30	5
2	Kil-1	8-11	18	30	25	5,0	10	150	29	5
3	Kil-2	11-16	18	40	30	4,5	20	180	28	10
4	Kil-3	16-21	19	60	45	4,2	30	252	26	15
5	Kil-4	21-30	19	70	50	4,2	43	294	25	20

Bu çalışmada şev duraylılık analizleri dairesel ve dairesel olmayan kayma yüzeyleri için kuvvet ve moment dengesine göre çözüm yapabilen Spencer yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şev duraylılık analizlerinde Şekil 11’de verilen zemin kesiti ve Tablo 5’te verilen zemin parametreleri kullanılmıştır.

Analizler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle şevin mevcut durumu analiz edilmiş, daha sonra ise arazide gerçekleşen mevcut kayma dairesi modellenerek geri analiz yapılmıştır. Daha sonra ise şev iyileştirme analizleri yapılmıştır.

### **A. ŞEVİN MEVCUT DURUMUNUN ANALİZİ**

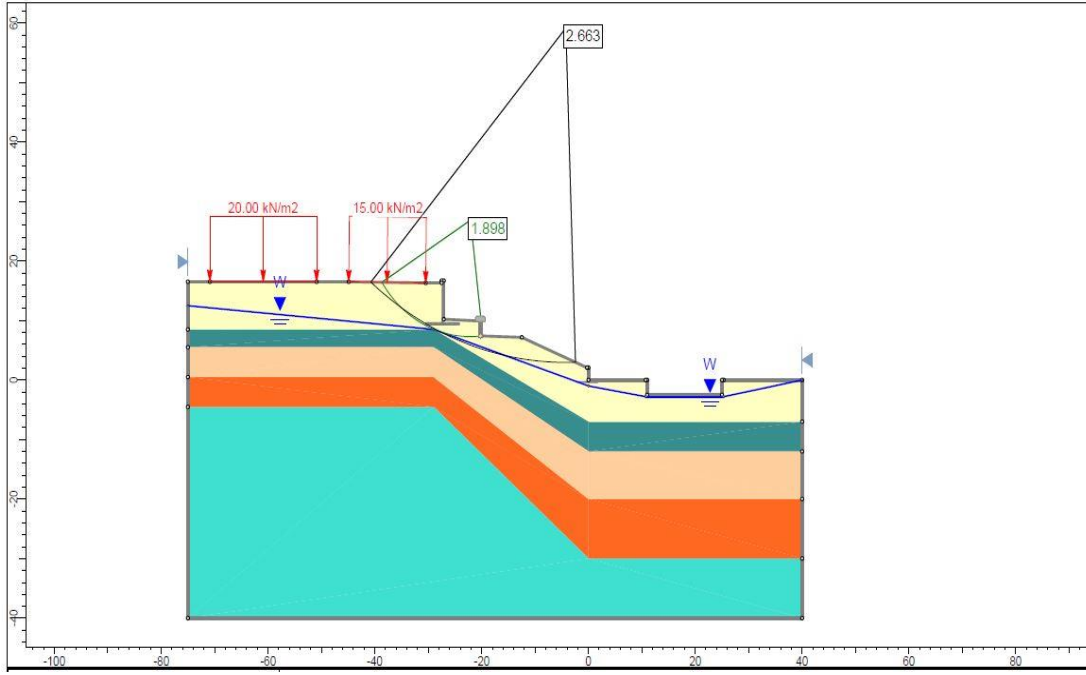
Şevin tepe bölgesindeki Adnan Menderes Bulvarı trafiğe açık olduğundan, duraylılık analizlerinde trafik yüklerini temsilen 15 kPa yayılı yük, yolun gerisindeki tek/iki katlı hafif yığma yapı yüklerini temsilen 20 kPa yayılı yük dikkate alınmıştır. İstinat duvarları ve kanal kaplamaları birim hacim ağırlığı 24 kN/m<sup>3</sup> olan rijit elemanlar olarak modellenmiştir. Analizlerde zemin yenilme modeli olarak Mohr-Coulomb yenilme ölçütü kullanılmıştır.

Slide 8.0 ile gerçekleştirilen kısa ve uzun dönem duraylılık analizlerinin sonucunda elde edilen kritik kayma dairesi ve güvenlik katsayısı sırasıyla Şekil 13 ve 14’de sunulmuştur.

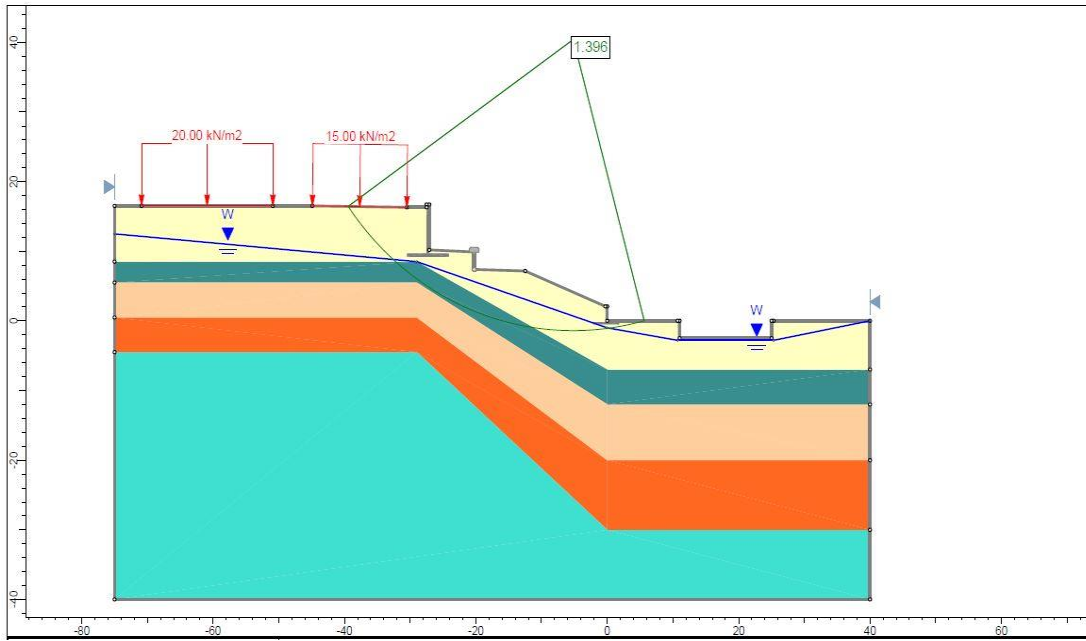
Yapılan bu analizlerin sonucunda park alanındaki şevlerin kısa dönemde duraylı olduğu (GK>1,5), ancak uzun dönemde heyelan edebilme potansiyeline sahip olduğu (GK<1,5) görülmüştür (Şekil 13 ve 14). Nitekim uzun dönem duraylılık analizlerinin sonucunda elde edilen en kritik kayma dairesinin araziyle uyumlu olduğu, kayma dairesinin yüzeye bulunduğu noktaların arazide gözlemlenen şevin tepe bölgesindeki gerilme çatlakları ve topuk bölgesinde gözlemlenen kabarmalar ile uyum içinde olduğu görülmektedir.

### **B. GERİ ANALİZ YÖNTEMİYLE ZEMİN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Geri hesap yönteminde herhangi bir şev için güvenlik katsayısını 1 olarak verecek sonsuz sayıda kohezyon ve içsel sürtünme açısı çifti söz konusu olsa da, bu çiftlerin her biri kritik kayma yüzeyi için farklı yerler verecektir. Ancak inklonometre okumaları ile kayma yüzeyinin yeri belirlenebildiğinde güvenlik katsayısını yaklaşık 1 olarak verecek uzun dönem kayma parametreleri çifti ( $c'-\phi'$ ) elde edilebilmektedir. Bu noktada şayet söz konusu kayma uzun dönemde gerçekleşmiş ise yenilme düzleminde efektif gerilmenin hâkim olduğu değerlendirilerek  $c'$  yaklaşık sıfır kabul edilip kayma anındaki  $\phi'$  değeri elde edilebilmektedir.



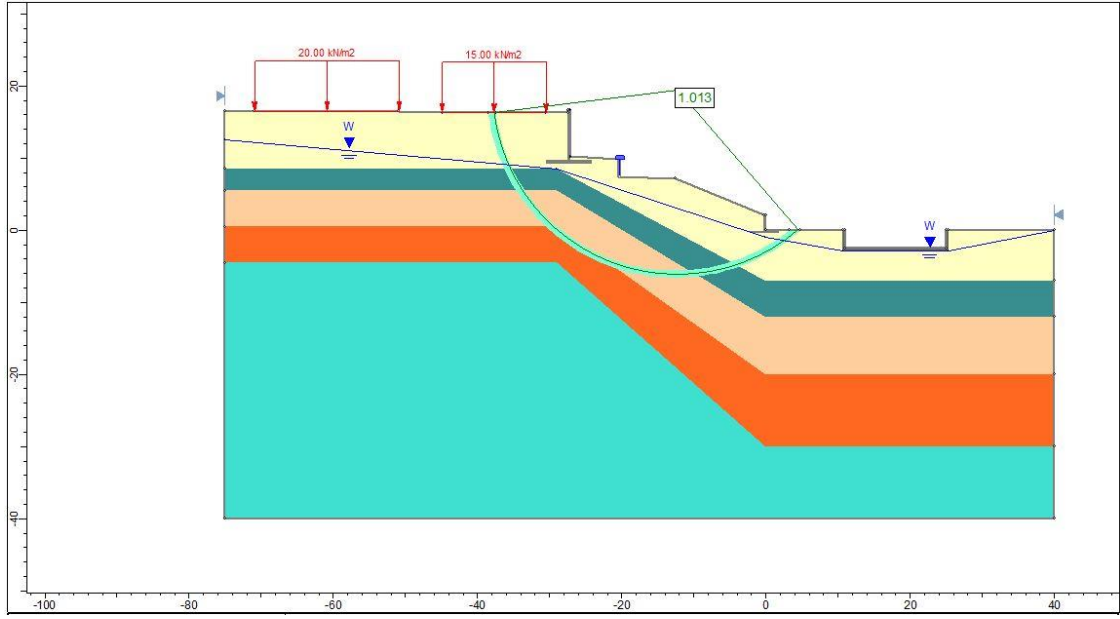
**Şekil 13.** Kısa dönem duraylılık analizinin sonucu



**Şekil 14.** Uzun dönem duraylılık analizinin sonucu

Heyelan alanı vaziyet planında görüldüğü gibi şevin taç kısmında 5 adet, topuk kısmında ise 3 adet olmak üzere toplam 200 m uzunluğunda 8 adet sondaj kuyusu açılmış ve her kuyudan belirli tarihlerde inklinometre okumaları alınmıştır. Şevin taç kısmındaki 5 adet inklinometre okuması ile topuk kısmındaki 3 adet inklinometre okuması birlikte değerlendirilerek sahadaki gözlemler ışığında 1 m genişliğinde bir kayma dairesi oluşturulabilmiştir (İnklinometre okumalarının derinlikle değişimini gösteren grafikler Ek-1'de verilmiştir). Söz konusu kayma uzun dönemde gerçekleşmiş olduğundan yenilme düzleminde efektif gerilmenin hâkim olduğu değerlendirilerek  $c'$  için sıfıra yakın bir değer seçilmiş ve kayma anındaki  $\phi'$  değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu varsayımlar çerçevesinde limit denge analizleri yapılarak geri analiz yöntemiyle güvenlik katsayısını 1.0 veren  $(c' - \phi')$  çifti aranmıştır.

Analizlerde Mohr-Coulomb yenilme kriteri dikkate alınmış ve Spencer yöntemi kullanılmıştır. Bu analizlerin sonucunda yenilme anındaki (güvenlik katsayısını 1 yapan) içsel sürtünme açısı  $\phi'=20^\circ$  olarak elde edilmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Spencer yöntemiyle gerçekleştirilen geri analiz sonucu.

### C. ŞEV İYİLEŞTİRME ANALİZLERİ

Yapılan analizler sonucunda mevcut şevin duraylılığının yeterli güvenlikte olmadığı anlaşıldığından ve ayrıca saha incelemeleri sonucunda mevcut şevde yer yer kaymalar olduğu tespit edildiğinden mevcut şevlerin iyileştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Çeşitli şev iyileştirme yöntemleri bulunmakla birlikte bu yöntemleri; şevde hareketi tetikleyen etkenlerin azaltılmasına yönelik tedbirler (aktif yöntemler) ve zeminin kayma dayanımının artırılmasına yönelik tedbirler (pasif yöntemler) olmak üzere iki ana başlık altında değerlendirmek mümkündür. Bu tedbirler ayrı ayrı uygulanabileceği gibi birlikte de uygulanabilmektedir.

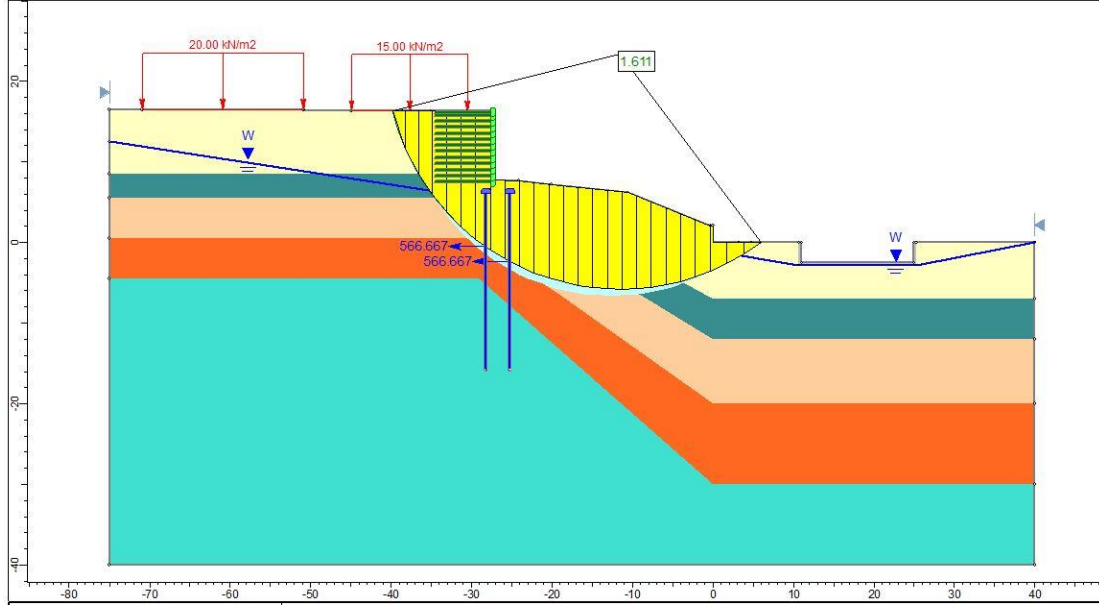
Şev iyileştirme/heyelan önleme yöntemlerinin seçiminde, potansiyel yenilme biçiminin şekli, olası yenilme sonuçları, imar sınırı, mevcut yapıların durumu, maliyet ve gerekli zaman gibi faktörler göz önünde bulundurularak uygun bir iyileştirme yöntemine karar verilmektedir.

Bu çalışmada, heyelanı önlemek için birçok analiz yapılmış ve farklı alternatifler değerlendirilmiştir. Heyelan alanının park olması nedeniyle yukarıda açıklanan hususlar da göz önünde bulundurularak heyelanı önlemek için alınacak tedbirler aşağıdaki gibi planlanmıştır:

- Yatay drenler ile yeraltı su seviyesinin düşürülmesi ve buna bağlı olarak boşluk suyu basıncının azaltılması,
- Şevin tepe kısmından 10 m kazı yapılarak 22 m boyunda 120 cm çapında 300 cm ara ile çift sıra fore kazık yapılması,
- Kazıkların 5 m eninde, 1 m kalınlığındaki bir başlık kirişiyle bağlanması,
- Başlık kirişi üzerine yol kotuna kadar 9 m yüksekliğinde çelik şerit ile güçlendirilmiş toprakarme bir duvar yapılması.

Planlanan bu iyileştirme çalışmaları dikkate alınarak iyileştirilmiş şev modelinin limit denge analizi yapılmış ve güvenlik katsayısı 1,6 olarak bulunmuştur (Şekil 16). Böylece heyelanın durdurulması için planlanan uygulamaların etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Projeye esas imalatlar 2020 yılında tamamlandıktan sonra Mart 2022’de çalışma sahasına gidilerek yerinde gözlemler yapılmış ve herhangi bir kayma/deformasyon belirtisine rastlanmamıştır. Kazık imatları sırasında (Temmuz 2020’de) çekilmiş bir foto Şekil 17’de, imalatlar tamamlandıktan ve park/yol hizmete açıldıktan sonra (Mart 2021) çekilmiş bir foto ise Şekil 18’de sunulmuştur. İmalat sonrası inklinometre ölçümleri alınmadığından kayma olup olmadığına dair ölçüme dayalı herhangi bir veri elde edilememiştir.



Şekil 16. İyileştirilmiş şevin Spencer yöntemiyle gerçekleştirilen limit denge analiz sonucu.



Şekil 17. Kazık imatları sırasında (Temmuz 2020’de) çekilmiş bir foto.



*Şekil 18. İmalatlar tamamlandıktan sonra (Mart 2021) çekilmiş bir foto.*

## **VII. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME**

Bu çalışmada heyelan meydana gelmiş bir şevin duraylı hale getirilmesi ve heyelanın durdurulmasına yönelik bir çalışma ortaya konulmuştur. Duraylılık analizleri limit denge yöntemlerini esas alan Slide 8.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uzun dönem ve kısa dönem duraylılık koşullarına göre mevcut durumun analiz edilmiş ve kritik durumun uzun dönem parametrelerin kullanılmasıyla meydana geldiği görülmüştür.

Arazi deneyleri ve saha gözlemleri ile kayma dairesi tahmin edilerek limit denge yöntemi ile geri analiz yapılarak artık (rezidüel) parametreler belirlenmiştir.

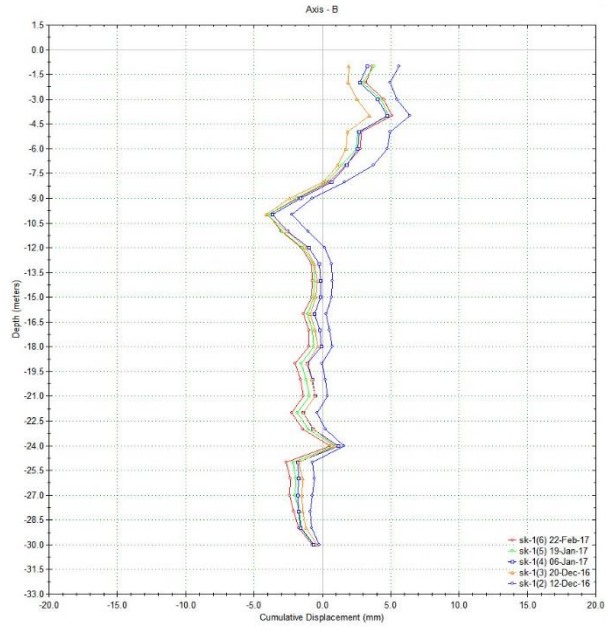
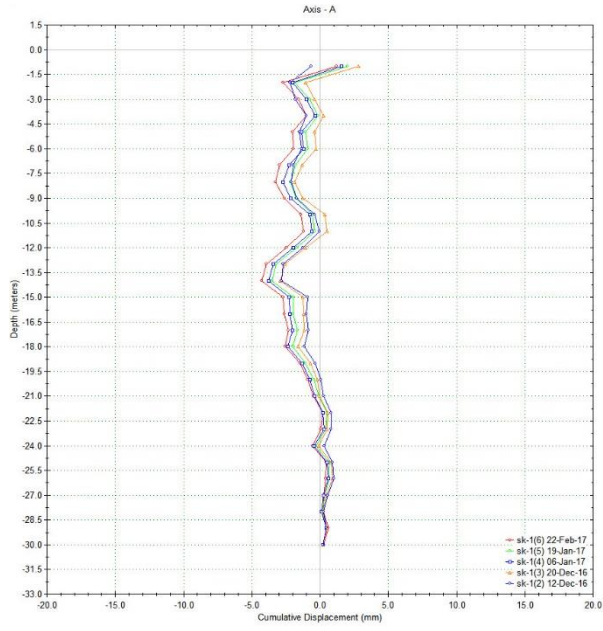
Şevin tepe bölgesinden geçen yolun güvenlik durumu ve ekonomik unsurlar dikkate alınarak şevi duraylı hale getirecek iyileştirme modeli tasarlanmıştır. Bu model, yatay drenler ile YASS'nin düşürülmesi, kazı yapılarak şevin düzenlenmesi ve 120 cm çapında 300 cm ara ile çift sıra fore kazık ve bunları birbirine bağlayan 1 m kalınlığındaki başlık kirişi yapılması ve yol kotuna kadar toprakarme duvar yapılması şeklinde planlanmıştır. Artık parametreler kullanılarak Slide 8.0 programı ile iyileştirilmiş şev modelinin duraylılık analizleri yapılmış ve güvenlik sayısı 1,6 olarak elde edilmiştir. Elde edilen güvenlik katsayısı 1,50 değerinden fazla olduğundan iyileştirilmiş modelin uygun olduğuna karar verilmiştir.

**TEŞEKKÜR:** Çalışmada kullanılan arazi ve laboratuvar verilerini bizimle paylaşan Ankara Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Dairesi Başkanlığı Sanat Yapıları Proje Şube Müdürlüğü personeline teşekkür ederiz.

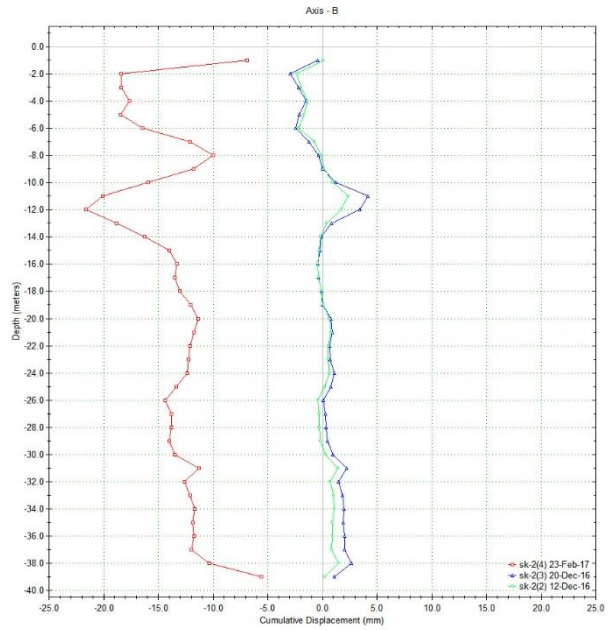
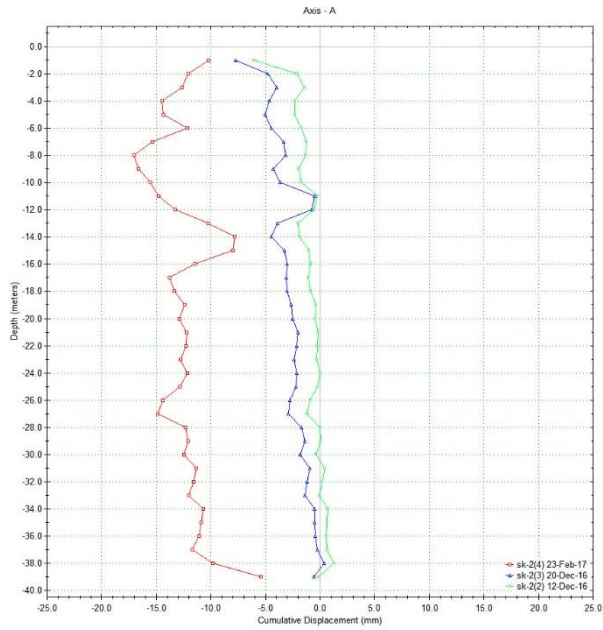
## **VIII. KAYNAKLAR**

- [1] K. Öztürk, "Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri," *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, c. 22, s. 2, ss, 35-50, 2002.

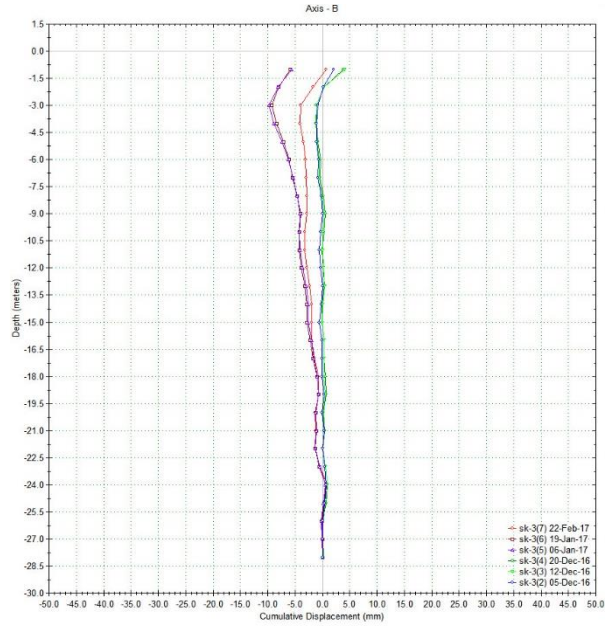
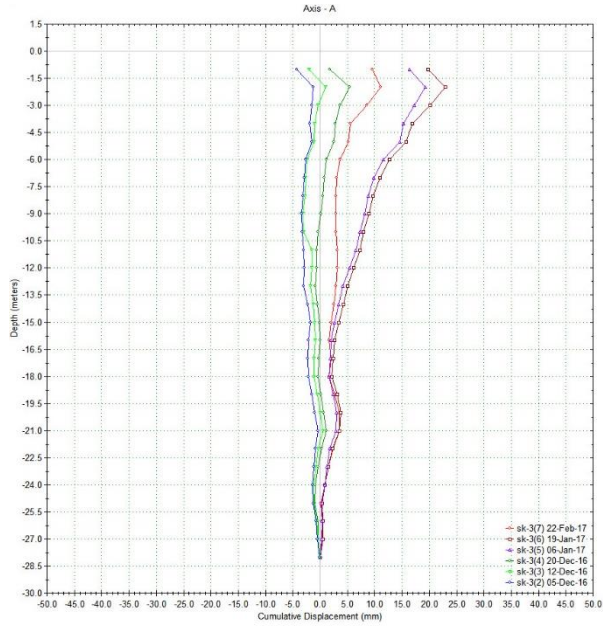
- [2] R. Ulusay, Ö. Aydan, R. Kılıç, “Geotechnical assessment of the 2005 Kuzulu landslide (Turkey),” *Engineering Geology*, vol. 89, no. 1-2, pp. 112-128, 2007.
- [3] Ulusay, R., “Heyelanlar ve Mühendislik Şevlerindeki Duraysızlıklar: Türleri, Etkileri ve Zararların Azaltılması,” *Sel-Heyelan-Çığ Sempozyumu*, Türkiye, 2007, ss. 28-29.
- [4] D.G. Fredlund, and J. Krahn, , “Comparison of slope stability methods of analysis,” *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 14, no 3, pp. 429-439, 1977.
- [5] J.M. Duncan, and S.G. Wrigth, “The accuracy of equilibrium methods of slope stability analysis,” *Engineering Geology*, vol. 16, no. 1-2, pp. 5-17, 1980.
- [6] D.G. Fredlund, J. Krahn, and D.E. Pufahl, “The Relationship Between Limit Equilibrium Slope Stability Methods,” in *Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, Sweden, Vol. 3, 1981, pp. 409-416.
- [7] I.M. Morrison, and J.R. Greenwood, “Assumptions in simplified slope stability analysis by the method of slices,” *Geotechnique*, vol. 39, no. 3, pp. 503-509, 1989.
- [8] N.A. Hammouri, A. I. H. Malkawi, and M.M.A. Yamin, “Stability analysis of slopes using the finite element method and limiting equilibrium approach,” *Bulletin of Engineering Geology*, vol. 67, pp. 471-478, 2008.
- [9] TBDY-2018, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.
- [10] M.A. Stroud, “The standard penetration test in insensitive clays and softrock,” in *Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing*, Stockholm, Sweden, vol. 2, no. 2, June 5-7, 1974, pp. 366-375.
- [11] K. Terzaghi, R.B. Peck and G. Mesri, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 4rd ed., New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1996, pp. 151-152.
- [12] K. Senneset, R. Sandven ve N. Janbu, “Evaluation of soil parameters from piezocone tests,” *Transportation Research Record*, no. 1235, 1989, pp. 24-37.
- [13] Rocscience Inc., *Slide 2D*, v.2018, limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes, Bilgisayar programı, Bentley Systems, Incorporated, USA, 2018.



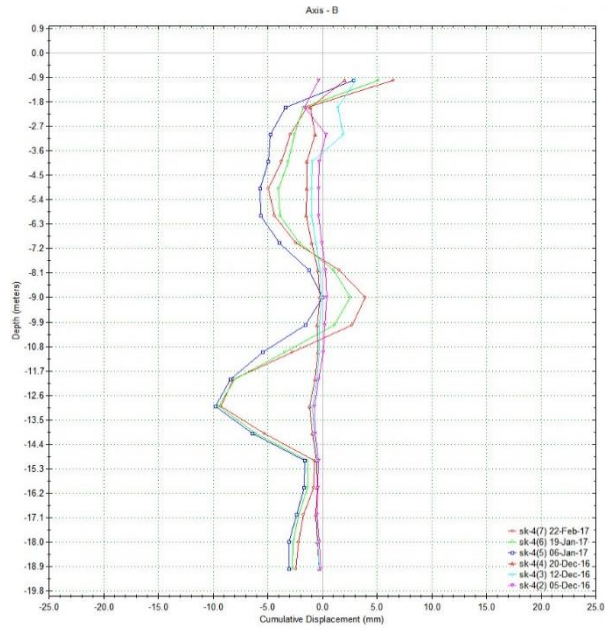
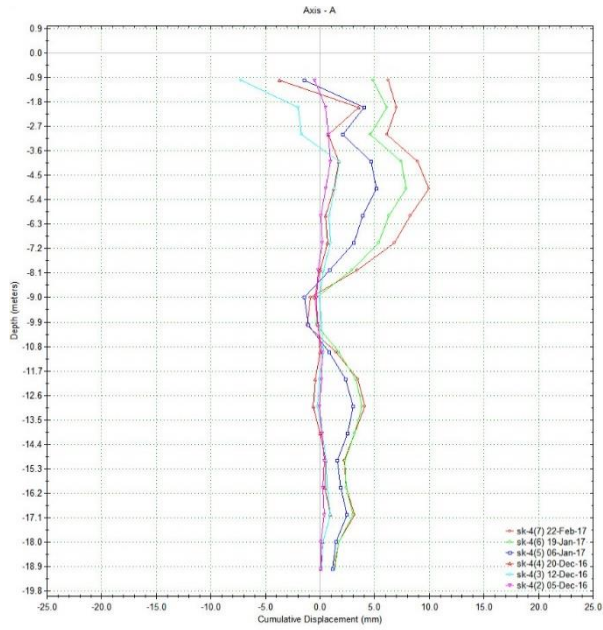
**Ek Şekil 1.** SK-1'de yapılan inklinometre ölçüm sonuçları.



**Ek Şekil 2.** SK-2'de yapılan inklinometre ölçüm sonuçları.

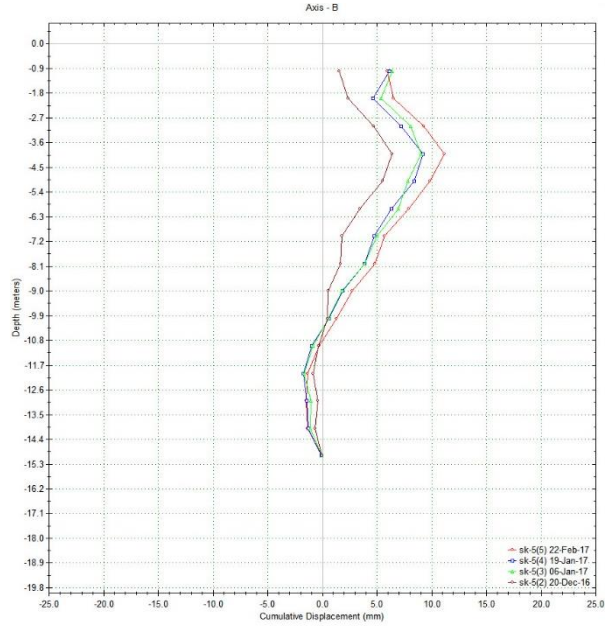
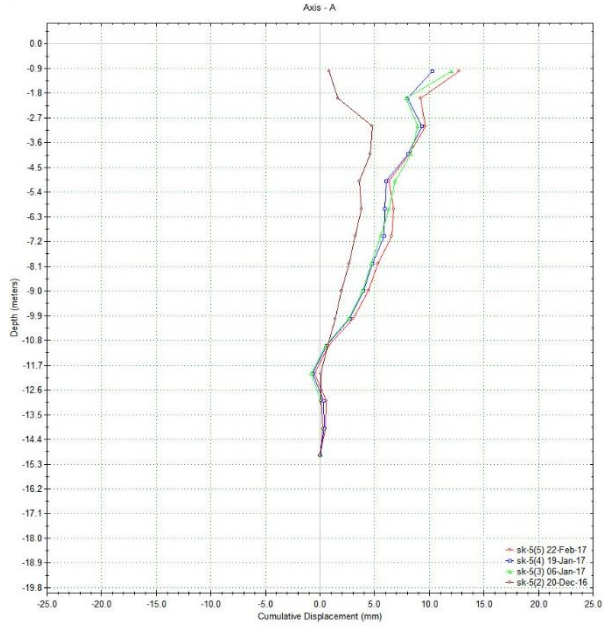


*Ek Şekil 3. SK-3 'de yapılan inklinometre ölçüm sonuçları.*

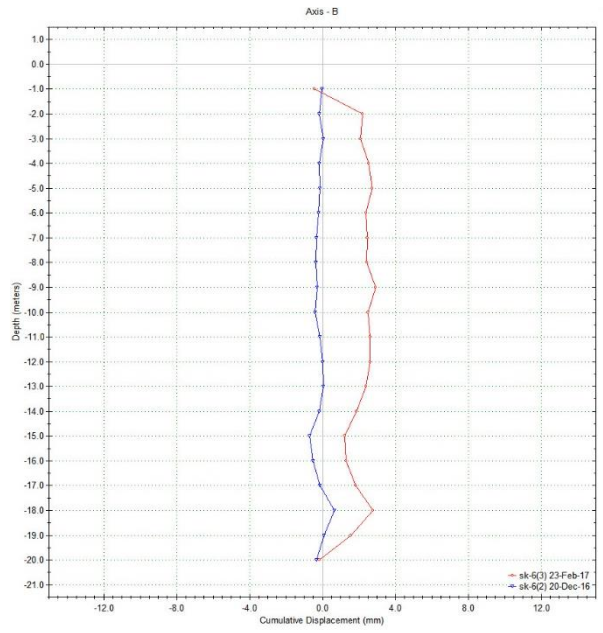
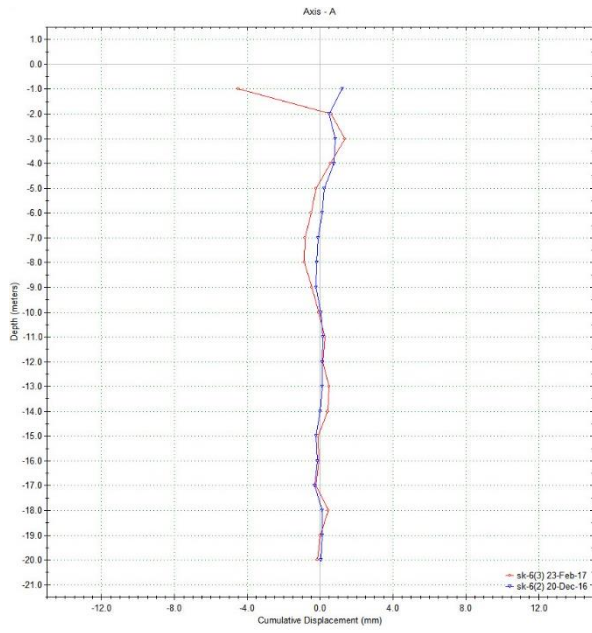


*Ek Şekil 4. SK-4 'de yapılan inklinometre ölçüm sonuçları.*

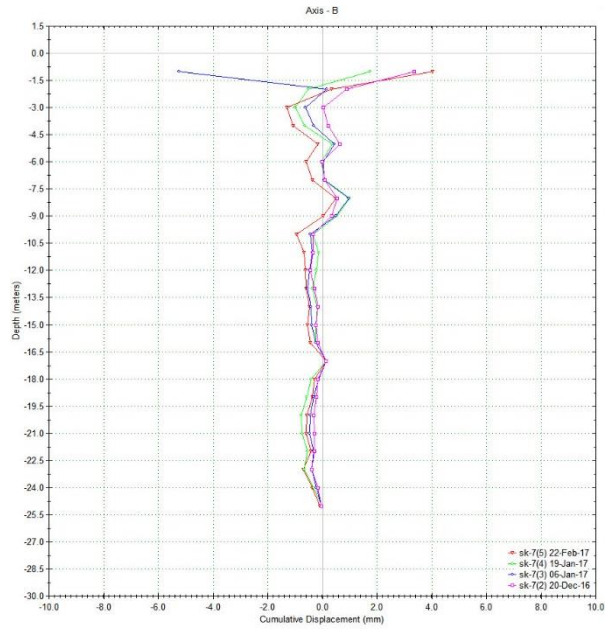
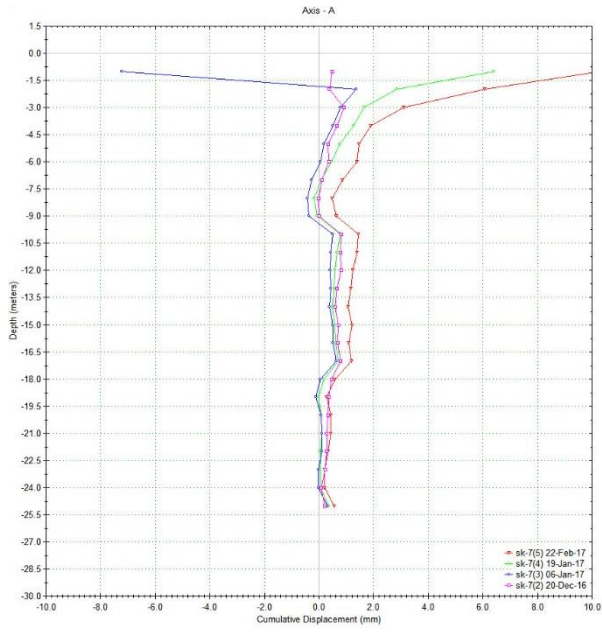




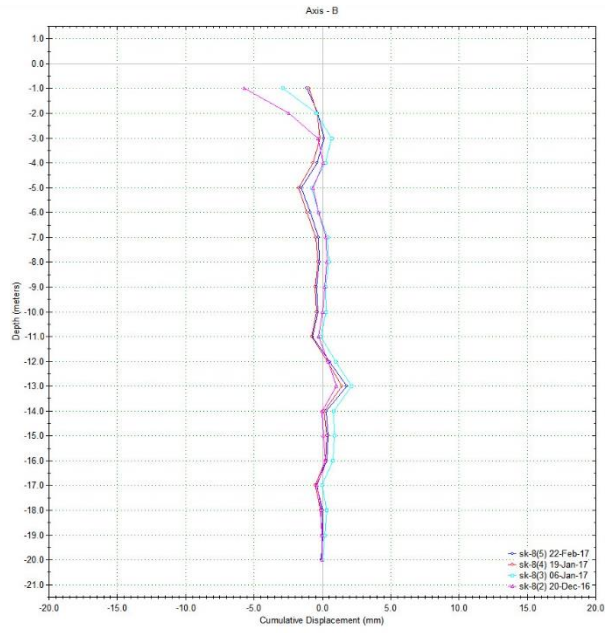
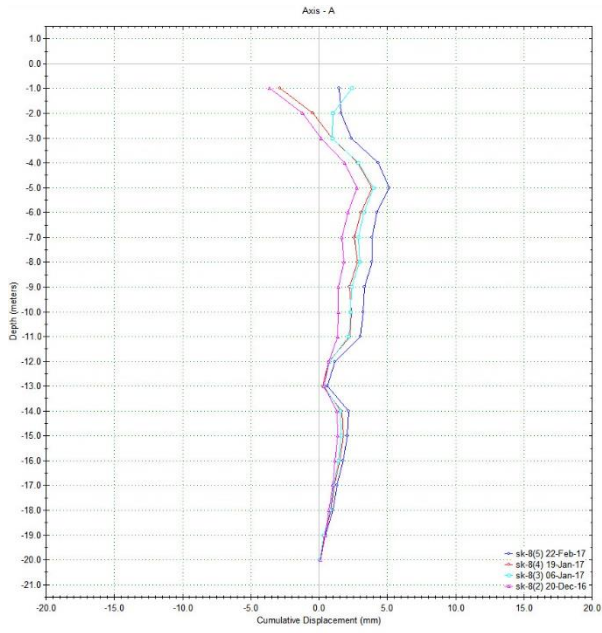
*Ek Şekil 5. SK-5'de yapılan inclinometre ölçüm sonuçları.*



*Ek Şekil 6. SK-6'da yapılan inclinometre ölçüm sonuçları.*



**Ek Şekil 7.** SK-7'de yapılan inclinometre ölçüm sonuçları.



**Ek Şekil 8.** SK-8'de yapılan inclinometre ölçüm sonuçları.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

## Derin Öğrenme Yöntemleri ile 3B Nokta Bulutlarının Semantik Segmentasyonuna Genel bir Bakış

 Muhammed Ahmet DEMİRTAŞ

<sup>a</sup> Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ahmet.demirtas@kocaeli.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1004211

### Öz

Semantik segmentasyon, çevredeki nesnelere anlam vermek için etiketlenmiş her pikseli anlamlı bir sınıfa atayan bir veri işleme yöntemidir. Derin öğrenme (DÖ) tabanlı yöntemlerin geliştirilmesi, Nokta Bulutu (NB) ile segmentasyon yöntemlerine olan ilgiyi artırmıştır. 3 Boyutlu (3B) nokta bulutu semantik segmentasyonu, farklı tarama araçları ile elde edilen 3B veri setlerinde aynı bölgede aynı özelliklere sahip noktaları homojen bölgelere ayırmaktadır. 3B nokta bulutları ile 3B nesnelere anlamak için semantik segmentasyonun kullanılması önemli bir başlangıç olmuştur. Özellikle derin öğrenme yöntemlerinin kullanılması bu alanı odak noktası haline getirmiştir. 3B yapılandırılmamış büyük nokta bulutlarını işlerken, derin öğrenmeyi temel alarak geliştirilen yeni yöntemler, yaklaşımlar ve modeller üzerinde benzersiz sorunlarla karşılaşılması bu alanın gelişime açık olduğunu göstermektedir. Bu yeni yöntemlerin başarılarını anlamak için, kıyaslama veri kümeleri: ShapeNet, S3dis, ScanNet, SemanticKITTI üzerindeki performansları değerlendirilmiştir. 3B nokta bulutu ile segmentasyon alanına katkıda bulunan dikkate değer araştırmalar incelenmiş, avantajları, dezavantajları ve önerilen yöntemlerin katkıları sunulmuştur. Sunulan tüm yöntemlerin mimari yapısı, yaygın olarak kullanılan veri kümeleri üzerindeki başarıları tartışılmış ve gelecekteki araştırmalara öncülük edecek bilgiler önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 3B Nokta Bulutu, Derin Öğrenme, Semantik Segmentasyon

## Review on Semantic Segmentation of 3D Point Clouds with Deep Learning Methods

### ABSTRACT

Semantic segmentation is a data processing method that assigns each labeled pixel to a meaningful class to give meaning to surrounding objects. The development of deep learning-based methods has increased the interest in point cloud segmentation processes. 3D point cloud semantic segmentation in 3D datasets obtained with different scanning tools divides, points with the same feature in the same region are divided into homogeneous regions. The use of semantic segmentation to understand 3D point clouds with 3D objects has been an important start. In particular, the use of deep learning methods has made this area a focal point. In particular, When processing large unstructured 3D point clouds, encountering unique problems on new methods and approaches developed on the based on deep learning has shown that this area needs to be improved. In order to understand the achievements of these new methods, their performance on 3D benchmark datasets ShapeNet, S3dis, ScanNet, SemanticKITTI was evaluated. Important research contributing to the segmentation field with 3D point cloud is analyzed, the advantages, disadvantages and contributions of the proposed methods are presented. The architectural structure of

all the presented methods and their achievements on widely used datasets are discussed and he offered information that would lead to future research.

*Keywords: 3D Point Cloud, Deep Learning, Semantic Segmentation*

## **I. GİRİŞ**

Son yıllarda 3B teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte 3B tarayıcılar, LIDAR (Light Detection and Ranging) ve RGB-D kameralar (Kinect, RealSense ve Derinlik kameraları) 3B sensörler kullanılarak [1] elde edilen 3B veri kümelerinden anlamlı geometrik özellikler ve ölçülebilir bilgiler alınmıştır [2]. Gelişen teknoloji sayesinde elde edilen 3B veri setleri, hayatımızda sağlık alanında, kentsel dönüşüm projelerinde bilgisayarlı görü ile farklı alanlarda yeni model ve uygulamanın geliştirilmesine zemin hazırlamıştır [3]. 3B tarayıcıların yaygınlaşması ile 3B nokta bulutları farklı açılardan ve istenilen amaçlar doğrultusunda kolaylıkla elde edilmiştir. 3B veri kümelerinin sürekli artması sonucu, bu verileri hızlı ve güvenilir bir şekilde işleyecek kütüphanelere ihtiyaç doğurmuştur. Bu alanda en iyi bilinen nokta bulutu kütüphane (Point Cloud Library) 3B nesne algılama, sınıflandırma ve semantik segmentasyon algoritmalarını uygulamada kolaylıklar sağlamıştır [4].

Yukarıda bahsedilen gelişmeler sonucunda 3B modelleri anlamlı bölgelere ayırmak için, yoğun araştırmalar yapılmış yön, pürüzsüzlük, içbükey bilgilerinden bir küme oluşturacak noktalar kümelendirilmiştir. Nokta bulutlarını kümeleme aşamasında yaşanan bu problemlere Shamir dışbükey ayrıştırma, bölge genişlemesi, hiyerarşik ve spektral kümeleme yaklaşımlarını önermiştir [5]. Sunulan yaklaşımlar, bölge temelli nokta bulutlarını bölümlere ayırmada yaygın olarak kullanılmıştır [6], [7], [8], [9]. Bunlara ek olarak grafik tabanlı yöntemler Normalize Kesmeler [10] ve Minimum Kesmeler (uygun değer tam bölümlenme) [11], Grafik Kesmeleri [12] en popüler yöntemlerdir.

Anguelov'e göre, 3B NB algoritmaları üç özelliğe sahip olmalıdır: Birincisi; farklı özellikleri öğrenerek farklı nesnelere ayırt etmeli ve özellik sayısı arttıkça algoritma bunu otomatik öğrenebilmelidir. İkincisi; komşu bilgilerine göre seyrek örneklenmiş bölgelerdeki noktaları etiketlemelidir. Üçüncüsü ise bu algoritmanın 3B tarayıcılara uygulamasıdır. Bunun amacı çeşitli lazer tarama araçlarının farklı NB üretebilmesidir. Uyarlanan bu algoritma aynı sahnede farklı özelliklere sahip olabilir [13]. Bu özellikler kullanılarak nesnelere yapıları hakkında bilgiler elde edilir ve semantik segmentasyon ile yorumlanabilir. Nesne yapılarından yola çıkarak semantik segmentasyon ile nesnelere bölümlenme, konumlandırma ve tanıma özellikleri analiz edilerek anlamlı bilgiler elde edilmektedir.

2 boyutlu (2B) görüntülerin semantik olarak bölümlenmesi akademik çalışmalarını bu yöne çevirmiştir fakat 2B görüntü üzerindeki tıkanıklıklar diğer özellikleri engellediği için performans kaybı yaşanmıştır. Bu tıkanıklıkların sonucunda 2B NB yöntemlerini 3B yeni modellere çevirmiştir. Bunun sonucunda 3B NB, 3B veri işleme araştırmalarında önemli bir yere sahip olmuştur. NB'nin literatüre katkıları, otonom araçlar, kentsel dönüşümler, navigasyon, kültürel mirasın korunması gibi birçok alanda verileri noktasal olarak etiketleyip yeni yöntemlerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır [14]. Ayrıca 3B verilerin çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmasının bir diğer nedeni 3B verilerinin farklı dosya formatlarında temsil edilmesidir.

## **II. MODELLERİN PERFORMANSINI KIYASLAYAN VERİ KÜMELERİNİN ÖZELLİKLERİ**

3B NB örnekleme yoğunluğu, tarayıcının değişken olması veya 3B sensör sınırlamaları nedeniyle, ön plan genelde arka planla iç içe olmaktadır. Bu da segmentasyon algoritması tasarlarken bazı problemler ve zorlukları beraberinde getirmiştir. Ayrıca NB'lerin seyrek olması, rastgele yapısal özelliklerin bozuk olması, NB tabanlı semantik segmentasyonu zorlaştırmıştır. Tüm bu zorlukların üstesinden gelebilmek

için kıyaslama (benchmark) veri setleri üzerindeki semantik segmentasyon performans sonuçları değerlendirilmiştir. Semantik segmentasyon, sınıflandırma, nesne tespit ve takibi için yeni DÖ tabanlı yöntemler sunulmuştur. Bu yöntemleri kıyaslamak için yaygın kullanılan veri setleri: S3DIS [15] ShapeNet [16], KITTI Vision Benchmark Suite [17], [18], ScanNet [19], Semantic3D [20], PartNet [9], [21], ApolloCar3D [22] ve ScanObjectNN [23], ModelNet, [24] olmuştur. Ek olarak, 3B NB verilerini kaydetmek, altı serbestlik düzeyinde (6-DOF/6 degrees of freedom) poz tahmini ve 3B verileri yeniden yapılandırma [25], [25], [26] yöntemleri kullanılmıştır.

*Tablo 1. En Yaygın Kullanılan Veri Setleri.*

Veri Seti	Noktalar	Kategori	Year
Oakland	1.6M	5	2009
ISPRS	1.2M	9	2012
Paris-rue-Madame	20M	17	2014
IQmulus	300M	8	2015
ScanNet	-	20	2017
S3DIS	273M	13	2017
Semantic3D	4000M	8	2017
Paris-Lille-3D	143M	9	2018
SemanticKITTI	4549M	25	2019
Toronto-3D	78.3M	8	2020
DALES	505M	8	2020

Yukarıda verilen 3B NB'leri ile 3B nesne tanıma-tespit, sınıflandırma ve segmentasyon yapılırken meydana gelen çeşitli sorunlar ele alınmıştır.

Özet olarak nokta bulutlarını toplamak için geleneksel olarak kullanılan veri toplama araçları ile güncel olarak kullanılan temassız veri toplama araçlarının farkı; gerçek zamanlı olması, verilerin dinamik olması, yüksek yoğunluk ve verimliliğe sahip olmasıdır. Ayrıca nokta bulutları gibi 3B veriler, sadece iki boyutlu görüntülerde karşılaşılan aydınlatma ve poz (bakış açısı) sorunlarını gidererek karmaşık sahneler içinde zengin içeriğe sahip bilgiler vermiştir.

### **III. 3B NOKTA BULUTU İLE SEMANTİK SEGMENTASYON**

3B NB segmentasyonu, aynı bölgede aynı özelliklere sahip nokta bulutlarını birden fazla homojen bölgeye ayırma işlemidir. 3B NB segmentasyonu, nesnelerin detaylı olarak geometrik bilgilerinin genel ve ayrıntılı bir şekilde özniteliklerinin anlaşılmasını sağlamaktadır.

Segmentasyon, eşit olmayan noktaların yoğunluğu ve NB'lerin açık yapısından yoksun olması nedeniyle zordur. Bu sorun robotikte akıllı araçlar, otonom haritalama ve navigasyon gibi uygulamalarda farklı yaklaşımlar ortaya çıkarmıştır [27]. Geleneksel NB segmentasyon algoritmaları üzerinde başlıca şunları içermektedir: öznitelik kümelemeye dayalı yöntemler [28], [29], model oluşturma yöntemleri [30], [31], bölge büyümesine dayalı yöntemler [31] grafik kesiminde [32], [33] ve kenarına dayalı yöntemlerdir [34].

Semantik segmentasyon bir görüntü içerisinde farklı özelliklerin tutulduğu anlamlı bölgelerdeki NB anlamlarına göre alt sınıflara ayırma işlemidir. 3B nesnelerin segmentasyonu dört genel paradigmadan oluşur: Projeksiyon, ayrık, hibrit ve nokta, tabanlı yöntemlerdir.

Projeksiyon ve ayrıklaştırma tabanlı yöntemlerinin ilk aşaması, nokta bulutlarının çoklu gösterimi [35], [36] küresel gösterim [37], [38], [39] hacimsel gösterim [40], [41], [42] Permutohedral ızgara gösterimi

[43], [44] ve hibrit gösterimi [45], [46] gibi düzenli bir ara temsile dönüştürmektedir. Sonra düzensiz NB tekrar gönderilerek yapısız NB'ye direkt uygulanmıştır.

### 3.1 PROJEKSİYON TABANLI YÖNTEMLER

Projeksiyon tabanlı yöntemler çoklu görünüm ve küresel görünüm yöntemlerini kullanarak 3B görüntülerin 2B olarak yansıtılmasıdır.

#### A.1. Çoklu görünüm gösterimi

Lewin vd., 2B düzlem üzerine ilk olarak birden fazla sanal kamera görüntüsünden oluşan 3B NB yansıtılar [36] ve oluşan sentetik görüntülerdeki pikselleri tahmin etmek için çoklu akış kullandılar. Her bir noktanın semantik etiketlenmesi, yeniden yansıtılan temsili değerlerin farklı görünümde birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Benzer şekilde, Baulch vd., ilk olarak birden fazla kamera ile NB elde edilen anlık RGB (red green blue) ve derinlik görüntüsü oluşturmuşlar. Sonrasında 2B segmentasyon ağlarını kullanarak anlık görüntülerdeki pikselleri etiketlemiştir. RGB ve derinlik görüntülerinin tahmini sonuçları artık düzeltme yöntemi ile birleştirilmiştir [36], [47].

NB yerel yüzeylerinde Öklid ile örneklendiği varsayımına dayanarak Tatarchenko vd., yoğun NB segmentasyonu için teğet kıvrımlarını tanıtmışlardır [48]. Bu yöntemde noktalar yüzey geometrisinde doğrudan işlenmektedir. Aynı zamanda büyük ölçeklenebilir (milyonlarca noktayı) NB işleyebilirken geometrik ve yapısal bilgileri tam olarak kullanılamamaktadır.

#### A.2. Küresel Gösterim

3B NB ile hızlı ve doğru bir şekilde segmentasyon yapılması için Wu vd., SqueezeNet ve Koşullu Rastgele Alana (Conditional Random Field /CRF) dayalı uçtan uca bir ağ önermiştir [48]. Segmentasyon doğruluğunu iyileştirmek için, SqueezeSegV2 [38] denetimsiz bir alanda ardışık düzen uyarlamasını kullanarak alan kayması yönünden segmentasyon doğruluğunu ele almıştır.

Milioto vd., NB ile semantik segmentasyonu gerçek zamanlı işlemek için RangeNet ++ yöntemini önermişlerdir [39]. 2B etiketli verilerin anlamlı ara temsillerini 3B'ye dönüştürürken, KNN (k-near neighbours) temelli işlem hatalarını ve çıktılardaki bulanıklığı düzeltmek için kullanmıştır. Tek görüntülü projeksiyon yöntemi küresel projeksiyon yöntemine göre daha fazla bilgi tutar ve bu yöntem ile LIDAR ile alınan NB'lerin etiketlenmesi daha uygundur. Bu yöntem kullanılırken geçişler sırasında oluşan ara temsillerden kaynaklanan ayırma hataları veya tıkanma gibi sorunları meydana getirmiştir.

## B. AYRIŞTIRMA TABANLI YÖNTEMLER

Bu yöntemler, genellikle nokta bulutlarını hacimsel veya permutahedral kafesler gibi yoğun veya seyrek gösterime dönüştürür. NB'yi işlerken yoğun ızgaralar vokselleştirilerek 3B evrişim ağları kullanılmıştır. Huang vd., nokta bulutunu doluluk vokseline böldü ve 3B voksellerin segmentasyonu için 3B CNN'den (convolutional neural network) geçirdi [48]. Bu yöntemde her bir voksel aynı etikete sahip olur; fakat performans bakımından NB'leri sınırlamıştır. Tchapmi vd., ince taneli ve global semantik segmentasyon elde etmek için SEGCloud'u önermiştir [49]. Bu yöntem, 3D-FCNN (Full Connected CNN) tarafından oluşturulan voksellerin tahminlerini NB'ye eşlemek için deterministik üç doğrusal enterpolasyon sunmuş ve etiketli her nokta için 3B FC-CNN kullanmıştır [50]. Meng vd, her bir vokselde yerel geometrik yapıları kodlamak için çekirdek tabanlı değişken bir yapıya sahip otomatik kodlayıcı bir mimari geliştirmiştir [41]. Meng her bir voksel noktasının dağılımını yakalamak ve sürekli bir temsil sağlamak için RBF (radial basis function) kullanılmıştır. VAE-Net (variational autoencoder/VV-Net) her bir voksel içindeki yoğun nokta dağılımını gizli bir alana eşledikten sonra sağlam özellikleri öğrenmek için simetri olan grupları ve eşdeğer CNN'leri kullanmıştır.

3B CNN'nin iyi bir şekilde ölçeklenmesi hacimsel tabanlı ağlarda, farklı uzaysal boyutlardaki nokta bulutlarının test edilmesini ve eğitilmesini sağlamaktadır. Tam Evrişimli Nokta Ağı (FCPN/ Fully-Convolutional Point Network) [40], farklı düzeydeki geometrik yapıları hiyerarşik olarak nokta bulutlarından ayırır. Bu yapıdaki bitişik özellikleri çıkarmak, uzun menzilli bağımlılıkları birleştirmek için 3B evrişimler ve ağırlık değerlerini ortalayan havuzlama sistemi kullanılır. Bu yöntem, büyük ölçekli nokta bulutu verilerini işler ve özellik çıkarım zamanında iyi ölçeklenebilir bir yapıya sahiptir. Dai vd., her bir vokseli anlamsal etiketleme ve 3B taramanın tamamlanması için ScanComplete'i önerdiler [51]. Bu yöntemde, tam evrişimli ağların ölçeklenebilirliği kullanılmış ve eğitim-test aşamasında farklı veri boyutlarındaki girdilere uyum sağlanmıştır. Tahmini sonuçlar çözünürlüğünü hiyerarşik olarak düzeltmek için kabadan inceye doğru bir (coarse-to-fine) stratejisi kullanılmıştır.

Genellikle hacimsel temsiller 3B nokta bulutlarına (NB'lerin) komşuluk yapısını korumaktadır. Düzenli bir veri yapısı genel 3B evrişim ağına doğrudan uygulanmıştır. Bu etkenler, düzenli bir performans artışı sağlamış fakat noktaları vokselleştirme aşamasında yapay ayırmalara ve bilgi kaybına neden olmuştur. Yüksek çözünürlükler büyük bellek alanına ve hesaplama maliyetine, düşük çözünürlükler ayrıntı kaybına sebep olmuştur. Yüksek veya düşük çözünürlük için doğru ve uygun bir ızgara seçiminin önemini göstermiştir.

Hacimsel gösterimde sıfır olmayan değerler yalnızca küçük bir yüzdeyi açıkladığı için seyreklerdir. Bu gibi yöntemlerde, düşük boyutlu veriler için yoğun bir sinir ağı kullanmak verimsizdir. Bu amaçla, Graham vd., indeksleme yapısına bağlı olarak alt manifoldlu seyrek evrişim ağlarını önermişler [51]. Bu yöntemde, konvolüsyon ağı dolu vokseller tarafından kısıtlandığı için bellek ve hesaplama maliyetini önemli derecede düşürmektedir. Bu alt manifoldlu seyrek konvolüsyon ağı, yüksek boyuta sahip öznelilikleri ve seyrek özelliklere sahip özneliliklerin daha verimli bir biçimde işlenmesine yol açmıştır. Seyrek evrişim ağını etkin bir şekilde kullanmak için, Choy vd., 3B video algılamak amacıyla MinkowskiNet isminde 4B uzay-zamansal evrişimli bir sinir ağı önerdi [52]. Bu yöntemde yüksek boyutlu verileri verimli bir şekilde işlemek için genel seyrek bir evrişim ağı kullanılmış ve uyum sağlamak için üç yönlü-sabit koşullu rastgele bir alan üzerinde uygulanmıştır.

Su vd., İkili Evrişim Katmanlarına (Bilateral Convolution Layers/BCL) dayalı Seyrek Kafes Ağlarını (SPLATNet) önermiştir [52]. SPLATNet hem bir nokta bulutunu seyrek bir permutohedral kafese ekler ve BCL (bilateral convolution layers) kafesin dolu kısımlarına evrişim ile filtrelenen değerleri tekrar ham NB'ye ekler. Bu yöntemin başka bir avantajı, çoklu görüntüleri ve nokta bulutlarını esnek şekilde işlemesidir. Rosu vd., LatticeNet'i büyük nokta bulutunu verimli bir şekilde işlemek için önermiştir [52]. DeformsSlice isminde verilere bağlı bir enterpolasyon modülünü ve kafes özelliğini nokta bulutuna yeniden yansıtan bir yapı sunmuştur.

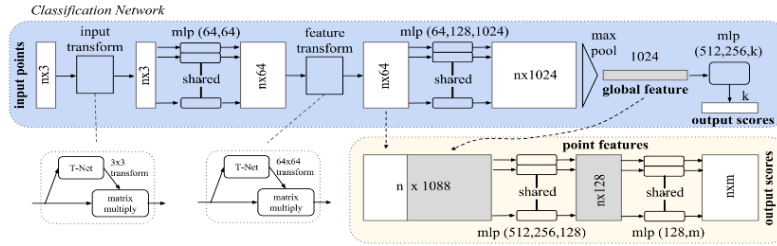
### **C. HİBRİT YÖNTEMLER**

Bu yöntemler tüm verilerden maksimum derecede yararlanmak ve 3B tarama ile çok yönlü özellikleri öğrenmek için kullanılır. Dai ve Nießner, RGB özelliklerini ve geometrik özellikleri birleştirmek için ortak bir 3B çoklu görüntü ağı sunmuştur [45]. 2B akış özelliklerini çıkarmak için 3B CNN'i kullanmış ve öğrenilen 2B yerleştirmeleri ve 3B geometrik özellikleri birleştirmek için değişken bir geri yansıma katmanı olarak kullanılmıştır. Chiang vd., nokta bulutlarından 2B doku görünümü, 3B yapıları ve küresel bağlam özelliklerini öğrenmek için nokta tabanlı birleşik çerçeve önermiştir [45]. Bu yöntem, noktasal ağ yapısını ve geometrik özelliklerini bulmak için doğrudan uygulamıştır. Jaritz vd., kanonik NB uzayındaki 2B çoklu görüntülerden ve uzamsal geometrik özelliklerin görünüm özelliklerini gruplamak için Çoklu Görünüm PointNet'i (multi-view point network /MVPNet) sunmuşlardır [46].

### **D. NOKTAYA DAYALI YÖNTEMLER**

Nokta tabanlı ağlar doğrudan düzensiz ve yapılandırılmamış olması nedeni ile doğrudan standart CNN'lere uygulanamaz. Bu amaçla, ilk çalışma da PointNet'in [53] simetrik havuzlama ile paylaşılan MLP'leri, (multi-layer perceptron) her bir noktanın özelliklerini öğrenmesi için önerilmiştir. PointNet'e dayalı, nokta tabanlı ağlar, MLP yöntemleri, noktasal evrişim ağları, RNN (recurrent neural network) tabanlı ve grafik tabanlı birçok yöntem geliştirilmiştir. Tablo 2'de noktasal tabanlı yöntemler temellerine göre listelenmiştir.

Nokta tabanlı yöntemler, yüksek performans elde etmek için ağ yapısına MLP uygularlar. MLP ile çıkarılan noktasal özellikler nokta bulutlarındaki yerel geometrik yapıyı ve noktaların karşılıklı etkileşimlerini yakalayamaz [53].

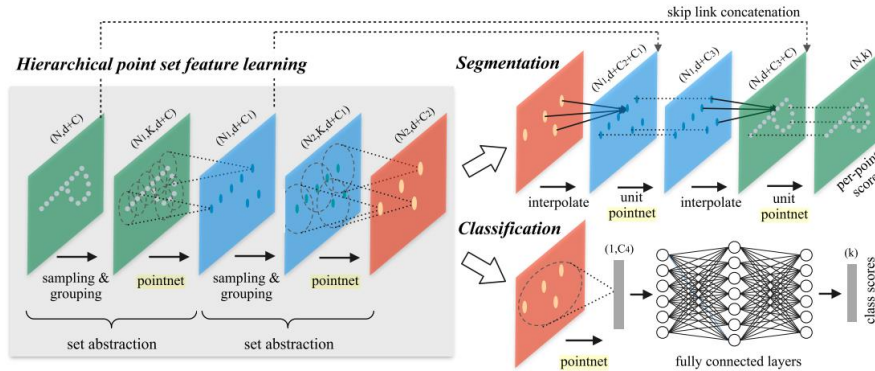


Şekil 1. PointNet yapısı.

Şekil 1'de PointNet yapısı incelendiğinde her noktada daha geniş bir alan yakalamak ve daha zengin yerel yapıları öğrenmek için komşu özellik havuzlaması, odak tabanlı toplama ve yerel-küresel özellikleri birleştirmeye bağlı birkaç özel ağ tanıtılmıştır

### D.1. Komşu Özellik Havuzu

Bu yöntemler yerel geometrik desenleri yakalamak için yerel komşu nokta bilgilerini toplayarak her noktadan bir özellik öğrenir. Özellikle, PointNet++ [54], Şekil 2'te gösterildiği gibi hiyerarşik ve gittikçe daha büyük yerel bölgelerden öğrenen noktaları gruplandırır.



Şekil 2. Hiyerarşik özellik öğrenme mimarisinin 2B Öklid uzayındaki segmentasyonu ve sınıflandırmasıdır[54].

Noktaların değişken olması ve nokta buluntularındaki yoğunluk değişiminin neden olduğu sorunları çözmek için çok ölçekli ve çok çözünürlüklü gruplama yöntemleri önerilmiştir. Jiang vd., yönlendirme kodlaması ve farklı boyutlar için PointSIFT modülünü önermişlerdir[55]. Bu modül, sıralı bir evrişim yoluyla üç aşamalı sekiz uzamsal yönelimden gelen bilgileri kodlar ve kümeler. Yüksek boyutlu özellikleri farklı boyutlarla uyum sağlaması için birleştirmiştir. PointNet++ gruplama yöntemlerinden farklı olarak Engelmann [56], alanı ve özellik uzayındaki iki komşuyu ayrı ayrı belirlemek için K-ortalama (K-means) kümeleme ve KNN kullanmıştır. Özellik uzayında aynı sınıfa ait noktaların daha yakın olmasının beklendiği varsayımına göre bu özellikleri düzenli bir şekilde öğrenmek için ikili bir mesafe kaybı ve bir ağırlık merkezi kaybı meydana gelmiştir. Farklı noktalar arasındaki karşılıklı

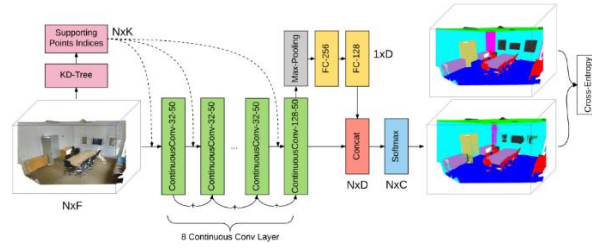


etkileşimleri modellemek için Zhao [57] PointWeb'e yerel tam bağlı ağ oluşturarak yerel bölgedeki tüm nokta çiftleri arasındaki ilişkileri tanımlamıştır. Uyarlanabilir Özellik Ayarlama (AFA) modülünü, ağı bilgi alışverişini sağlamak ve özellik iyileştirme için önermiştir. Bu işlem, ağı ayırt edici özellik gösterimini öğrenmesine yardımcı olmaktadır. Zhang, eş merkezli küresel kabuklardan/yüzeylerden elde edilen istatistiklere dayanarak Shellconv adında değişmez bir permutasyona sahip evrişim ağı önermiştir [58]. Bu yöntem ilk olarak eş merkezli çok ölçekli alanı sorgular ardından maksimum havuzlama ile farklı kabuklar/yüzeyler içindeki istatistikleri özetler. Sonunda MLP'ler ve 1B (1 boyutlu) evrişimi ile çıktıyı elde eder. Hu, büyük ölçekli NB segmentasyonu için RandLA-Net'i önermiştir [59]. RandLA-Net' bellek alanı ve hesaplama maliyeti bakımından yüksek performans göstermek için gelişigüzel noktalar kullanmıştır. Geometrik özellikleri yakalamak ve korumak için yerel özellik toplama modülü önerilmiştir.

Yerel-küresel birleştirme: Zhao, nokta bulutlarındaki yerel yapıları ve küresel bağlamı birleştirmek için değişmez bir permutasyon olan PS2-Net önermiştir [60]. Edgeconv [61] ve NetVLAD [62], görüntüde küresel özellikleri ve yerel bilgileri elde etmek için tekrarlı bir şekilde kümelemiştir.

## D.2. Nokta Eğilimli Evrişim Yöntemleri

Nokta evrişim yöntemleri, NB'leri verimli bir şekilde işlemek için evrişim ağları önermektedir. Hua vd., çekirdek hücrelerine komşu noktaları bağlayıp çekirdek ağırlıklarıyla birleştirilen noktasal bir evrişim önermiştir [63]. Şekil 3'de gösterildiği gibi Wang, PCNN isiminde parametrik sürekli evrişim katmanlarına sahip bir ağ önermiştir [64].



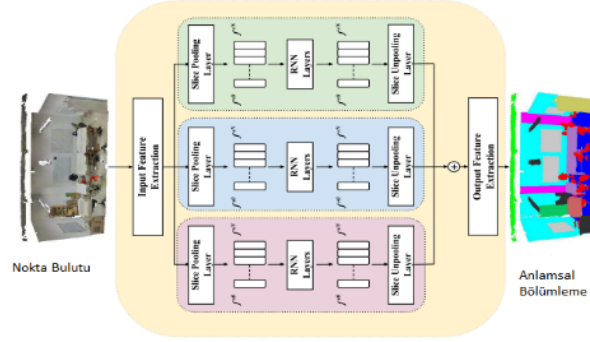
Şekil 3. Anlamsal Etiketleme için Derin Parametrik Sürekli CNN yapısı.

Bu katmandaki çekirdek fonksiyonu MLP kullanılarak parametreleri ayırır ve sürekli vektör uzayını kapsar. Thomas, çekirdek nokta konvolüsyon (Kernel Point Convolution /KPCConv) temelli tam evrişimli çekirdek nokta ağını (Kernel Point Full Convolutional Network /KP-FCNN) önermiştir [65]. KPCConv'un çekirdek noktalarındaki evrişim ağırlıkları Öklid ile belirlenir ve bu ağı çekirdek nokta sayısı sabit değildir. Çekirdek noktalarının konumları bir küre uzayında iyi bir şekilde kapsama alanı oluşturmak için bu konumlar en uygun şekle sokma problemi olarak formüle edilmiştir. Yarıçap komşuluğunda daha tutarlı bir alıcı alan oluşturmak ve her katmanda farklı yoğunluktaki nokta bulutundan yüksek verimlilik elde etmek için alt ızgara örnekleme kullanılmıştır. Engelmann, alıcı alanın toplama tabanlı yöntem performansının etkisini göstermek için çözünürlüğü yüksek görselleştirmeler yapmıştır [47]. Ayrıca, KNN yerine genişlemiş komşu özelliklerini toplamak için Genişletilmiş Nokta Evrişimi (Dilated Point Convolution/DPC) ağını önermiştir. Bu işlemin alıcı alanı büyütmede etkili olduğu ve diğer kümelenebilirliğe dayalı ağlarla kolayca bütünleştiği gösterilmiştir.

## D.3. Tekrarlanan Sinir Ağı Tabanlı Yöntemler

RNN (recurrent neural network) hem nokta bulutlarının bağlam ve içerik özelliklerini yakalamak hem de semantik segmentasyon için kullanılmıştır. PointNet [53] temel olarak Engelmann, girdi katmanındaki nokta bilgilerine ulaşmak için nokta bulutunu çok ölçekli ve ızgara bloklarına dönüştürmüştür [66]. PointNet ile elde edilen özelliklere ve çıkış katmanındaki bilgilere ulaşmak için Tekrarlayan Konsolidasyon Birimleri (Recurrent Consolidation Units /RCU) ile beslenir. Deneysel sonuçlar, bölümlenme performansının iyileştirilmesi için uzamsal bağlam bilgilerini birleştirmedeki önemi göstermiştir. Huang vd., yerel bağımlılıkları modellemek için bir modülü önermiş ve düzensiz

nokta özellik kümelerini sıralı özellik vektör dizisine dönüştürmek için bir dilim havuzlama (Recurrent Slice Network /RSNet) katmanı kullanmıştır [67].



**Şekil 4.** RSNet X,Y,Z eksenini boyunca dilimleme yönü gösterimi

Şekil 3'te gösterildiği gibi, Ye vd., ilk olarak kabadan-inceye yerel yapıyı yakalamak için Noktasal Piramit Havuzlama (3P) modülü önerdiler ve uzun menzilli uzamsal bağımlılık aralığını elde etmek için iki yönlü hiyerarşik RNN kullanılmıştır [67]. Sonrasında ağıncı uçtan uca öğrenmesi için RNN kullandılar. Bununla birlikte, yerel komşuluk özelliklerini küresel yapı özellikleriyle birleştirirken kullanılan bu yöntemler NB verilerinden zengin geometrik özelliklerini ve yoğunluk dağılımını kaybettiler [68]. Sabit yapı ve statik havuzlama işlemlerinin neden olduğu sorunları hafifletmek için, Zhao vd., küresel sahne karmaşıklığını ve yerel geometrik özellikleri dikkate alarak Dinamik Toplama Ağını (DAR-Net) önermişlerdir [68]. Ortamlar arası özellikler ortama kendi kendine uyum sağlayan alıcılar ve düğüm aralıkları dinamik olarak toplanmıştır. Liu vd., yüksek boyutlu NB'yi verimli ve daha başarılı bir semantik ayrışım yapılabilmesi için 3D-CNN-DQN-RNN'yi önerdi [69]. Bu ağ 3B bir CNN ağı ile noktaların uzaydaki yayılımını ve renk özelliklerini öğrenmektedir. Derin Q ağını (DQN'i (Deep Q-Network) belirtilen sınıfa ait nesnelere sınırlandırmak için kullanmıştır. Sonuç olarak birleştirilen özellik vektörü, segmentasyon sonuçlarına ulaşmak için bir RNN ile beslenmiştir.

**Tablo 2.** Nokta Tabanlı Derin Öğrenme Yöntemlerinin özeti.

Point Net Yöntemler	Tabanlı Özellik	PointNet++ Yöntemler	Tabanlı Özellik	Temel Yapı
PointNet	MLP	PointNet++	PN	MLP
G+RCU	MLP	PointWeb	PN	
ESC	MLP	PointSIFT	PN	
HRNN	MLP			
RSNet	1x1 Conv	MCC	MCCConv.	Noktasal Evrişim
DPC	PointConv	PointConv	PointConv	
PWCNN	PWConv	A-CNN	AConv	
KPCConv	KPCConv	RandLA-Net	LocSE	
PCNN	PCCConv	PolarNet	PN	

FlexConv	flexConv			
PointCNN	$\chi$ -Conv			
DGCN	EdgeConv	LS-GCN	Spec.Conv.	Grafiksel Evrişim
SPG	PN	PAN	LAE-Conv	
DeepGCNs	DGConv	TGNet	TGConv	
SPH3D-GCN	SPH3D-GConv	HDGCN	DGConv	
PGCRNet	Conv1D	3DCon.Net	PN	
AGCN	MLP	$\psi$ -CNN	$\psi$ -Conv	

Tablo 2’ de gösterildiği gibi PointNet ve PointNet++ tabanlı birçok derin öğrenme yöntemi geliştirilmiş ve kıyaslama veri setleri üzerinde semantik segmentasyon yapılmıştır. PointNet ve PointNet++ yöntemler gibi temel teşkil edecek yöntemlerin kısa sürede başarılı bir şekilde geliştirilmesi için yöntemler detaylı olarak anlatılmıştır.

#### D.4. Grafik Tabanlı Yöntemler

3B NB’deki şekilleri ve geometrik yapıları yakalamak için grafik tabanlı yöntemlere başvurulmuştur. Landrieu vd., NB’leri birbirine bağlı basit şekiller süper noktalar kümesi ile temsil edilen bağlam bilgisini ve yapı bilgilerini yakalamak için bağlı grafik (yani süper nokta grafiği) kullanmıştır [70]. Sonrasında büyük ölçekli NB bölümlene problemini üç alt probleme bölerek: homojen geometrik bölümlene, süper nokta gömme ve bağlamsal bölümlene gibi çözümler kullanılmıştır. Bölme adımında başarıyı artırmak için Landrieu ve Boussaha NB’yi süper nokta haline getirmek amacıyla denetimli bir yapı önermişler [71].

Kang vd., boyut sayısı büyük bir uzayda yerel geometrik ilişkileri doğru bir şekilde yakalamak için grafik gömme modülü (GEM/ Graph Embedding Module) ve piramit dikkat ağı (PAN/ Pyramid Attention Network) temelli PyramNet’i önerdiler [71]. GEM modülü, bir NB yönlendirilmiş bir döngüsel olmayan grafik olarak formüle eder ve bitişik benzerlik matrisi için Öklid mesafesi yerine kovaryans matrisi kullanılır. PAN modülünde ise farklı anlam yoğunluklarına göre özelliklerin çıkarılması için dört farklı boyuta sahip evrişim çekirdekleri kullanılır. Wang vd., komşu yerel bir kümeden ilgili özellikleri seçici olarak öğrenmek için Grafik Dikkat Evrişimi (GAC) önermiştir. Bu işlem, uzaydaki konumlarına, özniteliklerine, komşu noktalarına ve boyutlarına dikkat ağırlıkları atanarak yapılmıştır [72]. GAC, bölümlene için ayırıcı öznitelikleri almak için eğitilebilir ve genel CRF modeline benzeyen özniteliklere sahiptir. Ma vd., grafik temsili ile yakın özellikleri belirlemek için PointGCR modülü önermiştir [73]. PointGCR, baştan sona eğitilebilir bir yapıdır. Performans iyileştirmesi için herhangi bir segmentasyon ağıyla kolayca birleştirilebilir.

#### D.5. Modellerin Değerlendirilmesi

Projeksiyon tabanlı ve ayrıklaştırma tabanlı yöntemler düzenli temsilleri sayesinde 2B görüntü işlemede kullanılan olgun ağ mimarilerinden yararlanabilir. Projeksiyon tabanlı yöntemlerde 3B’tan 2B’ye yansıtılırken bilgi kaybında neden olmaktadır. Ayrıklaştırma tabanlı yöntemlerde ise çözünürlüğün artması sonucu kübik olarak artan hesaplama ve bellek maliyetine neden olmuştur. Bu amaçla, indekisleme yapıları üzerine inşa edilen seyrek evrişim, uygulanması etkili bir çözüm noktası olabilir.

Nokta tabanlı ağlar en sık araştırılan yöntemlerdir. Noktasal temsiller doğal olarak açık komşu bilgisine sahip değildir ve güncel olarak kullanılan nokta tabanlı yöntemlerin çoğu maliyeti yüksek komşu arama algoritması kullanmaktadır. (örneğin, KNN [74] veya top sorgusu [54]). Bu yöntemler doğal olarak bu yöntemlerin etkinliğini sınırlamaktadır. Nokta bulutunu yapısız verilerden öğrenmek hala zor bir problemdir. Bazı yaklaşımlar [65], [70], [58] dikkate değer genel bir performansa göstermiş olmasına rağmen bazılarının performansı hala sınırlıdır. 3B sahne ve nesne segmentasyonun performansı karşılaştırması Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: SemanticKITTI, S3DIS, ScanNet ve Semantic3D semantik segmentasyon başarı tablosu. Genel Doğruluk (Overall Accuracy/OA), Birlik Üzerinden Ortalama Kesişim (Mean Intersection over Union /mIoU) değerlendirme sonuçları % olarak verilmiş ve “-” veri setinde kullanılmadığı anlamına gelmektedir.

*Tablo 3. Modellerin farklı veri Setleri üzerindeki performans başarıları.*

Yöntem	Ortalama kesişim	Genel Doğruluk	Yöntem	Ortalama kesişim	Genel Doğruluk	
SGPNet	85.8	-	DGCNN	85.1	-	<b>ShapeNet</b>
KD-Net	82.3	-	RGCNN	84.3	-	
SEGCloud	79.4	-	RSNet	84.9	-	
PointNet	83.7	-	SO-Net	84.6	-	
Yi	81.4	-	Spider-CNN	85.3	-	
O-CNN+CRF	85.9	-	LDGCNN	85.1	-	
SSCNN	84.7	-	GAPNet	84.7	-	
PN++(MSG+DP)	85.1	-	-	-	-	
SEGCloud	48.92	-	3DMAXNet	47.5	79.5	<b>S3dis</b>
PointNet	47.71	78.62	SP-GRAPH	62.1	85.5	
MS+CU	47.8	79.2	3R-RNN	56.3	86.9	
G+RCU	49.7	81.1	PointCNN	62.74	88.1	
DGCNN	56.1	56.1	PointSHIFT	70.23	88.72	
RSNet	53.83	-	ASIS	59.3	86.2	
SGPN	50.37	80.78	A-CNN	-	87.3	
SEGCloud	-	73.0	SEGCloud	61.3	88.1	<b>ScanNet</b>
PointNet	14.69	73.9	TMLC-MSR	54.2	86.2	
PN++(SSG)	-	83.3	DeepPr3SS	58.85	88.9	

PN++(MSG+DP)	34.26	-	SnapNet	59.1	88.6	
RSNet	39.35	84.5	SPGraph	73.2	94.0	
PointCNN	-	83.4	-	-	-	
PointSHIFT	-	86.2	-	-	-	
PointNet	34.4	79.7	-	-	-	<b>Kıttı</b>
3P-RNN	41.6	87.8	-	-	-	
G+RCU	36.2	80.6	-	-	-	

Tablo 1 ve Tablo 2’de veri setleri analiz edildiğinde ve son zamanlarda yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde Tablo 3 ‘e göre noktasal tabanlı derin öğrenme yöntemleri hızlı bir şekilde artış göstermiştir.

## IV. SONUC

Bu makalede, 3B sahnelerin veya nesnelerin semantik segmentasyon yöntemlerini anlamak için güncel yöntemler derinlemesine araştırılmıştır. Araştırılan yöntemlerin avantajları, dezavantajları ve bu yöntemlerin performans sonuçları değerlendirilmiştir. 3B NB’leri başarılı bir şekilde bölümlere ayırmak için farklı derin öğrenme yöntemleri geliştirilmiş ve NB işleme aşamasındaki zorluklara rağmen gelişime açık olduğu gösterilmiştir. Yeni algoritmaların gelişimine katkıda bulunmak için 3B NB segmentasyon yöntemlerinin en popüler 3B veri setleri üzerinde başarı performansları karşılaştırılmıştır.

3B NB’lerin başarılı bir şekilde eğiterek semantik segmentasyon yapılabilir. Tüm anlatılan modellerin hedeflerini bölge büyütme, başarılı model geliştirme, matematiksel modeller üretme ve geometrik teknikler olmak üzere dört başlık altında geliştirilmiştir.

Derin öğrenme yöntemleri ile 3B görüntü işlemede karşılaşılan problemleri çözmek için NB öznelikleri modeller üzerinde denenmiştir. Modellerin başarılı sonuçlar vermesiyle tüm dikkatleri bu yöntemler üzerine çevirmiş ve NB’yi odak noktası haline getirmiştir. Bu nedenle kıyaslama veri setleri üzerinde eğitilen derin öğrenme modellerinin başarıları karşılaştırılmıştır. Bu modeller detaylı olarak araştırılmış, her yöntemin avantajları, dezavantajları ve uygulama farklılıkları tartışılmıştır. Derin öğrenme yöntemlerinde 3B NB kullanılarak semantik segmentasyona genel bir bakış yapılmış ve değerli bilgiler verilmiştir. Özellikle NB ile semantik segmentasyon alanında yapılan çalışmaların önemli yönleri ve yöntemleri sunulmuştur. Bu makalede araştırmalar sonucunda geliştirilen yöntemlere öneri olarak gelecekte karşılaşılabilecek bazı problemler tespit edilmiştir. Bunlar; 3B’den 2B geçerken önemli derecede bilgi kaybının olması, nokta tabanlı ağların maliyetli komşu arama yöntemleri ve büyük ölçekli düzensiz nokta bulutlarını işleme problemleri daha fazla araştırılabilir.

### **Yazarların Katkısı**

3B nokta bulutu alanında literatürü zenginleştirmek ve yeni araştırmacılar için kapsamlı bir alan taraması yapılmıştır. Özellikle bu alanda kaynak sağlama ve gelecekte 3B nokta bulutu alanında yapılacak çalışmalara yol gösterici nitelikte bir makale sunulmuştur. Zengin bir kaynakça içeriğine sahip makalemizde bu önemli konu hakkında değerli bilgiler sağlayacağına ve yeni araştırmalar için yol gösterici bir araştırma olacağına inanıyoruz.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] Z. Liang vd., “Stereo matching using multi-level cost volume and multi-scale feature constancy”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 43, no 1, pp. 300–315, 2021.
- [2] Y. Guo, F. Sohel, M. Bennamoun, M. Lu, ve J. Wan, “Rotational projection statistics for 3D local surface description and object recognition”, *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 105, no 1, pp. 63–86, 2013.
- [3] C. Xiaozhi, M. Huimin, W. Ji, L. Bo, ve X. Tian, “Multi-View 3D Object Detection Network for Autonomous Driving | Spotlight 4-2B - YouTube”, *Comput. Videos*, pp. 1907–1915, 2017.
- [4] R. B. Rusu ve S. Cousins, “3D is here: Point Cloud Library (PCL)”, *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, pp. 1–4, 2011.
- [5] A. Shamir, “Segmentation and shape extraction of 3D boundary meshes”, *Eurographics*, no September, pp. 137–149, 2006.
- [6] R. B. Rusu, Z. C. Marton, N. Blodow, M. Dolha, ve M. Beetz, “Towards 3D Point cloud based object maps for household environments”, *Rob. Auton. Syst.*, vol. 56, no 11, pp. 927–941, 2008.
- [7] P. J. Besl ve R. C. Jain, “Segmentation Through Variable-Order Surface Fitting”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 10, no 2, pp. 167–192, 1988.
- [8] S. Pu ve G. Vosselman, “Automatic extraction of building features from terrestrial laser scanning”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, no. 36, 2006.
- [9] R. B. Rusu, A. Holzbach, N. Blodow, ve M. Beetz, “Fast geometric point labeling using conditional random fields”, *2009 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. IROS 2009*, pp. 7–12, 2009.
- [10] J. Shi ve J. Malik, “Normalized cuts and image segmentation”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 22, no 8, pp. 888–905, 2000.
- [11] R. Leahy, “An Optimal Graph Theoretic Approach to Data Clustering: Theory and Its Application to Image Segmentation”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol 15, no11, pp. 1101–1113, 1993.
- [12] Y. Boykov ve G. Funka-Lea, “Graph cuts and efficient N-D image segmentation”, *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 70, no 2, pp. 109–131, 2006.
- [13] D. Anguelov vd., “Discriminative learning of Markov random fields for segmentation of 3D scan data”, *Proc. - 2005 IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition, CVPR 2005*, vol. II, pp. 169–176, 2005.
- [14] Y. Zhu vd., “Target-driven visual navigation in indoor scenes using deep reinforcement learning”, *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, vol 1, pp. 3357–3364, 2017.
- [15] I. Armeni vd., “3D Semantic Parsing of Large-Scale Indoor Spaces Supplementary Material”, *2016 IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 1534–1543, 2016.
- [16] A. X. Chang vd., “ShapeNet: An Information-Rich 3D Model Repository”, 2015.
- [17] J. Behley vd., “SemanticKITTI”, *Iccv*, vol iii, 2019.

- [18] A. Geiger, P. Lenz, ve R. Urtasun, “Are we ready for autonomous driving? the KITTI vision benchmark suite”, Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., ss. 3354–3361, 2012.
- [19] A. Dai, A. X. Chang, M. Savva, M. Halber, T. Funkhouser, ve M. Nießner, “ScanNet: Richly-annotated 3D reconstructions of indoor scenes”, arXiv, 2017.
- [20] T. Hackel, N. Savinov, L. Ladicky, J. D. Wegner, K. Schindler, ve M. Pollefeys, “Semantic3D.Net: a New Large-Scale Point Cloud Classification Benchmark”, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci., c. 4, sayı 1W1, ss. 91–98, 2017.
- [21] K. Mo vd., “PartNet: A Large-scale Benchmark for Fine-grained and Hierarchical Part-level 3D Object Understanding”, arXiv, pp. 909–918, 2018.
- [22] X. Song vd., “ApolloCar3D: A Large 3D Car Instance Understanding Benchmark for Autonomous Driving”, arXiv, ss. 5452–5462, 2018.
- [23] M. A. Uy, Q. H. Pham, B. S. Hua, T. Nguyen, ve S. K. Yeung, “Revisiting point cloud classification: A new benchmark dataset and classification model on real-world data”, Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis., c. 2019-October, pp. 1588–1597, 2019.
- [24] Z. Wu vd., “3D ShapeNets: A deep representation for volumetric shapes”, Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., vol. 07-12-June, pp. 1912–1920, 2015.
- [25] X. F. Han, H. Laga, ve M. Bennamoun, “Image-based 3D Object Reconstruction: State-of-the-Art and Trends in the Deep Learning Era”, arXiv, vol. 8828, 2019.
- [26] G. Elbaz, T. Avraham, ve A. Fischer, “3D point cloud registration for localization using a deep neural network auto-encoder”, Proc. - 30th IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition, CVPR 2017, vol. 2017-Janua, sayı July, pp. 2472–2481, 2017.
- [27] A. Nguyen ve B. Le, “3D point cloud segmentation: A survey”, IEEE Conf. Robot. Autom. Mechatronics, RAM - Proc., pp. 225–230, 2013.
- [28] Y. Ishikawa, R. Hachiuma, N. Ienaga, W. Kuno, Y. Sugiura, ve H. Saito, “Semantic Segmentation of 3D Point Cloud to Virtually Manipulate Real Living Space”, Proc. 2019 12th Asia Pacific Work. Mix. Augment. Reality, APMAR 2019, 2019.
- [29] B. Liu, S. He, D. He, Y. Zhang, ve M. Guizani, “A Spark-Based Parallel Fuzzy c -Means Segmentation Algorithm for Agricultural Image Big Data”, IEEE Access, vol. 7, pp. 42169–42180, 2019.
- [30] R. Schnabel, R. Wahl, ve R. Klein, “Efficient RANSAC for point-cloud shape detection”, Comput. Graph. Forum, vol. 26, no 2, pp. 214–226, 2007.
- [31] B. Yang ve Z. Dong, “A shape-based segmentation method for mobile laser scanning point clouds”, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 81, pp. 19–30, 2013.
- [32] J. Yan, J. Shan, ve W. Jiang, “A global optimization approach to roof segmentation from airborne lidar point clouds”, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 94, pp. 183–193, 2014.

- [33] A. Golovinskiy ve T. Funkhouser, “Min-cut based segmentation of point clouds”, 2009 IEEE 12th Int. Conf. Comput. Vis. Work. ICCV Work. 2009, pp. 39–46, 2009.
- [34] T. Rabbani, F. van den Wildenberg, ve G. Vosselman, “Segmentation of point clouds using smoothness constraint”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 36, no 5, pp. 248–253, 2006.
- [35] A. Boulch, B. Le Saux, ve N. Audebert, “Unstructured point cloud semantic labeling using deep segmentation networks”, *Eurographics Work. 3D Object Retrieval, EG 3DOR*, c. 2017-April, pp. 17–24, 2017.
- [36] F. J. Lawin, M. Danelljan, P. Tosteberg, G. Bhat, F. S. Khan, ve M. Felsberg, “Deep projective 3D semantic segmentation”, *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 10424 LNCS, pp. 95–107, 2017.
- [37] B. Wu, A. Wan, X. Yue, ve K. Keutzer, “SqueezeSeg: Convolutional neural nets with recurrent CRF for real-time road-object segmentation from 3D LiDAR point cloud”, *arXiv*, pp. 1887–1893, 2017.
- [38] B. Wu, X. Zhou, S. Zhao, X. Yue, ve K. Keutzer, “SqueezeSegV2: Improved model structure and unsupervised domain adaptation for road-object segmentation from a LiDAR point cloud”, *arXiv*, pp. 4376–4382, 2018.
- [39] A. Milioto, I. Vizzo, J. Behley, ve C. Stachniss, “RangeNet ++: Fast and Accurate LiDAR Semantic Segmentation”, *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, vol i, pp. 4213–4220, 2019.
- [40] D. Rethage, J. Wald, J. Sturm, N. Navab, ve F. Tombari, “Fully-Convolutional Point Networks for Large-Scale Point Clouds”, *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 11208 LNCS, pp. 625–640, 2018.
- [41] H. Y. Meng, L. Gao, Y. K. Lai, ve D. Manocha, “VV-NET: Voxel VAE net with group convolutions for point cloud segmentation”, *arXiv*, pp. 8500–8508, 2018.
- [42] B. Graham, M. Engelcke, ve L. Van Der Maaten, “3D semantic segmentation with submanifold sparse convolutional networks”, *arXiv*, pp. 9224–9232, 2017.
- [43] J. Kautz, “Supplementary Material for SPLATNet: Sparse Lattice Networks for Point Cloud Processing”, *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 2–4, 2018.
- [44] R. Alexandru Rosu, P. Schütt, J. Quenzel, ve S. Behnke, “LatticeNet: Fast Point Cloud Segmentation Using Permutohedral Lattices”, 2020.
- [45] Angela Dai ve M. Nießner, “3DMV: Joint 3D-multi-view prediction for 3D semantic scene segmentation”, *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 11214 LNCS, pp. 458–474, 2018.
- [46] M. Jaritz, J. Gu, ve H. Su, “Multi-view pointnet for 3D scene understanding”, *arXiv*, 2019.
- [47] F. Engelmann, T. Kontogianni, B. Leibe, ve R. Field, “2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation ( ICRA ) Dilated Point Convolutions : On the Receptive Field Size of Point Convolutions on 3D Point Clouds tions ( DPC ). In a thorough ablation study , we show that the ment of 3D scene unders”, vol 4, pp. 9463–9469, 2020.



- [48] M. Tatarchenko, J. Park, V. Koltun, ve Q. Y. Zhou, “Tangent Convolutions for Dense Prediction in 3D”, Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., pp. 3887–3896, 2018.
- [49] L. Tchapmi, C. Choy, I. Armeni, J. Gwak, ve S. Savarese, “SEGCloud: Semantic segmentation of 3D point clouds”, Proc. - 2017 Int. Conf. 3D Vision, 3DV 2017, pp. 537–547, 2018.
- [50] J. Long, E. Shelhamer, T. Darrell, ve U. Berkeley, “Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation”, Proc. - 2019 Int. Conf. Comput. Vis. Work. ICCVW 2019, pp. 847–856, 2019.
- [51] A. Dai, D. Ritchie, M. Bokeloh, S. Reed, J. Sturm, ve M. Niebner, “ScanComplete: Large-Scale Scene Completion and Semantic Segmentation for 3D Scans”, Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., pp. 4578–4587, 2018.
- [52] C. Choy, J. Y. Gwak, ve S. Savarese, “4D spatio-temporal ConvNets: Minkowski convolutional neural networks”, arXiv, 2019.
- [53] L. J. (2017). Qi, C. R., Su, H., Mo, K., & Guibas, “PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation”, Proc. - 2016 4th Int. Conf. 3D Vision, 3DV 2016, pp. 601–610, 2016.
- [54] C. R. Qi, L. Yi, H. Su, ve L. J. Guibas, “PointNet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space”, arXiv, vol Nips, 2017.
- [55] M. Jiang, Y. Wu, T. Zhao, Z. Zhao, ve C. Lu, “PointSIFT: A SIFT-like Network Module for 3D point cloud semantic segmentation”, arXiv, 2018.
- [56] F. Engelmann, T. Kontogianni, J. Schult, ve B. Leibe, “Know what your neighbors do: 3D semantic segmentation of point clouds”, arXiv, 2018.
- [57] H. Zhao, L. Jiang, ve C. F. Jiaya, “PointWeb: Enhancing Local Neighborhood Features for Point Cloud Processing”, vol. 1, pp. 5565–5573.
- [58] Z. Zhang, B. S. Hua, ve S. K. Yeung, “ShellNet: Efficient point cloud convolutional neural networks using concentric shells statistics”, arXiv, pp. 1607–1616, 2019.
- [59] Q. Hu vd., “RandLA-Net: Efficient semantic segmentation of large-scale point clouds”, arXiv, pp. 11108–11117, 2019.
- [60] Y. Zhao, H. Deng, F. Tombari, T. Universit, ve S. Ag, “3D Point Capsule Networks Supplementary Material”, Cvpr, pp. 2–6, 2019.
- [61] Y. Wang, Y. Sun, Z. Liu, S. E. Sarma, M. M. Bronstein, ve J. M. Solomon, “Dynamic Graph CNN for Learning on Point Clouds”, ACM Trans. Graph., vol. 38, no 5, s. Article 146, 2019.
- [62] R. Arandjelovic, P. Gronat, A. Torii, T. Pajdla, ve J. Sivic, “NetVLAD: CNN Architecture for Weakly Supervised Place Recognition”, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 40, no 6, pp. 1437–1451, 2018.
- [63] B. S. Hua, M. K. Tran, ve S. K. Yeung, “Pointwise convolutional neural networks”, arXiv, pp. 984–993, 2017.

- [64] S. Wang, S. Suo, W. C. Ma, A. Pokrovsky, ve R. Urtasun, “Deep Parametric Continuous Convolutional Neural Networks”, Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., pp. 2589–2597, 2018.
- [65] H. Thomas, C. R. Qi, J. E. Deschaud, B. Marcotegui, F. Goulette, ve L. J. Guibas, “KPConv: Flexible and deformable convolution for point clouds”, arXiv, pp. 6411–6420, 2019.
- [66] F. Engelmann, T. Kontogianni, A. Hermans, ve B. Leibe, “Exploring spatial context for 3D semantic segmentation of point clouds”, arXiv, 2018.
- [67] W. Wang, “Supplementary : Recurrent Slice Networks for 3D Segmentation on Point Clouds Qianguai Huang”, vol 1, pp. 2015–2016, 2017.
- [68] Z. Zhao, M. Liu, ve K. Ramani, “DAR-Net: Dynamic aggregation network for semantic scene segmentation”, arXiv, 2019.
- [69] F. Liu, S. Li, L. Zhang, ve C. Zhou, “3DCNN-DQN-RNN : A Deep Reinforcement Learning Framework for Semantic”, IEE Int. Conf. Comput. Vision (ICCV) 2017, vol July, pp. 5678–5687, 2017.
- [70] Loic Landrieu<sup>1</sup> ve M. Simonovsky, “Large-scale Point Cloud Semantic Segmentation with Superpoint Graphs”, J. Exp. Theor. Phys., vol. 89, no 4, pp. 734–739, 2018.
- [71] L. Landrieu ve M. Boussaha, “Point cloud oversegmentation with graph-structured deep metric learning”, Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., vol. 2019-June, pp. 7432–7441, 2019.
- [72] L. Wang, Y. Huang, Y. Hou, S. Zhang, ve J. Shan, “Graph attention convolution for point cloud semantic segmentation”, Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., vol. 2019-June, pp. 10288–10297, 2019.
- [73] Y. Ma, Y. Guo, H. Liu, Y. Lei, ve G. Wen, “Global context reasoning for semantic segmentation of 3D point clouds”, Proc. - 2020 IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vision, WACV 2020, pp. 2920–2929, 2020.
- [74] Y. Li, R. Bu, ve X. Di, “PointCNN : Convolution On X -Transformed Points”, sayı NeurIPS, 2018.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Astrazon Red FBL Çözeltisinin Gama Işınlarıyla Renk Giderimi ve Detoksifikasyonu

 Ömer KANTOĞLU

<sup>a</sup> TENMAK, Nuclear Energy Research Institute, Kahramankazan, 06980 Ankara, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: omer.kantoglu@tenmak.gov.tr

DOI: 10.29130/dubited.1069909

### Öz

Bu çalışmada, Astrazon Red FBL boyasının sulu çözeltilerinin yüksek enerji ile etkileşimi sonrası renk giderimi ve detoksifikasyonu farklı deneysel koşullar altında (hava, doymun O<sub>2</sub>, 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) araştırılmıştır. Bu kapsamda renk giderme, mineralizasyon, detoksifikasyon, pH, KOİ ve BOİ<sub>5</sub> parametreleri takip edilmiştir. Biyobozunurluk (5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı/kimyasal oksijen ihtiyacı -BOD<sub>5</sub>/COD-) oranı, tüm çözeltiler için 2 kGy ışınlamada artmıştır. Astrazon Red FBL çözeltilerinin mineralizasyonunu ve renk giderimini sağlamak üzere hava için 5 kGy ve pH 9, doymun O<sub>2</sub> için 5 kGy ve pH 11, 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> için 7 kGy ve pH 11, optimum ışınlama koşulları olarak bulunmuştur. Yüksek enerjili ışınlarla muamele edilen Astrazon FBL çözeltilerinin toksisitesini ölçmek için microtox bioassay testi gerçekleştirilmiştir. Hava, doymun O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltileri için sırasıyla %81.2, %86.7 ve %56.3 oranlarında 5, 5 ve 7 kGy'de toksisite azalması sağlanmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, Astrazon Red FBL tekstil boyasının ışınlama teknolojisi ile artırımının gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Astrazon, radyasyon, renk giderimi, toksisite, mineralizasyon, KOİ, BOİ<sub>5</sub>

## Decoloration and Detoxification of Astrazon Red FBL Solution Using Gamma Rays

### ABSTRACT

In this study, decoloration and detoxification of Astrazon Red FBL dye solutions using gamma rays have been examined at different environments (air, O<sub>2</sub> saturated, 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). In this context, the decoloration, mineralization, detoxification, pH, COD and BOD<sub>5</sub> parameters were followed. Biodegradability (5 days of biological oxygen demand/ chemical oxygen demand -BOD<sub>5</sub>/COD-) ratio has been improved up on 2 kGy irradiation for all solutions. Optimum irradiation conditions were found to be 5 kGy pH 9 for air, 5 kGy pH 11 for O<sub>2</sub> saturated, 7 kGy pH 11 for 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> to provide mineralization and decoloration of Astrazon Red FBL solutions. Microtox bioluminescent test was conducted to measure the toxicity of Astrazon FBL solutions treated with high energetic rays. Toxicity reduction has been achieved at 5, 5 and 7 kGy in the range of 81.2, 86.7 and 56.3 % for air, O<sub>2</sub> saturated and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions, respectively. As a result of study, it is found that Astrazon Red FBL dye could be treated by irradiation technology.

**Keywords:** Astrazon, radiation, decoloration, toxicity, mineralization, COD, BOD<sub>5</sub>

## **I. INTRODUCTION**

Rapid growth of agricultural and industrial worldwide in connection with the increase in the world populations, accumulated the global concerns in the field of waste management such as remediation of industrial and municipal liquid and solid wastes. Textile industry is one of the main pollution contributors by producing of high volume of effluent. In last three decades, both the public and government encourage to improve and to replace current technologies with the new emerging technologies [1].

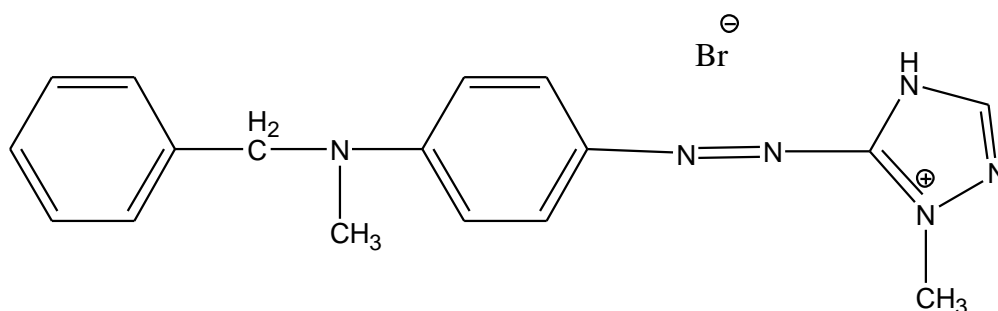
In this context, conventional techniques, such as electrochemical, ultrafiltration, Fenton, biological and enzymatic, sonochemical, coagulation, adsorption, supercritical water oxidation and reverse osmosis, are mostly applied to the removal of textile dyes containing wastewater. Generally, effluent of textile industries contains wide range of organic contents and color to gather with surfactants and additives, which are non-biodegradable and they don't meet the regulations by activated sludge treatment, which in turn results with considerably important environmental and health problems. In this context, decolorization of textile wastewater takes considerable of attention, whether for the potential toxicity of dye stuffs or coloration of the water resources [2-9]. Biological treatment is accepted as cost-effective, cheap and simple to apply regarding to other treatment methods [10, 11]. The conventional methods have some disadvantages and are not effective for total mineralization of recalcitrant species in wastewater [12]. In addition, low BOD<sub>5</sub>/COD ratio for colored pollutants indicates that mineralization of these kind of pollutants would be difficult by the common used treatment methods such as activated sludge processes, chemical coagulation and may cause serious aquatic problems in the environment [13-15]. In this context, researches have been begun to focus on new technologies and processes. Advanced oxidation processes (AOPs) are commonly used for the mineralization and for the enhancement of the biodegradability containing refractory and/or non-biodegradable contaminants. Radiation technology as a part of AOPs has been adopted for the treatment of the textile industry effluents [16]. •OH radicals with a high electrochemical oxidation potential are mainly used as oxidizing agents in these AOP methods and activate a set of reactions, which would destruct the high molecular weight dye molecules into smaller and less toxic compounds. Hydroxyl radicals can also be created by using plasma, UV radiation, gamma radiation, and electron beam radiation. Number of studies have been performed by radiation technology for the removal of colorants and mineralization of textile dyes such as disperse and reactive dyes [17-22]. Astrazon classified dyes are quite resistant to microbial disintegration. However, some dyes can be treated by anaerobic microorganisms. But those microorganisms may be affected by aromatic amine groups of the dye molecules in terms of their toxicity and carcinogenicity. In last three decades many studies have shown that radiation could be used for the decolorization of dyes and is promising for the treatment of dyeing wastewater.

One of the important criteria of treated and untreated wastewater is the toxicity. Toxicity tests help to understand which of the chemicals are toxic for living organisms and to determine the level of below the LOD of the analytical techniques for many toxic substances [23]. Toxicity test can be an indicator for toxic substance, which cannot be detected by any analytical system. In this context, some rapid test methods have been developed and standardized to better identify the toxicity level of contaminants available in wastewater. These rapid test methods are accepted as rapid screening methods by several countries. The rapid Microtox test, using the luminous marine bacteria *Vibrio fischeri*, is one of these test methods that is used world-wide and there are an extensive number of related scientific publications [24].

In this study, the possibility of discoloration (DDC (%)) and detoxification as well as mineralization of Astrazon Red FBL dye solutions by irradiation was investigated. Aqueous solutions of Astrazon Red FBL were evaluated for decoloration and mineralization as changing the absorbed dose between 0 and 9 kGy in air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions. The variation in pH, toxicity, COD and BOD<sub>5</sub> of the Astrazon Red FBL dye solutions were also studied.

## II. EXPERIMENTAL

Astrazon Red FBL (C.I. Basic Red 46) (Figure 1) was donated by Dystar Thai Co., Ltd (Singapore). Hydrogen peroxide was purchased from Merck (Germany). Solution samples were prepared at 200 ppm (Astrazon Red FBL) by using deionized water and irradiated to 0, 2, 5, 7 and 9 kGy doses under different experimental conditions (air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Decolorization of aqueous solution of Astrazon Red FBL was determined by the evaluation of absorption spectra with respect to applied doses and concentrations. The mineralization of dye was followed by pH and COD values. The biodegradability was followed in BOD<sub>5</sub> value, as well the changes in BOD<sub>5</sub>/COD ratio. On the other hand, dye solutions were subjected to bioluminescent toxicity test to better understanding of influent and effluent toxicity characteristics. Samples were irradiated at the dose rate of 1.714 kGy/h at room temperature using Issledovatel Px-γ-30 Russian made <sup>60</sup>Co gamma rays irradiator. The pH of the solutions was determined using Orion 510 pHmeter before and after irradiation. Absorbance measurements were performed by using Ati-Unicam 440 UV-Visible spectrophotometer operated with Vision32 software. COD was measured with the standard method of HACH and vials for COD 0 – 1500 mg/L by using HACH CR/890 colorimeter. BOD<sub>5</sub> analyses were performed with the standard method of HACH by using HACH Biotrak system and HACH BOD<sub>5</sub> incubator. Inoculum used freshly for BOD<sub>5</sub> tests was supplied by Ankara Municipal Wastewater Treatment Plant. Before using, activated sludge was first aerated for one day and then washed two times with tap water to remove remaining organics in the bulk liquid.



**Figure 1.** Chemical structure of Astrazon Red FBL (C.I. Basic Red 46.)

The degree of decoloration of dye solutions can be calculated by the following equation.

$$\text{DDC (\%)} = ((A_0 - A_i)/A_0) \times 100$$

A<sub>0</sub> and A<sub>i</sub> are the maximum absorbance (530 nm) in visible area of the dye solution before and after irradiation.

Toxicity tests of Astrazon Red FBL dye solutions were performed with lyophilized luminescent bacteria reagent *Vibrio fischeri*, reconstitution solutions by using Microtox 500 Toxicity analyzer (Modernwater). Test was performed according to the supplier's protocol using basic test mode [25]. The test allows the interaction between organisms and dye solutions and measures the percentage of bioluminescence light reduction at 5 and 15 min. The data obtained were EC<sub>50</sub> value, which is defined as the effective concentration of a wastewater sample that is a reduction in the emitted light of luminescent bacteria by a factor of 50 %. The results are expressed in terms of toxicity unit (TU). The TU is the inverse of its EC<sub>50</sub> value [25]. All values given in the text are an average of at least three measurements.

## III. RESULTS and DISCUSSION

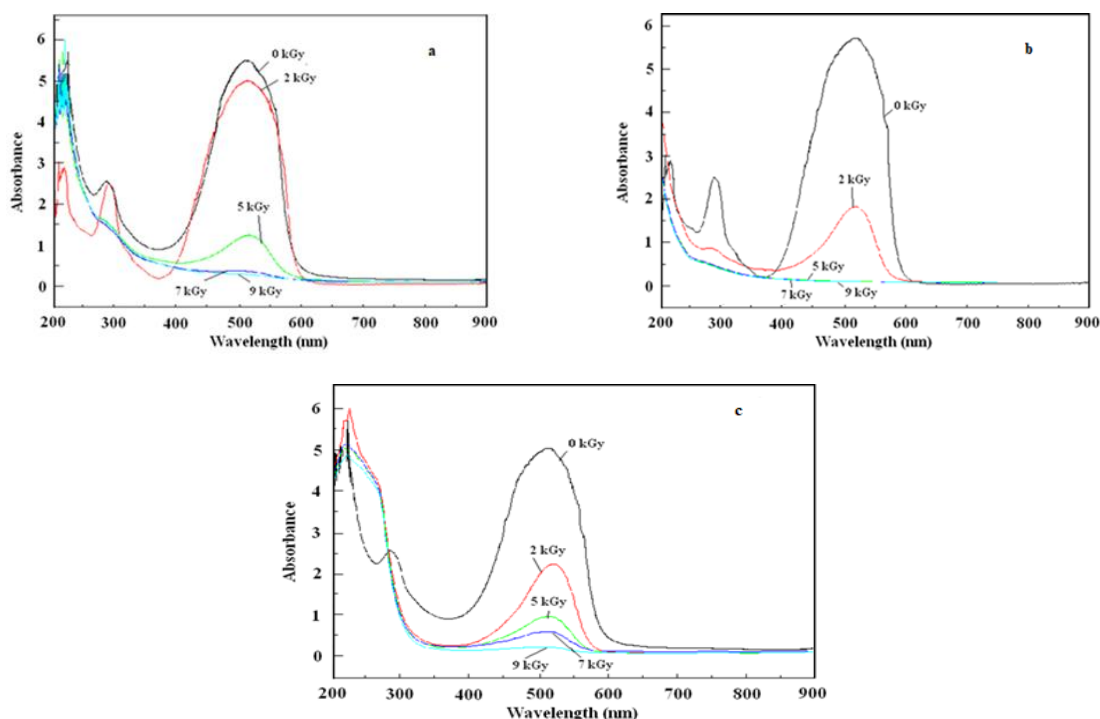
Synthetic textile wastewaters used in this study were prepared by using Astrazon Red FBL (200 ppm). The change of DDC (%) of dye solutions were examined by UV-Visible spectroscopy. All samples were

scanned between 200 – 900 nm for the determination of maximum absorbance wavelength. UV-Vis absorption spectrum of Astrazon Red FBL mainly shows single absorption peak in the visible region ( $\lambda_{\text{max}} = 530 \text{ nm}$ ). It arises due to the conjugation through hydrazyl unit. There is also a weak peak at 291 nm appeared because of the amine hyperconjugation of the  $\pi$  bond of aromatic ring on Astrazon Red FBL chemical structure, in turn leading to  $\pi - \pi^*$  transition. This peak disappeared with ring opening mechanism after irradiation.

### 3.1 Effect of radiation on the absorption characteristic of Astrazon Red FBL in aqueous solutions

Aqueous solutions of Astrazon Red FBL were irradiated at different experimental conditions, namely air,  $\text{O}_2$  saturated and 2.6 mM hydrogen peroxide by gamma rays at various doses and pHs. Absorption spectra of 200 ppm dye solution versus irradiation doses and conditions are demonstrated in Fig. 2. As seen at Fig.2, the singlet peak at 530 nm decreased with increasing doses. From Fig. 2, concentration of unirradiated and irradiated aqueous Astrazon Red FBL solutions was calculated and converted to DDC (%) by following the decrement at the absorption band of 530 nm and the results were graphed at Fig. 3.

Regarding to results in Figs. 2 and 3, the intensity of absorption band was decreased with increasing the absorbed doses, and finally disappeared at 5, 5, 7 kGy for air,  $\text{O}_2$  saturated and 2.6 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$  solutions, respectively. Results showed that the DDC (%) is almost identical for air and  $\text{O}_2$  saturated solutions. As seen in Figure 2a, there is still an absorption peak at 5 kGy. However, considering this DDC value, it is negligible. While the DDC value is 93.7 at 5 kGy, it is 95.2 at 7 kGy. The 1.5 percent difference is considered insignificant because of the 2 kGy to be gained from dose reduction in the industrial treatment of dyestuffs. The 2 kGy reduction in dose significantly reduces the treatment cost. At the same time, the obtained treatment efficiency is sufficient for discharge. For this reason, considering the operating cost and treatment quality, it is considered that it would be more feasible to apply a 5 kGy dose instead of a 7 kGy dose. A similar result is also valid in Figure 2c, and it was evaluated that it would be more feasible to administer a dose of 7 kGy instead of 9 kGy there.



**Figure 2.** UV-Vis spectra of Astrazon Red FBL dye solution under irradiation at (a) air, (b)  $\text{O}_2$  saturated and (c) 2.6 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

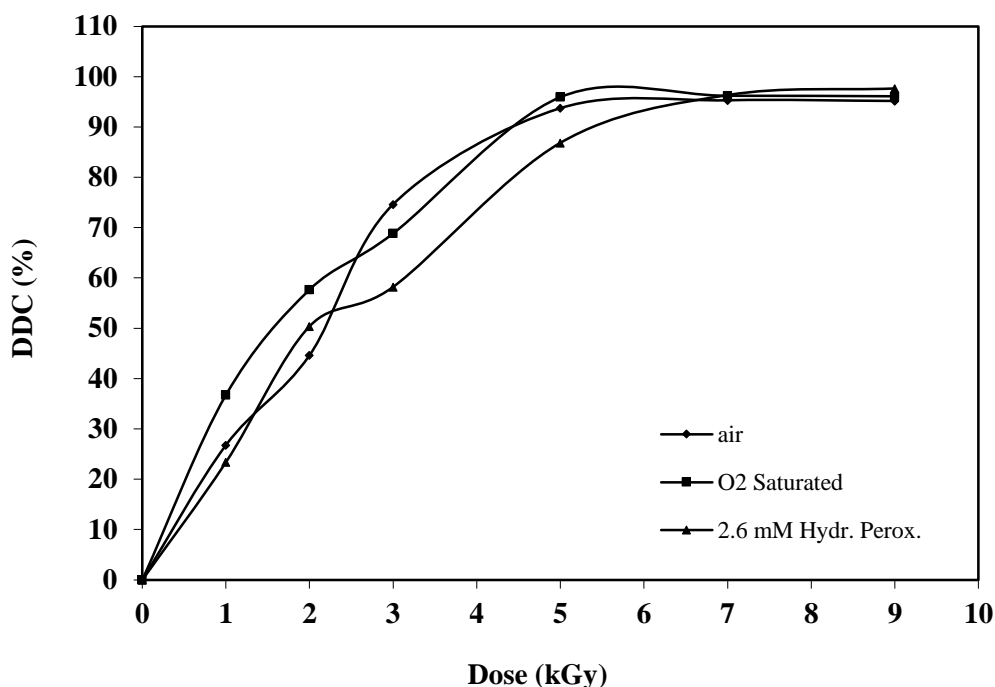


Figure 3. DDC (%) variation as a function of absorbed dose at air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Addition of hydrogen peroxide enhances the decoloration reaction. It interacts rapidly with hydrated electrons and leads to the formation of •OH radical. In this context, it is attributed to increment in •OH radical that the increase in the DDC. However, the increase of DDC (%) by addition of 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> is rather low than air and O<sub>2</sub> saturated solutions. Regarding to this result, dye chromophore groups are destructed further more by the •OH radical than the hydrated electrons despite of a part of the •OH radicals are scavenged by the excess hydrogen peroxide. Therefore, DDC value of dye solution with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> is lower than air and O<sub>2</sub> saturated solutions. In addition, hydrogen, •OH radicals and hydrated electrons react with the textile dye molecules with the diffusion controlled processes. During irradiation process, oxygen molecule reacts with the hydrogen atoms and hydrated electrons, which produces superoxide radical anions and peroxy radicals as defined below, respectively.



and



Thus dye molecule interaction with the hydrated electrons and hydrogen atoms is limited. During irradiation, hydroxyl radicals may generate the meaningful reduction in the red dye molecules. Both the addition reaction of hydroxyl radicals to phenyl rings at Astrazon Red FBL dye molecule (Figure 1) or H• abstraction from phenyl rings compete with each other [1]. The cyclohexadienyl type of radical was occurred by addition reaction of hydroxyl radicals to the phenyl rings at the Astrazon Red FBL [26]. These radicals (cyclohexadienyl type) attacked to dissolved oxygen and then, converted to CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O as shown in the following reaction [27-29].



### 3.2. Change in COD

The COD test is most widely used test to indirect measurement of the organic contents in

water/wastewater. The chemical oxygen demand (COD) is an indicative measure of the amount of oxygen that can be consumed by reactions in a measured solution. The initial COD values of aqueous dye solution of 200 ppm was measured as 279, 289, 210 mg/L for air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, respectively. They were subjected to gamma ray irradiation and measured values were shown in Table 1. When samples were exposed to gamma rays, a decrease in COD, or in other words, an increase in percent COD removal, was observed as a function of dose increment. COD % removal efficiency was calculated and found to be 94, 96, and 82% for air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, respectively. It is attributed to the dependency of COD removal efficiency to the absorbed dose. The COD removal characteristic has similar trend with the decoloration of dye molecules. Decoloration is merely discriminated by the disintegration of color centers on the conjugated electron structure of dye molecules. Post-irradiation after decoloration, aromatic ring is disintegrated to smaller molecules. At the beginning of the radiolysis, decomposition of Astrazon Red FBL molecules into the smaller molecules was initiated and it finally resulted with CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O upon excess irradiation. It was revealed at Table 1 that the reduction in COD increased as a function of applied dose. In addition, it is also noteworthy that the COD reduction against dose was observed a similar behaviour as in the case of DDC (%) versus dose. In this context, the disintegration of color centers in the molecules was responsible for the main cause of the discoloration. However, COD reduction mainly rely upon the complete mineralization of the dye stuffs by irradiation dose. The color center groups of molecule could be degraded by a low dose application in the initial stage of the decolorization process. But, this is going to be cause an incomplete mineralization of the dye molecule by the formation of smaller molecular weight intermediates upon incomplete degradation process. However, the partial mineralization at the beginning of the irradiation was turned to complete mineralization at 5, 5, and 7 kGy for air, O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions, respectively.

**Table 1.** COD, BOD<sub>5</sub> and biodegradability index of Astrazon Red FBL solution under irradiation.

Dose (kGy)	Air			O <sub>2</sub> saturated			2.6 mM H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		
	COD	BOD <sub>5</sub>	BOD <sub>5</sub> / COD	COD	BOD <sub>5</sub>	BOD <sub>5</sub> /COD	COD	BOD <sub>5</sub>	BOD <sub>5</sub> / COD
0	279	81	0.29	289	78	0.27	210	67	0.25
2	158	55	0.35	123	44	0.36	114	57	0.33
5	18	14	0.78	11	8	0.72	33	34	0.37
7	14	11	0.77	11	8	0.70	11	7	0.62
9	14	10	0.75	11	7	0.68	6	4	0.63

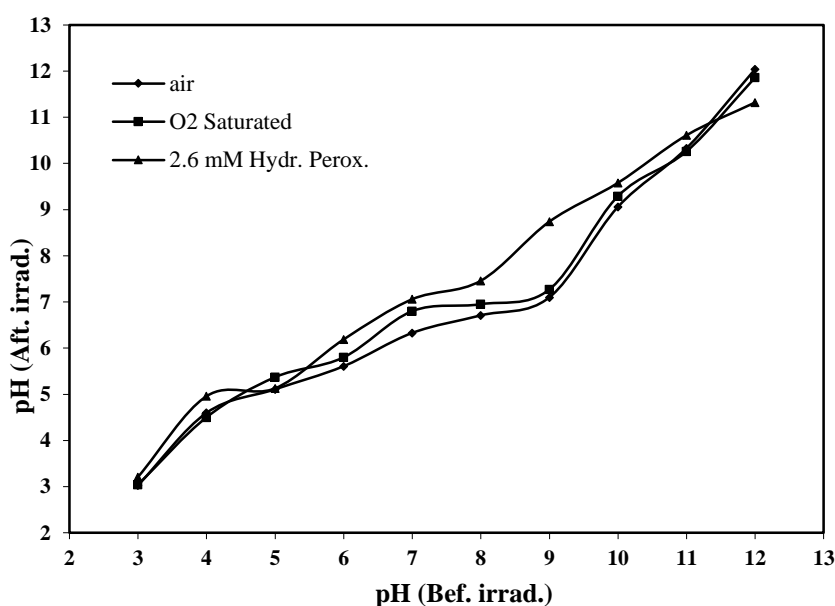
### 3.3. Change in pH

The change in pH was studied in two phases. First, pH before and after irradiation was monitored. Second, pH – DDC (%) relationship was followed at constant irradiation dose. Results of both studies are presented at Table 2. In the determination of pH variation during irradiation, pH of the solutions was fixed between 3 and 12, and dose was kept constant for each experimental conditions. After sample preparation, pH was immediately measured and irradiated to 0 – 9 kGy (Fig. 4). Then, pH was measured again. As depicted in Table 2 and Fig. 4, a negligible pH difference was observed. Only pH 9 of air and O<sub>2</sub> saturated conditions were deviated from the linearity. After irradiation, pH reduced to 7.1 and 7.3 by releasing or decomposing of some acidic group(s) from Astrazon Red FBL and it caused a shift of pH from basic to neutral (20). As it was seen from the curves of Fig. 5, maximum DDC (%) variation was found at pH 9, 11, and 11 for air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, respectively. Based on these pHs, dye was disintegrated to intermediate molecules and then were decolorized.

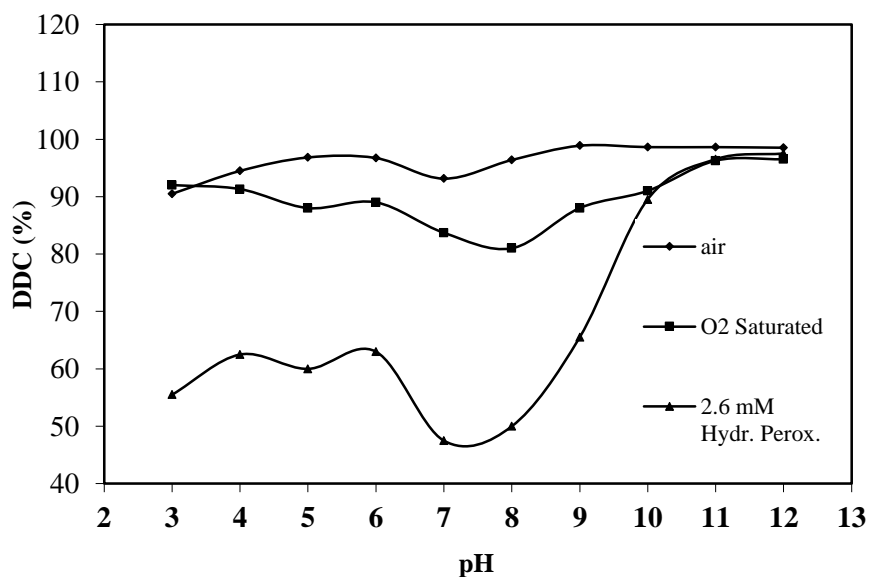


**Table 2.** The variation of pH and DDC (%) at optimized dose.

pH (Bef. Irrad.)	pH (Aft. Irrad.) ; DDC (%)		
	Air (5 kGy)	O <sub>2</sub> (5 kGy)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (7 kGy)
3.0	3.0 ; 90	3.04 ; 92	3.21 ; 55
4.0	4.6 ; 94	4.50 ; 91	4.96 ; 62
5.0	5.1 ; 97	5.37 ; 88	5.13 ; 60
6.0	5.6 ; 97	5.80 ; 89	6.19 ; 63
7.0	6.3 ; 93	6.80 ; 84	7.06 ; 47
8.0	6.7 ; 96	6.95 ; 81	7.46 ; 50
9.0	7.1 ; 99	7.27 ; 88	8.74 ; 65
10.0	9.1 ; 99	9.29 ; 91	9.58 ; 89
11.0	10.3 ; 99	10.26 ; 96	10.61 ; 96
12.0	12.0 ; 98	11.86 ; 96	11.32 ; 97



**Figure 4.** The change in pH before and after irradiation.



**Figure 5.** The pH effect on the DDC (%) at air (5 kGy), O<sub>2</sub> saturated (5 kGy) and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (7 kGy).

The DDC (%) is accepted to be a crucial parameter in the treatment of both dyeing and finishing effluents. Variation in the DDC (%) of the solution in various concentrations (10, 50, 100 and 200 ppm) at optimized irradiation conditions (air: pH=9, 5 kGy; O<sub>2</sub> saturated: pH=11, 5 kGy and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: pH=11, 7 kGy) presented in Table 3. As seen in Table 3, pH is relatively the same with the initial pH adjustment for O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> conditions. As observed in pH analysis, pH of aerated solutions was also dropped from 9 to 7 by irradiation. Some acidic release from dye might cause this pH deviation. However, DDC (%) of air saturated solutions is quite similar with O<sub>2</sub> saturated, but higher than the dye solution containing 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The decoloration has no pronoun dependence on pH and dye concentration. As a results under these treatment conditions, irradiation is an effective treatment process for the achievement of decoloration at any substrate concentration.

**Table 3.** Concentration effect on pH and DDC % at optimized pH and absorbed dose.

Conc. (ppm)	Air (pH:9;5 kGy)	O <sub>2</sub> (pH:11;5 kGy)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (pH:11;7 kGy)
	pH ; DDC %	pH ; DDC %	pH ; DDC %
10	7.1 ; 99	10.7 ; 86	11.3 ; 88
50	7.1 ; 99	10.8 ; 96	11.8 ; 94
100	7.4 ; 97	10.6 ; 94	11.6 ; 94
200	7.2 ; 98	10.7 ; 93	11.1 ; 95

### 3.4. Change in BOD<sub>5</sub>

BOD<sub>5</sub> is the amount of dissolved oxygen consumption by microorganisms to decompose the organic matters under aerobic conditions at 20 °C in five-days period. COD and BOD<sub>5</sub> values are a key element in the characterization of wastewater treatment process. They determine the effluent characteristics, whether they are suitable or are not to discharge. On the other hand, BOD<sub>5</sub>/COD is an indicator for biodegradability of wastewater where their ratio is smaller than 0.3 or higher than 0.8, it means that the effluent has a biodegradability problem, which is caused by different effects in nature [30, 31]. The BOD<sub>5</sub>/COD ratio (biodegradability index) of the 200 ppm dye solutions was summarized as a function of absorbed doses in Table 1. As could be seen from Table 1, the biodegradability index of the unirradiated 200 ppm Astrazon Red FBL solutions was measured to be 0.29, 0.27 and 0.25 for air, O<sub>2</sub> saturated, 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> conditions, respectively. Regarding to this result, it indicates that all the solutions prepared under different conditions are non-biodegradable. Table 1 shows that biodegradability index of 200 ppm solution was increased from 0.29 to 0.35 at 2 kGy; and at 9 kGy, it was become to 0.75. The results suggest that the non-biodegradable dye solutions are become biodegradable just expose to 2 kGy dose for each experimental conditions and their biodegradability are enhanced with increasing dose.

### 3.5. Bioluminescent toxicity test

Sterile deionized water and saturated air and oxygen as well as H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> were used in the preparation of samples. *Vibrio fischeri* is severely affected by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and emitted light less than samples saturated with air and oxygen solutions. Toxicity results as well as radiation efficiencies are summarized in Table 4. Observing the toxicity units (TU), it is possible to verify that Astrazon Red FBL was more toxic prepared in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solution than air and O<sub>2</sub> saturated solutions. The reason was assumed to be initial toxicity differences. After irradiation, the results show a dramatically decrease in acute toxicity for all solutions irradiated up to 9 kGy. As could be seen from Table 4, the dose of 5, 5 and 7 kGy is required to detoxify the dye solutions for air, O<sub>2</sub> and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions, respectively. In addition, the lower biodegradability index (<0.3) means that aqueous sample solution may also contain some toxic species [22]. This higher toxicity values of unirradiated samples may also be another factor that cause the increase in toxicity. When the detoxification rate was compared, toxicity reduction was found to be in the order of Air ≥ O<sub>2</sub> > H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions.

**Table 4.** Toxicity of Astrazon Red solutions under irradiation.

Dose (kGy)	EC <sub>50</sub>			TU			Toxicity Reduction (%)		
	Air	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Air	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Air	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
0	5.2	5.2	3.1	19.2	19.2	32.3	0.0	0.0	0.0
2	9.1	12.3	3.9	11.0	8.1	25.6	42.9	57.7	20.5
5	27.6	39.2	4.9	3.6	2.6	20.4	81.2	86.7	36.7
7	28.6	38.2	6.5	3.5	2.6	15.4	81.8	86.4	52.3
9	28.1	36.9	5.7	3.6	2.7	17.5	81.5	85.9	45.6

As it was observed in decoloration studies, the toxicity characteristic of aerated and O<sub>2</sub> saturated solution was quite similar. The above studies encourage the high energy induced treatment method for decoloration and detoxification of dye influents coming from textile industries.

## **IV. CONCLUSION**

Decoloration, detoxification and mineralization of Astrazon Red FBL in aqueous solutions exposed to ionizing radiation has been studied. In this context, aqueous solutions of Astrazon Red FBL were irradiated at various doses in different experimental conditions, namely air, O<sub>2</sub> saturated, 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Dose, pH, decoloration, toxicity, COD and BOD<sub>5</sub> removal have been followed to determine optimum irradiation conditions. Dose and pH were optimized to be 5 kGy pH 9 at air, 5 kGy pH 11 at O<sub>2</sub> saturated, 7 kGy pH 11 at 2.6 mM hydrogen peroxide for Astrazon Red FBL. In addition, an enhancement on the biodegradability (BOD<sub>5</sub>/COD) index was observed at 2 kGy for Astrazon Red FBL in all irradiation conditions.

In this study, the decoloration, detoxification and mineralization of cationic Astrazon Red FBL dye under irradiation was experienced and the dye is found to be easily decolorated. In the achievement of decoloration, detoxification and mineralization for textile dyes, it was revealed that irradiation process itself or irradiation process combined by air, oxygen or hydrogen peroxide could be used successfully. When it is compared in terms of the irradiation efficiency and the feasibility, irradiation at air has advantages like low dose applications, and chemical consumptions as well as less auxiliary equipment requirements. As a final conclusion, dose of 5, 5 and 7 kGy is sufficient for the complete decoloration, detoxification and mineralization of Astrazon Red FBL dye in air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 Mm H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions, respectively.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** The author thanks to both Turkish Energy, Nuclear and Mining Research Agency (A4.H1.F12) and International Atomic Energy Agency (IAEA-TUR/8/017) for financially support.

## **V. REFERENCES**

- [1] A. Aleboyed, H. Aleboyeh, and Y. Moussa, "Decolorisation of acid blue 74 by ultraviolet/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 1, no. 3, pp. 161–164, 2003.
- [2] S.F. Kang and H.M. Chang, "Coagulation of textile secondary effluents with Fenton's Reagent," *Water Science and Technology*, vol. 36, no. 12, pp. 215–222, 1997.
- [3] H.Y. Shu and M.C.J. Chang, "Pre-ozonization coupled with UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process for the decolorization and mineralization of cotton dyeing effluent and synthesized C.I. Direct Black 22 wastewater," *Journal of Hazardous Materials*, vol. B121, no. 1-3, pp. 127–133, 2005.

- [4] F. Zidane, P. Drogui, B. Lekhlif, J. Bensaid, J. Blais, S. Belcadi and K.J. Kacemi, "Decolourization of dye-containing effluent using mineral coagulants produced by electro-coagulation," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 155, pp. 153–163, 2008.
- [5] J.H. Mo, Y.H. Lee, J. Kim, J.Y. Jeong and J. Jegal, "Treatment of dye aqueous solutions using nanofiltration polyamide composite membranes for the dye wastewater reuse," *Dyes and Pigments*, vol. 76, pp. 429–434, 2008.
- [6] S. Souza, E. Forgiarini and A. Souza, "Toxicity of textile dyes and their degradation by the enzyme horse radish peroxidase (HRP)," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 147, pp. 1073–1078, 2007.
- [7] C. Wu, "Decolorization of C.I. reactive red 2 in O<sub>3</sub>, Fenton-like and O<sub>3</sub>/Fenton like hybrid Systems," *Dyes and Pigments*, vol. 77, pp. 24–30, 2008.
- [8] M. Panizza and G. Cerisola, "Removal of colour and COD from wastewater containing acid blue 22 by electrochemical oxidation," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 153, no. 1-2, pp. 83–88, 2008.
- [9] G.J. Brunner, "Near and supercritical water. Part II: oxidative processes, review," *Supercritical Fluids*, vol. 47, pp. 382–390, 2009.
- [10] J.L. Morias and P.P. Zamora, "Use of advanced oxidation process to improve the biodegradability of mature landfill leachate," *Journal of Hazardous Materials*, vol. B123, pp. 181–186, 2005.
- [11] T.H. Kim, C. Park, J. Lee, E.B. Shin and S. Kim, "Pilot scale treatment of textile wastewater by combined process (fluidized biofilm process-chemical coagulation-electrochemical oxidation)," *Water Research*, vol. 36, pp. 3979–3988, 2002.
- [12] M. Noorjahan, M. Pratap Reddy, V. Durga Kumari, B. Lave' drine, P. Boule and M. Subrahmanyam, "Photocatalytic degradation of H-acid over a novel TiO<sub>2</sub> thin film fixed bed reactor and in aqueous suspensions," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 156, pp. 179–187, 2003.
- [13] I. Arslan and I.A. Balcioglu, "Degradation of commercial reactive dye stuffs by heterogenous and homogenous advanced oxidation processes: a comparative study," *Dyes and Pigments*, vol. 43, pp. 95–108, 1999.
- [14] M. Koch, A. Yediler, D. Lienert, G. Insel and A. Kettrup, "Ozonation of hydrolyzed azo dye reactive yellow 84(CI)," *Chemosphere*, vol. 44, pp. 109–113, 2002.
- [15] G.M. Shaul, C.R. Dempsey and K.A. Dostal, "Fate of water soluble azo dyes in the Activated Sludge Process," United State Environmental Protection Agency, Water Engineering Research Laboratory, USA, Project summary no. EPA/600/S2-88/30, 1988.
- [16] B. Han, J. Kim, Y. Kim, J.S. Choi, I.E. Makarov and A.V. Ponomarev, "Electron beam treatment of textile dyeing wastewater: Operation of pilot plant and industrial plant construction," *Water Science and Technology*, vol. 52, no. 10-11, pp. 317-324, 2005.
- [17] N. Getoff, "Radiation chemistry and the environment," *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 54, pp. 377–384, 1999.
- [18] N.M. Mahmoodi, N.Y. Limaee, M. Arami, S. Borhany and M.J. Mohammad-Taheri,

“Nanophotocatalysis using nanoparticles of titania. mineralization and finite element modelling of solophenyldye colorization,” *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 189, pp. 1–6, 2007.

[19] A. Doubla, L.B. Bello, M. Fotso and J.L. Brisset, “Plasmochemical decolourisation of bromothymol blue by gliding electric discharge at atmospheric pressure,” *Dyes and Pigments*, vol. 77, pp. 118–124, 2008.

[20] M. Wang, R. Yang, W. Wang, Z. Shen, S. Bian and Z. Zhu, “Radiation-induced decomposition and decoloration of reactive dyes in the presence of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,” *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 75, pp. 286–291, 2006.

[21] T. Ting and N. Jamaludin, “Decolorization and decomposition of organic pollutants for reactive and disperse dyes using electron beam technology: effect of the concentrations of pollutants and irradiation dose,” *Chemosphere*, vol. 73, pp. 76–80, 2008.

[22] Ö. Kantoğlu, “Decoloration and mineralization of aqueous solution of cationic (basic) dye Astrazon Black FDL by using gamma rays,” *Radiochimica Acta*, vol. 105, no. 3, pp. 241-248, 2017.

[23] D. De Zwart and A.J. Folkerts, “Monitoring the toxicity of organic compounds dissolved in Rhine water,” *Hydrobiology Bulletin*, vol. 24, no. 1, pp. 5-12, 1990.

[24] M.E. Lebsack, A.D. Anderson, C.M. Degraeve, and H.L. Bergman, “Comparison of Bacterial luminescence and fish bioassay result for fossil –fuel process waters and phenolic constituents,” *Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Fourth Conference*, 1981, pp 348-356.

[25] *Basic Test, Azur Environmental Ltd, Microtox User Manual*, pp. 23-33, 1998.

[26] L. Wojnarovits, T. Palfi, E. Takacs, and S.S. “Emmi, Reactivity differences of hydroxyl radicals and hydrated electrons in destructing azo dyes,” *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 74, pp. 239–246, 2005.

[27] S. Hammami, N. Bellakhal, N. Oturan, M.A. Oturan, and M. Dachraoui, “Degradation of acid orange 7 by electrochemically generated OH radicals in acidic aqueous medium using a boron-doped diamond or platinum anode: a mechanistic study,” *Chemosphere*, vol. 73, pp. 678–684, 2008.

[28] J. Yang, J. Dai, C. Chen, and J. Zhao, “Effects of hydroxyl radicals and oxygen species on the 4-chlorophenol degradation by photoelectrocatalytic reactions with TiO<sub>2</sub>-film electrodes,” *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 208, pp. 66–77, 2009.

[29] J. Paul, K.P. Rawat, K.S.S. Sarma, and S. Sabharwal, “Decoloration and degradation of Reactive Red-120 dye by electron beam irradiation in aqueous solution,” *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 69, pp. 982-987, 2011.

[30] J. Garcia-Montano, F. Torrades, J.A. Garcia-Hortal, X. Domenech, and J. Peral, “Combining photo-Fenton process with aerobic sequencing batch reactor for commercial hetero-bireactive dye removal,” *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 67, pp. 86–92, 2006.





[31] Ö. Kantoğlu, “Effects of high energetic radiation on the removal and detoxification of cationic dye Astrazon Blue FGRL,” *Turkish Journal of Nuclear Sciences*, vol. 33, no. 1, pp. 1-14, 2021.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## *Cotinus coggygia Scop.* (Peruka Çalısı) Bitkisinden Elde Edilmiş Bitki Ekstraktı ile Boyanmış Yünlü Kumaş Numunelerinin Boyama Özelliklerinin İncelenmesi

 Kadri AKÇALI<sup>a,\*</sup>,  Meliha OKTAV BULUT<sup>b</sup>,  Bilge TUNÇKOL<sup>c</sup>,  Gözde BUHARALI<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Ulus Meslek Yüksekokulu, Bartın Üniversitesi, Bartın, TÜRKİYE*

<sup>b</sup> *Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE*

<sup>c</sup> *Ormancılık Bölümü, Ulus Meslek Yüksekokulu, Bartın Üniversitesi, Bartın, TÜRKİYE*

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: akcali@bartin.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1076850

### Öz

Tekstil boyamacılığı üzerine son yıllarda gerçekleştirilen bilimsel çalışmalarda özellikle doğal esaslı malzemelerin kullanımı ile elde edilen olumlu sonuçlara paralel olarak çevresel zararı en aza indiren teknolojilerin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Tekstil ürünlerinin boyanma işlemleri sırasında yüksek miktarlarda sentetik boyarmadde, kimyasal madde ve su kullanımı çevresel olarak yüksek oranda kirlilik meydana gelmesine neden olmaktadır. Sentetik renklendiricilerin kullanımı özellikle insan sağlığı açısından toksik etki göstermekte, ayrıca elde edilen atıkların biyobozunur olmaması nedeniyle çevreye verdiği zarar göz önüne alındığında, doğal esaslı renklendiricilerin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında; Bartın florasında doğal olarak yayılış yapan *Cotinus coggygia Scop.* (Peruka Çalısı) bitkisinden elde edilen ekstraktlar kullanılarak yün esaslı kumaş numunelerinin boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dört farklı mordanlama kimyasalı kullanılarak, ön mordanlı ve mordanlı şekilde yapılan boyama işlemleri sonrasında elde edilen numunelerin renk ölçümleri, kuru/yaş sürtme haslıkları, yıkama haslıkları ve asidik ve alkali ter haslıkları değerleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Cotinus coggygia Scop.*, *Peruka çalısı*, *Ekolojik boyama*, *Bitki ekstraktı*, *Yün boyama*, *Boya bitkisi*

## Investigation of Dyeing Properties of Woolen Fabric Samples Dyed with Plant Extract Obtained from *Cotinus coggygia Scop.*

### ABSTRACT

In scientific studies carried out on dyeing of textile materials in recent years, it is aimed to develop technologies that minimize environmental damage in parallel with the positive results obtained especially by the use of natural based materials. The use of high amounts of synthetic dyestuffs, chemicals and water in dyeing and finishing processes of textile products cause environmental pollution at high rates. Considering the toxic effect of the use of synthetic colorants especially on human health and the environmental damage caused by the lack of biodegradable wastes, the use of natural colorants is of great importance. Within the scope of manuscript; dyeing of wool based fabric samples were be carried out using the extract obtained by using *Cotinus coggygia Scop.*, which naturally spreads in the flora of Bartın. The color measurements, dry/wet rubbing fastnesses, washing fastnesses and acidic and alkaline perspiration fastness values of the samples obtained after dyeing processes with pre-mordant and meta-mordanting using four different mordanting chemicals were determined.

**Keywords:** *Cotinus coggygia Scop.*, *Young fustic*, *Ecological dyeing*, *Plant extract*, *Wool dyeing*, *Dye plant*.

## I. GİRİŞ

Günümüz ekolojik ve ekonomik sorumlulukları her bilimsel alan ve sektörde olduğu gibi tekstil sektörü ile bu alanda çalışmalar gerçekleştiren tüm bilimsel disiplinleri de yakından ilgilendirmektedir. Bu durum tekstil alanında hammaddeyi nihai ürün elde edilmesine kadar geçen süreçte özellikle çevresel anlamda dost, düşük maliyetli ve alternatif yöntemlerin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmaların ana odak noktasını oluşturmaktadır. Tekstil üretimi birçok farklı aşamadan meydana gelmekte olup her bir aşamada oluşan atık miktarı ve maliyetler nedeni ile kullanımı söz konusu olan klasik yöntemlerin yerine alternatif yöntemlerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır.

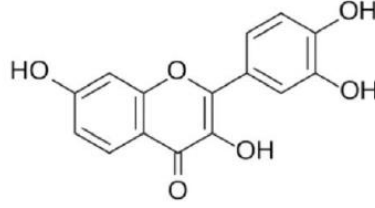
Tekstil boyamacılığı ve bitim işlemleri sırasında yaygın şekilde sentetik esaslı renklendirici ve yardımcı kimyasalların kullanımı söz konusudur. Bunun sonucunda çevresel ölçekte kirliliğin olduğu yapılan farklı disiplinlere ait çalışmalarda özellikle ortaya konulmuştur. Bitkisel kökenli doğal ürünler bol bulunabilirlik, doğaya uyum, düşük toksisite, yeşil ve çevre dostu yapıları ile tüm dünyada kullanımlarına dair büyük bir popülariteye sahiptir. Bu durum özellikle doğal esaslı renklendiricilerin kullanımı konusunda gerçekleştirilen çalışmaların temel noktasını oluşturmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde doğal esaslı farklı materyalleri tekstil alanında kullanımı ile nihai ürünün fiziksel özelliklerinin geliştirilmesinin yanı sıra UV koruma, yanmazlık, antibakteriyellik, antimikrobiyalite, koku ve aroma ile çevresel zararlılara karşı koruma gibi farklı ek özelliklerin katıldığı bilinmektedir [1]-[8]. Özellikle belirtilen süreçlerde ortaya çıkan atıkların biyobozunur özelliklere sahip olmamaları sonucu; günümüz ekolojik sorumluluklarına ters düşen oranda çevresel zararlar meydana gelmektedir. Ayrıca kullanıcı, yani insan üzerinde uzun süreli oluşturdukları toksik etkiler göz önüne alındığında sağlık açısından da tartışılır bir noktada oldukları bilinmektedir. Kullanılan sentetik tabanlı boyarmadde ve kimyasalların kullanımı yüksek maliyetleri nedeniyle ülkesel ekonomiye belli ölçekte zarar vermekte bu durumda sürecin diğer bir olumsuz noktası olarak değerlendirilebilir [9]-[11].

Tekstil boyama işlemleri üzerine yapılan çalışmalar geniş oranda çevreye dost ve düşük maliyetli üretim süreçlerinin geliştirilmesi ve uygulanabilirliğinin araştırılması üzerinedir. Tarihsel olarak değerlendirildiğinde antik geçmişten bu yana kullanılan doğal esaslı renklendirici malzemelerin kullanımı sanayi devrimi ve sonrası ortaya çıkan yoğun üretim süreçleri sonucu kullanımı başlayan sentetik malzemeler ile geri plana itilmiş olsa da günümüzde tekrar sahip oldukları değeri kazanmakta ve yeniden tercih edilir hale gelmektedir [12]-[15].

Ülke coğrafyamız incelendiğinde zengin bir bitkisel biyolojik çeşitliliğe sahip olduğumuz bilinmektedir. Bu durum geçmişten günümüze farklı özelliklere sahip bitki türlerinin yaprak, meyve ve kök gibi farklı bölümlerinin ormancılık, ziraat, tıbbi ve tekstil gibi alanlarda yaygın şekilde kullanımını sağlamıştır. Gerçekleştirilen çalışmanın ana odak noktasını da bu temel oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında Bartın ili florasında doğal olarak yayılış yapan *Cotinus coggygia* türü kullanılarak yünlülük tekstil materyallerinin boyanma ve haslık özellikleri değerlendirilmiştir.

Bu tür Asya ve Avrupa'da geniş bir yayılışa sahip, ülkemizde ise Zonguldak, Bartın, İstanbul, Samsun, Artvin, Erzincan, Kars, Muğla, Adana, Kahramanmaraş, Tunceli ve Şanlıurfa çevrelerindeki maki, çalılık ve orman alanı kenarlarında 0-1400 m yükseltiler arasında yayılış yapmaktadır. Anacardiaceae (Sakız ağacıgiller) familyasının *Cotinus* cinsine ait bu tür 5 m'ye kadar boylanabilen kışın yaprak döken bir çalı türüdür. Sürgünleri çıplak, parlak zeytin yeşili-esmer renklidir. Nisan-Haziran ayları arasında çiçeklenen bu türün sürgünlerinin uç kısmında büyük bileşik salkım şeklinde kurul oluşturan küçük çiçekleri bulunmaktadır [16],[17].

Türkçe adı Peruka çalısı olan bu tür antik roma döneminden itibaren doğal renklendirici olarak kullanılmaktadır. Özellikle orta çağ Avrupası'nda deri ve ipek boyaması üzerine sarı renk eldesi için kullanımı söz konusudur. Önemli bir flavonid ve tanen kaynağıdır. Bitkinin yapısında ana renklendirici olarak fisetin bulunmakta olup, mirisetin, kersetin, kaempferol ve bazı flavonol glikozitler, antosiyaninler ve tanen içerir [13],[18],[19].



*Şekil 1. Fisetin [19].*

Çalışmada; peruka çalısı bitkisinden elde edilen bitki ekstraktları ile ön mordanlı ve aynı boya banyosu içerisinde mordan ve renklendiricinin yer aldığı iki farklı boyama yöntemi kullanılarak ham yünlü kumaş numunelerinin boyama işlemi gerçekleştirilmiş olup, boyama sonrası numunelerin renk ölçümleri, yıkama haslıkları, asidik ve bazik ter haslıkları, kuru ve yaş sürtme haslıkları değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar peruka çalısı ile gerçekleştirilen yünlü kumaş boyama işleminin farklı bir doğal esaslı boyama yöntemi olarak değerlendirilmesi noktasında olumlu sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

## **II. MATERYAL VE METOT**

### **A. MATERYAL**

Bu çalışmada kullanılan boyamaya hazır %100 yünlü süprem örgü kumaş numuneleri (142 g/m<sup>2</sup>) Gentuğ Tekstil Ürünleri San. Ve Tic. A.Ş. (Düzce) firmasından temin edilmiştir. Boyama işlemleri için dört farklı mordanlama kimyasalı kullanılmış olup bunlar; demir sülfat (FeSO<sub>4</sub>, Sigma Aldrich), bakır sülfat (CuSO<sub>4</sub>, Sigma Aldrich), potasyum dikromat (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, Sigma Aldrich) ve alüminyum sülfat (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, Isolab) şeklindedir.

### **B. METOT**

#### **B. 1. Bitki Ekstraktlarının Hazırlanma İşlemi**

Çalışma kapsamında kullanılan peruka çalısına ait vejetatif ve generatif organları içeren bitki örnekleri vejetasyon dönemi içerisinde vejetatif ve generatif organlarından doğal esaslı boyarmadde eldesi amacı ile toplanmıştır. Toplanan örneklerin araştırma kapsamında yeterli miktarda ve iyi kurutulmuş olmalarına dikkat edilmiştir. Örneklerin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için sağlıklı kurutulmaları gerekir. Bunun için bitki örneklerinin kurutulmasında tahta çıtaldan yapılmış olan presler (38 x 28 cm) bitki örneklerinin kurutulmasında kullanılmıştır. Nisan 2020–Haziran 2021 tarihleri arasında bitki örneklerinin toplanması amacıyla 4 arazi çalışması yapılmış ve bitki örnekleri toplanmıştır. Arazi çalışması esnasında bitkilerin toplandıkları alanların konumları ve yükseltileri GPS yardımı ile belirlenmiş ve arazi defterine kaydedilmiştir. Konumların yanı sıra alanı tanımlayan önemli notlar, toplanma tarihleri, örnek numaraları ve bitkiye ait özellikler de arazi defterine kaydedilmiştir. Örnekler yukarıdaki özelliklere uygun olarak preslerde gazete kâğıtları arasında kurutulmuştur. Gazete kâğıtları her gün düzenli olarak değiştirilerek bitkinin sağlıklı bir şekilde kuruması sağlanmıştır. Tekniğine uygun olarak kurutulan bitki örnekleri Bartın Üniversitesi Ulus MYO Bitki Materyali Laboratuvarına getirilerek böcek, böcek yumurtaları ve mantar zararlılarından arındırılması için üç gün -24°C’de şoklama yapılarak bekletilmiştir [20]. Bitkiler şoklandıktan sonra sonraki aşamalarda kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

Kurutma ve şoklama işlemleri sonrası kullanıma hazır haldeki bitki örnekleri proselen havan vasıtası ile dövülerek homojen bir bitki tozu elde edilmiştir. Bitki ekstraktları hazırlama işlemi genel literatür taraması sonucunda elde edilen oranlar dikkate alınarak için 1:20 flote oranı (1g bitki materyali 20 mL distile su) kullanılarak bitki tozunun distile su içerisinde 98°C sıcaklıkta geri soğutucu sistemde



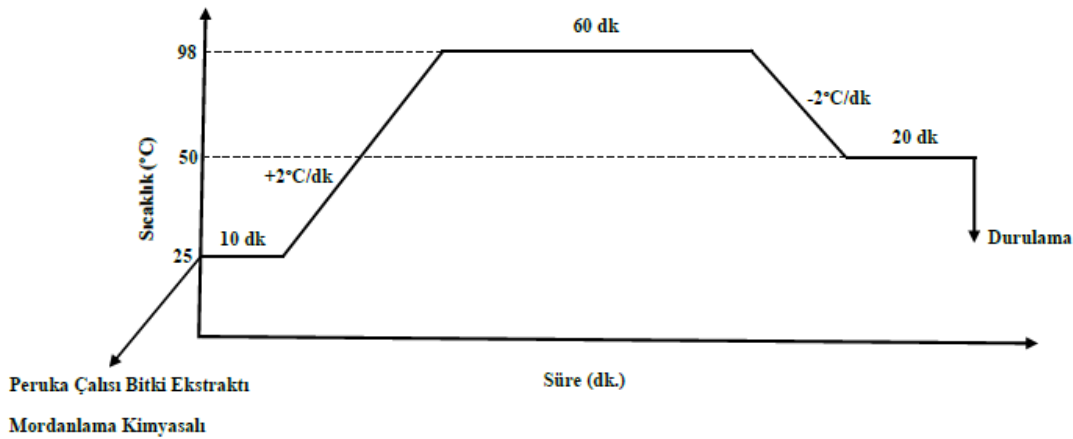
kaynatılması gerçekleştirilerek elde edilen karışım 24 saat süresince oda sıcaklığında bekletilmiştir [1]-[8], [15], [21], [22]. Oda sıcaklığında bekletme işlemi sonrası bitki artıklarının karışımdan süzülmesi için kalitatif filtre kağıdı kullanılmıştır.

## B. 2. Mordanlama ve Boyama İşlemleri

Yünlü kumaş numunelerinin boyama işlemi iki farklı proses kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunlar ön mordanlama ve sonrası boyama işlemi ile mordan malzemesinin direk olarak boyama banyosuna eklenmesi şeklindedir. Tüm boyama işlemlerinde dört farklı mordan kimyasalı olarak demir sülfat, bakır sülfat, alüminyum sülfat ve potasyum dikromat kullanılmıştır. Boyama işleminde mordan kullanımının genel amacı doğal renklendiricilerin sahip olduğu OH, NH<sub>2</sub>, COOH gibi gruplar ile tekstil liflerinin sahip olduğu aktif grupların (-OH, -SO<sub>3</sub>H, -COOH, -NH, -NH<sub>2</sub> vb.) kompleks oluşturmasının sağlanmasıdır. Yün lifi, keratin olarak bilinen yün maddesiyle ilişkili -NH ve NH<sub>2</sub> gruplarının baskın olduğu ve korteks hücrelerinden (yünün ağırlığının %90'ı) ve kütikül hücrelerinden (yünün ağırlığının %10'u) oluşan, hayvansal kökenli bir amino lifidir [5]. Mordanlama kimyasallarının kullanım oranları için geçmiş literatür çalışmaları incelenmiş ve oranlar belirlenmiştir [3],[7],[8],[15],[21],[22]. Yapılan geçmiş çalışmalar ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sonucunda alüminyum sülfat işleme alınan yünlü kumaş numunesi ağırlığının %3 ve %5'i oranlarında, demir sülfat, bakır sülfat ve potasyum dikromat ise yine işleme alınan yünlü kumaş numunelerinin %2 ve %4'ü oranlarında kullanılmıştır.

Ön mordanlama işlemine alınacak kumaş numuneleri boyama işlemi öncesinde belirlenen oranlarda mordan kimyasalı kullanılarak 1:20 flote oranında 98°C sıcaklıkta 1 saat süre ile işleme tabi tutulmuştur. Ön mordanlama işlemi sonrası tüm numuneler durulanarak oda sıcaklığında 24 saat süre ile kurutmaya bırakılmıştır.

Ön mordanlı ve tek adım mordanlı olarak gerçekleştirilen tüm boyama işlemleri Pro Ser Y013 laboratuvar tipi kızılötesi boyama makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boyama işlemlerinde kullanılan boyama grafiği Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Peruka Çalısı Ekstarktı Boyama Grafiği

Tüm boyama işlemleri sonucunda kumaş numuneleri 2g/L non-iyonik deterjan ile 40°C sıcaklıkta 10 dakika süre ile yıkama işlemine alınmış ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

## B. 3. Renk Ölçümleri

Yünlü kumaşlara ait renk ölçümleri Minolta CM-700d spektrometresi kullanılarak CIE L\*a\*b\* sisteminde 400 – 700 nm dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir. CIE L\*a\*b\* sistemine göre L\* değeri numunenin sahip olduğu rengin parlaklık değerini, a\* değeri kırmızılık-yeşillik eksenindeki değerini, b\* değeri ise numunenin sahip olduğu rengin sarılık-mavilik ekseninde sahip olduğu değeri

ifade etmektedir. Ayrıca renk ölçümü sonucu aşağıda verilen denklem 1 ve denklem 2 kullanılarak  $c^*$  kroma koordinatı ve  $h^\circ$  özgül ton (hue) açısı değerleri hesaplanmıştır [5],[23].

$$c^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2)$$

#### B. 4. Haslıkların Belirlenmesi

Çalışma kapsamında ön mordanlı ve mordanlı olarak peruka çalısı ekstraktı ile boyama işlemine alınan kumaş numunelerinin BS EN ISO C06 standardına uygun olarak yıkama haslıkları, BS EN ISO 105 X12 standardına uygun olarak kuru yaş sürtme haslıkları ve ISO 105 E04 standardına uygun olarak asidik ve bazik ter haslıkları değerleri belirlenmiştir. Tüm haslık ölçümleri öncesinde boyalı kumaş numunelerinin atmosferik şartlar altında ( $20^\circ\text{C} \pm 2$  sıcaklık ve  $\%65 \pm 4$  nem) 24 saat süre ile kondisyonlaması gerçekleştirilmiştir.

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### A. RENK ÖLÇÜMÜ DEĞERLERİ

Ön mordanlamalı ve tek adımda mordanlı şekilde yapılan iki farklı boyama işlemi sonucunda elde edilen renk ölçüm değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

*Tablo 1. Yünlü kumaş numunelerine ait renk ölçüm değerleri*















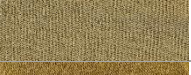
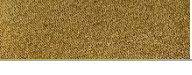
Mordan	Mordanlama İşlemi	Mordan Konsantrasyonu (%)	L*	a*	b*	c*	h°	
İşlemsiz Kumaş			87,92	1,20	11,15	11,21	83,87	
Peruka Çalısı Ekstraktlı Boyama Numuneleri	Alüminyum sülfat	Ön	3	69,64	0,41	31,82	31,83	89,27
		Mordanlama	5	68,41	0,78	26,53	26,54	88,32
		Mordanlı Boyama	3	66,19	2,91	40,68	40,79	85,91
	Demir sülfat	Ön	5	61,15	4,02	38,81	39,02	84,08
		Mordanlama	2	31,50	2,63	3,26	4,19	71,17
		Mordanlı Boyama	4	34,70	2,59	7,81	8,23	71,68
	Bakır sülfat	Ön	2	41,32	1,79	4,93	5,25	70,09
		Mordanlama	4	35,60	0,82	3,82	3,91	77,88
		Mordanlı Boyama	2	58,36	3,72	23,49	23,78	81,00
	Potasyum dikromat	Ön	4	54,29	4,76	24,75	25,21	79,11
		Mordanlama	2	46,86	7,01	26,11	27,03	74,96
		Mordanlı Boyama	4	44,57	7,70	25,96	27,08	73,47
Potasyum dikromat	Ön	2	69,40	2,94	19,12	19,34	81,26	
	Mordanlama	4	68,53	3,39	21,54	21,81	81,07	
	Mordanlı Boyama	2	54,71	5,70	28,66	29,22	78,75	
Potasyum dikromat	Ön	4	54,49	5,82	25,14	25,81	76,96	
	Mordanlama	2						
	Mordanlı Boyama	4						

Tablo 1 incelendiğinde farklı mordan kimyasalları ve mordanlama yöntemi kullanılarak yapılan boyama işlemleri sonucunda yünlü kumaş numunelerinde farklı renk değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Peruka Çalısı ekstraktı kullanılarak yapılan boyamalar sonrası tüm kumaş numuneleri işlemsiz kumaş numunesine kıyasla daha sarı, hardal ve haki yeşil renk tonlarına sahip olmuşlardır. Tablo 1’de yer alan renk parlaklığını ifade eden L\* değerleri incelendiğinde ham yünlü kumaşa göre tüm kumaş numunelerinin parlaklık değerlerinin düşük olduğu ve daha mat tonda renklerin elde

edildiği sonucu görülmektedir. Mordan olarak alüminyum sülfatın kullanıldığı boyama işlemleri sonucu elde edilen renk ölçüm değerleri literatüre oranla düşük oranlarda kullanımına rağmen alüminyum sülfat ile olumlu renk ölçüm değerlerine ulaşıldığını göstermektedir. Alüminyum sülfat, bakır sülfat ve potasyum dikromatın mordan olarak kullanımının söz konusu olduğu boyama işlemlerinde sarı ve hardal tonlarında renkler elde edilmiş olup, demir sülfatın mordan olarak kullanıldığı boyamalarda ise daha koyu ve antrasit ile haki tonlarda renklerin elde edildiği görülmektedir.

Kırmızılık ve yeşillik eksen değeri olan a\*, sarılık ve mavilik eksen değeri olan b\* ile kroma c\* değerleri açısından boyamalar karşılaştırıldığında alüminyum sülfat, bakır sülfat ve potasyum dikromat ile gerçekleştirilen boyama sonuçları elde edilen renk tonlarını da destekler nitelikte olup, demir sülfat ile gerçekleştirilen boyamalarda ise daha düşük değerlere sahiptir.

**Tablo 2.** Boyamalar sonrası elde edilen renklere ait görseller

Mordan	Mordanlama İşlemi	Mordan Konsantrasyonu (%)	Elde Edilen Renk
İşlemsiz Kumaş			
Alüminyum sülfat	Ön Mordanlama	3	
		5	
	Mordanlı Boyama	3	
		5	
Demir sülfat	Ön Mordanlama	2	
		4	
	Mordanlı Boyama	2	
		4	
Bakır sülfat	Ön Mordanlama	2	
		4	
	Mordanlı Boyama	2	
		4	
Potasyum dikromat	Ön Mordanlama	2	
		4	
	Mordanlı Boyama	2	

Çalışma sonucu elde edilen renk ölçüm değerleri ön mordanlı ve tek boyama banyosunda hem mordan hem boya ekstraktının yer aldığı işlemler arasında kısmen büyük farklılıklar olmadığını göstermektedir. Tüm boyama işlem türleri arasında yapılan kıyaslamada elde edilen renk ölçüm değerleri ise mordan konsantrasyonunun düşük oranda kullanımı söz konusu olan boyamalar ile daha yüksek oranda kullanımının gerçekleştirildiği boyamalar arasında büyük farklar olmadığını göstermektedir. Bu durum peruka çalısı bitkisinin yünlü kumaşları boyama işlemlerinde kullanımında düşük mordan konsantrasyonları ile de işlemlerin gerçekleştirilebileceği sonucu ortaya çıkartmaktadır.

## B. HASLIK DEĞERLERİ

Peruka çalısı bitki ekstarktı kullanılarak yapılan boyama işlemleri sonucunda elde edilen kumaş numunelerinin yıkama haslıklarının değerlendirme işlemi BS EN ISO C06 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir ve değerlendirme skala vasıtası ile yapılmıştır. Skala değerlendirmesinde 1 en düşük yıkama haslık değerini 5 ise en yüksek yıkama haslık değerini ifade etmektedir. 10 x 4 cm boyutlarında hazırlanan kumaş numuneleri 50°C sıcaklık altında 40 dakika 5 tekrarlı yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yıkma için hazırlanan yıkama banyosu reçetesi 1g sodyum perborat ( $\text{NaBO}_3 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ), 4 g ECE deterjan ve 1 lt distile sudan oluşmaktadır. Elde edilen yıkama haslığı değerleri Tablo 3'de verilmektedir.

*Tablo 3. Yünlü kumaş numunelerine ait yıkama haslık değerleri*

Peruka Çalısı Ekstraktlı Boyama Numuneleri	Mordan Kimyasalı	Mordanlama İşlemi	Mordan Konsantrasyonu (%)	Yıkama Haslığı Değerleri	
	Alüminyum sülfat		Ön Mordanlama	3	4/5
			5	4/5	
		Mordanlı Boyama	3	4	
			5	4	
Demir sülfat			Ön Mordanlama	2	4
				4	4
		Mordanlı Boyama	2	4	
			4	3/4	
Bakır sülfat		Ön Mordanlama	2	4/5	
			4	4/5	
		Mordanlı Boyama	2	4/5	
			4	4/5	
	Potasyum dikromat		Ön Mordanlama	2	5
				4	5
		Mordanlı Boyama	2	4/5	
			4	4/5	

Elde edilen yıkama haslığı sonuçları incelendiğinde tüm kumaş numuneleri açısından kabul edilebilir aralıklarda olduğu ve özellikle ön mordanlı boyamalar sonucu elde edilen sonuçların mordanlı boyamalarla kıyaslandığında daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Mordan konsantrasyonları açısından yıkama haslıkları değerleri incelendiğinde ise mordan konsantrasyonu oranının yıkama haslık değerlerine etkisi söz konusu değildir.

Boyama işlemleri sonrası kumaş numunelerinin kuru ve yaş sürtme haslıkları krokmetre cihazında ISO 105 E04 standardına uygun olarak yapılmış, değerlendirme için gri skala kullanılmıştır. Gri skala

değerlendirmesinde 1 en düşük sürtme haslığı 5 değeri ise en yüksek sürtme haslığı değerini ifade etmektedir. Elde edilen kuru yaş sürtme haslığı değerleri Tablo 4’de verilmektedir.

**Tablo 4.** Yünlü kumaş numunelerine ait kuru/yaş sürtme haslık değerleri

Peruka Çalısı Ekstarktlı Boyama Numuneleri	Mordan Kimyasalı	Mordanlama İşlemi	Mordan Konsantrasyonu (%)	Sürtme Haslığı Değeri	
				Kuru	Yaş
Alüminyum sülfat	Ön Mordanlama	3	4/5	4/5	
		5	4/5	4/5	
	Mordanlı Boyama	3	4/5	4	
		5	4/5	4	
Demir sülfat	Ön Mordanlama	2	4/5	4	
		4	4/5	4	
	Mordanlı Boyama	2	4	4	
		4	4	4	
Bakır sülfat	Ön Mordanlama	2	4/5	4	
		4	4/5	4	
	Mordanlı Boyama	2	4	4	
		4	4/5	4	
Potasyum dikromat	Ön Mordanlama	2	5	4/5	
		4	4/5	4/5	
	Mordanlı Boyama	2	5	4/5	
		4	5	4/5	

Tablo 4 incelendiğinde tüm kumaş numunelerine ait kuru ve yaş sürtme haslığı değerlerinin iyi derecede olduğu görülmektedir. Tüm numuneler için kuru sürtme haslığı değerleri yaş sürtme haslığı değerlerinden bir miktar daha yüksek olup; özellikle potasyum dikromat ve alüminyum sülfatın mordan kimyasalı olarak kullanıldığı boyama işlemleri sonrası en yüksek sürtme haslığı değerleri elde edilmiştir. Kuru ve yaş sürtme haslıkları açısından kullanılan mordan cinsi itibari ile mordan konsantrasyonunun bir etkisi tespit edilmemiştir.

Peruka çalısı bitkisi ekstraktı kullanılarak gerçekleştirilen boyama işlemleri sonucunda elde edilen asidik ve bazik ter haslıkları değerleri Tablo 5 ve Tablo 6’da verilmektedir. ISO 105 E04 standardına uygun olarak gerçekleştirilen ter haslığı testlerinde distile su, L-Histidin monohidroklorid, sodyum klorid ve sodyum dihidrojen fosfattan oluşan kimyasal reçetesi kullanılmıştır. 1:50 flotte oranında yapılan testte 10 x 4 cm olarak hazırlanan tüm kumaş numuneleri refakat bezi ile 30 dakika perspirometre ile işleme alınmış olup sonrasında numunelerin 37°C sıcaklıkta 4 saat süre ile etüvde bekletilmiştir. Sonrasında perspirometreden çıkarılan numunelerin kurutma işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Asidik ter haslığı testi pH 5,5 değerinde gerçekleştirilirken; bazik ter haslığı testi ise pH 8 değerinde gerçekleştirilmiştir. Testler sonrası elde edilen sonuçlar gri skala vasıtası ile değerlendirilmiş olup en düşük ter haslığı değeri 1, en yüksek ter haslığı değeri ise 5 ile ifade edilmiştir.

**Tablo 5.** Kumaş numunelerine ait asidik ter haslık değerleri

Mordan Kimyasalı	Mordanlama İşlemi	Mordan Konsant. (%)	Asidik Ter Haslığı Değeri						RD*
			Lekelenme						
			Asetat	Pamuk	Naylon	PES	Akrilik	Yün	
Alüminyum sülfat	Ön Mordanlama	3	4-5	4-5	4	5	4-5	4	4-5
		5	4-5	4-5	4	5	4-5	4	4-5
	Mordanlı Boyama	3	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
		5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
		2	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4

Demir sülfat	Ön Mordanlama	4	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4
	Mordanlı	2	4-5	4	4	4-5	4-5	4	4
	Boyama	4	4-5	4	4	4-5	4-5	4	4
Bakır sülfat	Ön Mordanlama	2	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
	Mordanlı	4	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
	Boyama	2	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
Potasyum dikromat	Ön Mordanlama	4	4-5	4-5	4	5	4-5	4	4-5
	Mordanlı	2	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
	Boyama	4	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5

RD\*: Renk değişimi

Tablo 5 incelendiğinde asidik ter haslığı testi sonucunda peruka çalısı bitki ekstraktı ile farklı mordan kimyasalları ve mordan konsantrasyonu kullanılarak gerçekleştirilen boyamalar sonucu yünlü kumaş numunelerinin refakat kumaşını oluşturan farklı elyaf türlerine karşı lekelenme ile renk değişim değerlerinin verildiği görülmektedir. Mordan kimyasal çeşitleri göz önüne alındığında yünlü kumaş numunelerinin renk değişim değerleri alüminyum sülfat, bakır sülfat ve potasyum dikromat için 4-5 aralığında olup, demir sülfat ile gerçekleştirilen işlemler açısından ise 4 değerine sahiptir.

**Tablo 6.** Kumaş numunelerine ait bazik ter haslık değerleri

Mordan Kimyasalı	Mordanlama İşlemi	Mordan Konsant. (%)	Bazik Ter Haslığı Değeri						RD*
			Lekelenme						
			Asetat	Pamuk	Naylon	PES	Akrilik	Yün	
Alüminyum sülfat	Ön Mordanlama	3	4-5	4-5	4	5	4-5	4	4-5
	Mordanlı	5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
	Boyama	3	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
Demir sülfat	Ön Mordanlama	5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
	Mordanlı	2	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4
	Boyama	4	4-5	4	4	4-5	4-5	4	4
Bakır sülfat	Ön Mordanlama	2	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
	Mordanlı	4	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
	Boyama	2	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5
Potasyum dikromat	Ön Mordanlama	4	4-5	4-5	4	5	4-5	4	4-5
	Mordanlı	4	4-5	4-5	4	5	4-5	4	4-5
	Boyama	2	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5

RD\*: Renk değişimi

Tablo 6’da verilen bazik ter haslığı testi sonucu elde edilen lekelenme ve renk değişimi değerleri incelendiğinde asidik ter haslığı testine benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bazik ter haslığı test sonucunda da yünlü kumaş numunelerinin renk değişim değerleri alüminyum sülfat, bakır sülfat ve potasyum dikromat için 4-5 aralığında olup, demir sülfat ile gerçekleştirilen işlemler açısından ise 4’tür. Tablo 5 ve Tablo 6’da verilen ter haslık değerleri mordan konsantrasyonlarına bağlı olarak değişiklik göstermemekte olup, düşük mordan konsantrasyonlarında da kabul edilebilir ter haslık değerleri elde edilmiştir.

## **IV. SONUC**

Türkiye sahip olduğu iklimsel çeşitliliği, topoğrafik özellikleri, jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri, habitat çeşitliliği, Anadolu Çaprazının doğu ve batısındaki ekolojik farklılıkları, 3 fitocoğrafik bölgenin (Avrupa-Sibirya, İran-Turan ve Akdeniz) kesiştiği bir noktada bulunması gibi ana etkenlerle bitkisel biyoçeşitlilik açısından dünyanın en zengin ülkelerinden birisidir. Bu bitkisel zenginliğin farklı disiplinlerle yapılan bu tür çalışmalarda da değerlendirilmesi oldukça önem arz etmektedir. Bartın florasında doğal olarak yayılış yapan peruka çalısı (*Cotinus coggygia Scop.*) türü ile doğal esaslı kaynakların kullanımı ile gerçekleştirilen bu çalışmadaki boyamalarda yaygın olan dört farklı mordan kimyasalı kullanılarak yünlü kumaş numunelerinin boyama işlemleri yapılmıştır. Doğal bir renklendiricinin kullanıldığı bitkisel boyama prosesleri için geniş literatür taraması sonucunda farklı konsantrasyonlar tercih edilmiş ve boyama işlemi ön mordanlı ve tek adımlı mordanlı olmak üzere iki farklı yöntem ile işlemler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar peruka çalısı bitkisinden elde edilen bitki ekstraktı ile yapılan boyamalar sonucu yünlü kumaş numunelerinin farklı kimyasal türleri ile işleme alındığında sarı, hardal, antrasit ve haki renklerinde farklı tonlara sahip olduğu sonucunu ortaya çıkartmıştır. Ayrıca gerçekleştirilen 16 farklı boyama işlemi sonucunda elde edilen haslık değerleri elde edilen renkli kumaş numunelerinin farklı alanlarda kullanılabilir haslık değerlerine sahip olduğunu da göstermektedir. Tüm boyamalar sonucu elde edilen renk ölçüm değerleri ile haslık değerleri kullanılan mordan konsantrasyon oranının değerler üzerine büyük farklılıklar oluşturmadığı sonucunu ortaya çıkartmıştır. Bu durum düşük oranda da mordan konsantrasyonu ile peruka çalısı bitkisi kullanılarak yünlü kumaş numunelerinin boyama işlemine alınabileceğini göstermektedir. Mordan olarak kullanılan alüminyum sülfat, bakır sülfat ve potasyum dikromat ile peruka çalısı yünlü kumaşa sarı ve hardal renkleri kazandırırken, demir sülfatın kullanımı ile yünlü kumaşların haki ve antrasit renklere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sentetik esaslı boyarmaddelerin yerine doğal esaslı renklendiricilerin kullanımı ile çevreye dost, düşük maliyetli ve sağlık açısından olumlu sonuçların elde edilmesi literatürde yer alan çalışmalarda yer almaktadır [2], [4], [7], [11], [22]. Çalışma sonucu elde edilen bulgular da bu durumu destekler niteliği ile öne çıkmaktadır. Özellikle ülkemiz coğrafyasında geniş bir yayılışa sahip peruka çalısı bitkisinin tekstil boyamacılığı için kullanımı bu bitkinin hem ekonomiye kazandırılması hem de farklı bir alanda kullanım alanı ortaya çıkarılması açısından önem taşımaktadır.

Sonuç olarak; peruka çalısı bitkisi ile yünlü kumaş numunelerinin boyanma işlemleri için oluşturulan reçeteler gelecek dönemlerde yapılan çalışmalara da yön göstermesi açısından bir başlangıç niteliği taşımaktadır.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2019-FEN-A-009).

## **V. KAYNAKLAR**

[1] S. Kızıl ve N. Kayabaşı, "Muhabbet çiçeğinin (*Reseda lutea L.*) boyama özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma," *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 18, s. 2, ss. 195-200, 2005.

[2] R. Shanker and P. S. Vankar, "Dyeing cotton, wool and silk with *Hibiscus mutabilis* (Gulzuba)," *Dyes and Pigments*, vol. 74, pp. 464-469, 2007.

[3] N. Merdan, K. Acar ve B. Korkmaz, "Gelincik (*Papaver rhoeas L.*) bitki çiçekleri ile boyanmış yünlü kumaşların renk ve haslık özelliklerinin araştırılması", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 19, ss. 89-99, 2011.

- [4] M. Oktav Bulut and E. Akar, "Ecological dyeing with some plant pulps on woollen yarn and cationized cotton fabric", *Journal of Cleaner Production*, vol. 32, pp. 1-9, 2012.
- [5] M. Oktav Bulut, H. Baydar and E. Akar, "Ecofriendly natural dyeing of woollen yarn using mordants with enzymatic pretreatments", *The Journal of The Textile Institute*, vol. 105, no. 5, pp. 559-568, 2014.
- [6] M. Nakpathom, B. Somboom, N. Nootsara and R. Mongkholrattanasit, "Dyeing of cationized cotton with natural colorant from purple corn cob", *Journal of Natural Fibers*, vol. 15, no. 5, pp. 668-679, 2018.
- [7] S. Safapour, M. Sadeghi-Kiakhani and S. Eshaghloo-Galugahi, "Extraction, dyeing, and antibacterial properties of *Crataegus Elbursensis* fruit natural dye on wool yarn", *Fibers and Polymer*, vol. 19, no. 7, pp. 1428-1434, 2018.
- [8] H. Kaynar and E. Ucar, "Alternative plants to be used in natural dyeing on wool yarn fibers", *Journal of Natural Fibers*, vol. 16, no. 3, pp. 379-387, 2019.
- [9] N. Merdan, S. Eyupoglu and M. Nayci Duman, "Ecological and sustainable natural dyes," in *Textiles and Clothing Sustainability*, 1rd ed., Singapore, Germany: Springer, 2017, pp. 1-42.
- [10] E. Akar ve M. Oktav Bulut, "Bazı tekstil boya bitkilerinin antibakteriyal özellikleri ve aktivitesi için kullanılan test yöntemleri", *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, c. 3, s. 2, ss. 1-6, 2013.
- [11] M. P. N. Rao, M. Xiao and W. J. Li, "Fungal and bacterial pigments: secondary metabolites with wide applications," *Frontiers in Microbiology*, vol. 8, no. 1113, pp. 1-13, 2017.
- [12] F. N. Ölmez, "Yün halı ipliklerinin fındık (*Corylus avellana* L.) yaprakları ile boyanmasından elde edilen renk ve bazı haslık değerleri," *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 15, s. 1, ss. 77-84, 2004.
- [13] L. Valianou, K. Stathopoulou, I. Karapanagiotis, P. Magiatis, E. Pavlidou, A. Skaltsounis and Y. Chrysoulakis, "Phytochemical analysis of young fustic (*Cotinus coggyria* heartwood) and identification of isolated colourants in historical textiles," *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, vol. 394, pp. 871-882, 2009.
- [14] F. Yılmaz ve M. İ. Bahtiyari, "Yünlü kumaşların reyhan ile renklendirilmesi," 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Bakü, Azerbaycan, 2017.
- [15] H. Özdemir and F. Bozok, "Dyeing of wool yarn with natural dyes of *Lactarius deliciosus* and *L. sanguifluus* from Turkey," *Tekstil ve Konfeksiyon*, vol. 30, no. 4, pp. 262-269, 2020.
- [16] P. H. Davis, M. J. E. Coode and J. Cullen, . "Cotinus Adans," in *Flora of Turkey and East Aegean Island*, Edinburgh, Scotland: Edinburgh University Press, 1967, pp 543.
- [17] H. Yılmaz ve Ö. Eminağaoğlu, "Cotinus coggyria," *Türkiye'nin Bütün Ağaçları ve Çalıkları*, İstanbul, Türkiye: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 2020, ss. 261.
- [18] R. Karadağ, *Doğal Boyamacılık*, Ankara, Türkiye: Geleneksel El Sanatları ve Mağazalar Müdürlüğü Yayınları T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2007, ss. 30-31.
- [19] O. Deveoğlu and R. Karadağ, "A review on the flavonoids – a dye source," *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, vol. 3, pp. 188-200, 2019.



- [20] F. Yaltrık ve A. Efe, *Otsu Bitkiler Sıstematiği*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Basımevi, 1996, ss. 512.
- [21] F. Eser, M. Tutak, A. Onal and B. Meral, “Dyeing of wool and cotton fabrics with leaves of apple (*Malus Domestica*) tree.” *Journal of Natural Fibres*, vol. 13, no. 3, pp. 289-298, 2016.
- [22] M. Shabbir, L. J. Rather, M. Azam, Q. M. R. Haque, M. A. Khan and F. Mohammad, “Antibacterial functionalization and simultaneous coloration of wool fiber with the application of plant-based dyes,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 17, no. 3, pp. 437-449, 2020.
- [23] L. J. Rather, S. Islam, M. Shabbir, M. N. Bukhari, F. Mohammad and M. A. Khan, “*Adhatoda vasica* in conjunction with binary combinations of metal salts and biomordants as an effective textile dye to produce novel shades on wool,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 15, no. 4, pp. 611–623, 2018.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Astrazon Red FBL Çözeltisinin Gama Işınlarıyla Renk Giderimi ve Detoksifikasyonu

 Ömer KANTOĞLU

<sup>a</sup> TENMAK, Nuclear Energy Research Institute, Kahramankazan, 06980 Ankara, TURKEY

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: omer.kantoglu@tenmak.gov.tr

DOI: 10.29130/dubited.1069909

### Öz

Bu çalışmada, Astrazon Red FBL boyasının sulu çözeltilerinin yüksek enerji ile etkileşimi sonrası renk giderimi ve detoksifikasyonu farklı deneysel koşullar altında (hava, doymun O<sub>2</sub>, 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) araştırılmıştır. Bu kapsamda renk giderme, mineralizasyon, detoksifikasyon, pH, KOİ ve BOİ<sub>5</sub> parametreleri takip edilmiştir. Biyobozunurluk (5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı/kimyasal oksijen ihtiyacı -BOD<sub>5</sub>/COD-) oranı, tüm çözeltiler için 2 kGy ışınlamada artmıştır. Astrazon Red FBL çözeltilerinin mineralizasyonunu ve renk giderimini sağlamak üzere hava için 5 kGy ve pH 9, doymun O<sub>2</sub> için 5 kGy ve pH 11, 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> için 7 kGy ve pH 11, optimum ışınlama koşulları olarak bulunmuştur. Yüksek enerjili ışınlarla muamele edilen Astrazon FBL çözeltilerinin toksisitesini ölçmek için microtox bioassay testi gerçekleştirilmiştir. Hava, doymun O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltileri için sırasıyla %81.2, %86.7 ve %56.3 oranlarında 5, 5 ve 7 kGy'de toksisite azalması sağlanmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, Astrazon Red FBL tekstil boyasının ışınlama teknolojisi ile artırımının gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Astrazon, radyasyon, renk giderimi, toksisite, mineralizasyon, KOİ, BOİ<sub>5</sub>

## Decoloration and Detoxification of Astrazon Red FBL Solution Using Gamma Rays

### ABSTRACT

In this study, decoloration and detoxification of Astrazon Red FBL dye solutions using gamma rays have been examined at different environments (air, O<sub>2</sub> saturated, 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). In this context, the decoloration, mineralization, detoxification, pH, COD and BOD<sub>5</sub> parameters were followed. Biodegradability (5 days of biological oxygen demand/ chemical oxygen demand -BOD<sub>5</sub>/COD-) ratio has been improved up on 2 kGy irradiation for all solutions. Optimum irradiation conditions were found to be 5 kGy pH 9 for air, 5 kGy pH 11 for O<sub>2</sub> saturated, 7 kGy pH 11 for 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> to provide mineralization and decoloration of Astrazon Red FBL solutions. Microtox bioluminescent test was conducted to measure the toxicity of Astrazon FBL solutions treated with high energetic rays. Toxicity reduction has been achieved at 5, 5 and 7 kGy in the range of 81.2, 86.7 and 56.3 % for air, O<sub>2</sub> saturated and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions, respectively. As a result of study, it is found that Astrazon Red FBL dye could be treated by irradiation technology.

**Keywords:** Astrazon, radiation, decoloration, toxicity, mineralization, COD, BOD<sub>5</sub>

## **I. INTRODUCTION**

Rapid growth of agricultural and industrial worldwide in connection with the increase in the world populations, accumulated the global concerns in the field of waste management such as remediation of industrial and municipal liquid and solid wastes. Textile industry is one of the main pollution contributors by producing of high volume of effluent. In last three decades, both the public and government encourage to improve and to replace current technologies with the new emerging technologies [1].

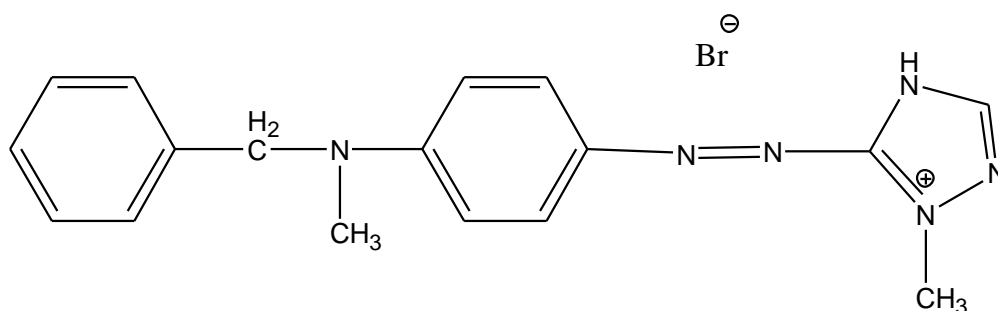
In this context, conventional techniques, such as electrochemical, ultrafiltration, Fenton, biological and enzymatic, sonochemical, coagulation, adsorption, supercritical water oxidation and reverse osmosis, are mostly applied to the removal of textile dyes containing wastewater. Generally, effluent of textile industries contains wide range of organic contents and color to gather with surfactants and additives, which are non-biodegradable and they don't meet the regulations by activated sludge treatment, which in turn results with considerably important environmental and health problems. In this context, decolorization of textile wastewater takes considerable of attention, whether for the potential toxicity of dye stuffs or coloration of the water resources [2-9]. Biological treatment is accepted as cost-effective, cheap and simple to apply regarding to other treatment methods [10, 11]. The conventional methods have some disadvantages and are not effective for total mineralization of recalcitrant species in wastewater [12]. In addition, low BOD<sub>5</sub>/COD ratio for colored pollutants indicates that mineralization of these kind of pollutants would be difficult by the common used treatment methods such as activated sludge processes, chemical coagulation and may cause serious aquatic problems in the environment [13-15]. In this context, researches have been begun to focus on new technologies and processes. Advanced oxidation processes (AOPs) are commonly used for the mineralization and for the enhancement of the biodegradability containing refractory and/or non-biodegradable contaminants. Radiation technology as a part of AOPs has been adopted for the treatment of the textile industry effluents [16]. •OH radicals with a high electrochemical oxidation potential are mainly used as oxidizing agents in these AOP methods and activate a set of reactions, which would destruct the high molecular weight dye molecules into smaller and less toxic compounds. Hydroxyl radicals can also be created by using plasma, UV radiation, gamma radiation, and electron beam radiation. Number of studies have been performed by radiation technology for the removal of colorants and mineralization of textile dyes such as disperse and reactive dyes [17-22]. Astrazon classified dyes are quite resistant to microbial disintegration. However, some dyes can be treated by anaerobic microorganisms. But those microorganisms may be affected by aromatic amine groups of the dye molecules in terms of their toxicity and carcinogenicity. In last three decades many studies have shown that radiation could be used for the decolorization of dyes and is promising for the treatment of dyeing wastewater.

One of the important criteria of treated and untreated wastewater is the toxicity. Toxicity tests help to understand which of the chemicals are toxic for living organisms and to determine the level of below the LOD of the analytical techniques for many toxic substances [23]. Toxicity test can be an indicator for toxic substance, which cannot be detected by any analytical system. In this context, some rapid test methods have been developed and standardized to better identify the toxicity level of contaminants available in wastewater. These rapid test methods are accepted as rapid screening methods by several countries. The rapid Microtox test, using the luminous marine bacteria *Vibrio fischeri*, is one of these test methods that is used world-wide and there are an extensive number of related scientific publications [24].

In this study, the possibility of discoloration (DDC (%)) and detoxification as well as mineralization of Astrazon Red FBL dye solutions by irradiation was investigated. Aqueous solutions of Astrazon Red FBL were evaluated for decoloration and mineralization as changing the absorbed dose between 0 and 9 kGy in air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions. The variation in pH, toxicity, COD and BOD<sub>5</sub> of the Astrazon Red FBL dye solutions were also studied.

## II. EXPERIMENTAL

Astrazon Red FBL (C.I. Basic Red 46) (Figure 1) was donated by Dystar Thai Co., Ltd (Singapore). Hydrogen peroxide was purchased from Merck (Germany). Solution samples were prepared at 200 ppm (Astrazon Red FBL) by using deionized water and irradiated to 0, 2, 5, 7 and 9 kGy doses under different experimental conditions (air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Decolorization of aqueous solution of Astrazon Red FBL was determined by the evaluation of absorption spectra with respect to applied doses and concentrations. The mineralization of dye was followed by pH and COD values. The biodegradability was followed in BOD<sub>5</sub> value, as well the changes in BOD<sub>5</sub>/COD ratio. On the other hand, dye solutions were subjected to bioluminescent toxicity test to better understanding of influent and effluent toxicity characteristics. Samples were irradiated at the dose rate of 1.714 kGy/h at room temperature using Issledovatel Px-γ-30 Russian made <sup>60</sup>Co gamma rays irradiator. The pH of the solutions was determined using Orion 510 pHmeter before and after irradiation. Absorbance measurements were performed by using Ati-Unicam 440 UV-Visible spectrophotometer operated with Vision32 software. COD was measured with the standard method of HACH and vials for COD 0 – 1500 mg/L by using HACH CR/890 colorimeter. BOD<sub>5</sub> analyses were performed with the standard method of HACH by using HACH Biotrak system and HACH BOD<sub>5</sub> incubator. Inoculum used freshly for BOD<sub>5</sub> tests was supplied by Ankara Municipal Wastewater Treatment Plant. Before using, activated sludge was first aerated for one day and then washed two times with tap water to remove remaining organics in the bulk liquid.



*Figure 1. Chemical structure of Astrazon Red FBL (C.I. Basic Red 46.)*

The degree of decoloration of dye solutions can be calculated by the following equation.

$$\text{DDC (\%)} = ((A_0 - A_i)/A_0) \times 100$$

A<sub>0</sub> and A<sub>i</sub> are the maximum absorbance (530 nm) in visible area of the dye solution before and after irradiation.

Toxicity tests of Astrazon Red FBL dye solutions were performed with lyophilized luminescent bacteria reagent *Vibrio fischeri*, reconstitution solutions by using Microtox 500 Toxicity analyzer (Modernwater). Test was performed according to the supplier's protocol using basic test mode [25]. The test allows the interaction between organisms and dye solutions and measures the percentage of bioluminescence light reduction at 5 and 15 min. The data obtained were EC<sub>50</sub> value, which is defined as the effective concentration of a wastewater sample that is a reduction in the emitted light of luminescent bacteria by a factor of 50 %. The results are expressed in terms of toxicity unit (TU). The TU is the inverse of its EC<sub>50</sub> value [25]. All values given in the text are an average of at least three measurements.

## III. RESULTS and DISCUSSION

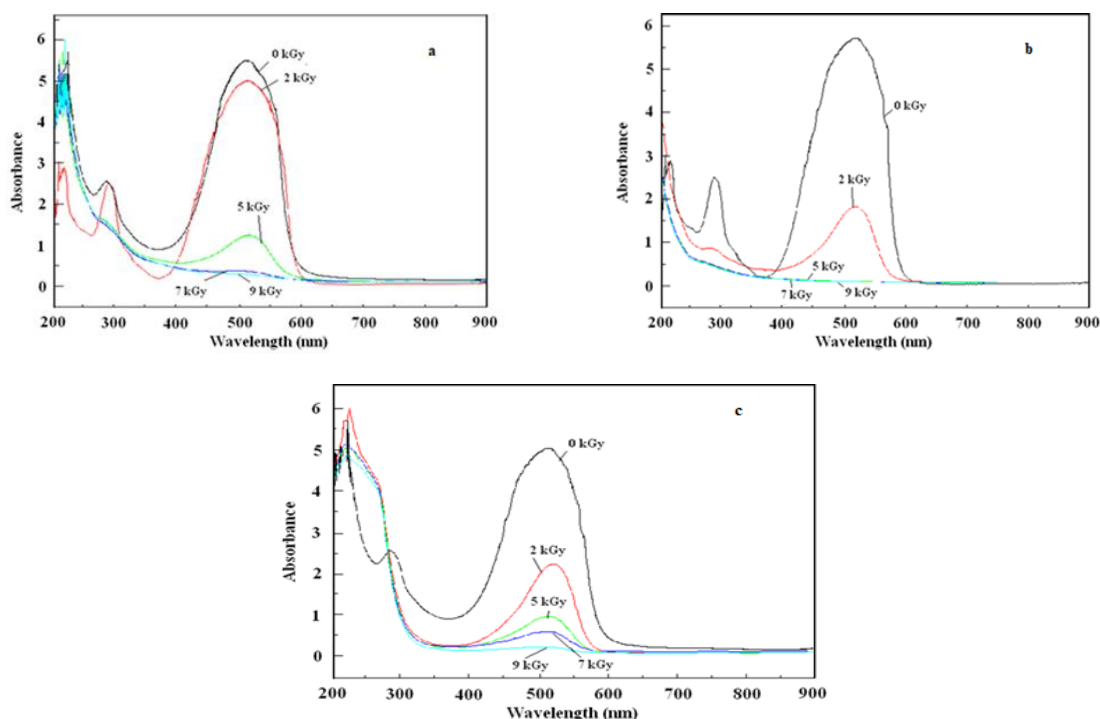
Synthetic textile wastewaters used in this study were prepared by using Astrazon Red FBL (200 ppm). The change of DDC (%) of dye solutions were examined by UV-Visible spectroscopy. All samples were

scanned between 200 – 900 nm for the determination of maximum absorbance wavelength. UV-Vis absorption spectrum of Astrazon Red FBL mainly shows single absorption peak in the visible region ( $\lambda_{\text{max}} = 530 \text{ nm}$ ). It arises due to the conjugation through hydrazyl unit. There is also a weak peak at 291 nm appeared because of the amine hyperconjugation of the  $\pi$  bond of aromatic ring on Astrazon Red FBL chemical structure, in turn leading to  $\pi - \pi^*$  transition. This peak disappeared with ring opening mechanism after irradiation.

### 3.1 Effect of radiation on the absorption characteristic of Astrazon Red FBL in aqueous solutions

Aqueous solutions of Astrazon Red FBL were irradiated at different experimental conditions, namely air,  $\text{O}_2$  saturated and 2.6 mM hydrogen peroxide by gamma rays at various doses and pHs. Absorption spectra of 200 ppm dye solution versus irradiation doses and conditions are demonstrated in Fig. 2. As seen at Fig.2, the singlet peak at 530 nm decreased with increasing doses. From Fig. 2, concentration of unirradiated and irradiated aqueous Astrazon Red FBL solutions was calculated and converted to DDC (%) by following the decrement at the absorption band of 530 nm and the results were graphed at Fig. 3.

Regarding to results in Figs. 2 and 3, the intensity of absorption band was decreased with increasing the absorbed doses, and finally disappeared at 5, 5, 7 kGy for air,  $\text{O}_2$  saturated and 2.6 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$  solutions, respectively. Results showed that the DDC (%) is almost identical for air and  $\text{O}_2$  saturated solutions. As seen in Figure 2a, there is still an absorption peak at 5 kGy. However, considering this DDC value, it is negligible. While the DDC value is 93.7 at 5 kGy, it is 95.2 at 7 kGy. The 1.5 percent difference is considered insignificant because of the 2 kGy to be gained from dose reduction in the industrial treatment of dyestuffs. The 2 kGy reduction in dose significantly reduces the treatment cost. At the same time, the obtained treatment efficiency is sufficient for discharge. For this reason, considering the operating cost and treatment quality, it is considered that it would be more feasible to apply a 5 kGy dose instead of a 7 kGy dose. A similar result is also valid in Figure 2c, and it was evaluated that it would be more feasible to administer a dose of 7 kGy instead of 9 kGy there.



**Figure 2.** UV-Vis spectra of Astrazon Red FBL dye solution under irradiation at (a) air, (b)  $\text{O}_2$  saturated and (c) 2.6 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

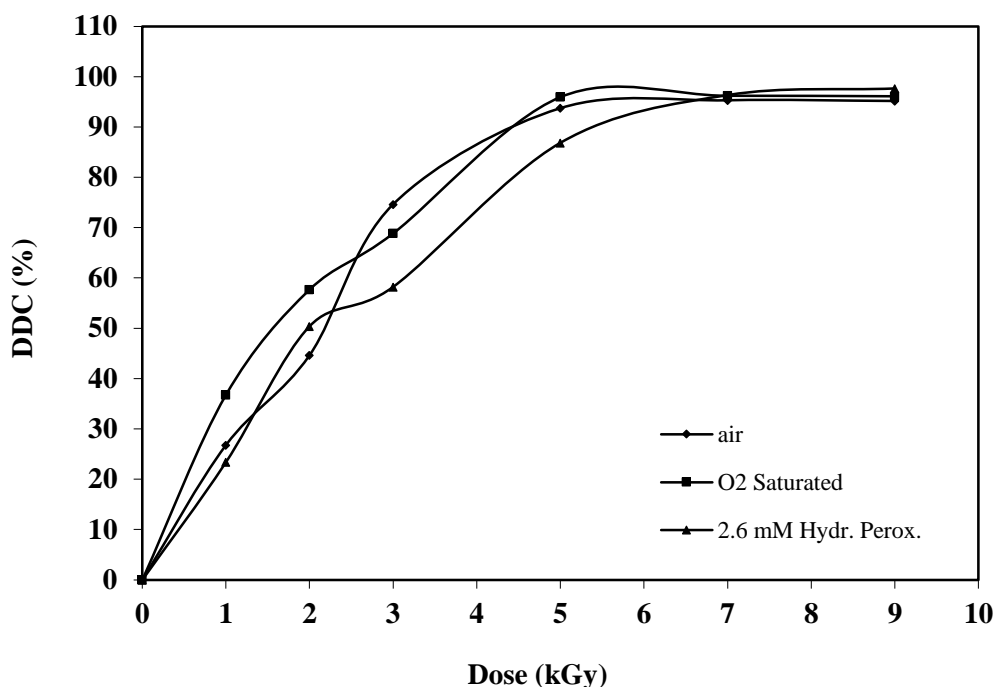


Figure 3. DDC (%) variation as a function of absorbed dose at air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Addition of hydrogen peroxide enhances the decoloration reaction. It interacts rapidly with hydrated electrons and leads to the formation of •OH radical. In this context, it is attributed to increment in •OH radical that the increase in the DDC. However, the increase of DDC (%) by addition of 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> is rather low than air and O<sub>2</sub> saturated solutions. Regarding to this result, dye chromophore groups are destructed further more by the •OH radical than the hydrated electrons despite of a part of the •OH radicals are scavenged by the excess hydrogen peroxide. Therefore, DDC value of dye solution with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> is lower than air and O<sub>2</sub> saturated solutions. In addition, hydrogen, •OH radicals and hydrated electrons react with the textile dye molecules with the diffusion controlled processes. During irradiation process, oxygen molecule reacts with the hydrogen atoms and hydrated electrons, which produces superoxide radical anions and peroxy radicals as defined below, respectively.



and



Thus dye molecule interaction with the hydrated electrons and hydrogen atoms is limited. During irradiation, hydroxyl radicals may generate the meaningful reduction in the red dye molecules. Both the addition reaction of hydroxyl radicals to phenyl rings at Astrazon Red FBL dye molecule (Figure 1) or H• abstraction from phenyl rings compete with each other [1]. The cyclohexadienyl type of radical was occurred by addition reaction of hydroxyl radicals to the phenyl rings at the Astrazon Red FBL [26]. These radicals (cyclohexadienyl type) attacked to dissolved oxygen and then, converted to CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O as shown in the following reaction [27-29].



### 3.2. Change in COD

The COD test is most widely used test to indirect measurement of the organic contents in

water/wastewater. The chemical oxygen demand (COD) is an indicative measure of the amount of oxygen that can be consumed by reactions in a measured solution. The initial COD values of aqueous dye solution of 200 ppm was measured as 279, 289, 210 mg/L for air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, respectively. They were subjected to gamma ray irradiation and measured values were shown in Table 1. When samples were exposed to gamma rays, a decrease in COD, or in other words, an increase in percent COD removal, was observed as a function of dose increment. COD % removal efficiency was calculated and found to be 94, 96, and 82% for air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, respectively. It is attributed to the dependency of COD removal efficiency to the absorbed dose. The COD removal characteristic has similar trend with the decoloration of dye molecules. Decoloration is merely discriminated by the disintegration of color centers on the conjugated electron structure of dye molecules. Post-irradiation after decoloration, aromatic ring is disintegrated to smaller molecules. At the beginning of the radiolysis, decomposition of Astrazon Red FBL molecules into the smaller molecules was initiated and it finally resulted with CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O upon excess irradiation. It was revealed at Table 1 that the reduction in COD increased as a function of applied dose. In addition, it is also noteworthy that the COD reduction against dose was observed a similar behaviour as in the case of DDC (%) versus dose. In this context, the disintegration of color centers in the molecules was responsible for the main cause of the discoloration. However, COD reduction mainly rely upon the complete mineralization of the dye stuffs by irradiation dose. The color center groups of molecule could be degraded by a low dose application in the initial stage of the decolorization process. But, this is going to be cause an incomplete mineralization of the dye molecule by the formation of smaller molecular weight intermediates upon incomplete degradation process. However, the partial mineralization at the beginning of the irradiation was turned to complete mineralization at 5, 5, and 7 kGy for air, O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions, respectively.

**Table 1.** COD, BOD<sub>5</sub> and biodegradability index of Astrazon Red FBL solution under irradiation.

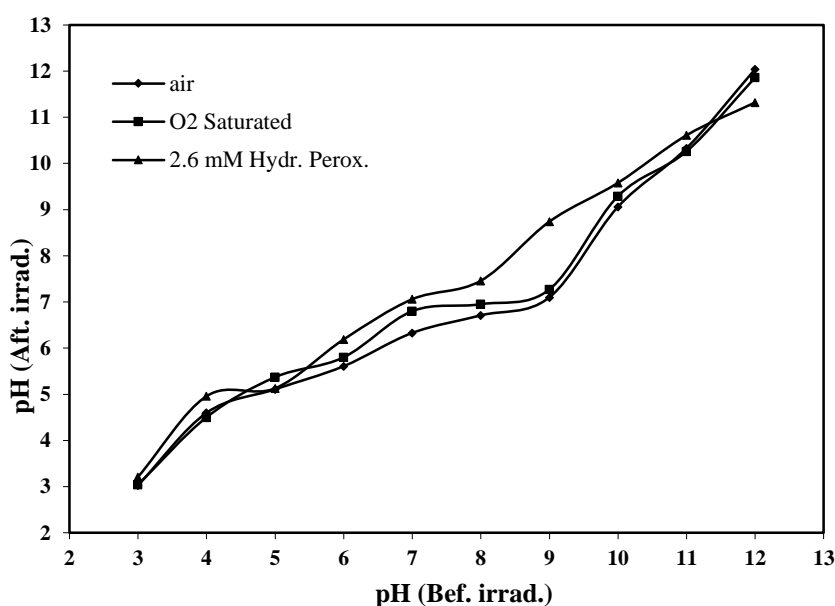
Dose (kGy)	Air			O <sub>2</sub> saturated			2.6 mM H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		
	COD	BOD <sub>5</sub>	BOD <sub>5</sub> / COD	COD	BOD <sub>5</sub>	BOD <sub>5</sub> /COD	COD	BOD <sub>5</sub>	BOD <sub>5</sub> / COD
0	279	81	0.29	289	78	0.27	210	67	0.25
2	158	55	0.35	123	44	0.36	114	57	0.33
5	18	14	0.78	11	8	0.72	33	34	0.37
7	14	11	0.77	11	8	0.70	11	7	0.62
9	14	10	0.75	11	7	0.68	6	4	0.63

### 3.3. Change in pH

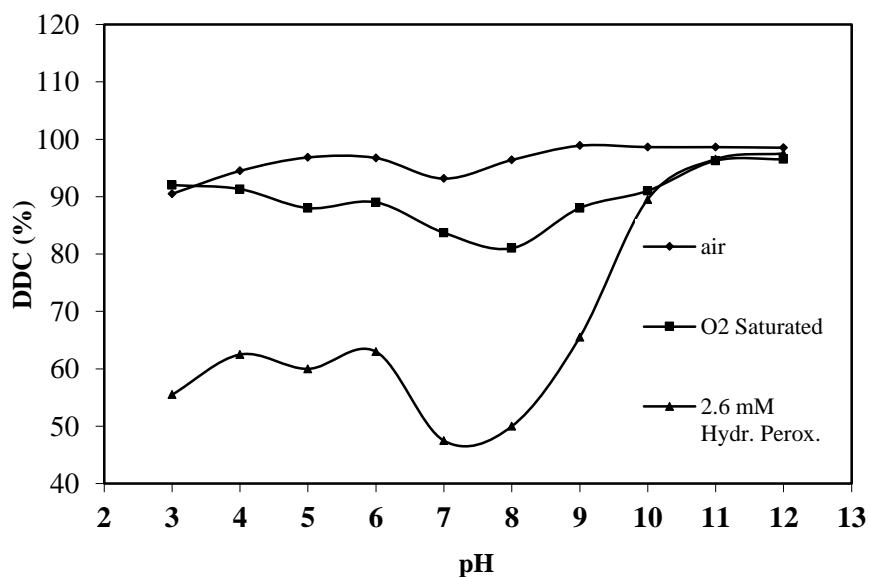
The change in pH was studied in two phases. First, pH before and after irradiation was monitored. Second, pH – DDC (%) relationship was followed at constant irradiation dose. Results of both studies are presented at Table 2. In the determination of pH variation during irradiation, pH of the solutions was fixed between 3 and 12, and dose was kept constant for each experimental conditions. After sample preparation, pH was immediately measured and irradiated to 0 – 9 kGy (Fig. 4). Then, pH was measured again. As depicted in Table 2 and Fig. 4, a negligible pH difference was observed. Only pH 9 of air and O<sub>2</sub> saturated conditions were deviated from the linearity. After irradiation, pH reduced to 7.1 and 7.3 by releasing or decomposing of some acidic group(s) from Astrazon Red FBL and it caused a shift of pH from basic to neutral (20). As it was seen from the curves of Fig. 5, maximum DDC (%) variation was found at pH 9, 11, and 11 for air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, respectively. Based on these pHs, dye was disintegrated to intermediate molecules and then were decolorized.

**Table 2.** The variation of pH and DDC (%) at optimized dose.

pH (Bef. Irrad.)	pH (Aft. Irrad.) ; DDC (%)		
	Air (5 kGy)	O <sub>2</sub> (5 kGy)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (7 kGy)
3.0	3.0 ; 90	3.04 ; 92	3.21 ; 55
4.0	4.6 ; 94	4.50 ; 91	4.96 ; 62
5.0	5.1 ; 97	5.37 ; 88	5.13 ; 60
6.0	5.6 ; 97	5.80 ; 89	6.19 ; 63
7.0	6.3 ; 93	6.80 ; 84	7.06 ; 47
8.0	6.7 ; 96	6.95 ; 81	7.46 ; 50
9.0	7.1 ; 99	7.27 ; 88	8.74 ; 65
10.0	9.1 ; 99	9.29 ; 91	9.58 ; 89
11.0	10.3 ; 99	10.26 ; 96	10.61 ; 96
12.0	12.0 ; 98	11.86 ; 96	11.32 ; 97



**Figure 4.** The change in pH before and after irradiation.



**Figure 5.** The pH effect on the DDC (%) at air (5 kGy), O<sub>2</sub> saturated (5 kGy) and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (7 kGy).



The DDC (%) is accepted to be a crucial parameter in the treatment of both dyeing and finishing effluents. Variation in the DDC (%) of the solution in various concentrations (10, 50, 100 and 200 ppm) at optimized irradiation conditions (air: pH=9, 5 kGy; O<sub>2</sub> saturated: pH=11, 5 kGy and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: pH=11, 7 kGy) presented in Table 3. As seen in Table 3, pH is relatively the same with the initial pH adjustment for O<sub>2</sub> saturated and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> conditions. As observed in pH analysis, pH of aerated solutions was also dropped from 9 to 7 by irradiation. Some acidic release from dye might cause this pH deviation. However, DDC (%) of air saturated solutions is quite similar with O<sub>2</sub> saturated, but higher than the dye solution containing 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The decoloration has no pronoun dependence on pH and dye concentration. As a results under these treatment conditions, irradiation is an effective treatment process for the achievement of decoloration at any substrate concentration.

**Table 3.** Concentration effect on pH and DDC % at optimized pH and absorbed dose.

Conc. (ppm)	Air (pH:9;5 kGy)	O <sub>2</sub> (pH:11;5 kGy)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (pH:11;7 kGy)
	pH ; DDC %	pH ; DDC %	pH ; DDC %
10	7.1 ; 99	10.7 ; 86	11.3 ; 88
50	7.1 ; 99	10.8 ; 96	11.8 ; 94
100	7.4 ; 97	10.6 ; 94	11.6 ; 94
200	7.2 ; 98	10.7 ; 93	11.1 ; 95

### 3.4. Change in BOD<sub>5</sub>

BOD<sub>5</sub> is the amount of dissolved oxygen consumption by microorganisms to decompose the organic matters under aerobic conditions at 20 °C in five-days period. COD and BOD<sub>5</sub> values are a key element in the characterization of wastewater treatment process. They determine the effluent characteristics, whether they are suitable or are not to discharge. On the other hand, BOD<sub>5</sub>/COD is an indicator for biodegradability of wastewater where their ratio is smaller than 0.3 or higher than 0.8, it means that the effluent has a biodegradability problem, which is caused by different effects in nature [30, 31]. The BOD<sub>5</sub>/COD ratio (biodegradability index) of the 200 ppm dye solutions was summarized as a function of absorbed doses in Table 1. As could be seen from Table 1, the biodegradability index of the unirradiated 200 ppm Astrazon Red FBL solutions was measured to be 0.29, 0.27 and 0.25 for air, O<sub>2</sub> saturated, 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> conditions, respectively. Regarding to this result, it indicates that all the solutions prepared under different conditions are non-biodegradable. Table 1 shows that biodegradability index of 200 ppm solution was increased from 0.29 to 0.35 at 2 kGy; and at 9 kGy, it was become to 0.75. The results suggest that the non-biodegradable dye solutions are become biodegradable just expose to 2 kGy dose for each experimental conditions and their biodegradability are enhanced with increasing dose.

### 3.5. Bioluminescent toxicity test

Sterile deionized water and saturated air and oxygen as well as H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> were used in the preparation of samples. *Vibrio fischeri* is severely affected by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and emitted light less than samples saturated with air and oxygen solutions. Toxicity results as well as radiation efficiencies are summarized in Table 4. Observing the toxicity units (TU), it is possible to verify that Astrazon Red FBL was more toxic prepared in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solution than air and O<sub>2</sub> saturated solutions. The reason was assumed to be initial toxicity differences. After irradiation, the results show a dramatically decrease in acute toxicity for all solutions irradiated up to 9 kGy. As could be seen from Table 4, the dose of 5, 5 and 7 kGy is required to detoxify the dye solutions for air, O<sub>2</sub> and 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions, respectively. In addition, the lower biodegradability index (<0.3) means that aqueous sample solution may also contain some toxic species [22]. This higher toxicity values of unirradiated samples may also be another factor that cause the increase in toxicity. When the detoxification rate was compared, toxicity reduction was found to be in the order of Air ≥ O<sub>2</sub> > H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions.

**Table 4.** Toxicity of Astrazon Red solutions under irradiation.

Dose (kGy)	EC <sub>50</sub>			TU			Toxicity Reduction (%)		
	Air	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Air	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Air	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
0	5.2	5.2	3.1	19.2	19.2	32.3	0.0	0.0	0.0
2	9.1	12.3	3.9	11.0	8.1	25.6	42.9	57.7	20.5
5	27.6	39.2	4.9	3.6	2.6	20.4	81.2	86.7	36.7
7	28.6	38.2	6.5	3.5	2.6	15.4	81.8	86.4	52.3
9	28.1	36.9	5.7	3.6	2.7	17.5	81.5	85.9	45.6

As it was observed in decoloration studies, the toxicity characteristic of aerated and O<sub>2</sub> saturated solution was quite similar. The above studies encourage the high energy induced treatment method for decoloration and detoxification of dye influents coming from textile industries.

## **IV. CONCLUSION**

Decoloration, detoxification and mineralization of Astrazon Red FBL in aqueous solutions exposed to ionizing radiation has been studied. In this context, aqueous solutions of Astrazon Red FBL were irradiated at various doses in different experimental conditions, namely air, O<sub>2</sub> saturated, 2.6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Dose, pH, decoloration, toxicity, COD and BOD<sub>5</sub> removal have been followed to determine optimum irradiation conditions. Dose and pH were optimized to be 5 kGy pH 9 at air, 5 kGy pH 11 at O<sub>2</sub> saturated, 7 kGy pH 11 at 2.6 mM hydrogen peroxide for Astrazon Red FBL. In addition, an enhancement on the biodegradability (BOD<sub>5</sub>/COD) index was observed at 2 kGy for Astrazon Red FBL in all irradiation conditions.

In this study, the decoloration, detoxification and mineralization of cationic Astrazon Red FBL dye under irradiation was experienced and the dye is found to be easily decolorated. In the achievement of decoloration, detoxification and mineralization for textile dyes, it was revealed that irradiation process itself or irradiation process combined by air, oxygen or hydrogen peroxide could be used successfully. When it is compared in terms of the irradiation efficiency and the feasibility, irradiation at air has advantages like low dose applications, and chemical consumptions as well as less auxiliary equipment requirements. As a final conclusion, dose of 5, 5 and 7 kGy is sufficient for the complete decoloration, detoxification and mineralization of Astrazon Red FBL dye in air, O<sub>2</sub> saturated and 2.6 Mm H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solutions, respectively.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** The author thanks to both Turkish Energy, Nuclear and Mining Research Agency (A4.H1.F12) and International Atomic Energy Agency (IAEA-TUR/8/017) for financially support.

## **V. REFERENCES**

- [1] A. Aleboyed, H. Aleboyeh, and Y. Moussa, "Decolorisation of acid blue 74 by ultraviolet/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 1, no. 3, pp. 161–164, 2003.
- [2] S.F. Kang and H.M. Chang, "Coagulation of textile secondary effluents with Fenton's Reagent," *Water Science and Technology*, vol. 36, no. 12, pp. 215–222, 1997.
- [3] H.Y. Shu and M.C.J. Chang, "Pre-ozonization coupled with UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process for the decolorization and mineralization of cotton dyeing effluent and synthesized C.I. Direct Black 22 wastewater," *Journal of Hazardous Materials*, vol. B121, no. 1-3, pp. 127–133, 2005.

- [4] F. Zidane, P. Drogui, B. Lekhlif, J. Bensaid, J. Blais, S. Belcadi and K.J. Kacemi, "Decolourization of dye-containing effluent using mineral coagulants produced by electro-coagulation," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 155, pp. 153–163, 2008.
- [5] J.H. Mo, Y.H. Lee, J. Kim, J.Y. Jeong and J. Jegal, "Treatment of dye aqueous solutions using nanofiltration polyamide composite membranes for the dye wastewater reuse," *Dyes and Pigments*, vol. 76, pp. 429–434, 2008.
- [6] S. Souza, E. Forgiarini and A. Souza, "Toxicity of textile dyes and their degradation by the enzyme horse radish peroxidase (HRP)," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 147, pp. 1073–1078, 2007.
- [7] C. Wu, "Decolorization of C.I. reactive red 2 in O<sub>3</sub>, Fenton-like and O<sub>3</sub>/Fenton like hybrid Systems," *Dyes and Pigments*, vol. 77, pp. 24–30, 2008.
- [8] M. Panizza and G. Cerisola, "Removal of colour and COD from wastewater containing acid blue 22 by electrochemical oxidation," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 153, no. 1-2, pp. 83–88, 2008.
- [9] G.J. Brunner, "Near and supercritical water. Part II: oxidative processes, review," *Supercritical Fluids*, vol. 47, pp. 382–390, 2009.
- [10] J.L. Morias and P.P. Zamora, "Use of advanced oxidation process to improve the biodegradability of mature landfill leachate," *Journal of Hazardous Materials*, vol. B123, pp. 181–186, 2005.
- [11] T.H. Kim, C. Park, J. Lee, E.B. Shin and S. Kim, "Pilot scale treatment of textile wastewater by combined process (fluidized biofilm process-chemical coagulation-electrochemical oxidation)," *Water Research*, vol. 36, pp. 3979–3988, 2002.
- [12] M. Noorjahan, M. Pratap Reddy, V. Durga Kumari, B. Lave' drine, P. Boule and M. Subrahmanyam, "Photocatalytic degradation of H-acid over a novel TiO<sub>2</sub> thin film fixed bed reactor and in aqueous suspensions," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 156, pp. 179–187, 2003.
- [13] I. Arslan and I.A. Balcioglu, "Degradation of commercial reactive dye stuffs by heterogenous and homogenous advanced oxidation processes: a comparative study," *Dyes and Pigments*, vol. 43, pp. 95–108, 1999.
- [14] M. Koch, A. Yediler, D. Lienert, G. Insel and A. Kettrup, "Ozonation of hydrolyzed azo dye reactive yellow 84(CI)," *Chemosphere*, vol. 44, pp. 109–113, 2002.
- [15] G.M. Shaul, C.R. Dempsey and K.A. Dostal, "Fate of water soluble azo dyes in the Activated Sludge Process," United State Environmental Protection Agency, Water Engineering Research Laboratory, USA, Project summary no. EPA/600/S2-88/30, 1988.
- [16] B. Han, J. Kim, Y. Kim, J.S. Choi, I.E. Makarov and A.V. Ponomarev, "Electron beam treatment of textile dyeing wastewater: Operation of pilot plant and industrial plant construction," *Water Science and Technology*, vol. 52, no. 10-11, pp. 317-324, 2005.
- [17] N. Getoff, "Radiation chemistry and the environment," *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 54, pp. 377–384, 1999.
- [18] N.M. Mahmoodi, N.Y. Limaee, M. Arami, S. Borhany and M.J. Mohammad-Taheri,

“Nanophotocatalysis using nanoparticles of titania. mineralization and finite element modelling of solophenyldye colorization,” *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 189, pp. 1–6, 2007.

[19] A. Doubla, L.B. Bello, M. Fotso and J.L. Brisset, “Plasmochemical decolourisation of bromothymol blue by gliding electric discharge at atmospheric pressure,” *Dyes and Pigments*, vol. 77, pp. 118–124, 2008.

[20] M. Wang, R. Yang, W. Wang, Z. Shen, S. Bian and Z. Zhu, “Radiation-induced decomposition and decoloration of reactive dyes in the presence of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,” *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 75, pp. 286–291, 2006.

[21] T. Ting and N. Jamaludin, “Decolorization and decomposition of organic pollutants for reactive and disperse dyes using electron beam technology: effect of the concentrations of pollutants and irradiation dose,” *Chemosphere*, vol. 73, pp. 76–80, 2008.

[22] Ö. Kantoğlu, “Decoloration and mineralization of aqueous solution of cationic (basic) dye Astrazon Black FDL by using gamma rays,” *Radiochimica Acta*, vol. 105, no. 3, pp. 241-248, 2017.

[23] D. De Zwart and A.J. Folkerts, “Monitoring the toxicity of organic compounds dissolved in Rhine water,” *Hydrobiology Bulletin*, vol. 24, no. 1, pp. 5-12, 1990.

[24] M.E. Lebsack, A.D. Anderson, C.M. Degraeve, and H.L. Bergman, “Comparison of Bacterial luminescence and fish bioassay result for fossil –fuel process waters and phenolic constituents,” *Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Fourth Conference*, 1981, pp 348-356.

[25] *Basic Test, Azur Environmental Ltd, Microtox User Manual*, pp. 23-33, 1998.

[26] L. Wojnarovits, T. Palfi, E. Takacs, and S.S. “Emmi, Reactivity differences of hydroxyl radicals and hydrated electrons in destructing azo dyes,” *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 74, pp. 239–246, 2005.

[27] S. Hammami, N. Bellakhal, N. Oturan, M.A. Oturan, and M. Dachraoui, “Degradation of acid orange 7 by electrochemically generated OH radicals in acidic aqueous medium using a boron-doped diamond or platinum anode: a mechanistic study,” *Chemosphere*, vol. 73, pp. 678–684, 2008.

[28] J. Yang, J. Dai, C. Chen, and J. Zhao, “Effects of hydroxyl radicals and oxygen species on the 4-chlorophenol degradation by photoelectrocatalytic reactions with TiO<sub>2</sub>-film electrodes,” *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 208, pp. 66–77, 2009.

[29] J. Paul, K.P. Rawat, K.S.S. Sarma, and S. Sabharwal, “Decoloration and degradation of Reactive Red-120 dye by electron beam irradiation in aqueous solution,” *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 69, pp. 982-987, 2011.

[30] J. Garcia-Montano, F. Torrades, J.A. Garcia-Hortal, X. Domenech, and J. Peral, “Combining photo-Fenton process with aerobic sequencing batch reactor for commercial hetero-bireactive dye removal,” *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 67, pp. 86–92, 2006.

[31] Ö. Kantoğlu, “Effects of high energetic radiation on the removal and detoxification of cationic dye Astrazon Blue FGRL,” *Turkish Journal of Nuclear Sciences*, vol. 33, no. 1, pp. 1-14, 2021.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Al 2024 Matrisli Farklı Boyutlarda MgO Takviyeli Kompozitlerin Farklı Kesici Takımlarla Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü Takım Aşınması ve Talaş Formunun İncelenmesi

 Muharrem PUL<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mpul@kku.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1037886

### Öz

Bu çalışmada alüminyum matrisli kompozitlere takviye edilen seramik parçacık boyutunun işlenebilirliğe etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ilk etapta üç farklı boyuttaki MgO parçacıkları, %10 ağırlık oranında sıvı Al 2024 içerisine takviye edilerek karıştırılmalı döküm yöntemiyle kompozit malzemeler üretilmiştir. Daha sonra üretilen kompozitler üzerinde tornalama yöntemiyle, iki farklı kesici takım kullanılarak işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneylerde 63, 94, 133 ve 196 m/min kesme hızları, 0,03 mm/rev ilerleme değeri ve 1 mm sabit kesme derinliği uygulanmıştır. İşlenen yüzeylerin pürüzlülük ölçümleri yapılmış, çıkan talaş şekillerine bakılmış ve kullanılan kesici takımların aşınma davranışları incelenmiştir. Sonuç olarak alüminyum matris içerisindeki MgO takviye parçacık boyutunun ve farklı kesici takımların, yüzey pürüzlülüğü, talaş şekli ve takım aşınmaları üzerinde çok önemli etkisi olmadığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünde en önemli etkiyi kesme hızındaki değişimler yapmıştır. Aynı şekilde kesme hızındaki değişimler, talaş şekilleri ve kesici takım aşınma davranışlarında da etkili parametre olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Metal matrisli kompozit, Al 2024, MgO tane boyutu, Kesici takım cinsi, Yüzey pürüzlülüğü, Talaş şekli, Takım aşınması

## The Effect of MgO Particle Size and Cutting Tool Geometry on Machinability in Turning Al 2024/MgO Composite

### ABSTRACT

In this study, the effect of ceramic particle size reinforced on aluminum matrix composites on machinability was investigated. For this purpose, in the first stage, composite materials were produced by mixing MgO particles in three different sizes by reinforcing 10% by weight into liquid Al 2024. Then, machinability tests were carried out on the produced composites by turning method, using two different cutting tools. In the experiments, 63, 94, 133 and 196 m/min cutting speeds, 0.03 mm/rev feed rate and 1 mm fixed cutting depth were applied. The roughness measurements of the machined surfaces were made, the chip shapes were examined and the wear behavior of the cutting tools used was examined. As a result, it was seen that the MgO reinforcement particle size in the aluminum matrix and different cutting tools did not have a significant effect on the surface roughness, chip shape and tool wear. Changes in cutting speed had the most important effect on surface roughness. Likewise, changes in cutting speed were the most effective parameters in chip shapes and cutting tool wear behavior.

**Keywords:** Metal matrix composite, Al 2024, MgO grain size, Cutting tool type, Surface roughness, Chip shape, Tool wear

# I. GİRİŞ

Günümüzde imalat sektörünün çok hızlı gelişmesine bağlı olarak daha üstün özelliklerdeki malzemelere olan ihtiyaçta artmaktadır. Özellikle kompozit malzemeler bu anlamda ön plana çıkmakta ve pek çok sanayi dalında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin bir çeşidi olan metal matrisli kompozitler (MMK) ise pek çok sektörde giderek daha fazla oranda tercih edilmektedirler. Alüminyum, magnezyum ve alaşımları, hafif ve sünek yapıları nedeniyle MMK'lerin üretiminde yaygın olarak kullanılan matris malzemeleridir. Alüminyum matrisli kompozitler, hafifliği, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, aşınmaya ve korozyona karşı mükemmel direnci nedeniyle otomotiv, havacılık, savunma ve denizcilik uygulamalarında yapısal eleman olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel ihtiyaçlara göre alüminyum matris içerisine elyaf, lif ve partikül formundaki takviyeler eklenir. Bu takviye, alüminyum alaşımının mekanik ve tribolojik özelliklerini iyileştirir [1]. Partikül şeklindeki takviye elemanı olarak genellikle SiC, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve MgO gibi malzemeler tercih edilmektedir [2]. MMK malzemeler sıvı faz veya katı faz üretim yöntemleriyle üretilmektedirler. Parçacık takviyeli MMK üretim yöntemlerinden biri olan eriyik karıştırma yöntemi, düşük maliyetli nedeniyle genel amaçlı uygulamalarda iyi bir potansiyele sahiptir [3]. Alüminyum matrisli ve seramik özellikli parçacık takviyeli kompozitler için üstün mekanik ve termal özelliklerinden dolayı genellikle, Al 7075, Al 2024, Al 6061 vb. kalitedeki alüminyum alaşımları tercih edilmektedir. Takviye malzemesi olarak diğer seramikler kadar yaygın kullanımı olmayan MgO (Magnezya) ise, üstün mekanik ve ısıl özellikleri nedeniyle son zamanlarda tercih edilen güçlendirici elemanlardan birisidir. Üretilen bu MMK kompozitler, bir takım imalat işlemlerinden geçerek mamul parça haline getirilmektedir. Bu işlemlerden biriside talaşlı imalat ile şekillendirilmiştir. Talaşlı kaldırmak suretiyle işlenebilirlik özellikleri, MMK malzemelerin ticari olarak kullanılmalarının belirlenmesinde en önemli kriterlerden birisidir [4]. MMK malzemeler içerisine katılan sert fazda ve farklı fiziksel özellikteki takviye elemanları nedeniyle talaşlı işleme zor olan kompozit malzemelerdir. Literatürde MMK malzemelerin işlenebilirliği konusunda farklı çalışmalar mevcuttur [5-8]. Bu çalışmalarda genellikle malzemenin işlenmesinde takım aşınması, ilerleme ve kesme hızının etkisi vb. özellikler araştırılmıştır. Bu deneysel çalışmada ise, literatürden farklı olarak daha spesifik bir konunun araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla karıştırılmalı dökün (vortex) yöntemi uygulanarak, Al 2024 kalite sıvı matris malzemesi içerisine farklı boyuttaki MgO parçacıkları takviye edilerek kompozit numuneler üretilmiştir. Tornalama suretiyle yapılan işleme deneyleriyle, MgO parçacık boyutunun bazı işlenebilirlik kriterleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İşleme deneylerinde talaş kırıcılığı ve talaş kırıcısız olmak üzere iki farklı kesici takım kullanılmıştır. Deneyler sonucunda işlenmiş yüzey pürüzlülükleri, talaş formu ve kesici takım aşınmaları değerlendirilmiştir.

## II. MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmada matris malzemesi olarak kullanılan 2024 kalite alüminyum alaşımı ve takviye elemanı olarak kullanılan MgO (magnezya)'nın teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

*Tablo 1. Kompozitlerin üretiminde kullanılan matris malzemesi ve takviye elemanın özellikleri*


	%Fe	%Si	%Cu	%Cr	%Mn	%Mg	%Zn	%Zi+Ti	%Diğer	%Al
Al 2024	0,5	0,5	3,8-4,9	0,1	0,3-0,9	1,2-1,8	0,25	0,15	0,15	Kalan
	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )		Erime der. (°C)		Sertlik (HB)		Çekme day. (MPa)		Isıl İlet. (W/mK)	
	2,78		638		120		310-395		121	
MgO	% MgO			% FeO			% SiO <sub>2</sub>		% CaO	
	98			0,6			1		0,4	
	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )		Erime der. (°C)		Sertlik (HB)		Çekme day. (MPa)		Isıl İlet. (W/mK)	
	3,58		2852		5,8		83-166		45-60	

Kompozit malzemelerin üretim işlemi karıştırılmalı döküm (vortex) yöntemiyle yapılmıştır. İlk olarak elektrikli eritme ocağı içerisindeki potaya matris malzemesi külçe Al 2024 koyularak ocak sıcaklığı 750 °C'ye çıkıncaya kadar beklenmiştir. Bu sırada pota içerisinde tamamen sıvılaştıran Al 2024 içerisine %10 ağırlık oranındaki takviye elemanı MgO parçacıkları ilave edilmiştir. Eritme işlemi sırasında pota içerisine ayrıca % 0,05 ağırlık oranında saf Mg (magnezyum) ilave edilmiştir. Mg ilavesi, sıvı alüminyum matrisin MgO takviye parçacıklarını daha kolay ıslatması amacıyla yapılmıştır. Karıştırma işlemi, 750 rpm hızda ve 10 dakika süre boyunca devam ettirilmiştir. Bu süre sonunda karıştırma işlemi durdurularak sıvı haldeki kompozit karışım, yaklaşık 300°C'ye ısıtılarak hazırlanan 30 mm çapındaki çelik kalıplara dökülüp numune üretim süreci tamamlanmıştır. Bu işlemler üç farklı takviye boyutu için ve şahit numune olması amacıyla MgO ilavesiz saf Al 2024 malzeme için ayrı ayrı tekrar edilmiştir. Döküm işlemi sonrasında 30 mm çapında 150 mm boyunda Al 2024/MgO kompozit numuneler üretilmiştir. Bundan sonra deneysel çalışmanın ikinci aşaması olan tornada işlenebilirlik deneyleri başlatılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri, özellikleri Tablo 2'de verilen universal torna tezgahında yapılmıştır.

**Tablo 2.** Tornalama deneylerinde kullanılan torna tezgahına ait özellikler

Marka/Model	Max. çap	Ayna-punta mesafesi	Ayna devir aralığı	Motor gücü	Motor devri	Ağırlık
Harrison /M300	480 mm	1000 mm	40-2500 rpm	2,2 kW	1500 rpm	585 kg

Deneylerde talaş kırıcı ve talaş kırıcı olmayan olmak üzere iki farklı kesici takım kullanılmıştır. Şekil 1'de kesici takımlar ve takım tutucuya ait teknik özellikler verilmektedir.



ISO kalite kodu	SNMA 12 04 08-KR 3210	ISO kalite kodu	SNMG 12 04 08-QM H13A
Kaplama	CVD TiCN+AL2O3+TiN	Kaplama	-
LE	11,9	LE	11,9
RE	0,7938	RE	0,7938
IC	12,7	IC	12,7
S	4,7625	S	4,7625



**Şekil 1.** İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesici takımlar ve takım tutucu

Deneylerde kullanılan kesici takımlar için PSBNR 2020K 12 takım tutucusu kullanılmıştır. Takım tutucunun yanaşma açısı 75°, talaş açısı 6°'dir. Tornada işleme deneylerinde 196 m/min, 133 m/min, 94 m/min, 63 m/min olmak üzere 4 farklı kesme hızı, 0,03 mm/dev ilerleme ve 1 mm sabit kesme derinliği uygulanmıştır. Kesme hızlarının seçiminde, literatürde yer alan bir çalışmanın sonuçlarında tavsiye edilen kesme hızı aralıklarının kullanılması kararlaştırılmıştır [9]. Ayrıca kesici takım üreticilerinin önerdiği kesme hızı aralıkları da dikkate alınmıştır. Tornalama deneylerinde kullanılan kesme hızları ve deney planı Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. İşlenebilirlik deney planı

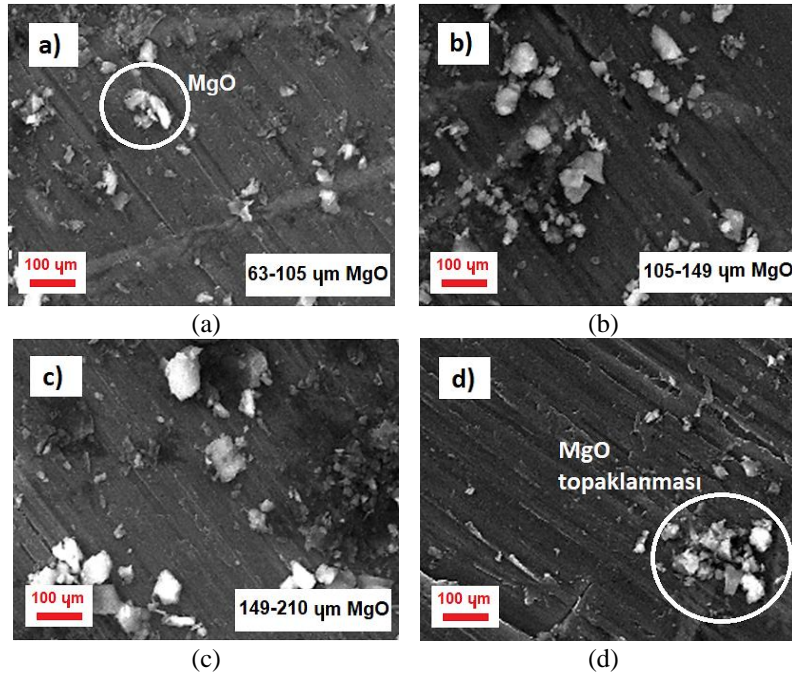
MgO takviye boyutu	SNMA 12 04 08-KR 3210				SNMG 12 04 08 – QM H13A			
	Kesme Hızı, m/dak				Kesme Hızı, m/dak			
	196	133	94	63	196	133	94	63
63-105 $\mu\text{m}$	D1	D2	D3	D4	D17	D18	D19	D20
105-149 $\mu\text{m}$	D5	D6	D7	D8	D21	D22	D23	D24
149-210 $\mu\text{m}$	D9	D10	D11	D12	D25	D26	D27	D28
MgO yok	D13	D14	D15	D16	D29	D30	D31	D32

İşlenmesi biten yüzeylerin pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde *MarSurf PSI* marka portatif pürüzlülük ölçme cihazıyla yapılmıştır. Her yüzeyin en az 5 farklı bölgesinden yapılan ölçmelerden elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak ortalama yüzey pürüzlülük değeri *Ra* belirlenmiştir. Ayrıca, incelenmesi amacıyla, tornalama deneyleri sırasında çıkan talaşlardan örnekler alınmıştır.

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### A. MİKROYAPI DEĞERLENDİRMESİ

Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen MgO parçacık takviyeli kompozit malzemelerin mikroyapılarını incelemek amacıyla SEM mikroskobunda çekilen görüntüler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. MgO takviyeli kompozit numunelere ait SEM görüntüleri (a-d)

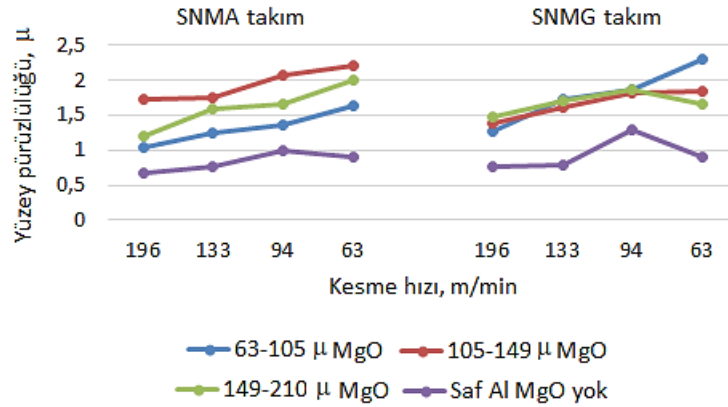
Şekil 2’deki mikroskop görüntülerine bakıldığında MgO tanecik boyutunun giderek büyüdüğü görülmektedir. Ancak takviye elemanı MgO’ın Al 2024 matris malzemesi içerisindeki dağılımının çok homojen olmadığı ifade edilebilir. Bu tür parçacık takviyeli metal matrisli kompozit yapılarda iyi bir homojenitenin olmaması sıklıkla karşılaşılan ve literatürde yer alan bir durumdur [10]. Karıştırmalı döküm yönteminde kullanılan takviye elemanı yoğunluğu (özgül ağırlığı), genellikle matris malzemesi sıvı metalden daha yüksek olmaktadır. Bu durumda karıştırma sırasında veya sonrasında takviye tanecikleri dibe çökmeye çalışırlar. Ayrıca karıştırma sırasında oluşan vorteksin etkisiyle MgO parçacıkları belli bir yöne doğru hareket edebilirler. Her iki durumda da homojen bir takviye dağılımı elde etmek zorlaşır. Ancak takviye tanecik boyutun küçük seçilmesi ile homojen dağılım bir miktar



iyileştirilebilmektedir. Literatürdeki bir çalışmada alüminyum matrisi içerisine takviye edilen SiC partikül boyutunun küçültülmesiyle daha iyi homojen dağılım elde edildiği ifade edilmektedir [11]. Bu tür parçacık takviyeli kompozitlerin üretiminde karşılaşılan diğer olumsuzluk ise takviye elemanının matris içerisinde belli bölgelerde birikerek topaklaşmasıdır (Şekil 2 d). Topaklaşmanın farklı sebepleri olmakla birlikte, takviye oranının artmasıyla toplaklaşma eğiliminin de arttığı bilinmektedir. Literatürdeki yer alan ve %1,5-%2,5 ve %5 MgO takviye edilmiş alüminyum kompozitlerin üretildiği bir çalışmada, MgO oranının artmasıyla takviye topaklaşmasının meydana geldiğinden bahsedilmektedir [12]. Başka bir çalışmada ise alüminyum matris içerisindeki MgO ve SiC partikül ağırlık oranının artmasıyla gözenekliliğin de artmakta olduğu rapor edilmiştir [13]. Dolayısıyla karıştırmalı döküm yönteminin kullanılacağı kompozit üretimlerinde, takviye elemanı yoğunluk değeri ile matris malzemesi yoğunluk değerinin birbirine mümkün olduğunca yakın olması ve çok yüksek takviye oranlarının tercih edilmemesi önerilmektedir.

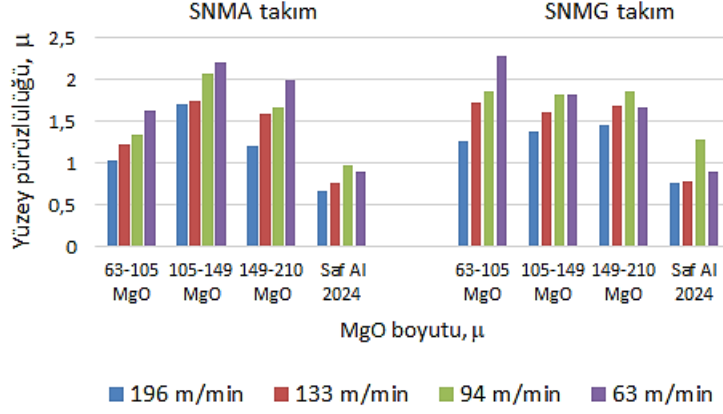
## B. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tornalama işlemi biten yüzeylerin pürüzlülük ölçümlerinden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine göre Şekil 3 ve Şekil 4'teki grafikler oluşturulmuştur.



**Şekil 3.** SNMA 12 04 08-KR 3210 ve SNMG 12 04 08-QM H13A takımlar ile 196 m/min, 133 m/min, 94 m/min, 63 m/min kesme hızlarında, 63-105 µ, 105-149 µ, 149-210 µ boyutunda MgO parçacık takviyeli ve MgO takviyesiz Al 2024 kompozitlerin işlenmesinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri

Şekil 3'teki grafikler incelendiğinde ilk göze çarpan husus, üç farklı MgO parçacık boyutunda da kesme hızının artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma olduğudur. Dolayısıyla, kesme hızındaki artışların yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde olumlu etki yaptığı anlaşılmaktadır. Ancak 149-210 µ MgO parçacık takviyeli numunenin SNMG kodlu takım ile işlenmesinde sıra dışı bir durum ortaya çıkmıştır. Kesme hızının 94 m/min'dan 63 m/min'ya düşmesiyle yüzey pürüzlülük değerinde beklenen artışın tersine azalma meydana gelmiştir. Bu tür parçacık takviyeli metalik kompozitlerde takviye elemanının çok homojen dağılmaması sonucunda, işleme sırasında bazı kararsız davranışlar meydana gelebilmektedir. Muhtemelen kompozit numune üzerinde bu deneyin yapıldığı bölgedeki MgO takviye miktarı çok düşük seviyede kaldığı düşünülmektedir. Bu durumda kompozit malzemenin saf Al 2024 malzemeye yakın bir yüzey pürüzlülük değeri gösterdiği kanaati oluşmuştur. Ayrıca MgO takviyesiz saf Al 2024 malzemenin SNMG takım ile işlenmesinde de benzer bir durum ortaya çıkmıştır. 94 m/min kesme hızından 133 ve 196 m/min kesme hızlarına çıkıldığında yüzey pürüzlülük değerleri azalırken, 63 m/min kesme hızına düşüldüğünde de aynı şekilde azalma meydana gelmiştir. Bu sıra dışı davranışın SNMG takımındaki kaplama ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Saf Al 2024 malzeme içerisinde sert fazdaki MgO takviye parçacıklarının olmaması takım kaplamasının daha uzun süre takım yüzeyinde kalmasına neden olmuştur. Dolayısıyla takım kaplamasının, 63 m/min gibi düşük kesme hızlarında beklenen yüksek yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etki yaparak, pürüzlülük değerini azalttığı değerlendirilmektedir.



**Şekil 4.** SNMA 12 04 08-KR 3210 ve SNMG 12 04 08-QM H13A takımlar ile 63-105 µ, 105-149 µ, 149-210 µ boyutunda MgO parçacık takviyeli ve MgO takviyesiz Al 2024 kompozitlerin 196 m/min, 133 m/min, 94 m/min, 63 m/min kesme hızlarında işlenmesinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri

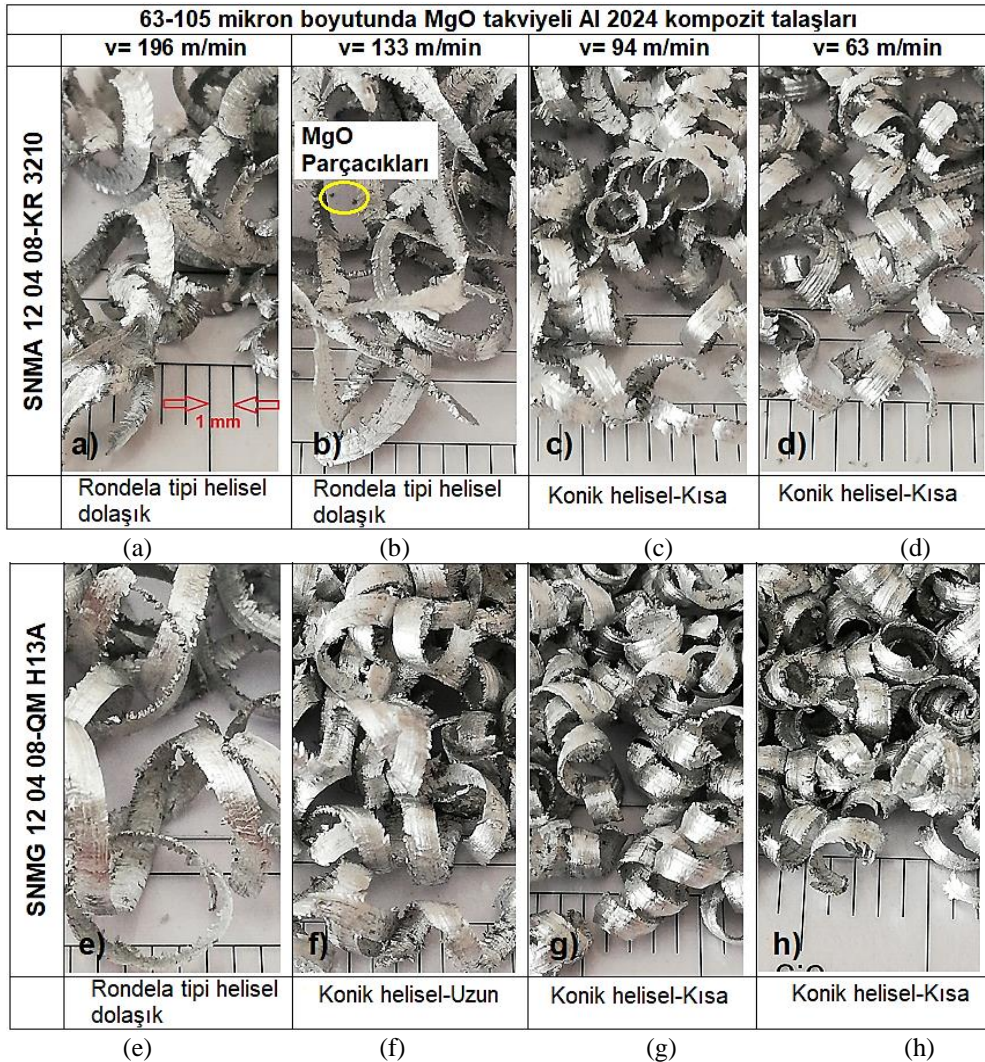
Şekil 4'teki genel grafik incelendiğinde, kesme hızındaki artışla beraber yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin MgO takviyesiz saf Al 2024 malzemenin işlenmesinden elde edildiği göze çarpmaktadır. Bu beklenen normal bir sonuçtur. Zira matris malzemesi Al 2024 içerisine ilave edilen MgO parçacıklarının sert ve düzgün olmayan şekli sebebiyle kompozit yapı içerisinde kararsız bir durum oluşturacağı bilinmektedir. SNMA kodlu takım ile işlenen kompozitlerde en yüksek pürüzlülük değerleri 105-149 µ boyutunda MgO takviyeli numunelerde elde edilmiştir. MgO parçacık boyutu 63-105 mikron'dan 105-149 mikron'a çıktığında yüzey pürüzlülük değerleri yükselmiştir. Ancak 105-149 mikron'dan 149-210 mikron'a çıktığında ise tekrar azalmaya başlamıştır. Fakat yine de 63-105 mikron MgO takviyeli numuneden bir miktar yüksek kalmıştır. Kesme hızı yönünden bakıldığında, kesme hızı değerlerinin azalmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin yükselmekte olduğu görülmektedir. MgO parçacık boyutunun yaklaşık iki katına çıkmasına rağmen pürüzlülük değerlerinde bu oranda bir değişim meydana gelmemiştir. Bu kısa değerlendirme sonucunda MgO takviye boyutunun işlenen yüzeylerin pürüzlülük değeri üzerinde çok fazla etkili olmadığı ifade edilebilir. Deneylerde kullanılan iki farklı kesici takımdan elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinde de çok önemli farklılıklar ortaya çıkmadığı söylenebilir. Bu tür parçacık takviyeli alüminyum kompozitler için talaş kırıcı formdaki kesici takımların kullanılmasının yüzey kalitesi üzerinde kayda değer etki yapmadığı görülmüştür. Şekil 4'teki grafikte görülen başka bir husus, diğer parametrelerden bağımsız olarak artan kesme hızıyla beraber, ortalama yüzey pürüzlülüğündeki azalma eğilimidir. Takım-iş parçası ve takım-talaş etkileşimi dikkate alındığında; kesme hızının artmasına bağlı olarak kesme bölgesindeki sıcaklığın artmasıyla beraber 1. deformasyon bölgesinde plastik deformasyon kolaylaşırken aynı şekilde 2. deformasyon bölgesinde talaş akışı ve talaşın biçimlenmesi kolaylaşmaktadır. Bu durum, beklenen şekilde yüzey kalitesini olumlu etkileyerek yüzey pürüzlülüğünün azalmasına sebep olmaktadır. Ancak kesme hızındaki aşırı artışlar, takımın aşınma sürecine daha erken girmesine sebep olacağından kesme hızının belli bir sınıra kadar artırılması yüzey kalitesi açısından olumlu olurken, daha fazla artırılması yüzey kalitesinde tekrar kötüleşmeye sebep olabilmektedir [14].

Şekil 3'teki grafiklerin tamamında görünen artan kesme hızıyla yüzey kalitesinin iyileşme eğilimi seçilen kesme hızı değerlerinin uygun olduğunu göstermektedir. Metallerde ve alaşımlarından farklı olarak bu tür parçacık takviyeli kompozitlerdeki sert fazların oranı, dağılımı ve biçimi ile birlikte kompozit yapıdaki gözenek miktarı yüzey kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Genel bir kanaat olarak, işlenen yüzeylerin pürüzlülüğünde artan kesme hızıyla birlikte iyileşme gözlenirken, artan ilerleme miktarıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri de artarak yüzeylerin pürüzlülük miktarlarında artış meydana geldiği kabul edilmektedir. Yüzey pürüzlülük değerlerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu literatürde daha çok yer almaktadır [9, 15-18]. Bu sonuçlar literatürdeki çok fazla araştırmada yer aldığından, yapılan bu çalışmada ilerleme değeri sabit tutulmuş ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin incelenmesi düşünülmemiştir. Ancak bu çalışma ile kesme hızındaki değişimlerinde yüzey

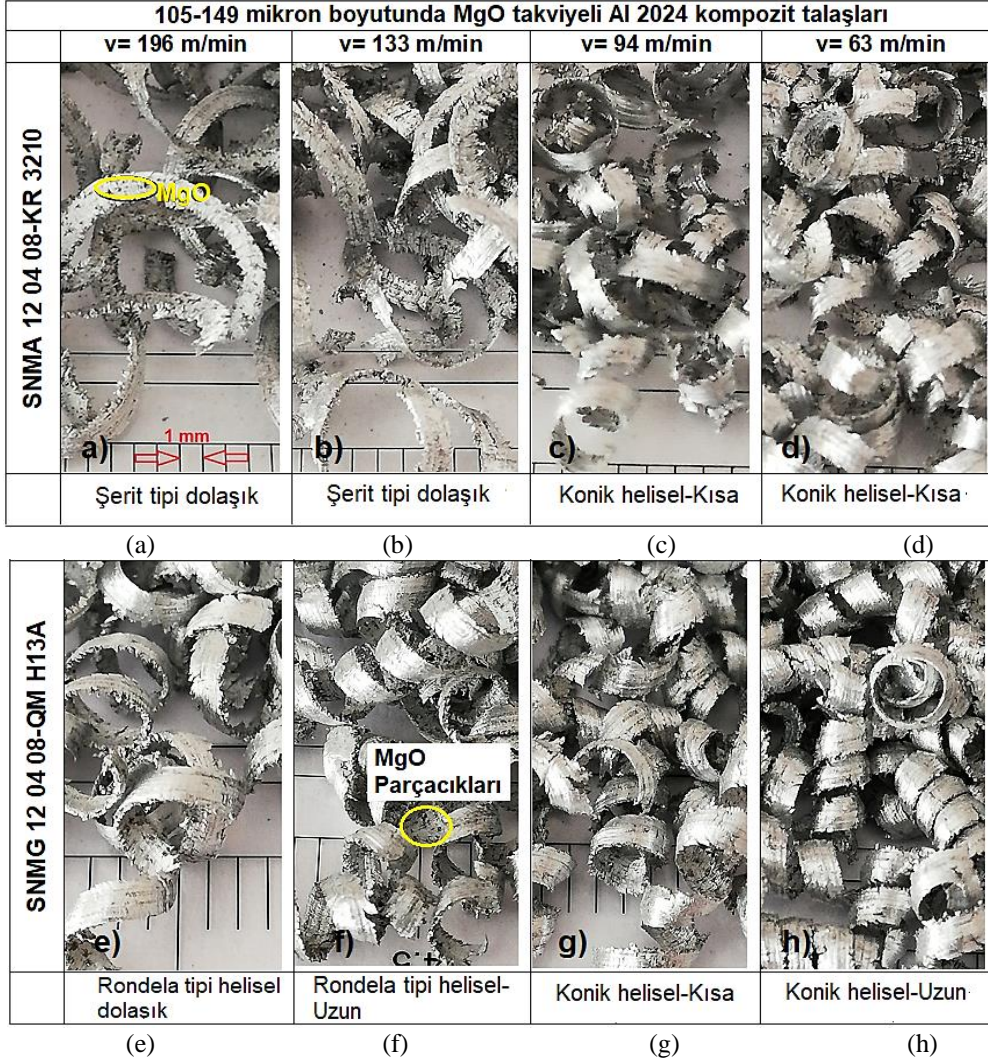
pürüzlülük değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Seçilen kesme hızı değerlerinin nispeten düşük olmasının bu sonuç üzerinde etkili olduğu ifade edilebilir. Alüminyum gibi sünek malzemelerin talaşlı imalatında seçilen düşük kesme hızlarında talaş kesme bölgesinden çok hızlı ayrılmamaktadır. Bu durumda talaş yığılmalar (BUE) ve/veya talaş katmanı (BUL) oluşabilmektedir. Ayrıca çıkan talaşların düzensiz formunun, işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerlerini arttırdığı söylenebilir. Tornalama işleminde çıkan talaşların, takım ucu ile işlenen malzeme yüzeyi arasına sıkışarak kazıma veya çizme etkisi yapabileceği varsayılmaktadır. Benzer bir çalışmada, kesici takım ucunda oluşan BUE'nin işlenen yüzeylerin pürüzlülüğü üzerinde önemli etkisi olduğu ifade edilmiştir [19].

### C. TALAŞ ŞEKLİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen %10 MgO takviyeli Al 2024 kompozitlerin 0,03 mm/rev ilerlemede, 1 mm sabit kesme derinliğinde, 196 m/min, 133 m/min, 94 m/min ve 63 m/min kesme hızlarında SNMA ve SNMG takımlar ile yapılan talaşlı işleme deneylerinde çıkan talaşlardan alınan numunelerin görüntüleri Şekil 5, 6, ve 8'de MgO tanecik boyutuna göre ayrı ayrı verilmiştir. Metalik malzemelerin işlenebilirliğinin incelendiği çalışmalarda, genellikle ISO 3685 standardında belirtilen talaş tipleri dikkate alınmaktadır.

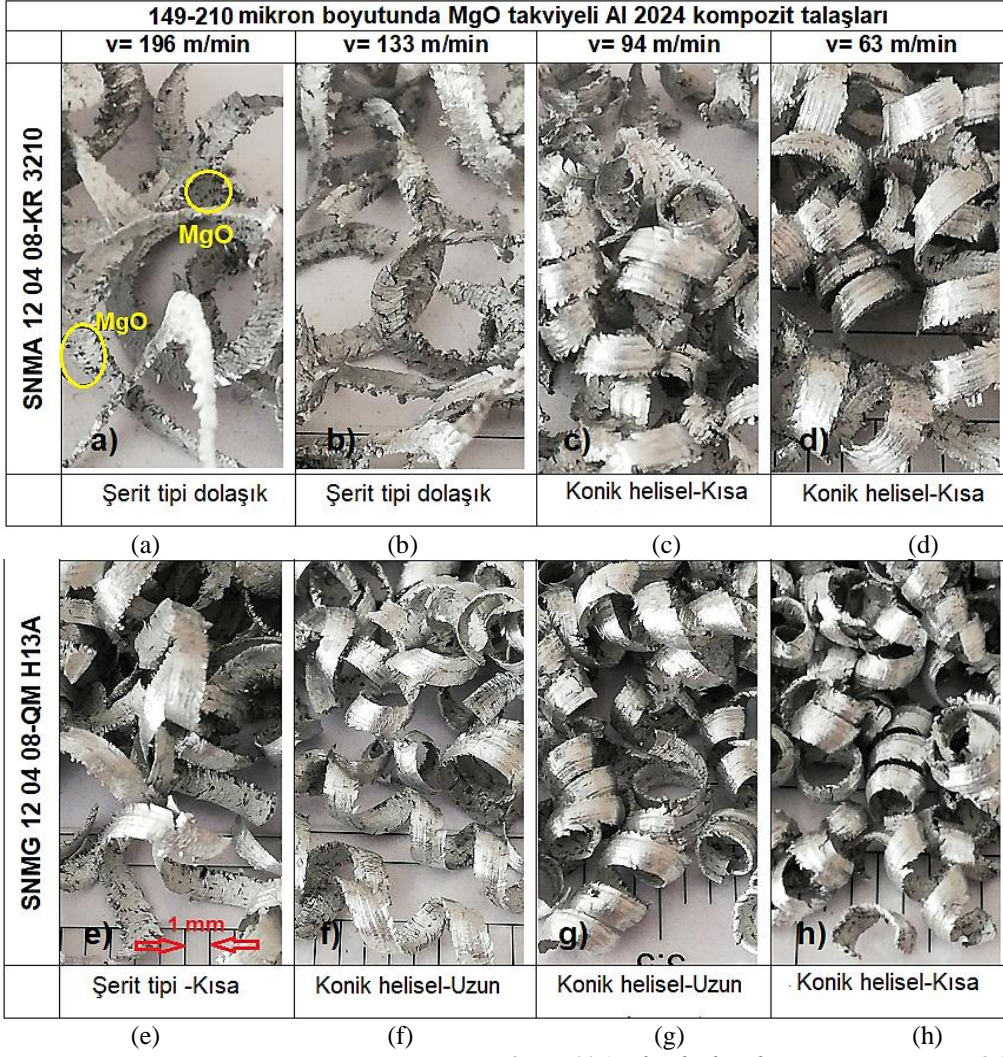


Şekil 5. SNMA 12 04 08-KR 3210 ve SNMG 12 04 08-QM H13A takımlarla işlenen 63-105  $\mu$  MgO katkı Al 2024 kompozit numune talaşları (a-h)

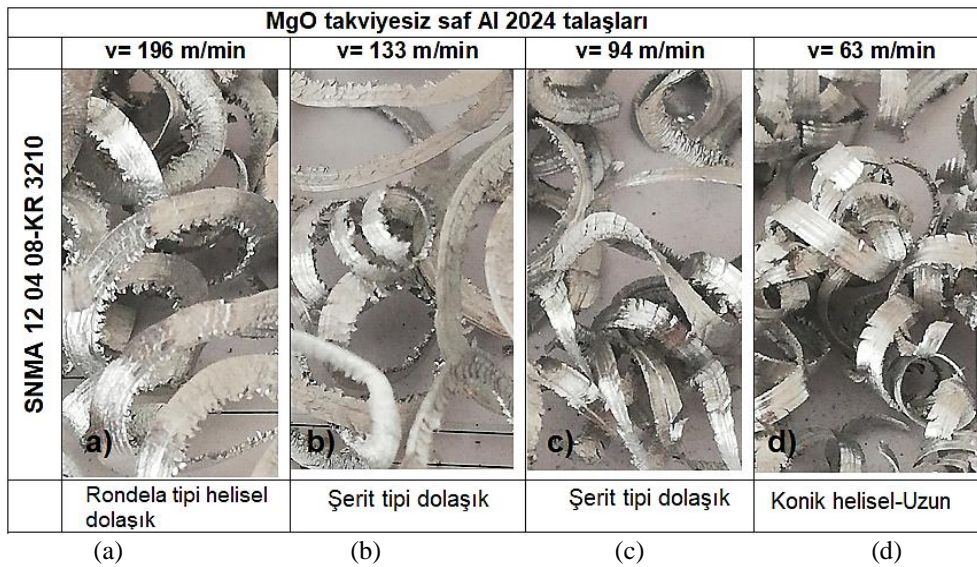


Şekil 6. SNMA 12 04 08-KR 3210 ve SNMG 12 04 08-QM H13A takımlarla işlenen 105-149  $\mu$  MgO katkılı Al 2024 kompozit numune talaşları (a-h)

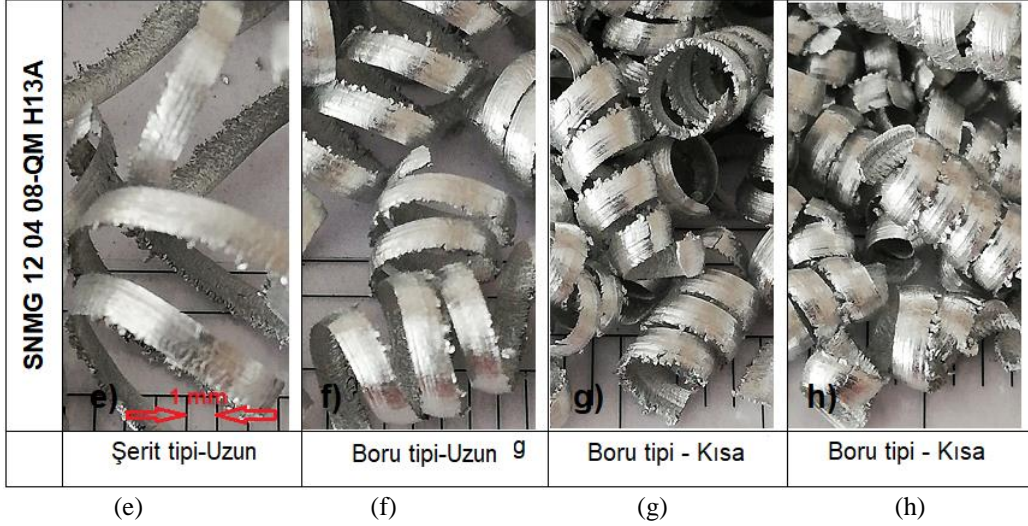
Şekil 5 ve Şekil 6'daki talaş görüntülerine topluca bakıldığında, kesme hızındaki azalmaya bağlı olarak talaş şekillerinin değiştiği anlaşılmaktadır. 196 m/min ve 133 m/min kesme hızlarında oluşan rondela tipi helisel dolaşık talaş (Washer-type helical-Snarled), 94 m/min ve 63 m/min kesme hızlarında konik helisel kısa tip talaş (Conical helisel chips-Short) biçimine dönüşmüştür. Dikkat çeken diğer husus ise talaş kenarlarındaki yırtıklar ve çatlakların meydana gelmiş olmasıdır. Alüminyum gibi yumuşak ve sünek metallerin işlenmesinde bu tür yırtıklar oluşabilmektedir. Talaş oluşumu ve şekli; iş parçasının malzemesine, kesici takımın geometrisine, kesme hızına, ilerlemeye ve kesme derinliği gibi işleme parametreleriyle ilişkilidir [20]. İki farklı kesici takım arasında kıyaslama yapılacak olursa, kesici takım türünün talaş şekli üzerinde çok önemli bir etkisinin olmadığı ifade edilebilir. Sadece 133 m/min kesme hızında SNMG takımında konik helisel uzun tip talaş (Conical helisel chips-Long) meydana gelmiştir. Normal şartlarda talaş kırıcı formda olan SNMG takımlardan elde edilen talaşlarda bariz bir farkın olması beklenirdi. Ancak durum böyle olmamıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımların ikisi de negatif talaş açısında talaş kaldırma işlemi yapmıştır. Talaş kırıcı formdaki takımların pozitif talaş açısı ile işleme yapmasının talaş üzerinde daha fazla kırma etkisi yaptığı bilinmektedir. Bu durumda SNMA takımlar ile kıyaslandığında, SNMG kodlu takımların negatif talaş açısına sahip olması nedeniyle çıkan talaşlarda beklenen oranda şekil değişikliklerinin oluşmadığı değerlendirilmiştir.



Şekil 7. SNMA 12 04 08-KR 3210 ve SNMG 12 04 08-QM H13A takımlarla işlenen 149-210  $\mu$  MgO katkılı Al 2024 kompozit numune talaşları (a-h)

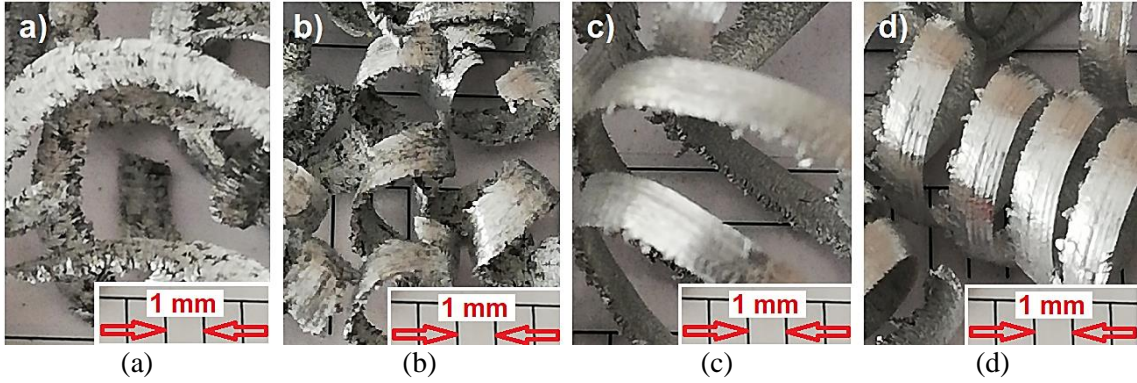


Şekil 8. SNMA 12 04 08-KR 3210 ve SNMG 12 04 08-QM H13A takımlarla işlenen MgO katkısız saf Al 2024 numune talaşları (a-h)



Şekil 8. (devamı)

Şekil 5, 6, 7 ve 8'deki talaş görüntülerine topluca olarak bakıldığında, MgO takviye boyutunun talaş şekli üzerinde önemli farklılıklar oluşturmadığı söylenebilir. Ancak MgO takviyesiz saf Al 2024 numuneden çıkan talaşlarda bariz bir şekil değişimi göze çarpmaktadır. MgO takviyeli numunelerde genel olarak rondela tipi helisel dolaşık talaş (Washer-type helical-Snarled) ve konik helisel kısa tip talaş (Conical helisel chips-Short) meydana gelmiştir. Saf Al 2024 malzemede ise daha çok Şerit Talaş tipleri (Tubular chips) oluşmuştur. Bu durumda, MgO parçacıklarının çıkan talaşın sürekliliğini azalttığı ve talaşların daha kısa sürede ve uzamadan koptuğu değerlendirilmektedir. Kompozit yapı içerisindeki MgO parçacıklarının Al 2024 malzemenin sünekliğini azalttığı söylenebilir. Özellikle MgO parçacıklarının topaklaştığı ve gözenek oluşturduğu bölgelerde çıkan talaşın kesintiye uğradığı ve kararsız bir yapıya dönüştüğü anlaşılmaktadır. İşleme deneyleri sırasında, talaşın içerisinden kopan MgO parçacıklarının boşluklar oluşturduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca bu boşlukların talaş kenarlarında yırtıklar oluşturduğu görülmektedir. Bu amaçla, MgO parçacıklarının talaş üzerindeki etkisinin daha net anlaşıldığı görüntüler Şekil 9'da verilmiştir.



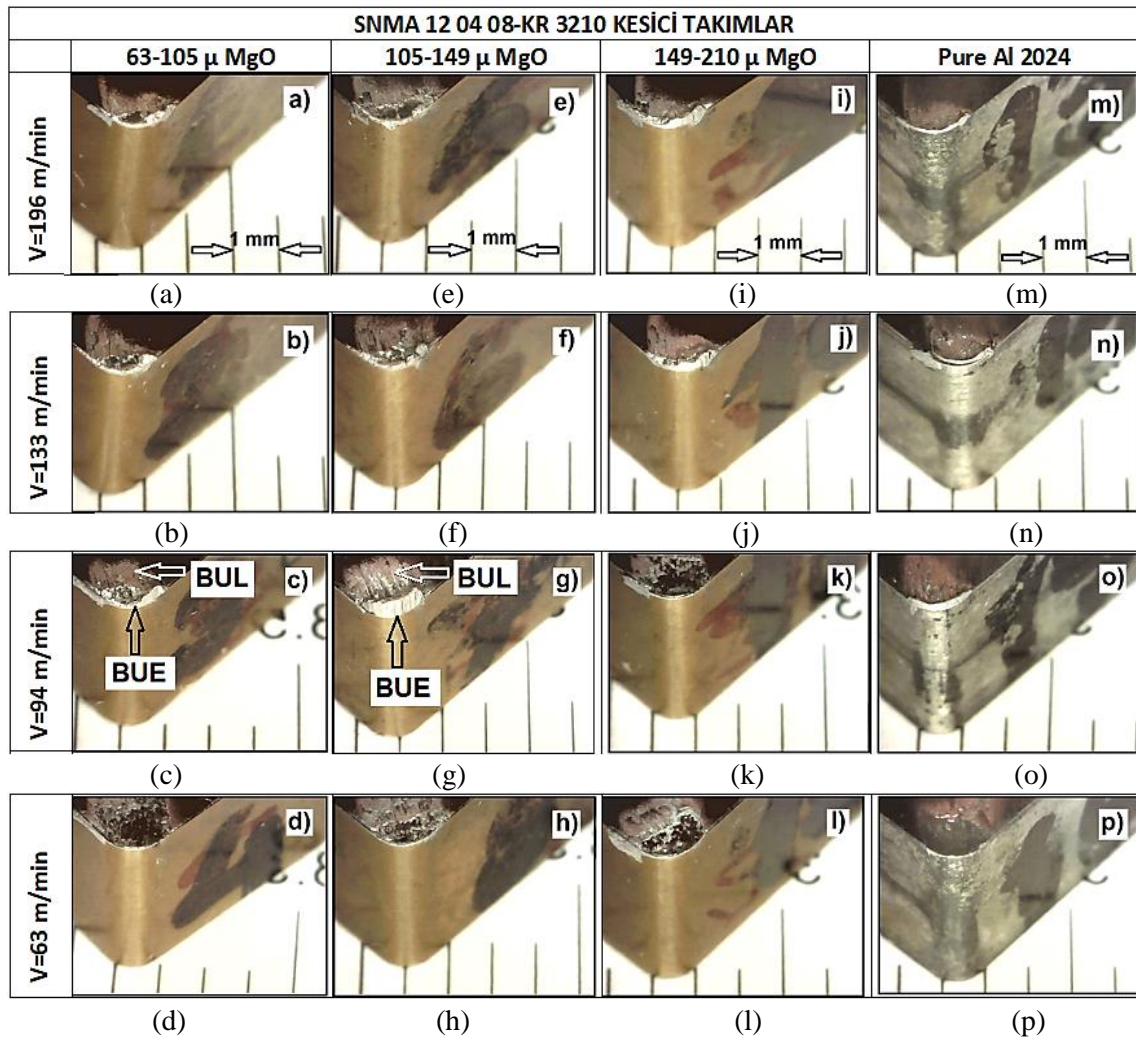
Şekil 9. MgO takviye parçacıklarının talaşın yapısına etkisi (a-d)

Şekil 9 a) ve b)'deki talaş görüntüleri incelendiğinde, talaşların üzerinde gömülü haldeki MgO parçacıkları ve MgO parçacıklarının koparak uzaklaşması sonucunda ortaya çıkan gözenekler görülebilmektedir. Talaşlar üzerindeki koyu/siyah renkli noktalar gözenekleri ifade etmektedir. Aynı zamanda bu gözenekler içerisinde gömülü halde MgO parçacıkları yer almaktadır. Ayrıca MgO takviyeli talaş yüzeylerindeki çatlak ve yırtık bölgelerde dikkat çekmektedir. Bu kararsız ve bozuk talaş yapısının en önemli nedeninin takviye elemanı MgO parçacıkları olduğu anlaşılmaktadır. Benzer sonuçlar literatürde yer almaktadır [9, 21]. Talaş yüzeyinden koparak ayrılan MgO parçacıklarının kesici takım ile, işlenen yüzeylerin arasında sürtünerek pürüzlülük değerlerini yükselttiği düşünülmektedir. Aynı zamanda işleme sırasında MgO takviye parçacıklarının kompozit yapı içerisinde ayrılarak küçük boşluklar oluşturduğu Şekil 9 a) ve b)'deki görüntüden anlaşılmaktadır. Benzer sonuçlar literatürdeki

bir çalışmada rapor edilmiştir [22]. Bu talaş formunun yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz etki yaptığı da ayrıca söylenebilir. Özellikle 63 m/min ve 94 m/min kesme hızlarındaki yüksek pürüzlülük değerlerinin oluşmasında, MgO parçacıklarının tesiri yanında, konik helisel şeklindeki talaş formunun da etkili olduğu söylenebilir. Zira bu tip talaşların yüzeyi terk ederken kıvrılması sırasında iş parçası yüzeyine devamlı sürtünmekte olduğundan, yüzeyin pürüzlülüğü üzerinde olumsuz etki yapabilmektedir.

#### D. TAKIM AŞINMA DAVRANIŞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

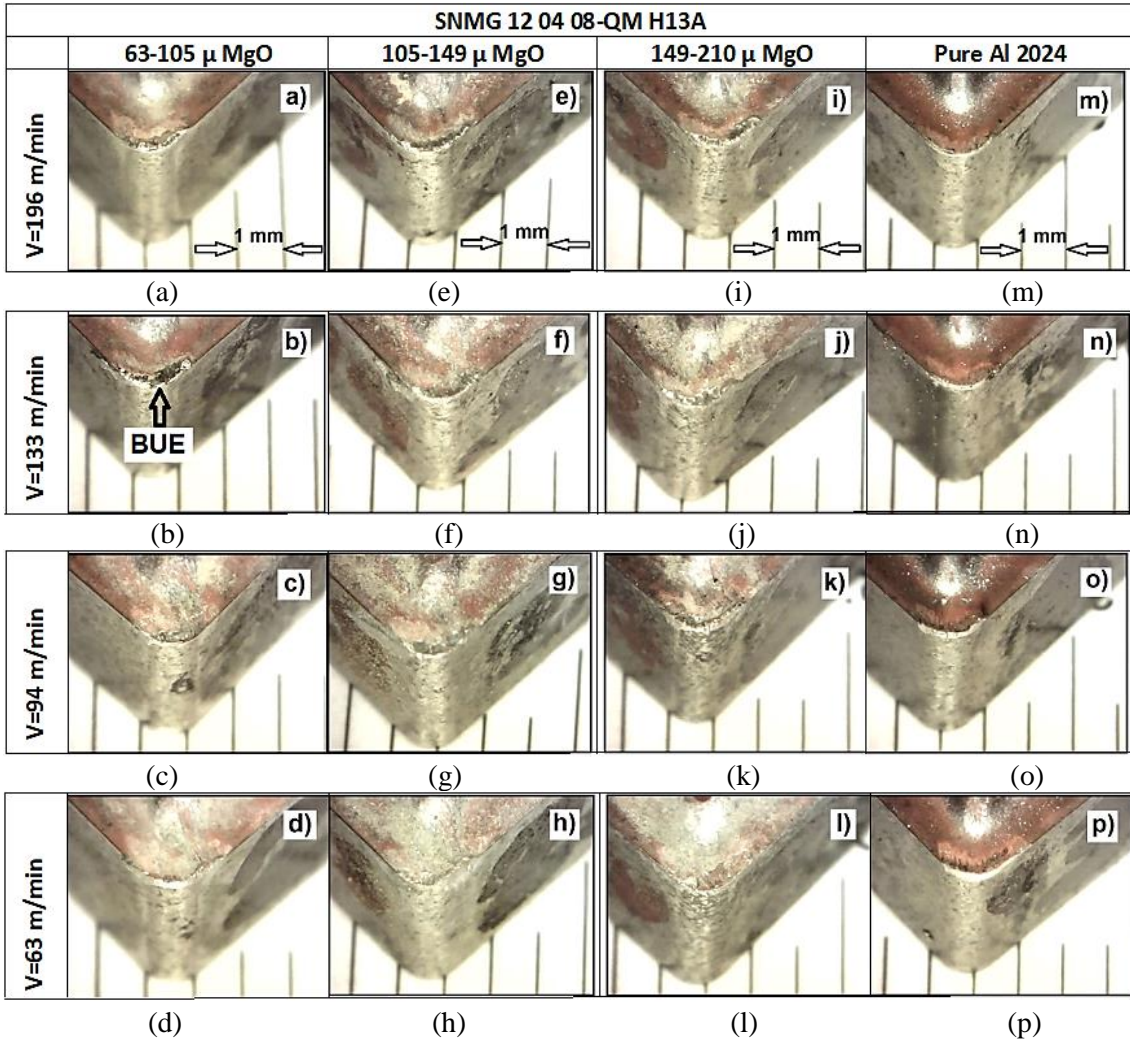
Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen 63-105  $\mu$ , 63-105  $\mu$  ve 63-105  $\mu$  olmak üzere 3 farklı parçacık boyutunda % 10 oranında MgO takviyeli kompozitler ile saf Al 2024 numunelerin tornalandığı kesici takımlara ait dijital mikroskop görüntüleri Şekil 10 ve 11’de verilmektedir. Tornalama deneyleri her numune için, 196 m/min, 133 m/min, 94 m/min ve 63 m/min kesme hızlarında, 0,03 mm/rev ilerleme değerlerinde ve 1 mm sabit kesme derinliğinde kuru işleme şartlarında yapılmıştır.



Şekil 10. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan SNMA 12 04 08-KR 3210 kodlu kesici takımlar (a-p)

Şekil 10’deki kesici takım görüntülerine topluca bakıldığında, kesici takımların çoğunda bir miktar yığıntı talaş (BUE) oluştuğu görülmektedir. Talaşlı imalat işleminde, iş parçası malzemesi kesici takım üzerine iki şekilde yapışmaktadır. Birincisi, kesici kenar üzerine iş parçası malzemesinin yapışmasıdır. Bu durum BUE oluşumu olarak adlandırılmaktadır. İkincisi, iş parçası malzemesi kesici takım talaş yüzeyinde geniş bir alana yayılarak yığıntı katmanı (BUL) yapışma mekanizması oluşturmasıdır. İşleme sırasında talaşın takım yüzeyine sürtünmesiyle oluşan yüksek sıcaklık, talaşın kesici takımın üst yüzeyine yapışmasını kolaylaştırmakta ve BUE/BUL meydana gelmektedir [20]. Alüminyumun ve

alüminyum alaşımlarının talaşlı imalatı sırasında kesici takım ucunda BUE ve BUL oluşumu literatürdeki farklı çalışmalarda yer almaktadır [9,19, 23,24]. Şekil 10'daki kesici takım uçları incelendiğinde BUE'nin BUL'dan daha fazla etkili olduğu ifade edilebilir. Özellikle 196 m/min, 133 m/min ve 94 m/min kesme hızlarında işlenen MgO takviyeli kompozit malzemelerin tamamında BUE'nin etkisi oldukça fazla olmuştur (Şekil 10 a), b), c), e), f), g), i), j). Aynı şekilde MgO takviyeli kompozit numunelerin tamamında az miktarda BUL meydana gelmiştir. MgO takviyesiz saf Al 2024 malzemede ise BUE ve BUL miktarları yok denecek kadar az miktardadır (Şekil 10 m), n), o), p). Ayrıca bazı takımlarda çok az miktarda yan yüzey (yanak) aşınma mekanizmasının oluştuğu söylenebilir. Yanak aşınması daha çok 196 m/min ve 133 m/min kesme hızında ve 149-210 mikron MgO takviyeli numunelerin işlendiği kesici takımlarda meydana gelmiştir (Şekil 10 i), j). Bu sonuç normal karşılanabilir. Çünkü kesme hızı arttıkça sürtünmeye bağlı olarak takım kenarındaki deformasyon artacaktır. Ayrıca kompozit yapı içerisinde yer alan sert fazdaki MgO parçacıklarının boyutunun büyümesiyle (149-210  $\mu$ ) takım kenarında daha geniş bir alanda sürtünme etkisi oluşturmuştur. Kesici takımlarda meydana gelen BUE ve BUL oluşumlarında bazı sıra dışı durumların meydana gelmesi ise işlenen malzemenin karasız yapısıyla ilişkilendirilebilir. Kompozit yapı içerisindeki MgO'nin çok homojen olmayan dağılımı, yer yer oluşan MgO topaklanmaları ve/veya gözenekli mikroyapı bu tür takım davranışlarına neden olabilmektedir. Literatürde buna benzer sonuçlara işaret edilmektedir. Şekil 10'daki SNMG kesici takım görüntüleri genel olarak değerlendirilirse, kompozit yapı içerisindeki MgO parçacık boyutundaki farklılığın takım aşınma davranışları üzerinde çok etkisinin olmadığı ifade edilebilir. Diğer taraftan kesme hızındaki değişimlerin, kesici takım aşınma davranışları ve BUE/BUL oluşumu üzerinde daha fazla etkili olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 11. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan SNMG 12 04 08-QM H13A kodlu kesici takımlar (a-p)



Şekil 11'deki kesici takım görüntüleri incelendiğinde, Şekil 10'da yer alan SNMA takım görüntülerindeki takım aşınma davranışlarına benzer durumların meydana geldiği söylenebilir. Özellikle 196 m/min ve 133 m/min kesme hızlarındaki tüm MgO takviyeli kompozit numunelerde BUE oluşumu meydana gelmiştir (Şekil 11 a), b), e), f), i), j). SNMG takımlardaki talaş kırıcı form ve düz olmayan talaş yüzeyi nedeniyle BUL oluşumu çok az miktarda gerçekleşmiştir. Ancak SNMG takımlar üzerindeki BUE ve BUL oluşumları, SNMA takımlardakinden daha az miktarlarda meydana gelmiştir. İlk etapta bu takım davranışına, SNMG takımların talaş kırıcı formunun etki ettiği akla gelmektedir. Çıkan talaşların SNMA takımlardaki düz talaş yüzeyine sürtünme süresinin daha fazla olduğu ifade edilebilir. SNMG takımlarda ise talaş kırıcı formun etkisiyle, çıkan talaş akışının daha kolay olduğu ve daha kısa sürede takım yüzeyini terk ettiği söylenebilir. Böylece takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin daha az olması nedeniyle 2. deformasyon bölgesinde daha az sıcaklık meydana gelecektir. Dolayısıyla SNMG takımlarda ısı ve sürtünmenin etkisiyle meydana gelen takım aşınmaları ve BUE/BUL oluşumu, SNMA takımlara göre daha az gerçekleştiği ifade edilebilir.

Bu çalışmada kullanılan iki tip kesici takımda negatif formlu takımlardır. Negatif talaş açılarında pozitiflere göre daha fazla BUE meydana gelmektedir. Ancak SNMG takımın geometrik yapısı, talaş yüzeyinin belli bir bölgesinde bu negatifliği bir miktar azalttığından, SNMA takımlara göre BUE oluşumu daha az gerçekleşmiştir. Bu tür malzemelerin işlenmesinde BUE'yi engellemek için pozitif talaş açısı, keskin kenar formu, küçük takım ucu yarıçapı ve taşlanmış takım talaş yüzeyi tavsiye edilebilir.

## **IV. SONUÇ**

Farklı boyutlarda %10 MgO takviyeli olarak karıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilen Al 2024 kompozitlerin tornada yapılan işlenebilirlik deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- İki farklı kesici takımda da kesme hızının azalmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde artış meydana gelmiştir.
- MgO takviyeli kompozit numunelerin pürüzlülük değerleri MgO takviye edilmemiş Al 2024 malzemeye göre yüksek çıkmıştır. MgO takviyesi alüminyumun yüzey pürüzlülük değerini olumsuz etkilemiştir.
- MgO takviye boyutunun pürüzlülük değerleri üzerindeki etkisinin çok kararlı olmadığı görülmüştür. SNMA takımlarda tüm kesme hızlarında en yüksek pürüzlülük değerleri 105-149 mikron tanecik boyutunda MgO takviyeli numunelerden elde edilirken, SNMG takımında 63-106 mikron MgO takviyeli kompozit numunede elde edilmiştir.
- SNMA ve SNMG takımlar arasında da yüzey pürüzlülük değerleri yönünden kayda değer farklılıklar oluşmamıştır.
- Kesme hızındaki değişimler, çıkan talaşların şekline değiştirmiştir. Kesme hızının azalmasına bağlı olarak karışık şerit talaş tipinden helisel konik uzun veya helisel konik kısa talaş şekline doğru değişim meydana gelmiştir. MgO parçacıkların talaşlar üzerinde oluşturduğu gözenekli bölgeler çıkan talaşların çatlama veya kopmasına neden olmuştur.
- Çıkan talaşların şekli üzerinde, SNMA ve SNMG takımlar arasında kayda değer bir fark meydana gelmemiştir.
- Kesici takımlar üzerinde bir miktar BUE ve BUL meydana gelmiştir. Bu takım aşınma davranışları, özellikle 196 m/min ve 133 m/min kesme hızlarında işlenen MgO takviyeli kompozit numunelerde daha belirgin şekilde gerçekleşmiştir.
- SNMG takımlardaki BUE/BUL oluşumu SNMA takımlara göre bir miktar daha az meydana gelmiştir. Bu durum SNMG takımın talaş kırıcı formunun ve takım kaplamasının olumlu bir etkisi olarak değerlendirilmiştir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] S. J. S. Chelladurai, S. S. Kumar, N. Venugopal, A. P. Ray, T.C. Manjunath, S. Gnanasekaran, "A review on mechanical properties and wear behaviour of aluminium based metal matrix composites," *Materials Today: Proceedings* vol. 37, pp. 908-916, 2007.
- [2] M. Pul, "The effect of MgO ratio on surface roughness in Al-MgO composites," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 28, pp. 963-968, 2013.
- [3] G. Sur, Y. Sahin and H. Gokkaya, "Production of aluminum based particulate reinforced composites using molten metal mixing and squeeze casting methods," *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* vol. 20, no. 2, pp. 233-238, 2005.
- [4] M. Pul, U. Şeker, "The effect of cutting tool wear behaviors on feed rates in turning of metal matrix composites," *Journal of Polytechnic*, vol. 17, no. 3 pp. 99-106, 2014.
- [5] E. Kılıçkap, O. Çakır, M. Aksoy, A. İnan, "Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenised SiC-p reinforced aluminium metal matrix composite", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 164-165, pp. 862-867, 2005.
- [6] S. Kannan, H.A. Kishawy, "Tribological aspects of machining aluminium metal matrix composites", *Journal of Material Processing Technology*, vol. 198, pp. 399-406, 2008.
- [7] P. J. Davim, "Diamond tool performance in machining metal–matrix composites," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 128, pp.100–105, 2002.
- [8] A. Pramanik, L.C. Zhang, J.A. Arsecularatne, "Prediction of cutting forces in machining of metal matrix composites," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 46, pp. 1795–1803, 2006.
- [9] A. Manna, B. Bhattacharayya, "A study on machinability of Al/SiC-MMC," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 140, pp. 711–716, 2003.
- [10] M. Acilar and F. Gül, "Production and development of Al–10Si/SiCp metal matrix composites by vacuum infiltration," *J. Polytech. Fac. Tech. Educ. Gazi Univ.*, vol. 4, pp. 21–27, 2002.
- [11] B. Subramaniam, V. R. Purusothaman, S. M. Karuppusamy, S. H. Ganesh, R. K. Markandan, et al. "Review On Properties Of Aluminium Metal Matrix Composites," *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 57-66, 2020.
- [12] A. A. Yar, M. Montazerianb, H. Abdizadehb, H.R. Baharvandic, "Microstructure and mechanical properties of aluminum alloy matrix composite reinforced with nano-particle MgO," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 484, pp. 400–404, 2009.
- [13] T. Jayakumar, K. Annamalai, "Investigation of hot tensile behavior of silicon carbide and magnesium oxide reinforced aluminum matrix composites," *Silicon*, vol. 11, pp. 935–945, 2019.
- [14] E.P. De Garmo, J.T. Black, R.A. Kohser, 1997, "Materials and processes in manufacturing", New Jersey, USA, Prentice-Hall Inc., 1997, pp. 214-652.
- [15] M. S. Ranganath, Vipin, R. S. Mishra, Prateek, Nikhil "Optimization of Surface Roughness in CNC Turning of Aluminium 6061 Using Taguchi Techniques", *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, vol. 5, no. 5, pp. 42-50, 2015.


- [16] D. Deepak, B. Rajendra, "Investigations on the surface roughness produced in turning of Al 6061 (as-cast) by taguchi method", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 4, no. 8, pp. 295-298, 2015.
- [17] A. Pridhvijit, C. Y. Binu, "Experimental Study and Parameter Optimization of Turning Operation of Aluminium Alloy-2014", *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 3, no. 5, pp. 525-530, 2015.
- [18] V. A. Rogov, G. Siamak, "Optimization of Surface Roughness and Vibration in Turning of Aluminum Alloy AA2024 Using Taguchi Technique," *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, vol. 7, no. 11, pp. 2330-2339, 2013.
- [19] Y. Ozcatalbas, "Chip and built-up edge formation in themachining of in situ Al4C3–Al composite," *Materials and Design*, vol. 24, pp. 215–221, 2003.
- [20] M. Pul, "Investigation of the tool wear, surface roughness, and chip formation in the machining of ZrO<sub>2</sub>-reinforced aluminum composites", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 42, no. 565, pp. 1-15, 2020.
- [21] S. Basavarajappaa, J. P. Davim, "Influence of Graphite Particles on Surface Roughness and Chip Formation Studies in Turning Metal Matrix Composites," *Materials Research*, vol. 16, no. 5, pp. 990-996, 2013.
- [22] N. Radhika, R. Subramanian and A. Sajith, "Analysis of chipformation in machining aluminium hybrid composites," *E3 Journal of Scientific Research*. vol. 2, no. 1, pp. 009-015, 2014
- [23] M. Sekmen, M. Günay, U. Şeker, "Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerine etkisi, *Politeknik Dergisi*, c. 18, s. 3, ss. 141-148, 2015.
- [24] H. Gökkaya ve M. Nalbant, "Investigating the effects of cutnig speeds over the built-up layer and built-up edge formation with SEM," *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, vol. 22, no. 3, pp. 481-488, 2007.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Finisajın Farklı Ayakkabı Yüzlük Derilerin Mukavemetine Etkisi

 Levent İNANÇ<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Tekstil Giyim Ayakkabı ve Deri Bölümü, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE*

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [linanc@pau.edu.tr](mailto:linanc@pau.edu.tr)  
DOI: 10.29130/dubited.1055775

### Öz

Bu çalışmada, finisajın farklı ayakkabı yüzlük derilerin mukavemeti üzerine etkisi ve yüksek mukavemetli, uzun ömürlü ayakkabı üretimi için nasıl bir finisaj işleminin (hafif-ağır) tercih edilmesi gerektiği araştırılmıştır. Araştırmada, üç farklı tabaklama türü (krom, bitkisel, wet-white) ile tabaklanmış derilere standart finisaj işlemi yapılmış ve ayakkabılık derilerin mukavemeti için önemli fiziko-mekanik testler uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, finisaj işlemleri ile tabaklama türlerinin hepsinde çekme mukavemeti ve uzama yüzdesi değerlerinin azaldığı, wet-white tabaklanmış örneklerde tüm yırtılma dayanım değerlerinin arttığı, aprenin yapışmasının bitkisel tabaklanmış örneklerde ortalama 14.85 N/cm ile en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, ayakkabılarda istenen mukavemet özellikleri belirlendikten sonra finisaj işlemi ile mukavemeti azalan derilere hafif, artan derilere ise yoğun finisaj uygulanmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Finisaj, Ayakkabı Yüzlük Deri, Mukavemet*

## The Effect of Finishing on the Strength of Different Shoe Upper Leathers

### ABSTRACT

In this study, the effect of finishing on the strength of different shoe upper leathers and what kind of finishing process (light-heavy) should be preferred for the production of high-strength, long-lasting shoes were investigated. In the research, standard finishing process was applied to leathers tanned with three different tanning types (chrome, vegetable, wet-white) and physico-mechanical tests which are important for the strength of shoe leather were applied. As a result of the study, it is seen that the tensile strength and elongation values decrease in all types of tanning with finishing processes, all tear strength values increase in wet-white tanned samples, and the adhesion of the finish has the highest value with an average of 14.85 N/cm in vegetable tanned samples. As a result, after determining the desired strength properties of shoes, it has been determined that it is appropriate to apply a light finishing to leathers whose strength decreases with the finishing process, and to apply heavy finishing to increased leathers.

**Keywords:** *Finishing, Shoe Upper Leather, Strength*

# I. GİRİŞ

Finisaj ya da deri bitim işlemleri, yaş işlentisi bitirilip kurutulmuş derilerin cilt görünümü ve kullanım özelliklerini iyileştirme, diğer bir ifade ile makyajlanmasıdır. Derinin kalitesi, albenisi ve moda uygunluğunu önemli oranda etkiler [1], [2]. Mamül deride istenen özelliklere göre farklı şekillerde yapılabilir ve film kalınlığı 20 mikrometreden daha az olan finisaja hafif, 100 mikron civarında olanlara ise ağır finisaj denir [3].

Vidala deriler, saraciye veya ayakkabı üretimi için büyükbaş ham derilerinin tabaklanıp finisajının yapılması ile üretilen yumuşak, çeşitli renklerde mamullerdir. Ayakkabılık deri üretiminde büyükbaş hayvan derilerinin tercih edilmesinin en önemli sebebi; insan ayağı ve yürüme hareketine uygun olmasıdır. [4], [5].

Dünyada krom tabaklama yaklaşık 100 seneden beri kullanılmaktadır ve üretilen derilerin %90'dan fazlası krom tuzları ile tabaklanmaktadır [6]. Krom tabaklama ekonomiktir ve deriye üstün mekanik, kimyasal ve biyolojik haslıklar kazandırmaktadır, mineral tabaklama yöntemlerinin en önemlisidir ayrıca diğer tabaklama yöntemlerine göre basit, ucuz, hızlı ve rasyoneldir. Krom deriye ince ve düzgün bir cilt, parti homojenliği, iyi tutum ve yumuşaklık kazandırır. Krom tabaklanmış derilerin sıcaklık ve yırtılmaya karşı dayanımının yüksekliği, hava ve su buharını geçirgenliği, esnekliği, iyi boyanabilme ve dolgun tutum vermesi çok önemli özellikleridir. Günümüzde mamül deri üretimi için en çok kullanılan tabaklama yöntemi krom tabaklamadır [7], [8].

Büyükbaş ham derilerin binlerce yıldır deriye dönüştürülmesinde bitkisel tabaklayıcılar kullanılmaktadır, bu maddeler bitkilerin ağaç, kabuk, yaprak, kök vb. kısımlarından elde edilir, suda çözünebilir ve kristal olmayan maddelerdir bu özellikleri sayesinde farklı türlerde derilerin işlenmesinde kullanılmaktadırlar. Günümüzde ayakkabı, valiz ve cüzdan gibi üretimi için kalın deriye ihtiyaç olan durumlarda bitkisel tabaklama ile üretim yapılabilir [9], [10].

Wet-white tabaklama ise kromlu derilerin yerini almak için uygulanmaktadır. Wet-white ürünlere özellikle otomobil üretici firmalarının otomobil koltuklarının döşeme derilerinin wet-white yapılması konusunda ısrarcı olmaları sebebiyle artan bir ilgi vardır. Günümüzde wet-white derilerin üretiminde modifiye glutaraldehitler tercih edilmektedir [11], [12].

Bu çalışmada; deri teknolojisinin en önemli işlemlerden biri olan finisajın farklı ayakkabı yüzlük derilerin mukavemeti üzerine etkisi incelenmiştir. Kaliteli, uzun ömürlü ayakkabı üretimi için yarı mamül derilere nasıl bir finisaj (hafif veya ağır) uygulanması gerektiği belirlenmiştir.

## II. MATERYAL VE METOD

Araştırmanın deri materyalini, 9 adet tuzlu kuru kanat angus yerli erkek sığır derisi oluşturmuştur. Derilerde herhangi bir ham deri zararı ya da hastalığı görülmemiştir. Araştırmada kullanılacak deriler her bir tabaklama türünde üç tekerrür olacak şekilde ayrılmıştır. Çalışma üç farklı (krom, bitkisel ve wet-white) tabaklama yöntemine göre planlandığından, büyükbaş ayakkabılık derilerden rastgele üçer adet alınarak geleneksel yöntemler ile tabaklanmaları, yaş işlentileri yapılmış ve bu derilerin cilt tarafına Tablo 1'deki standart finisaj reçetesi uygulanmıştır.

*Tablo 1.* Derilerin finisaj reçetesi

KİMYASAL	MALZEME (gr)	UYGULAMA
<b>Kapatıcı Kat</b>		
Su	150	
Penetratör	20	

Noniyonik Kompakt	150	
%20 lik Poliüretan	30	
Siyah Pigment	30	2×Sprey Rotopres (90 °C /30 Bar)

---

#### **Ana Boya Katı**

Su	600	
Penetratör	40	
%20 lik Akrilik	75	
%35 lik Akrilik	50	
%20 lik Poliüretan (Alifatik)	100	
%20 lik Poliüretan (Aromatik)	15	
Waks	40	
Kompakt Örtücü	270	
Kazein	25	
Siyah Pigment	250	
Crosslinker	5	
Siyah Pigment	30	1×Sprey Rotopres (80 °C /20 Bar) 2×Sprey

---

#### **Cila Katı**

Su	350	
Orta Parlak Poliüretan Lak	100	
Mat Poliüretan Lak	100	
Parlak Hidrolak	100	
Siyah Anilin	50	
Kaygan Silikon Tuşe	20	
İpeksi Silikon Tuşe	20	
Crosslinker	2	1×Sprey Rotopres (90 °C /20 Bar) Desi

---

Uygulanan fiziksel testler için; derilerden örnek alma TS EN ISO 2418'e [13], kondisyonlama TS EN ISO 2419'a [14], Çekme Mukavemeti ve Uzama Yüzdesinin Tayini TS EN ISO 3376 [15], Yırtılma Yüğü Tayini- Bölüm 1: Tek Kenar Yırtığı TS EN ISO 3377-1 [16], Yırtılma Yüğü Tayini- Bölüm 2: Çift Kenar Yırtığı TS 4118-2 EN ISO 3377-2 [17], Dikiş Yırtılma Direncinin Ölçülmesi TS EN ISO 23910 [18], Aprenin Yapışmasının Tayini TS EN ISO 11644 [19], Sırça Dayanımı ve Gerilebilirlik Tayini TS EN ISO 3379'a göre yapılmıştır [20].

Çekme Mukavemeti ve Uzama Yüzdesinin Tayini, Yırtılma Yüğü-Bölüm:1 Tek Kenar Yırtığı ve Yırtılma Yüğü-Bölüm:2 Çift Kenar Yırtığı, Dikiş Yırtılma Direncinin Ölçülmesi tayinleri Shimadzu AG-IS çekme cihazında, Sırça Dayanımı ve Gerilebilirlik Tayini ise Satra tarafından üretilmiş olan lastometre test cihazında ve ayrıca Aprenin Yapışmasının Tayini yapılarak değerler elde edilmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlara istatistikte bir kesinlik ölçüsü yöntemi olan wide (yayılım) uygulanmış ve değerler Tablo 2'de verilmiştir.

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmamızda incelenen finisajsız ve finisajlı ayakkabılık derilerin fiziksel test değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

*Tablo 2. Fiziksel Test Değerleri*

TEST	FİNİSAJSIZ DERİLER İÇİN STANDART DEĞER ve BİRİMİ (KROM TABAKLAMA)		FİNİSAJSIZ			FİNİSAJLI		
			KR*	BİT**	WW***	KR	BİT	WW
ÇEKME MUKAVEMETİ VE UZAMA YÜZDESİ	(UNIDO)	W (Wide)	0,75	1,24	5,2	7,4	3,5	1,06
	KUVVET (20 N/mm <sup>2</sup> )	Minimum	15,39	10,32	7,8	10,5	8,2	7,16
		Maksimum	16,14	11,56	10,33	17,9	11,7	8,22
		Ortalama	15,77	10,94	9,07	14,20	9,95	7,69
		(UNIDO)	W	10,26	2,14	2,48	5,7	2,9
	UZAMA (%40)	Minimum	50,1	40,88	51,88	48,7	38,9	46,3
		Maksimum	60,36	43,02	54,36	54,4	41,8	54,2
		Ortalama	55,23	41,95	53,12	51,55	40,35	50,25
TEK KENAR YIRTIĞI	(UNIDO)	W	14,4	1,76	3,06	18,7	0,8	0,31
	KUVVET (40 N/mm)	Minimum	36,51	19,88	26,08	36,8	18,1	31,09
		Maksimum	50,91	21,64	29,14	55,5	18,9	31,4
		Ortalama	43,71	20,76	27,61	46,15	18,50	31,25
ÇİFT KENAR YIRTIĞI	KUVVET (N)	W	21,29	3,84	6,1	66,9	4,21	4,01
		Minimum	114,23	49,02	61,94	77	55,49	73,79
		Maksimum	135,52	52,86	68,04	143,9	59,7	77,8
		Ortalama	124,88	50,94	64,99	110,45	57,60	75,80
DİKİŞ YIRTIILMA	KUVVET (N)	W	7,1	3	1,1	9,3	8,2	2,2
		Minimum	147	88,1	91,9	183,2	72,1	134,3
		Maksimum	154,1	91,1	93	192,5	80,3	136,5
		Ortalama	150,55	89,60	92,45	187,85	76,20	135,40
APRENİN YAPIŞMASI	(UNIDO)	W				1,15	9,3	3,5
	KUVVET (Min 10 N/cm)	Minimum				9,1	10,2	12,7
		Maksimum				10,25	19,5	16,2
		Ortalama				9,68	14,85	14,45
ÇATLAMA ANINDAKİ KUVVET	KUVVET (kgf)	W	5	10	9	6	7	7
		Minimum	22	3	11	21	5	10
		Maksimum	27	13	20	27	12	17
		Ortalama	24,5	8,00	15,50	24	8,50	13,50
ÇATLAMA ANINDAKİ GERİLME	(UNIDO)	W	0,7	1,3	0,8	0,9	1,2	2
	KUVVET (Min 7 mm)	Minimum	9,7	6,6	8,4	8,5	6,9	7,6
		Maksimum	10,4	7,9	9,2	9,4	8,1	9,6
		Ortalama	10,05	7,25	8,8	8,95	7,5	8,60
PATLAMA ANINDAKİ KUVVET	KUVVET (kgf)	W	20	13	12	17	4	7
		Minimum	37	6	29	38	13	23
		Maksimum	57	19	41	55	17	30
		Ortalama	47	12,5	35	46,5	15	26,5
PATLAMA ANINDAKİ GERİLME	KUVVET (mm)	W	0,9	1,8	1,1	0,9	1,2	1,6
		Minimum	12,1	8,3	11,3	11,4	8,8	9,8
		Maksimum	13	10,1	12,4	12,3	10	11,4
		Ortalama	12,55	9,2	11,85	11,85	9,4	10,6

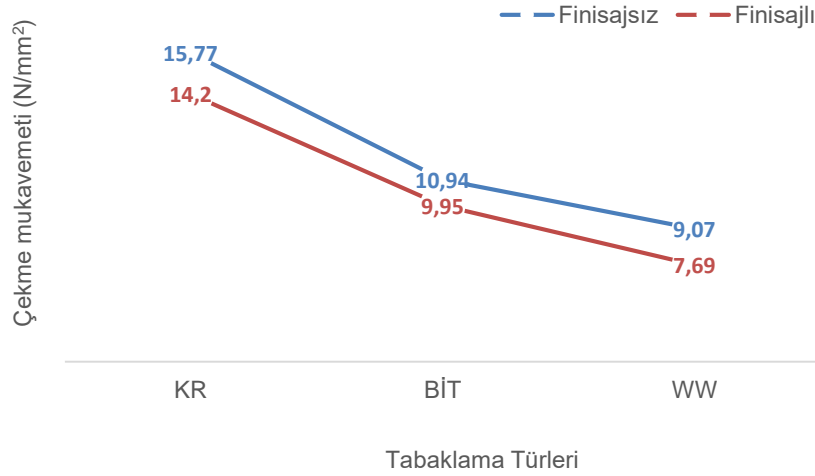
KR\*: Krom tabaklama,

BİT\*\*: Bitkisel tabaklama,

WW\*\*\*: Wet-white tabaklama

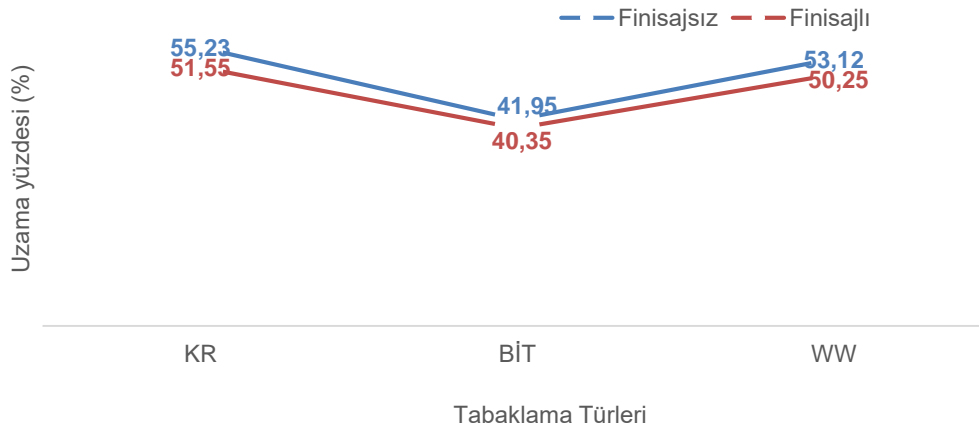
Mamül derilerin kullanım tercihlerine göre belli seviyelere kadar mukavemet göstermeleri istenir ve derilerin yüksek mukavemet değerlerine sahip olması kaliteyi arttırdığını ifade eden bir gösterge özelliğindedir [21]-[23].

Unido (1996), krom tabaklanmış ayakkabı yüzlük kanat derilerde çekme mukavemetinin minimum 20 N/mm<sup>2</sup>, bitkisel tabaklanmış ayakkabı yüzlük kanat derilerde ise minimum 25 N/mm<sup>2</sup> dir, krom ve bitkisel tabaklanmış finisajsız derilerin çekme mukavemetlerinin Unido (1996) standart değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir [24]. Şekil 1’de görüldüğü üzere ise tüm tabaklama türlerinin finisajlı deri örneklerinde çekme mukavemetleri azalmıştır.



Şekil 1. Tabaklama Türlerine göre Çekme Mukavemeti

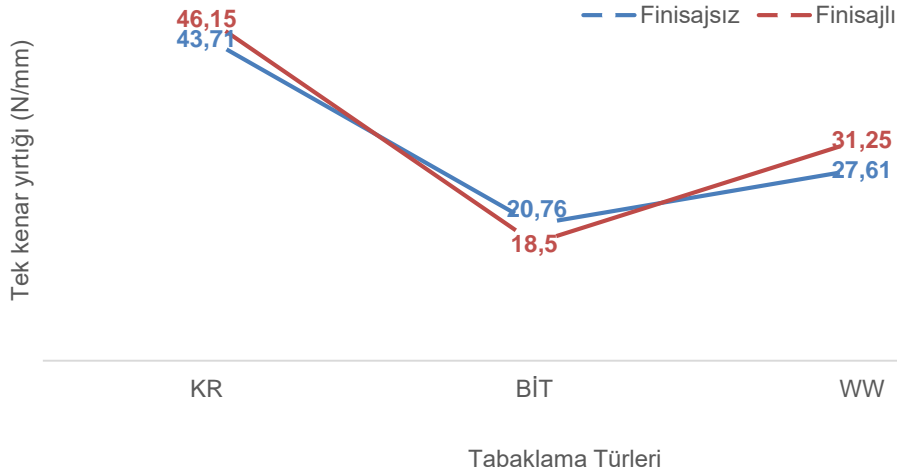
Unido (1996), krom veya bitkisel tabaklanmış ayakkabı yüzlük deriler için kopma uzamasının minimum %40, Basf (1995), pocket book for the leather technologist isimli kitapçığında krom ve bitkisel tabaklanmış derilerde uzama yüzdesinin 40’tan büyük olması gerektiğini ifade etmiştir. Krom ve bitkisel tabaklanmış finisajsız- finisajlı derilerin ortalama uzama yüzdesinin Unido (1996) ve Basf (1995) değerlerine uygun olduğu görülmektedir [24], [21]. Şekil 2’de görüldüğü üzere ise tabaklama türlerinin hepsinde finisajlı deri örneklerinde uzama yüzdesi azalmıştır.



Şekil 2. Tabaklama Türlerine göre Uzama Yüzdesi

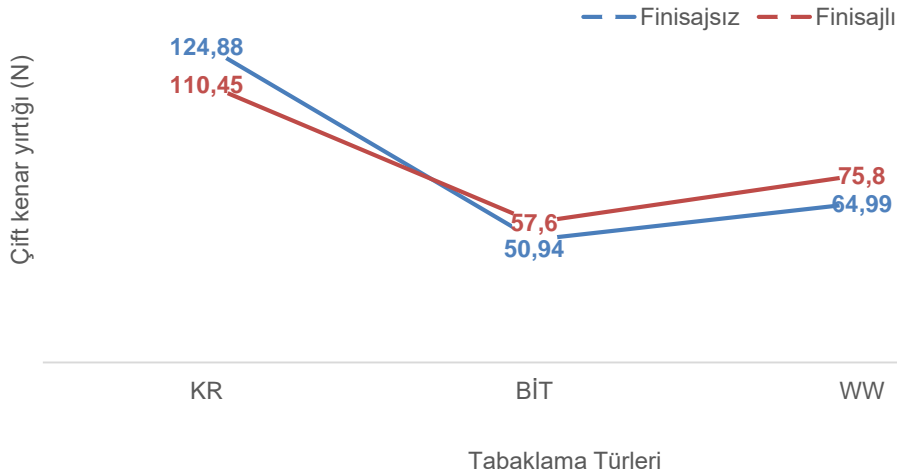


Unido (1996), krom tabaklanmış ayakkabı yüzçük kanat deriler için yırtılma dayanımının minimum 40 N/mm Dettmer et al. (2013) ise krom tabaklanmış sığır derilerinde yaptıkları araştırmada tek kenar yırtılma dayanımının  $35.25 \pm 4.03$  ile  $35.83 \pm 2.76$  N/mm arasında olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada krom tabaklanmış derilerin ortalama tek kenar yırtılma dayanımı Unido (1996) ve Dettmer et al. (2013) değerlerinden daha yüksek olduğu görölmektedir [24], [25]. Şekil 3'te göröldüğü üzere tek kenar yırtığı bitkisel tabaklanmış finisajlı deri örneklerinde azalmış, krom ve wet-white tabaklanmışlarda ise artmıştır.



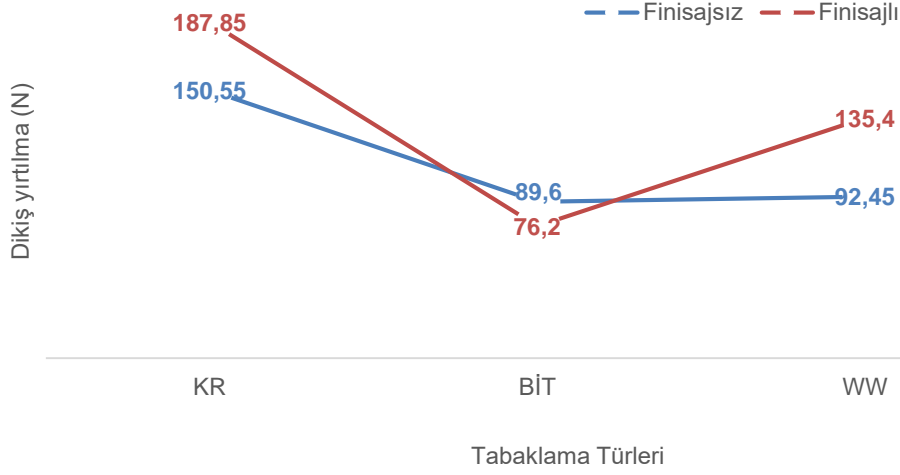
Şekil 3. Tabaklama Türlerine göre Tek Kenar Yırtığı

Bacardit et al. (2008), krom tabaklanmış sığır derilerinde yaptıkları araştırmada çift kenar yırtılma dayanımının  $88.7 \pm 5.3$  N/mm, Bacardit et al. (2014), aldehitle wet-white tabaklanmış otomotiv sığır derilerinde çift kenar yırtılma dayanımının 61.9 N/mm olduğunu ifade etmişlerdir, krom ve aldehitle wet-white tabaklanmış derilerin ortalama çift kenar yırtılma mukavemeti yazarların sığır derileri için saptadığı değerlerinden yüksek çıktığı görölmektedir [26], [27]. Şekil 4'te göröldüğü üzere çift kenar yırtığı krom tabaklanmış finisajlı deri örneklerinde azalmış, bitkisel ve wet-white tabaklanmışlarda ise artmıştır.



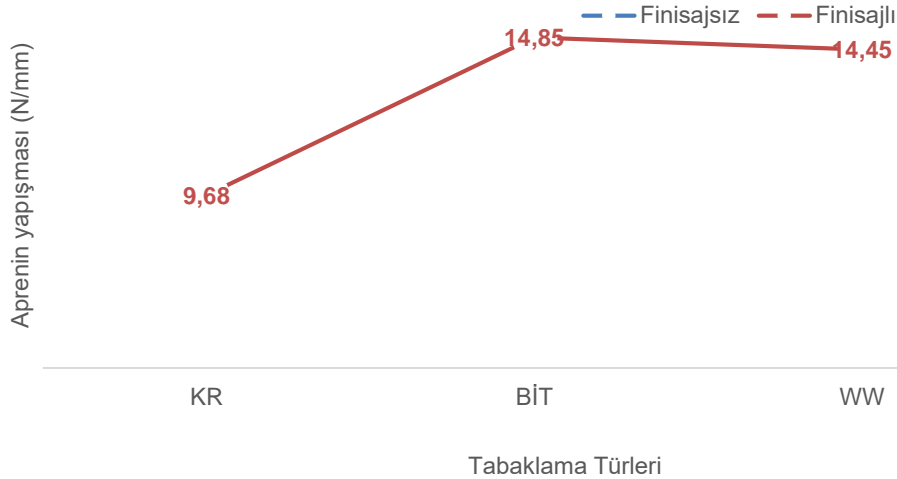
Şekil 4. Tabaklama Türlerine göre Çift Kenar Yırtığı

Unido (1996), krom tabaklanmış ayakkabı yüzük kanat deriler ve bitkisel tabaklanmış yüzük deriler için dikiş yırtılma dayanımının minimum 100 N/mm olması gerektiğini bildirmektedir. Çalışmada krom tabaklanmış derilerde dikiş yırtılma dayanımı değerlerinin Unido (1996)'nın saptadığı değerlerden yüksek olduğu görülmektedir [24]. Şekil 5'te görüldüğü üzere dikiş yırtılma dayanımı bitkisel tabaklanmış finisajlı deri örneklerinde azalmış, krom ve wet-white tabaklanmışlarda ise artmıştır.



**Şekil 5.** Tabaklama Türlerine göre Dikiş Yırtılma

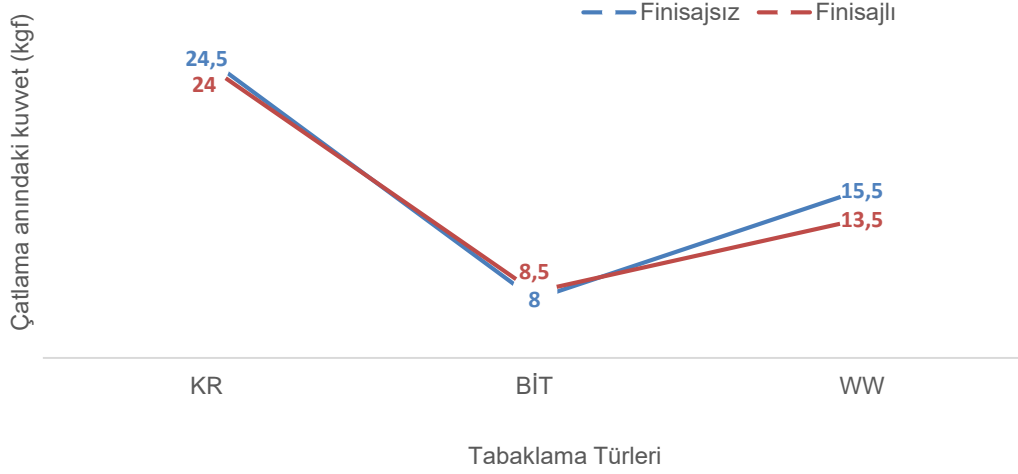
Unido (1996), aprenin yapışmasının kuru finisajlı yüzeylerde minimum 10.0 N/cm olması gerektiğini bildirmektedir ve bitkisel, wet-white tabaklanmış derilerde aprenin yapışmasının Unido (1996)'nın saptadığı değerlerinden yüksek çıktığı görülmektedir [24]. Finisajsız derilerde apre olmadığı için sadece finisajlı derilere aprenin yapışması testi uygulanmış, Şekil 6'da görüldüğü üzere farklı tabaklama türlerinde en iyi değer 14.85 N/cm ile bitkisel tabaklanmış örneklerde elde edilmiştir.



**Şekil 6.** Tabaklama Türlerine göre Aprenin Yapışması

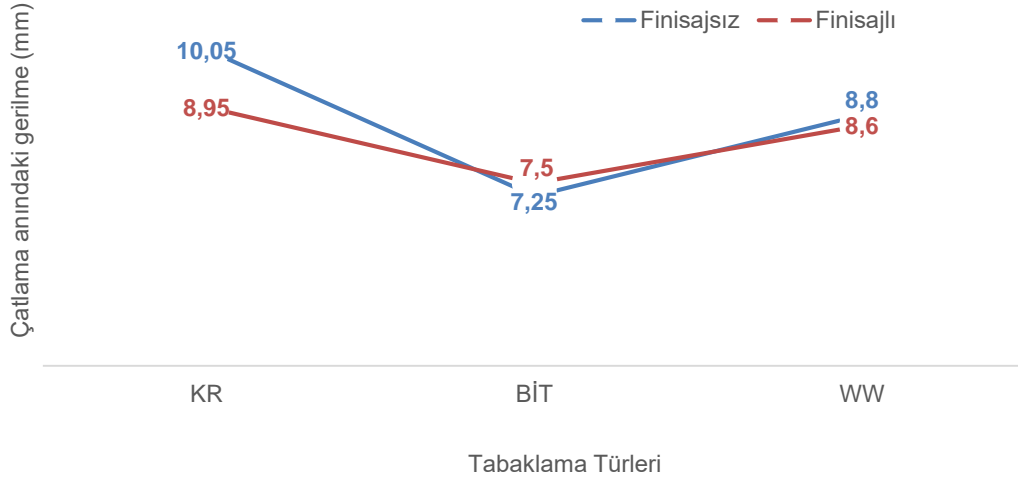
Yakalı (1982), cilt çatlamasında iyi bir yüzük derinin en az 20 kgf lik bir mukavemet değeri göstermesinin istendiğini ifade etmiş ayrıca krom tabaklanmış yüzük dana derilerinin cilt çatlama

kuvvetinin minimum 17.50, maksimum 27.5 ve ortalamasının  $21.07 \pm 0.81$  kp ( $21.07 \pm 0.81$ kgf) olduğunu bildirmiştir. Çalışmada krom tabaklanmış derilerde çatlama anındaki kuvvet değerlerinin Yakalı (1982)'nin saptadığı değerlere uygun olduğu görülmektedir [28]. Şekil 7'de görüldüğü üzere ise tabaklama türlerinin hepsinde, finisajlı deri örneklerinde çatlama anındaki kuvvet değerleri azalmıştır.



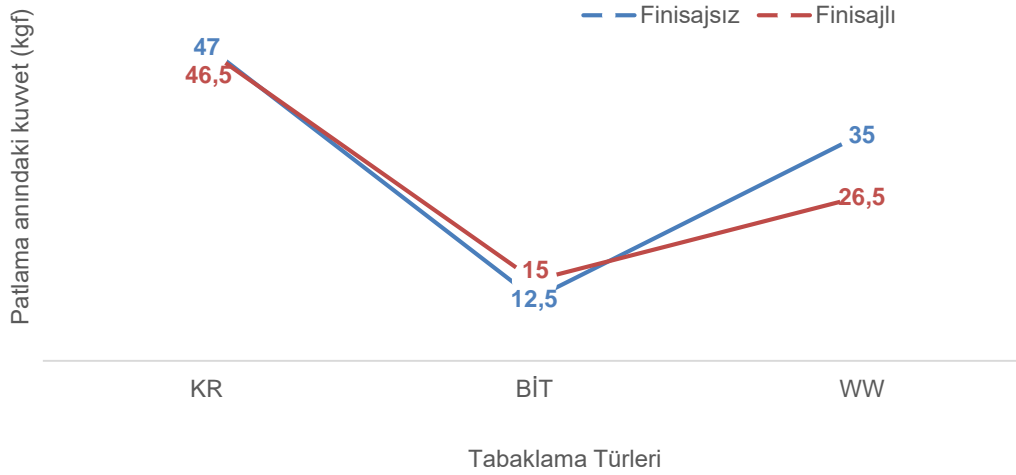
**Şekil 7.** Tabaklama Türlerine göre Çatlama Anındaki Kuvvet

Unido (1996), ayakkabı yüzçük derilerde cilt çatlama uzamasının minimum 7 mm olması gerektiğini bildirmektedir, tüm tabaklanmış finisajsız ve finisajlı derilerde cilt çatlama uzaması değerlerinin Unido (1996)'nin saptadığı değerlere uygun olduğu görülmektedir [24]. Şekil 8'de görüldüğü üzere çatlama anındaki gerilme finisajlı deri örneklerinde krom ve wet-white tabaklamalarda azalmış, bitkisel tabaklama da ise artmıştır.



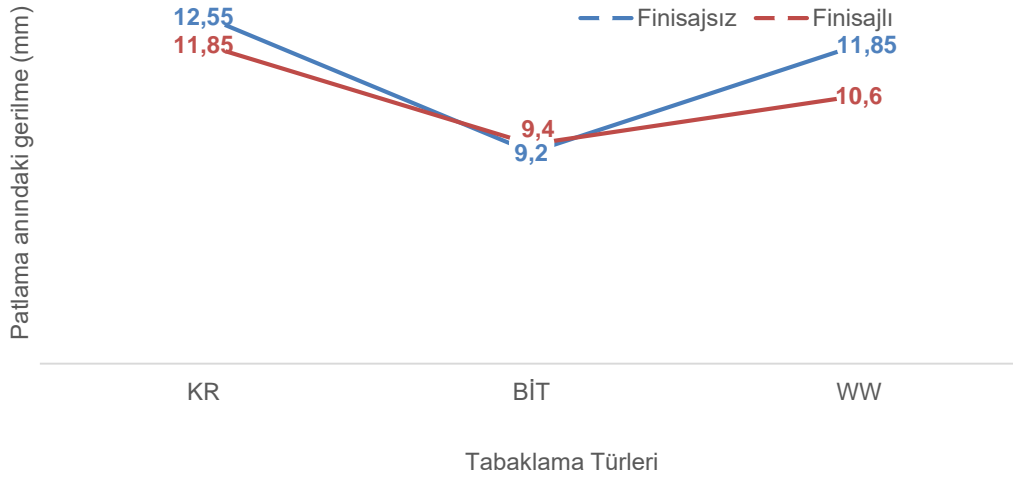
**Şekil 8.** Tabaklama Türlerine göre Çatlama Anındaki Gerilme

Yakalı (1982), yüzçük dana derilerinin cilt patlama kuvvetinin minimum 26.50, maksimum 61.0 ve ortalamasının  $44.57 \pm 2.21$  kp olduğunu bildirmiştir, krom tabaklanmış derilerde patlama anındaki kuvvet değerlerinin Yakalı (1982)'nin saptadığı değerlere uygun olduğu görülmektedir [28]. Şekil 9'da görüldüğü üzere patlama anındaki kuvvet finisajlı deri örneklerinde krom ve wet-white tabaklamalarda azalmış, bitkisel tabaklama da ise artmıştır.



**Şekil 9.** Tabaklama Türlerine göre Patlama Anındaki Kuvvet

Yakalı (1982), yüzçük dana derilerinin cilt patlama uzamasının minimum 10.30, maksimum 13.4 ve ortalamasının  $11.59 \pm 0.25$  mm olduğunu bildirmiştir, krom tabaklanmış derilerde patlama anındaki gerilme değerlerinin Yakalı (1982)'nin saptadığı değerlere uygun olduğu görülmektedir [28]. Şekil 10'da görüldüğü üzere patlama anındaki gerilme finisajlı deri örneklerinde krom ve wet-white tabaklamalarda azalmış, bitkisel tabaklama da ise artmıştır.



**Şekil 10.** Tabaklama Türlerine göre Patlama Anındaki Gerilme

Çalışmamızda ayakkabıları kalıba çekme için çok önemli olan çekme mukavemeti ve uzama yüzdesi değerlerinin tabaklama türlerinin hepsinde finisaj işlemleri ile azaldığı görülmüştür. Tüm yırtılma dayanımları (tek, çift ve dikiş) wet-white tabaklanmış örneklerde önemli derecede artış göstermiştir. Aprenin yapışması tayininde en yüksek değerler bitkisel (14,85 N/cm) ve wet-white (14,45 N/cm) tabaklanmış derilerden elde edilmiş. Çatlama anındaki kuvvet-gerilme ile patlama anındaki kuvvet-gerilme değerleri ise krom ve wet-white tabaklanmış örneklerde azalmış, bitkisel tabaklanmış örneklerde ise artmıştır.

İncelenen tüm fiziko-mekanik özelliklere tabaklama türlerine göre genel olarak bakıldığında ise finisaj işleminin mukavemet değerlerini azalttığı görülmektedir. Elde edilen verilere göre kaliteli ayakkabı yüzçük deri üretimi için; mukavemet artışı elde edilen derilerde yoğun, mukavemet azalışı görülen derilerde ise hafif finisaj uygulamasının tavsiye edilebileceği görülmüştür. Fiziko-mekanik özelliklerdeki genel azalmada finisajda kullanılan çok çeşitli kimyasal maddelerin karakterleri, farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde defalarca uygulanan mekanik rotopres işleminin kollogenin üç boyutlu heliks yapısını sıkıştırarak kollogen demetlerinin mukavemetini azaltması ve oluşturulan çok katlı finisaj filmlerinin deri yüzeyinin tabii tutumunu değiştirerek elastikiyetini azaltmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

## **IV. SONUÇ**

Mamül derilerin standartlara uygun veya üzerinde mukavemetlere sahip olması daha uzun süre kullanımını ve kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Çalışmamızda ayakkabılık derileri çatlatmadan kalıba çekmek için büyük öneme sahip olan çekme mukavemeti ve uzama yüzdesi değerlerinin tabaklama türlerinin hepsinde finisaj işlemleri ile azaldığı tespit edilmiştir. İncelenen fiziko-mekanik testlerin genelinde ise finisaj işleminin mukavemet değerlerini azalttığı gözlemlenmiştir. Wet-white tabaklanmış derilerin hepsinde tüm yırtılma dayanım değerlerinde (tek, çift ve dikiş yırtılma) önemli derecede artış görülmüş, aprenin yapışması tayininde en yüksek değer 14.85 N/cm ile bitkisel tabaklamada tespit edilmiştir. Sonuç olarak, farklı tabaklama türlerine göre tabaklanmış derilere finisaj işlemi uygulanması ile herhangi bir tabaklama türünde incelenen tüm fiziko-mekanik değerlerin arttığı ya da azaldığını ifade edemeyiz fakat kullanım amaçları farklı ayakkabılarda istenen mukavemet özelliklerine göre; finisaj işlemi ile mukavemeti azalan derilere hafif, mukavemeti artan derilere ise ağır finisaj uygulanmasının yüksek mukavemete sahip, daha uzun ömürlü ayakkabı üretimi için uygun olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2018HZDP034).

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] A.Toptaş, *Deri Teknolojisi*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Erdiz Masaüstü Yayıncılık, 1993, böl. N, ss. 477-503.
- [2] T. Yakalı, Y. Dikmelik, *Deri Teknolojisi*, 1. baskı, İzmir, Türkiye: Sepici Kültür Hizmeti Yayınları, 1994, böl. 12, ss. 312-369.
- [3] E. Heidemann, *Fundamentals of Leather Manufacturing*, 1st ed., Darmstadt, Germany: Eduard Rother KG, 1993, ch 18, pp. 570-611.
- [4] M. Özdemir, "Geçmişte ve günümüzde el sanatları çerçevesinde üretilen deri ürünleri üzerinde bir araştırma," Yüksek Lisans tezi, Ev Ekonomisi (El Sanatları) Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2004.
- [5] Ö. Sarı ve B.O. Bitlisli, "Askeri amaçlı ayakkabı ve botlarda yüzçük derilerden kaynaklanan problemler," Piyade 2000 Sempozyumu'nda sunuldu, İstanbul, 2000.
- [6] V.J. Sundar, R. Raghava, and C. Muralidharan, "Cleaner chrome tanning—emerging options," *Journal of Cleaner Production*, vol.10, no.1, pp. 69-74. 2002.
- [7] A. K. Urak, "Thpc ile wet-white tabaklanmış derilerde kullanılan yağların deri kalitesine

etkileri,” Yüksek Lisans tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.

[8] D. Tegtmeier, and M. Kleban. (2013, August) "*Chromium and leather research.*" [Online]. Available: <http://www.iultcs.org>.

[9] T. Okuda, T. Yoshida, and T. Hatano, "Hydrolyzable tannins and related polyphenols." *Springer*, Vol. 66, pp. 1-117, 1995.

[10] A. Balakrishnan, S. B. K. Kanchinadham, and C. Kalyanaraman, "Studies on the effect of pre-treatment of vegetable tanning process wastewater prior to biological treatment," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 1-10, 2020.

[11] N. N. Fathima, T. P. Kumar, D. R. Kumar, J. R. Rao, and B. U. Nair, "Wet white leather processing: A new combination tanning system," *Journal of the American Leather Chemists Association*, vol. 101, no. 2, pp. 58-65, 2006.

[12] A. Puntener, "The ecological challenge of producing leather," *The Journal of The American Leather Chemists Association*. vol. 90, no. 7, pp. 206-219, 1995.

[13] Numune Alma Bölgeleri, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN ISO 2418, 2017.

[14] Numune Hazırlama ve Şartlandırma, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN ISO 2419, 2015.

[15] Çekme Mukavemeti ve Uzama Yüzdesinin Tayini, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN ISO 3376, 2020.

[16] Yırtılma Yüğü Tayini-Bölüm 1: Tek Kenar Yırtığı, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN ISO 3377-1, 2012.

[17] Yırtılma Yüğü Tayini-Bölüm 2: Çift Kenar Yırtığı, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN ISO 3377-2, 2016.

[18] Dikiş Yırtılma Direncinin Ölçülmesi, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN ISO 23910, 2019.

[19] Aprenin Yapışmasının Tayini için Deney, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN ISO 11644, 2010.

[20] Sırça Dayanımı ve Gerilebilirlik Tayini, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN ISO 3379, 2016.

[21] B. B. BASF, *Pocket Book for the Leather Technologist*, 4th ed., Ludwigshafen, Germany: Basf publisher aktiengesellschaft 67056, 2007, pp. 227-272.

[22] P.S.Venkatachalam, *Lecture notes on leather*, Madras, India: Central Research Institute, 1962.

[23] B. Basaran, B.O. Bitlisli, B. Ocak, and E. Onem, "Effect of different atmospheric conditions on some physical properties of leather." *Tekstil ve Konfeksiyon*, vol. 21, no. 2, pp. 194-197, 2011.

[24] UNIDO, *Acceptable quality standards in the leather and footwear industry*, 1th ed, Vienna, Austria: Unido Publication, 1996, ch.7, pp. 32-56.

[25] A. Dettmer, É. Cavalli, M. A. Ayub, and M. Gutterres, "Environmentally friendly hide unhairing: enzymatic hide processing for the replacement of sodium sulfide and delimig," *Journal of Cleaner Production*, vol. 47, pp. 1-18, 2013.

[26] A. Bacardit, J. M. Morera, L. Ollé, E. Bartolí, and M. D. Borràs, "High chrome exhaustion in a

non-float tanning process using a sulphonic aromatic acid,” *Chemosphere*, vol. 7, no. 5, pp. 820-824, 2008.

[27] A. Bacardit, S. Van Der Burgh, J. Armengol and L. Ollé, “Evaluation of a new environment friendly tanning process,” *Journal of Cleaner Production*, vol.65, pp. 568-573, 2014.

[28] T. Yakalı, *İzmir deki Deri Fabrikalarında İşlenen Ayakkabı Yüzlük Derilerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerinde Araştırmalar*, 1. baskı, İzmir, Türkiye: E. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, 1982, ss. 1-39.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Research Article

## Seasonal Variations in Fat and Fatty Acid Profiles of *Barbus tauricus* (Kessler, 1877) From Duzce-Melen Basin (Turkey)

 Deniz YAGLIOGLU<sup>a,\*</sup>,  Deniz AYAS<sup>b</sup>,  Serife Gulsun KIRANKAYA<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Biyoloji Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

<sup>b</sup> *Su Ürünleri Fakültesi, Mersin Üniversitesi, Mersin, TÜRKİYE*

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [denizyagliglu@duzce.edu.tr](mailto:denizyagliglu@duzce.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1089644

### ABSTRACT

In this study, the total lipid and fatty acid profiles of *Barbus tauricus* samples obtained from the Melen River Basin during the winter, spring, and summer seasons were evaluated. Total lipid levels were determined at 2.27%, 2.37%, and 4.34% in winter, spring, and summer, respectively. The study also determined that the carbon count of 30 fatty acids, composing total fat compositions of *B. tauricus* caught in Melen Basin, ranges from 12 to 24. The major fatty acids of *B. tauricus* are palmitic acid and stearic acid from SFA; palmitoleic acid, trans oleic acid, oleic acid and erucic acid from MUFA and linoleic acid, alfa linolenic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid from PUFA. The study is the first one on the lipid and fatty acid profiles of *B. tauricus*, one of the species living in the Duzce Melen Basin and having high economic importance, and aimed to investigate total lipid and fatty acid profiles according to the season.

**Keywords:** *Barbus tauricus*, Melen River Basin, Fatty Acids, MUFA, PUFA, SFA

## Düzce Melen Havzası (Türkiye) *Barbus tauricus* (Kessler, 1877) Populasyonu'nun Yağ ve Yağ asidi Profiline Mevsimsel Değişimi

### Öz

Bu çalışmada Melen Çayı Havzası'ndan kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde alınan *Barbus tauricus* örneklerinin toplam lipid ve yağ asidi profilleri değerlendirilmiştir. Toplam lipid düzeyleri kış, ilkbahar ve yaz aylarında sırasıyla %2.27, %2.37 ve %4.34 olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca Melen Havzası'ndan avlanan *B. tauricus*'un yağ asitleri kompozisyonunda bulunan 30 yağ asidinin karbon sayılarının 12-24 arasında değiştiği tespit edilmiştir. *B. tauricus*'un başlıca yağ asitleri, SFA için palmitik asit ve stearik asit; MUFA için palmitoleik asit, trans oleik asit, oleik asit ve erusik asit ve PUFA için linoleik asit, alfa linolenik asit, eikosapentaenoik asit ve dokosaheksaenoik asittir. Bu çalışma, Düzce Melen Havzası'nda yaşayan ve ekonomik önemi yüksek türlerden *B. tauricus*'un lipid ve yağ asidi profilleri üzerine yapılan ilk çalışma olup, toplam lipid ve yağ asidi profillerini mevsimlere göre araştırmayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** *Barbus tauricus*, Melen Çayı Havzası, Yağ asitleri, MUFA, PUFA, SFA



## **I. INTRODUCTION**

Today, fish is considered a vital nutrient regarding human health unarguably. The techniques developed in recent studies can show the benefits of fat and fatty acids in fish meat on human metabolism and the species- and environment-related factors affecting the changes in their amounts. The studies on the effects of fatty acids on human health found that fatty acids are very effective in protecting against depression, heart attack, cardiovascular diseases, headaches such as migraine, high cholesterol and tension, articular rheumatism, diabetes, cancer, and some types of allergies [1], [2], [3]. In addition, rather than fish lipids' direct healing effect on diseases, especially cancer, their painkilling and protecting effects are widely accepted. Omega-3 fatty acids have essential roles in human metabolism; they accumulate in the eyes and brain in the placenta and testicles in the human body, help the functioning of these organs, and regulate lipid concentration in blood [4]. It is found that omega-3 fatty acids increase HDL levels and decrease cholesterol, triglyceride, and LDL-cholesterol levels [5].

Omega-6 fatty acids, an important member of unsaturated fatty acids, have significant roles in balancing the metabolism of eicosanoid hormones (prostaglandins, thromboxanes, and leukotrienes) which have huge effects on the human body [6]. According to the literature, omega-6 (n-6) fatty acids protect skin health by ensuring flexible and smooth skin and regulating loss of water and body temperature [7]. Studies have found that omega-3 and omega-6 fatty acids are effective in reducing the risks of cardiovascular diseases and heart attack, used in treating breast cancer. In addition, prostate cancers, and immune system diseases, have an active role in improving vision and in the development of babies' brains, preventing hypertension, allergy, immune system, and neurological system disorders [8], [9], [10], [11].

The fatty acids, including a methyl group on one end, a long hydrocarbon chain, and a carboxyl group on the other, comprise many lipids' essential elements [12]. Fatty acids are divided into saturated fatty acids (SFA) and unsaturated fatty acids. Unsaturated fatty acids are divided into monounsaturated fatty acids (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA). PUFAs are divided into omega-3 (n-3) and omega-6 (n-6) fatty acids. The most common n-3 fatty acids in fish metabolism are  $\alpha$ -linolenic acid (ALA), docosahexaenoic acid (DPA), eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA). The fatty acids having double bonds of more than 4 and carbon atoms of more than 20 are called as HUFA (highly unsaturated fatty acids) [13], [14], [15].

Oleic acid (C18:1), the most common fatty acid in nature, comprises more than half of the fatty acids in many fats. Another fatty acid being vastly in many fats is palmitic acid (C16:0), which is a SFA. Palmitoleic acid (C16:1) and oleic acid are two important members of MUFA group. Palmitoleic acid rather exists in marine creatures, while oleic acid exists in all known natural fats [16]. The fatty acids existing in fish metabolism are palmitic (C16:0), palmitoleic (C16:1), oleic (C18:1), and eicosapentaenoic (C:20-5 n-3) and docosahexaenoic (C22:6 n-3) acids. According to carbon count and double bonds, a few fatty acids are in order, including significant linoleic (18:2 n-6) and arachidonic (20:4 n-6) acids.

Researchers reported many differences between sea and freshwater fishes in terms of fatty acids profiles, and it is found that the rate of n-6 fatty acids in freshwater fish is higher than in sea fish [17]. In freshwater fish, n-6/n-3 rates are 0.37 on average, while it is about 0.16 in sea fish. This difference is because fishes need PUFAs more for physiological adaptation to different habitats or nutrition regimes [18]. On the other hand, lipids are one of the most important energy sources of animal organisms; they have important roles as the source of fat-soluble vitamins and fatty acids. They involve creating the main elements of the cell membrane. Also, the raw materials for prostaglandins with hormone activity are unsaturated fatty acids with long chains existing in fishes.

There are many streams fed by springs in the mountains around Duzce, where is one of the most fertile plains in the West Black Sea Region. This makes the region a critical water basin. The most important

streams in Buyuk Melen Basin are Kucuk Melen Creek, Buyuk Melen Creek, Aksu, Asar, and Ugur River, and little streams feeding them (Figure 1).

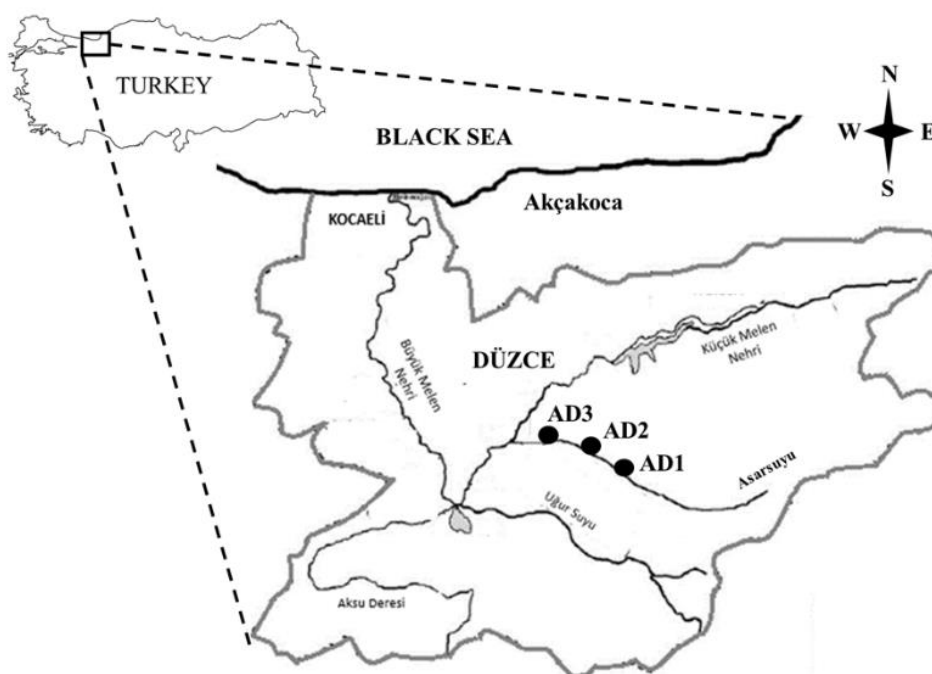
*B. tauricus* (Kessler, 1877), in the question of the study, is a species delicious and preferred in the region, which is an enormous member of the Cyprinidae family, Cypriniformes order, Actinopterygii class. Its back is darker olive green, or dark brown, sides and abdomen are yellow-brown. They generally browse around separated during spawning periods and in a large group during feeding. Apart from the spawning period, the shoaling behaviour is caused by reducing water temperatures and the gregariousness instinct [19]. The spawning period does not change according to species, but generally, it starts in May and ends in the middle of July [19].

The study aims to investigate the seasonal change of lipid and fat composition of *B. tauricus*, one of the native species living in the Duzce Melen Basin and having high commercial value. The first study, investigating the lipid and fatty acid composition of the Melen Basin population of *B. tauricus*, focuses on revealing the species' nutritional value and its seasonal lipid composition change.

## **II. MATERIAL AND METHODS**

This study was conducted at Duzce University, Faculty of Arts and Science, Biology Department, Marine Biology Research Laboratory. In addition, lipid and fatty acid analyses were done in the Seafood Processing Technology Laboratory of the Faculty of Fisheries of Mersin University.

A total of 41 *B. tauricus* samples used in the study were taken from three sampling points in the Melen Basin (Figure 1.) by buying from fishers just after the fish was caught or by the electro-fishing method. (Table 1). After the catching, samples were kept in an icebox under +4°C and transported to the laboratory as soon as possible. Sampling Data is provided in Table 1, and a map of sampling points is provided in Figure 1.



*Figure 1. Sampling area maps of B. tauricus on the Melen River Basin.*

**Table 1.** Sampling data of *B. tauricus*. Standard deviations of mean standard length (STL) and weight of samples are given brackets.

Seasons	Sampling area code	Locations	Collection Time	Sample size	Mean STL (cm) (±SD)	Mean weight (±SD)
Spring	AD1	40° 47' 44.90" N, 31° 14' 14.02" E	23.04.2018	5	13.5 (2.58)	44.08 (20.26)
	AD2	40° 49' 19.70" N, 31° 11' 43.68" E	23.04.2018	8		
Summer	AD1	40° 47' 44.90" N, 31° 14' 14.02" E	26.07.2017	9	10.54 (0.83)	21.98 (5.33)
	AD3	40° 50' 06.67" N, 31° 08' 06.11" E	26.07.2017	14		
Winter	AD2	40° 49' 19.70" N, 31° 11' 43.68" E	15.02.2018	5	13.76 (1.36)	45.37 (13.21)

## A. FAT AND FATTY ACIDS ANALYSES

Lipid content was measured by the method of Bligh and Dyer [20]. In extracted lipids, fatty acid methyl esters were obtained using the Ichibara et al. [21] method. The fatty acid composition was analyzed using a Gas Chromatography (GC) Clarus 500 device (Perkin–Elmer, USA), one flame ionization detector (FID), and SGE (60 m x 0.32 mm ID BPX70 x 0.25 µm, USA or Australia) column. Injector and detector temperatures were set as 260°C and 230°C, respectively. During this time, the furnace temperature was kept at 140 °C for 8 minutes. After that, it was increased by 4°C per minute until 220 °C, and from 220°C to 230°C by increasing the temperature 1°C per minute. It was kept at 230°C for 15 minutes to complete the analysis. The sample scale was 1 µl, and carrier gas was controlled at 16 ps. For split-flow 40.0 mL/minute (1:40) level was used. Fatty acids were determined using a comparison to the exit times of the FAME mix that contains 37 standard components.

## B. CONVERSION FACTOR

Triplicate GC analyses were performed, and the results were converted to mg fatty acid per 100 g total lipid using lipid conversion factors and then to mg fatty acid per 100 g edible portion of food using the total lipid content. Details of the derivation of lipid conversion factors were published by Weihrauch et al. [22].

$$\text{Factor (Fish)} = 0.956 - 0.143/\text{total lipid}$$

$$\text{Fatty acid (mg/100g)} = \text{Factor} \times \text{FAME (\%)} \times \text{lipid level (\%)} \times 10$$

## C. ATHEROGENICITY INDEX (AI) AND THROMBOGENICITY INDEX (TI)

The AI and TI linked to the fatty acid composition were calculated according to Ulbricht and Southgate [23].

$$\text{AI} = [(a*12:0)+(b*14:0)+(c*16:0)] / [d*(\text{PUFA } n-6+n-3)+e*(\text{MUFA})+f*(\text{MUFA-18:1})]$$

$$\text{TI} = [g*(14:0+16:0+(18:0)) / [(h * \text{MUFA})+i*(\text{MUFA-18:1})+(m*n-6)+(n*n-3)+(n-3/n-6)]$$

$$a, c, d, e, f=1, b=4, g=1, h, i, m=0.5 \quad n=3$$

## D. STATISTICAL ANALYSIS

The data obtained from the analyses of the study was evaluated by using the IBM SPSS version 22 statistics program. For evaluating lipid and fatty acids data, before statistics analysis, separation control (based on Z value) and variance homogeneity test (Duncan's Multiple Range Test) were done on all samples. The difference between groups was determined with the "one-way analysis of variance" (one-way Anova).

### III. RESULTS

#### A. TOTAL LIPID (%)

Fishes were defined into four groups non-fatty fishes (<2%), low fatty fishes (2-4%), mid-fatty fishes (4-8%), high fatty fishes (>8%) according to their fat ingredients based on Lambertsen standards, as well as into groups as non-fatty if <2%, low fatty if between 2-7%, fatty if 7-15% and high fatty if >15% according to their fat levels based on Polish Standard PN-A-86770,1999. Lipid level change of *B. tauricus* ranges in winter, spring, and summer seasons as 2.27%, 2.37%, and 4.34%, respectively; therefore, this species may be classified as a low fatty fish according to both Lambertsen and Polish standards.

#### B. FATTY ACIDS (%)

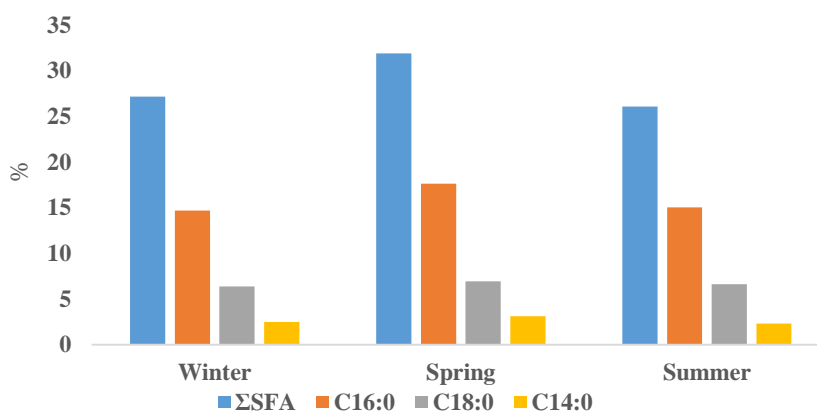
It was found that the carbon count of fatty acids in the fatty acid composition of *B. tauricus* caught from Melen Basin ranged between 12-24. *B. tauricus*'s seasonal fatty acid profile (%) is shown in Table 2.

**Table 2.** Seasonal fatty acids profile of *B. tauricus* caught from Melen River Basin (%).

Fatty acids (%)	Winter	Spring	Summer
Lauric acid (C12:0)	1.40±0.52 <sup>ab</sup>	1.81±0.63 <sup>b</sup>	0.57±0.07 <sup>a</sup>
Myristic acid (C14:0)	2.48±0.56 <sup>ab</sup>	3.11±0.27 <sup>b</sup>	2.30±0.08 <sup>a</sup>
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.27±0.01 <sup>a</sup>	0.33±0.10 <sup>a</sup>	0.29±0.02 <sup>a</sup>
Palmitic acid (C16:0)	14.68±1.36 <sup>a</sup>	17.64±5.25 <sup>a</sup>	15.05±0.43 <sup>a</sup>
Margaric acid (C17:0)	0.46±0.15 <sup>a</sup>	0.49±0.15 <sup>a</sup>	0.37±0.02 <sup>a</sup>
Stearic acid (C18:0)	6.37±0.42 <sup>a</sup>	6.93±1.59 <sup>a</sup>	6.61±0.35 <sup>a</sup>
Arachidic acid (C20:0)	0.52±0.01 <sup>b</sup>	0.61±0.05 <sup>b</sup>	0.25±0.10 <sup>a</sup>
Behenic acid (C22:0)	0.37±0.01 <sup>a</sup>	0.37±0.06 <sup>a</sup>	0.35±0.17 <sup>a</sup>
Lignosuric acid (C24:0)	0.61±0.05 <sup>b</sup>	0.61±0.13 <sup>b</sup>	0.30±0.01 <sup>a</sup>
<b>ΣSFA</b>	<b>27.16</b>	<b>31.90</b>	<b>26.09</b>
Myristoleic acid (C14:1)	0.34±0.03 <sup>a</sup>	0.37±0.01 <sup>a</sup>	0.45±0.03 <sup>b</sup>
Pentadecenoic acid (C15:1)	0.29±0.02 <sup>a</sup>	0.36±0.03 <sup>b</sup>	0.27±0.03 <sup>a</sup>
Palmitoleic acid (C16:1)	6.14±0.41 <sup>a</sup>	6.73±1.09 <sup>a</sup>	8.67±0.45 <sup>b</sup>
Heptadecenoic acid (C17:1)	0.42±0.07 <sup>a</sup>	0.39±0.16 <sup>a</sup>	0.34±0.02 <sup>a</sup>
Transoleic acid (C18:1 <sup>n</sup> 9 <sup>t</sup> )	14.91±0.55 <sup>a</sup>	13.42±3.42 <sup>a</sup>	14.04±0.41 <sup>a</sup>
Oleic acid (C18:1 <sup>n</sup> 9 <sup>c</sup> )	4.03±0.42 <sup>ab</sup>	3.92±0.05 <sup>a</sup>	4.52±0.09 <sup>b</sup>
Vaccenic acid (C18:1 <sup>n</sup> 7)	0.12±0.01 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>a</sup>	0.13±0.03 <sup>a</sup>
Gadoleic acid (C20:1 <sup>n</sup> 9)	1.85±0.14 <sup>c</sup>	1.53±0.14 <sup>b</sup>	1.28±0.02 <sup>a</sup>
Erucic acid (C22:1 <sup>n</sup> 9)	5.13±0.45 <sup>b</sup>	4.35±0.67 <sup>b</sup>	3.31±0.10 <sup>a</sup>
Neuronic acid (C24:1 <sup>n</sup> 9)	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.08±0.04 <sup>b</sup>	0.06±0.00 <sup>b</sup>
<b>ΣMUFA</b>	<b>33.23</b>	<b>31.26</b>	<b>33.07</b>
Linolelaidic acid (C18:2 <sup>n</sup> 6 <sup>t</sup> )	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.13±0.03 <sup>b</sup>	0.21±0.05 <sup>c</sup>
Linoleic acid (C18:2 <sup>n</sup> 6 <sup>c</sup> )	6.68±0.55 <sup>a</sup>	6.96±1.12 <sup>a</sup>	6.97±0.06 <sup>a</sup>
Alfa linolenic acid (C18:3 <sup>n</sup> 3)	4.02±0.50 <sup>b</sup>	2.24±0.84 <sup>a</sup>	3.15±0.14 <sup>ab</sup>
Gama linolenic acid (C18:3 <sup>n</sup> 6)	0.45±0.04 <sup>b</sup>	0.36±0.05 <sup>a</sup>	0.37±0.00 <sup>ab</sup>
Eicosatrienoic acid (C20:3 <sup>n</sup> 3)	0.69±0.03 <sup>a</sup>	0.75±0.02 <sup>a</sup>	0.63±0.19 <sup>a</sup>
Dihomo gamma linolenic acid (C20:3 <sup>n</sup> 6)	0.41±0.04 <sup>a</sup>	0.39±0.07 <sup>a</sup>	0.52±0.12 <sup>a</sup>
Arachidonic acid (C20:4 <sup>n</sup> 6)	0.62±0.09 <sup>a</sup>	0.93±0.15 <sup>b</sup>	0.76±0.03 <sup>ab</sup>
Eicosapentaenoic acid (C20:5 <sup>n</sup> 3)	5.32±0.39 <sup>a</sup>	5.54±0.65 <sup>a</sup>	7.16±0.27 <sup>b</sup>
Adrenic acid (C22:4 <sup>n</sup> 6)	0.63±0.10 <sup>a</sup>	0.54±0.10 <sup>a</sup>	0.33±0.01 <sup>a</sup>
Docosahexaenoic acid (C22:6 <sup>n</sup> 3)	9.81±0.79 <sup>b</sup>	8.57±1.11 <sup>ab</sup>	7.71±0.12 <sup>a</sup>
Docosadienoic acid (C22:2 <sup>cis</sup> )	0.16±0.03 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>b</sup>
<b>ΣPUFA</b>	<b>28.79</b>	<b>26.41</b>	<b>27.92</b>
SFA/PUFA	0.94	1.21	0.93
Σ <sup>n</sup> 7	0.12	0.11	0.13
Σ <sup>n</sup> 6	8.79	9.31	9.16
Σ <sup>n</sup> 3	19.84	17.10	18.65
Σ <sup>n</sup> 9	25.92	23.30	23.21
<sup>n</sup> 6/ <sup>n</sup> 3	0.44	0.54	0.49
<sup>n</sup> 3/ <sup>n</sup> 6	2.26	1.84	2.04
DHA/EPA	1.84	1.55	1.08
AI	0.34	0.45	0.33
TI	0.25	0.34	0.27
<b>Unidentified</b>	<b>10.82</b>	<b>10.43</b>	<b>12.92</b>

<sup>x±s<sub>x</sub></sup>: means ± SD; the values in the same line with a different superscript letter (a-b-c) are significantly different (p<0.05)

The highest  $\Sigma$ SFA level was determined as 31.9% in spring and the lowest as 26.09% in summer. Dominant SFAs are palmitic acid, Myristic acid and stearic acid. The lowest amounts are pentadecanoic acid and behenic acid (Table 2, Figure 2).



**Figure 2.** Seasonal change of *B. tauricus*'s  $\Sigma$ SFA and dominant saturated fatty acids (%).

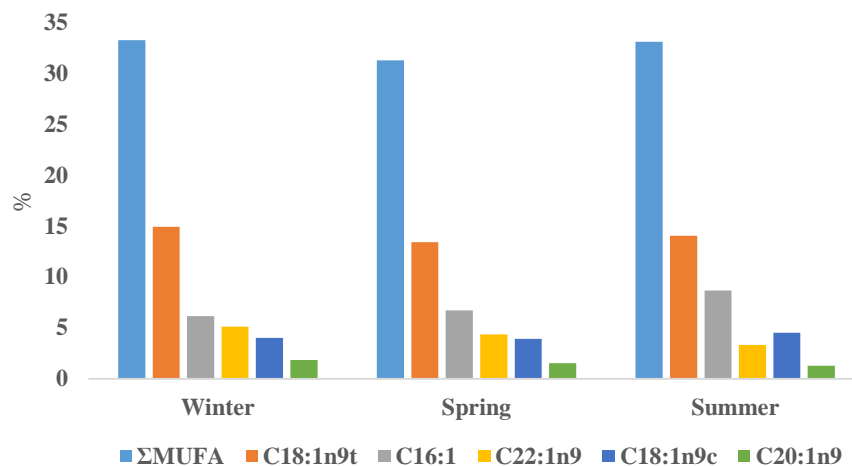
Myristic acid level is observed as 3.11% at most in spring and as 2.30% at least in summer. While there is no statistical difference in myristic acid levels between winter and summer ( $p>0.05$ ), there is a statistical difference between these two seasons and spring ( $p<0.05$ ). The palmitic acid level is 17.64% at most in spring and 14.68% at least in winter. No seasonal difference was observed in the palmitic acid level of *B. tauricus* ( $p>0.05$ ). The stearic acid rate is calculated as 6.93% at most in spring and 6.37% at least in winter. Seasonally, no statistical difference in stearic acid level was observed ( $p>0.05$ ) (Figure 2).

Lignosuric acid is observed as 0.61% at most in winter and spring and as 0.30% at least in summer. While there is no statistical difference in lingosuric acid levels between winter and spring ( $p>0.05$ ), there is a statistical difference between these two seasons and summer ( $p<0.05$ ). Lingosuric acid levels are very close to each other during the mid-season and remain the same during the spring and winter months. The behenic acid level of *B. tauricus* is observed as 0.37% at most in winter and spring and as 0.35% at least in summer; also, there is no statistical difference in behenic acid level between seasons ( $p>0.05$ ) (Table 2).

$\Sigma$ MUFA is found at 33.23% at most in winter and at 31.26% at least in spring.  $\Sigma$ MUFA level demonstrates seasonal change (Table 2, Figure 3).

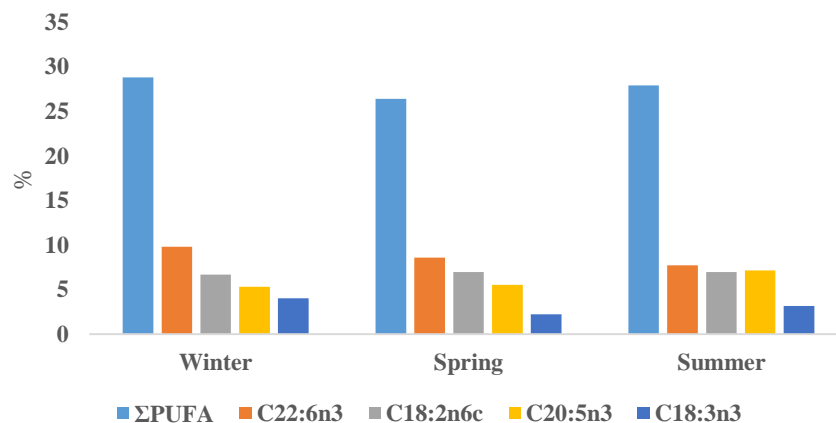
Transoleic acid is found at 14.91% at most in winter and at 13.42% at least in spring. It also is determined as the highest unsaturated fatty acid type. Palmitoleic acid is 8.67% at most in summer, 6.73% in spring, and 6.14% at least in winter. While there is no significant difference in the rate of palmitoleic acid between winter and spring ( $p>0.05$ ), there is a statistical difference between these two seasons and summer ( $p>0.05$ ). Heptadecanoic acid is determined as 0.42% at most in winter and 0.34% at least in summer. Oleic acid is observed as 4.52% at most in summer and as 3.92% at least in spring. Gadoleic acid is 1.85% at most in winter and 1.28% at least in summer. Erucic acid levels are calculated as 5.13% at most in winter and 3.31% at least in summer (Table 2, Figure 3).

Myristoleic acid level is 0.45% at most in summer, while 0.34% and 0.37% in winter and spring, respectively. While there is no significant difference in the rate of myristoleic acid between winter and spring ( $p>0.05$ ), there is a statistical difference between these two seasons and summer ( $p>0.05$ ). Pentaecenoic acid is 0.36% at most in spring and 0.27% at least in summer. Vaccenic acid is determined as 0.13% at most in summer and 0.11% at least in spring. The levels of neuronc acid, one of the monounsaturated fatty acids, is 0.08% at most in spring, while no neuronc acid is determined in winter (Table 2).



**Figure 3.** Seasonal change of *B. tauricus*'s  $\Sigma$ MUFA and dominant monounsaturated fatty acids (%).

*B. tauricus*'s  $\Sigma$ PUFA level is calculated at most in winter (28.79%) and at least in spring (26.41%). This is because levels are observed too close to each other between seasons (Table 2, Figure 4).



**Figure 4.** Seasonal change of *B. tauricus*'s  $\Sigma$ PUFA and dominant polyunsaturated fatty acids (%).

Regarding *B. tauricus*'s dominant polyunsaturated fatty acids, Docosahexaenoic acid (DHA) is observed as 9.81% at most in winter and 7.71% at least in summer. There is a statistical difference in the level of docosahexaenoic acid between winter and summer ( $p < 0.05$ ). While there is no significant difference in the rate of eicosapentaenoic acid (EPA) between winter (5.32%) and spring (5.54%) ( $p > 0.05$ ), there is a statistical difference between these two seasons and summer (7.16%) ( $p > 0.05$ ). The linoleic acid level is 6.97% at most in summer and 6.68% at least in winter; in addition, no statistical difference is observed between seasons ( $p > 0.05$ ). Alfa linolenic acid level is 4.02% at most in winter and 2.24% at least in spring. There is a statistical difference in the level of alfa linolenic acid between winter and summer ( $p < 0.05$ ) (Table 2, Figure 4).

Linolelaidic acid is 0.21% at most in summer and below the detection limit in winter. Gamma linoleic acid level is 0.45% in winter and 0.36%, and 0.37% in spring and summer. There is no statistical difference in gamma linoleic acid levels between the seasons ( $p > 0.05$ ). Eicosatrienoic acid level is 0.75% at most in spring and 0.63% at least in summer. Dihomo gamma-linolenic acid is 0.52% at most in summer and 0.39% at least in spring. Arachidonic acid is 0.93% at most in spring and 0.62% at least in winter. Adrenic acid is 0.63% at most in winter and 0.33% at least in summer, while there is no statistical difference in levels between seasons ( $p > 0.05$ ). Docosadienoic acid is not determined in spring. It is observed as 0.16% at most in winter and as 0.11% at least in summer. There is a statistical difference determined in levels of docosadienoic acid between three seasons ( $p > 0.05$ ) (Table 2).

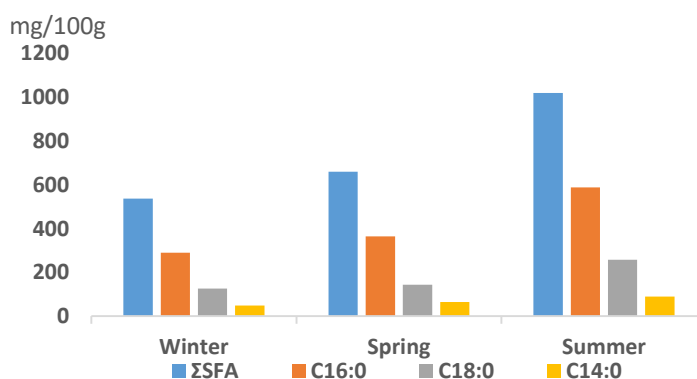
### C. FATTY ACIDS (MG/100G)

Seasonal changes in fatty acids of the species *B. tauricus* are shown in Table 3.

**Table 3.** Seasonal fatty acids profile of *B. tauricus* caught from Melen River Basin (%).

Conversion Factor	0.870	0.872	0.900
Fatty acid (mg/100g)	Winter	Spring	Summer
Lauric acid (C12:0)	27.65	37.41	22.26
Myristic acid (C14:0)	48.98	64.27	89.83
Pentadecanoic acid (C15:0)	5.33	6.82	11.33
Palmitic acid (C16:0)	289.92	364.56	587.85
Margaric acid (C17:0)	9.08	10.13	14.45
Stearic acid (C18:0)	125.80	143.22	258.19
Arachidic acid (C20:0)	10.27	12.61	9.77
Behenic acid (C22:0)	7.31	7.65	13.67
Lignosuric acid (C24:0)	12.05	12.61	11.72
<b>ΣSFA</b>	<b>536.38</b>	<b>659.26</b>	<b>1019.07</b>
Myristoleic acid (C14:1)	6.71	7.65	17.58
Pentadecenoic acid (C15:1)	5.73	7.44	10.55
Palmitoleic acid (C16:1)	121.26	139.08	338.65
Heptadecanoic acid (C17:1)	8.29	8.06	13.28
Trans oleic acid (C18:1n9t)	294.46	277.34	548.40
Oleic acid (C18:1n9c)	79.59	81.01	176.55
Vaccenic acid (C18:1n7)	2.37	2.27	5.08
Gadoleic acid (C20:1n9)	36.54	31.62	50.00
Erucic acid (C22:1n9)	101.31	89.90	129.29
Neuronic acid (C24:1n9)	0	1.65	2.34
<b>ΣMUFA</b>	<b>656.26</b>	<b>646.03</b>	<b>1291.71</b>
Linolelaidic acid (C18:2n6t)	0	2.69	8.20
Linoleic acid (C18:2n6c)	131.92	143.84	272.25
Alfa linolenic acid (C18:3n3)	79.39	46.29	123.04
Gamma linolenic acid (C18:3n6)	8.89	7.44	14.45
Eicosatrienoic acid (C20:3n3)	1.62	15.50	24.61
Dihomo gamma linolenic acid (C20:3n6)	8.10	8.06	20.31
Arachidonic acid (C20:4n6)	12.24	19.22	29.69
Eicosapentaenoic acid (C20:5n3)	105.06	114.23	279.67
Adrenic acid (C22:4n6)	12.44	11.16	12.89
Docosahexaenoic acid (C22:6n3)	193.74	177.11	301.15
Docosadienoic acid (C22:2cis)	3.16	0	4.30
<b>ΣPUFA</b>	<b>568.57</b>	<b>545.80</b>	<b>1090.55</b>
Σn6	173.59	192.40	357.79
Σn3	391.82	353.40	728.47
Σn9	511.89	481.53	906.58
Σn7	2.37	2.27	5.08
<b>Unidentified</b>	<b>213.68</b>	<b>215.55</b>	<b>504.66</b>

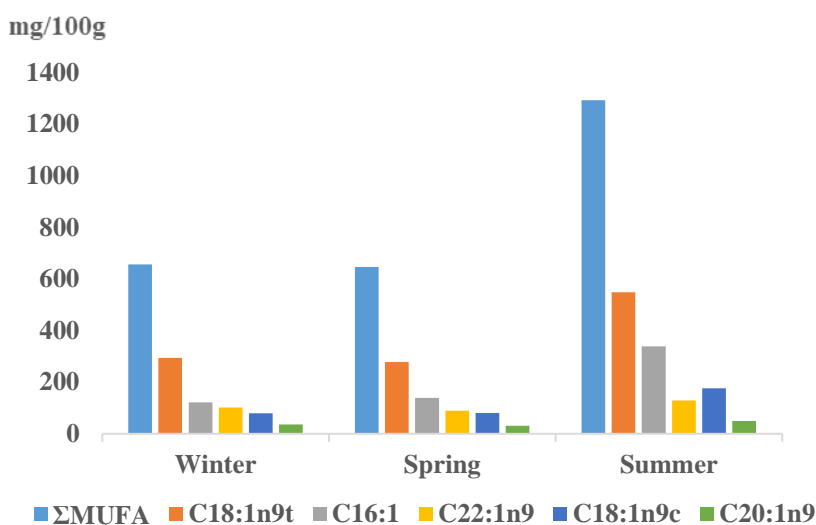
*B. tauricus*'s ΣSFA rate is 1019.07 mg/100g at most in summer and 536.38 mg/100g at least in winter (Table 3, Figure 5).



**Figure 5.** Seasonal change of *B. tauricus*'s ΣSFA and dominant saturated fatty acids (mg/100g).

The lauric acid level is 37.41 mg/100g at most in spring and 22.26 mg/100 at least in summer. Myristic acid's summer level is almost twice the time of winter level, and the level is calculated as 89.83 mg/100g in summer, 48.98 mg/100g in winter, and 64.27 mg/100g in spring. Pentadecic acid's winter and spring levels are data close, while the summer level is 11.33 mg/100g, about twice the time of the other two seasons. Palmitic acid is calculated as 587.85 mg/100g, 364.56 mg/100g, and 289.92 mg/100g in summer, winter, and spring, respectively. Margaric acid is 14.45 mg/100 at most in summer and 9.08 mg/100 g at least in winter. Stearic acid is 258.19 mg/100g at least in summer, 125.80 mg/100g at least in winter, and 143.22 mg/100g in spring. Arachidic acid is 10.27 mg/100g in winter, 9.77 mg/100g in summer, and 12.61 mg/100g at most in spring. Behenic acid is 7.31 mg/100g at least in winter. Behenic acid's summer level is 13.67 mg/100g, and the spring level is 7.65 mg/100g. Lignoceric acid level is 12.61 mg/100g at most in spring and 11.72 mg/100g at least in summer.

*B. tauricus*'s  $\Sigma$ MUFA level is 1019.07 mg/100g at most in summer and 536.38 mg/100g at least in spring (Table 3, Figure 6).



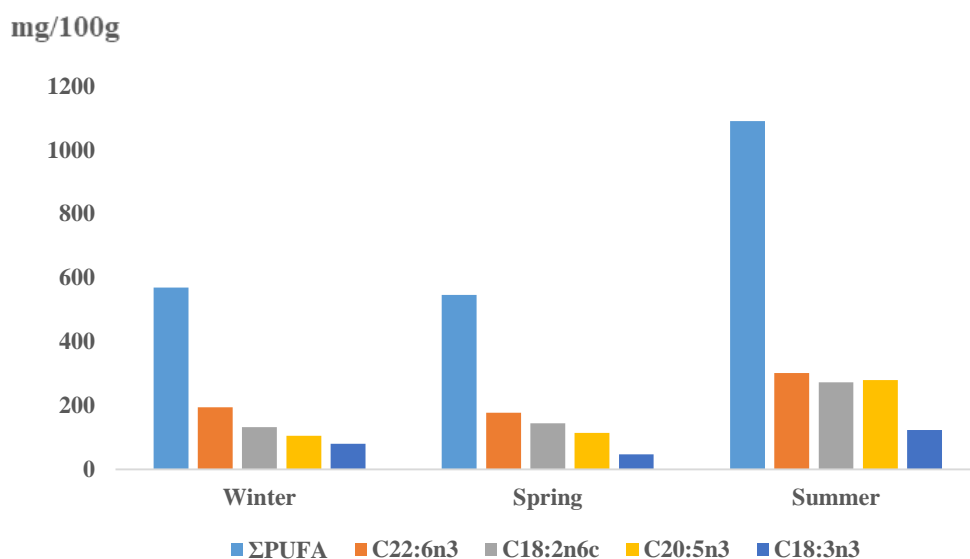
**Figure 6.** Seasonal change of *B. tauricus*'s  $\Sigma$ MUFA and dominant monounsaturated fatty acids (mg/100g).

Myristoleic acid is 17.58 mg/100g at most in summer and 6.71 mg/100g at least in winter; it also is close to the winter level with 7.65 mg/100g in spring. Pentadecenoic acid is 10.55 mg/100g at most in summer and 5.73 mg/100g at least in winter. Palmitoleic acid is 121.26 mg/100g at least in winter, 139.08 mg/100g in spring and 338.65 mg/100g at most in summer. Heptadecanoic acid is close to each other in winter and spring, with 13.28 mg/100g. In the study on the species *B. tauricus*, trans oleic acid, being a MUFA, is 548.40 mg/100g at most in summer, 277.34 mg/100g in spring, and 294.46 mg/100g at least in winter. On the other hand, oleic acid is close to each other in winter and spring and is 176.55 mg/100g at most in summer.

Vaccenic acid is 2.27 mg/100g at least in spring. Vaccenic acid's summer level is 5.08 mg/100g, and the winter level is 2.37 mg/100g. Gadaloic acid is 36.54 mg/100g in winter, 31.62 mg/100g in spring, and 50.00 mg/100g in summer. Erucic acid is 101.31 mg/100g in winter, 89.90 mg/100g in spring, and 129.29 mg/100g in summer. Neuronic acid is under the detection limit in winter and is 1.65 mg/100g in spring and 2.34 mg/100g in summer.

*B. tauricus*'s  $\Sigma$ PUFA rate is 1090.55 mg/100g at most in summer and 545.80 mg/100g at least in spring (Table 3, Figure 7).





**Figure 7.** Seasonal change of *B. tauricus*'s  $\Sigma$ PUFA and dominant polyunsaturated fatty acids (mg/100g).

Linolelaidic acid is under the detection limit in winter and is 2.69 mg/100g in spring and 8.20 mg/100g in summer. Linoleic acid is one of the highest fatty acid levels within the MUFA group and is calculated as 272.25 mg/100g in summer, 131.92 mg/100g in winter, and 143.84 mg/100g in spring. Alfa linoleic acid is 46.29 mg/100g at least in spring and 123.04 mg/100g at most in summer. Gamma linoleic acid is 14.45 mg/100g at most in summer, 7.44 mg/100g at least in spring, and 8.89 mg/100g in winter. Eicosatrienoic acid is 24.61 mg/100g at most in summer, 1.62 mg/100g at least in winter and 15.50 mg/100g in spring. Dihomo gamma-linolenic acid is 20.31 mg/100g at most in summer, while the level is lower and close to each other in winter and spring. Arachidonic acid is calculated as 12.24 mg/100g in winter, 19.22 mg/100g in spring, and 29.69 mg/100g in summer. Eicosapentaenoic acid is determined as 105.06 mg/100g in winter, 114.23 mg/100g in spring and 279.67 mg/100g in summer. Adrenic acid is 12.89 mg/100g at most in summer, 11.16 mg/100g at least in spring, and 12.44 mg/100g in winter. Docosahexaenoic acid is 301.15 mg/100g at most in summer, 177.11 mg/100g at least in spring, and 193.74 mg/100g in winter. Arachidonic acid is calculated as 12.24 mg/100g in winter, 19.22 mg/100g in spring, and 29.69 mg/100g in summer. Docosadienoic acid is determined as 4.30 mg/100g at most in summer and is under the detection limit in spring.

## IV. DISCUSSION

*B. tauricus*'s total lipid amounts are found at most in summer (4.34%) and at least in winter (2.27%). The reason *B. tauricus*'s total lipid amounts are low in winter is thought to be due to an increase in lipid usage by fishes needing more energy during the winter season. For poikilotherm creatures, the temperature is the most crucial factor affecting fish-feeding activity [24]. Similar results (in winter, 1.19%) were found in a study on the species *Dicentrarchus labrax* by Belikusakli [25]. Furthermore, the lipid amount of the *Squalius pursakensis* from the Melen Basin was found to be low in the winter season by Inan et al. [24]. In this study, *B. tauricus* was evaluated as a lower-fat fish based on both Lambertsen [26] and Polish (Polish Standard PNA-86770 1999) standards.

*B. tauricus*'s saturated fatty acids (SFAs) are observed as 26.09% at least in summer and 31.90% at most in spring. Unsaturated fatty acids (MUFAs) are observed as 31.26% at least in spring and as 33.23% at most in winter. Polyunsaturated fatty acids (PUFAs) are observed as 26.41% at least in spring and 28.79% at most in winter. In the present study, the MUFAs content (31.26-33.23%) was generally higher than PUFAs (26.41-28.79%) and SFAs (26.09-31.90). Similarly, MUFAs were higher in *Aspius vorax*, *Carassobarbus luteus*, *Acanthobrama marmid*, *Cyprinion macrostomum* and *Capoeta trutta* by Kacar and Bashan [27] from Ataturk Dam Lake. On the other hand, reported higher PUFA content for *Squalius*

*pursakensis* by Ates [28] from the upper Sakarya River and Inan et al. [24] from the Melen River Basin.

Researchers have found that palmitic acid is the most common fatty acid in fish tissue. In this study, palmitic acid has the highest levels among the primary saturated fatty acid in all seasons. Therefore, researchers have suggested that palmitic acid, the highest in fish's fatty acid composition, is due to its role in fatty acid metabolism [29], [30]. Similar results suggesting that palmitic acid is the essential saturated fatty acid were found by Kandemir [31] and Turchini et al. [32] for the species *Tinca tinca*, by Konar et al. [33] for the species *Capoeta trutta* and *Barbus rajanorum mystaceus*, and by Kaya and Turan [34] for anchovy.

In this study, it is found that *B. tauricus*'s  $\Sigma$ SFA (Figure 2) and  $\Sigma$ MUFA (Figure 3) rates in the Melen Basin are affected by seasonal change, while  $\Sigma$ PUFA (Figure 4) rates are close to each other between different seasons (Table 2). Fish's fatty acid compositions change based on habitat, season, nutrition, breeding, water temperature, and pollution. Melen River Basin's water amount difference is too much between seasons. And this suggests that the features of fish's habitats are constantly changing. Also, the reason for not sampling during autumn is that too much water amount not allow the sampling. This high rate of change in water amount between seasons is thought to change many factors, from water pollution to species' bio-ecology and fatty acid compositions of the fishes.

In the study, it is found that *B. tauricus*'s dominant SFAs are palmitic acid (C16:0), Myristic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0) (Figure 2); dominant MUFAs are Transoleic acid (C18:1n9t), Palmitoleic acid (C16:1), Erucic acid (C22:1n9), Oleic acid (C18:1n9c), Gadoleic acid (C20:1n9); dominant PUFAs Docosahexaenoic acid (C22:6n3), Linoleic acid (C18:2n6c), Eicosapentaenoic acid (C20:5n3), Alfa linolenic acid (C18:3n3) (Table 2). In studies by Ozogul et al. [35], Mahmoud et al. [36], Hisar and Hisar [37] on *Cyprinus carpio*, by Inan et al. [24] on *S. pursakensis* and by Ates [28] on *Squalius pursakensis* and *Capoeta*, dominant SFAs were determined as myristic, palmitic and stearic acid, similar to our study. In studies by Gokce et al. [38] *Solea solea* has palmitic (19.00%) and stearic acid (6.91%) rates at most in summer, while in our study, palmitic (17.64%) and stearic acid (6.93%) rates were found at most in spring. The reason for this difference might be fishes living in lakes or seas and their feeding regime.

In this study, *B. tauricus*'s EPA and DHA levels were high in all seasons (Table 2). Within the fatty acid composition, DHA is highest in winter (9.81%) and lowest in summer (7.71%). On the contrary, EPA is highest in summer (7.16%) compared to other seasons. Also, it is observed that the PUFAs rate increases in winter by DHA and in summer by EPA. The reason for these changes in EPA and DHA is thought to be related to the changes in the feeding regime of *B. tauricus* during the year because EPA and DHA rates in PUFA are related to feeding [39] [40].

The n-3/n-6 ratio is a good index for comparing the relative nutritional value of fish oils [40]. The ratios obtained in this study (Table 2) suggest that n3/n6 ratios are 2.26 in winter, 1.84 in spring, and 2.04 in summer. An increase in the n-3/n-6 fatty acid ratio is essential to human nutrition in preventing coronary heart disease and reducing cancer risk [41]. Guler et al. [42] found that the n-3/n-6 fatty acids ratio is 1.49 in spring, 1.45 in autumn, and 1.22 in winter, while 0.72 at least in summer, in *Sander lucioperca*. Kalyoncu et al. [43], found that n-3 / n-6 fatty acids ratio is 1.4 in spring, 1.5 in summer, 1.2 in autumn, and 1.4 in winter, in *Vimba vimba tenella*. Satar et al. [40], found that the n-3/n-6 ratio is 3.56 in winter, 3.80 in summer, 4.94 in spring, and 3.34 in autumn in *Capoeta trutta*, and specified *C. trutta* as an important freshwater fish due to its high n-3/n-6 ratio. Considering the results of other studies on n-3/n-6 ratios of freshwater fishes investigated, *B. tauricus* can also be considered an important freshwater fish for human nutrition.

SFA/PUFA ratio (0.93-1.21) determined in this study is higher than the one obtained in studies by Inan et al. [24] (0.80-0.93) and Ates [28] (0.46-0.65) on *S. pursakensis*.

In analyzing seasonal changes in fatty acid amounts in 100gr *B. tauricus* fillet,  $\Sigma$ SFA ranges between 536.38-1019.07 mg/100g;  $\Sigma$ MUFA ranges between 646.03-1291.71 mg/100g; and  $\Sigma$ PUFA ranges

between 545.80-1090.55 mg/100g. The results ( $\Sigma$ SFA:455.25-1461.20/  $\Sigma$ MUFA:460.16-1396.64/  $\Sigma$ PUFA:492.10-1820.0) reported by Inan et al. [24] for *S. pursakensis* support our findings.

*B. tauricus* EPA amount is 105.06 mg/100g in winter, 114.23 mg/100g in spring, and 279.67 mg/100g in summer, DHA is 193.74 mg/100g in winter, 177.11 mg/100g in spring, and 301.15 mg/100g in summer. Inan et al. [24] have found EPA for *S. pursakensis* between 74.01-231.14 mg/100g and DHA between 152.16-764.06 mg/100g. Kminkova et al. [44] have found EPA for carp between 82.2-149.2 mg/100g and DHA between 24.5-56.2 mg/100g.

Fish oil is essential for human health [45]. Fish oils have roles in treating many diseases causing death, primarily cardiovascular diseases. Especially in some of the developed countries, fish have become crucial in preventing and treating cardiovascular diseases that account for 40% of deaths [46]. This study and similar studies show that fish-originated nutrition should be encouraged for human health [47].

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This work is supported by Düzce University Research Fund. (Project Number: BAP- 2018.05.01.890)

## **V. REFERENCES**

- [1] C. Gorga, *A new selected comments on lipids*, Quality Assurance of Seafood Appendix 1, 1998, pp. 245.
- [2] J.A. Nettleton, Seafood nutrition in the 1990's issues for the consumer, *Seafood Science and Technology*, chepter 4, ed. By Graham Bligh Canadian., Inst. of Fish Tech. 2000, pp. 32-39.
- [3] Y. Kaya, H. A. Duyar, and M.E. Erdem, "The importance of fish fatty acids on human health," *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi* c.21, s 3-4, ss. 365-370, 2004.
- [4] Z. Canbulat and T. Özcan, "Süt ürünlerinin eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosahekzaenoik asit (DHA) ile zenginleştirilmesi," *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, Erzurum, Türkiye, 21-23 Mayıs 2008 ss. 713-716.
- [5] Y. Özkan and S. S. Koca, "Hiperlipidemi tedavisinde omega-3 yağ asidinin (balık yağı) etkinliği," *Fırat Tıp Dergisi* c.11, s.1, ss. 40-44, 2006.
- [6] J. E. Kinsella, *Seafoods and fish oils in human health and disease*, Marcel Dekker Inc., New York. 1987, pp. 317.
- [7] H. A. Karabulut and I. Yandı, "Su Ürünlerindeki Omega-3 Yağ Asitlerinin Önemi ve Sağlık Üzerine Etkisi," *E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* c. 23, s.1/3, ss.339-342, 2006.
- [8] N. M. Lewis, S. Seburg and N. L. Flanagan, "Enriched eggs as a source of n-3 polyunsaturated fatty acids for humans," *Poultry Science* c.79, ss. 971-974, 2000.
- [9] B. J. Holub, "Clinical nutrition: 4. Omega-3 fatty acids in cardiovascular care," *Canadian Medical Association Journal*, vol. 166 no.5, pp. 608-615, 2002.
- [10] H. Eseceli, A. Değirmencioğlu ve R. Kahraman, "Omega yağ asitlerinin insan sağlığı yönünden önemi," *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, Bolu, Türkiye, 2006, ss. 403-406.
- [11] W. Kolanowski and G. Laufenberg, "Enrichment of food products with polyunsaturated fatty acids by fish oil addition," *European Food Research and Technology*, vol. 222, pp. 472-477, 2006.

- [12] J. R. Sargent , D.R. Tocher and J.G. Bell, "The lipids," in *Fish nutrition* 3rd ed., San Diego, USA: Academic Press , 2002, pp. 181 – 257.
- [13] D. J. Garcia, "Omega-3 long-chain PUFA nutraceuticals," *Food Technology*, vol. 52, pp. 44-49, 1998.
- [14] F. Shahidi, J. K. V. Arachchi and Y. J. Jeon, "Food applications of chitin and chitosans," *Trends in Food Science and Technology*, vol.10, pp. 37-51, 1999.
- [15] C. Alasalvar, F. Shahidi and P. Quantick, "Food and health applications of marine nutraceuticals: a review," in *Seafoods - Quality, Technology and Nutraceutical Applications*, Berlin, Germany: Springer. 2002, pp. 175-204.
- [16] F. D. Gunstone, *Fatty Acid and Lipid Chemistry*, London, UK: Blackie Academic and Professional, 1996.
- [17] Z. E. Sikorski and A. Kolakowska, *Chemical and Functional Properties of Food Lipids*, Florida, USA: CRS Press, 2003, pp. 1-60.
- [18] E. Bağcı ve E. Can, "Tatlı Su Balıklarında Yağ Asitleri, Kolesterol ve Yağda Eriyen Vitaminler," *Bilim ve Gençlik Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 2148-0273, 2015.
- [19] R. Geldiay ve S. Balık, *Türkiye Tatlısu Balıkları*, İzmir, Türkiye: Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, 2007, yayın no: 46, s: 644.
- [20] E. G. Bligh and W. J. Dyer, "A rapid method of total lipid extraction and purification," *Biochemistry and Cell Biology*, vol. 37, no. 8, pp. 911-917, 1959.
- [21] K. Ichihara, A. Shibahara, K. Yamamoto and T. Nakayama, "An improved method for rapid analysis of the fatty acids of glycerolipids," *Lipids*, vol. 31, pp. 535-539, 1996.
- [22] J. L. Weihrauch, L.P. Posati, B.A. Anderson and J. Exler, "Lipid conversion factors for calculating fatty acid contents of foods," *Journal of American Chemical Society*, vol. 54, pp. 36-40, 1975.
- [23] T. L. Ulbricht and D.A.T. Southgate, "Coronary heart disease: Seven dietary factors," *Lancet*, vol. 338, pp. 985-992, 1991.
- [24] T. Inan, D. Ayas and Ş.G. Kırankaya, "Seasonal Changes in Lipid and Fatty Acid Profiles of Sakarya Chub (*Squalius pursakensis*) from the Melen River Basin," *Eurasian Journal of Forest Science* vol. 7, no.3, pp.243-251, 2019.
- [25] A. Belikuşaklı, "Levrek Balığı, *Dicentrarchus labrax* L. 1758 (Osteichthyes:Moronidae)'nın Total Yağ Asidi Bileşiminin Mevsimsel Değişimi," Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2006.
- [26] G. Lambertsen, "Fatty acid composition of fish fats. Comparison based on eighth fatty acids," *Fisk. Dir. Skr., Ser. Ernæring*, vol. 1, no. 4, pp. 105-116, 1978.
- [27] S. Kacar and M. Bashan, "Comparison of lipid contents and fatty acid profiles of freshwater fish from the Atatürk Dam Lake," *Turkish Journal of Biochemistry*, vol. 41, no. 3, pp. 150-156, 2016.
- [28] E. Ateş, "Yukarı Sakarya Havzası'nda Yaşayan Balık Türlerindeki Yağ Asitleri Değişiminin Mevsimsel Olarak Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi,

Afyon, Türkiye, 2013.

[29] Y. J. Wang, L. A. Miller, M. Perren and P. B. Addis, "Omega 3 Fatty Acids in Lake Superior Fish," *Journal of Food Science*, vol. 55, no. 1, pp. 72-73, 1990.

[30] A. D. Andrade, A. F. Rubira, M. Matsushita and N. E. Souza, "Omega-3 fatty acids in freshwater fish from South of Brazil," *Journal of American Oil Chemists Society*, vol. 72, no.10, pp. 1207-1210, 1995.

[31] S. Kandemir, "Farklı Mevsimlerde Seyhan Baraj Gölünde Avlanan Kadife Balığı (*Tinca tinca* L., 1758)'nın Yağ Asitleri Kompozisyonundaki Değişimler," Yüksek Lisans Tezi, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2008.

[32] G. M. Turchini, V. M. Moretti, T. Mentasti, E. Orban and F. Valfre, "Effects of dietary lipid source on fillet chemical composition flavour volatile compounds and sensory characteristics in the freshwater fish Tench (*Tinca tinca*)," *Food Chemistry*, vol. 102, pp. 1144 -1155, 2007.

[33] V. Konar, A. Canpolat and Ö. Yilmaz, "Variation of total lipid and fatty acid amount and compositions in muscles of *Capoeta trutta* and *Barbus rajanorum mystaceus* during reproduction period," *Turkish Journal of Biology*, vol. 23, pp. 319-330, 1999.

[34] Y. Kaya and H. Turan, "Fatty Acids Composition of Anchovy (*Engraulis Encrasicolus* L. 1758) Oil Produced In Sinop-Turkey," *Journal of FisheriesSciences.com*, vol. 2, no. 5, pp. 693-697, 2008.

[35] Y. Ozogul, F. Ozogul and S. Alagoz, "Fatty acid profiles and fat contents of commercially important seawater and freshwater fish species of Turkey: A comparative study," *Food Chemistry* vol. 103, pp. 217–223, 2007.

[36] M. S. B. Mahmoud, Y. Kawai, K. Yamazaki, K. Miyashita and T. Suzuki, "Effect of treatment with electrolyzed NaCl solutions and essential oil compounds on the proximate composition, amino acid and fatty acid composition of carp fillets," *Food Chemistry*, vol. 101, pp. 1492–1498, 2007.

[37] O. Hisar ve A.S. Hisar, "Farklı Su Sıcaklıklarında Tutulan Aynalı Sazanlarda(*Cyprinus carpio*) Eritrosit Hücrelerinin Ozmotik Kırılgenlikleri ile Yağ Asidi Kompozisyonları," *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, vol. 27, pp. 1277–1281, 2003.

[38] A. M. Gokçe, O. Tasbozan, M. Celik, S. S. Tabakoglu, "Seasonal variations in proximate and fatty acid compositions of female common sole (*Solea solea*)," *Food Chemistry*, vol.88, pp. 419–423, 2004.

[39] M. T. Arts, R. G. Ackman and B. J. Holub, "Essential fatty acids in aquatic ecosystems: a crucial link between diet and human health and evolution," *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, vol. 58, pp. 122-137, 2001.

[40] E. İ. Satar, E. Uysal, E. Ünlü, M. Başhan and A. Satar, "The effects of seasonal variation on the fatty acid composition of total lipid, phospholipid, and triacylglycerol in the dorsal muscle of *Capoeta trutta* found in the Tigris River (Turkey)," *Turkish Journal of Biology*, vol. 36, no.1, pp. 113-123, 2012.

[41] J. E. Kinsella, B. Lokesh and R. A. Stone, "Dietary n-3 polyunsaturated fatty acids and amelioration of cardiovascular disease: possible mechanisms," *The American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 52, pp. 1-28, 1990.

[42] G. O. Guler, A. Aktumsek O. B. Cital, A. Arslan and E. Torlak, "Seasonal variations on total fatty acid composition of fillets of zander (*Sander lucioperca*) in Beysehir Lake (Turkey)," *Food Chemistry* vol. 103, pp. 1241- 1246, 2007.

- [43] L. Kalyoncu, S. Kissal and A. Aktumsek, "Seasonal changes in the total fatty acid composition of *Vimba*, *Vimba vimba tenella* (Nordmann, 1840) in Egirdir Lake, Turkey," *Food Chemistry*, vol. 116, pp. 728-730, 2009.
- [44] M. Kminkova, R. Winterova and J. Kucera, "Fatty acids in lipids of carp (*Cyprinus carpio*) tissues," *Czech Journal of Food Science*, vol.19, pp. 177-181, 2001.
- [45] W. E. Connor, "Hypolipidemic effects of dietary n-3 fatty acids in normal and hyperlipidemic humans: effectiveness and mechanisms," in *Health Effects of Polyunsaturated Fatty Acids in Seafoods* Orlando, USA: Academic Press, 1986, pp. 173–210.
- [46] W. Steffens, "Effects of Variation in Essential Fatty Acids in Fish Feeds on Nutritive Value of Freshwater Fish for Humans," *Aquaculture*, vol. 151, pp. 97-119, 1997.
- [47] P. Puwastien, K. Judprasong, E. Kettwan, K. Vsanachitt, Y. Nakngamanong and L. Bhattacharjee, "Proximate composition of raw and cooked Thai freshwater and marine fish," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 12, pp. 9-16, 1999.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Yeşilirmak Havzası İçin Sediment-Akım Fonksiyonlarının Belirlenmesi

 Murat PINARLIK <sup>a,\*</sup>,

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [muratpinarlik@gazi.edu.tr](mailto:muratpinarlik@gazi.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1063087

### Öz

Günümüzde yaşanan küresel ısınma etkileri, hızlı nüfus artışı, yaygın sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerin bir sonucu olarak su ihtiyacı giderek artmaktadır. Öte yandan erozyon sonucu oluşan ve akarsular ile taşınan sediment, su kaynaklarını olumsuz yönde etkilemektedir. Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için sediment ölçüm ve tahminlerine büyük önem verilmektedir. Akarsulardaki sediment ölçümleri oldukça maliyetli ve zor işlemlerdir. Bu nedenle, her akarsu havzası için sediment tahmin fonksiyonlarının kullanılması önemli hale gelmiştir. Bu kapsamda, yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında sediment anahtar eğrisi gelmektedir. Bu çalışmada, Yeşilirmak Havzası'nın farklı alt havzalarında ve akarsu kollarında yer alan yedi adet akım gözlem istasyonu seçilerek havzaya uygun sediment anahtar eğrisi fonksiyonu oluşturulması amaçlanmıştır. Akım gözlem istasyonlarından akım debisi ve o enkesitten geçen katı madde miktarı verileri elde edilmiştir. Çalışmada sediment anahtar eğrisi; üs fonksiyon, üstel fonksiyon, doğrusal fonksiyon, logaritmik fonksiyon ve polinomial fonksiyon kullanılarak beş farklı şekilde oluşturulmuştur. Elde edilen fonksiyonlardaki akım ile sediment arasındaki ilişki belirleyicilik katsayısı ile değerlendirilmiştir. Tüm istasyonlar için belirleyicilik katsayı değerleri 0.50 ile 0.92 arasında değişiklik gösterirken Yeşilirmak Havzası özelinde en uygun anahtar eğrisi fonksiyonunun üs fonksiyon olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sediment anahtar eğrisi, Askıda sediment, Yeşilirmak Havzası, Üs fonksiyon, Belirleyicilik katsayısı.

## Determination of Sediment-Flow Functions for the Yeşilirmak Basin

### ABSTRACT

As a result of the effects of global warming, rapid population growth, widespread industrialization and agricultural activities, the water demand is increasing day by day. On the other hand, sediment formed as a result of erosion and carried by rivers negatively affects water resources. For the sustainability of water resources, great importance is given to sediment measurements and estimations. Sediment measurements in rivers are very costly and difficult processes. Therefore, it has become important to use sediment estimation functions for each river basin. In this context, sediment rating curve is one of the most commonly used methods. In this study, it was aimed to create a sediment rating curve function suitable for the basin by selecting seven streamgage gauging stations located in different sub-basins and river tributaries of the Yeşilirmak Basin. Discharge and suspended sediment data were obtained from streamgage gauging stations. Sediment rating curve; it is constructed in five different ways using exponent function, exponential function, linear function, logarithmic function and polynomial function during this study. Flow-sediment compatibility in the obtained functions was evaluated with the coefficient of determination. While the coefficient of determination values for all stations varied between 0.50 and 0.92, it was observed that the most appropriate sediment rating curve function was the exponent function in the Yeşilirmak Basin.

*Keywords: Sediment rating curve, Suspended sediment, Yesilirmak Basin, Exponent function, Coefficient of determination.*

## **I. GİRİŞ**

Son yıllardaki hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve tarımda yaşanan gelişmeler, su kaynaklarının önemini bir kat daha arttırmıştır. Bunun yanı sıra dünya genelinde etkili olan küresel ısınma, yağışların azalmasına, sıcaklıkların ve buharlaşmanın artmasına neden olmaktadır. Böylece su kayıpları artarken, suya ulaşım da daha zor bir hal almaktadır.

Katı maddeler, akarsuyun karakteristik özelliklerine (debi, hız, eğim vb.) ve dane özelliklerine göre (boyut, çap, ağırlık vb.) askıda ya da akarsu tabanında sürüntü şeklinde hareket etmektedirler. Akarsu morfolojisinin tanımlanması, baraj, içme suyu, kullanma suyu temin projelerinin planlanması, sürdürülebilir bir havza yönetim çalışmasının gerçekleştirilmesi ve akarsudaki kirlilik seviyesinin tespit edilmesinde askıda sediment yükünün doğru olarak tahmin edilmesi oldukça önem taşımaktadır [1]. Bunun nedeni, sediment miktarı tahmininin, rezervuar ölü hacminin belirlenmesi, uzun ömürlü ve yeterli su kanalların tasarlanması ve su yapılarının akarsu ve çevresine etkilerinin belirlenmesi gibi geniş bir perspektifte kullanılmasıdır [2,3,4]. Tahminen tüm dünyada rezervuar sedimantasyonu nedeni ile ortalama yıllık depolama kaybının toplam depolama kapasitesine oranı %0,5-1 arasındadır [5,6]. Ortalama olarak, depolamadaki bu kayıp yaklaşık 45 km<sup>3</sup>/yıl'dır. Bu, dünya üzerinde yıllık bazda yaklaşık olarak 300 büyük baraja karşılık gelmekle birlikte yeni barajlarla ilgili çevresel ve sosyal maliyetleri dahil etmeksizin tahmini olarak bu depolama kapasitesinin maliyeti 13 milyar dolardır [7]. Akarsularda taşınan askıda sediment miktarı, toplam sediment miktarının %75-95'ini oluşturur [8]. Türkiye'nin yer aldığı coğrafyaya bağlı olarak topoğrafik özellikleri, zemin özellikleri, jeomorfolojik yapısı, arazi kullanımındaki farklılıklar ve iklimsel değişimler erozyona karşı hassasiyeti artırmaktadır. Bu nedenle ülkemizde, erozyon ve onun sonucunda meydana gelen akarsulardaki sedimantasyon su kaynakları için ciddi problem teşkil etmektedir [9].

Bir nehrin askıda sediment miktarı ölçümleri ve tahminleri, kanal gezilebilirliği, hidroelektrik ekipman ömrü, taşkın kontrolü, nehir estetiği, su habitatları ve nehir ekosistemleri açısından da önemlidir [10]. Özellikle, rezervuarlardaki su depolama kaybı ve su kalitesi ile ilgili olarak, nehirlerdeki askıda sediment yükünden kaynaklanan sorunları önlemek için nehirler tarafından taşınan sediment hacminin doğru tahminleri gereklidir [11]. Sediment yükünün tahmini için çeşitli hidrolojik ve hidrolik yöntemler uygulanmaktadır. Hidrolojik yöntemler, havzanın sediment yükünün değerini tahmin etmek için verilerin örneklenmesinden ve pratik ölçümlerinden yararlanır. Hidrolik yöntemler ise akışın hidrolik özelliklerinin bir fonksiyonudur ve sediment taşınımını hesaplayabilir. Ancak, havzanın sediment yükünün değerini tahmin edemezler. Hidrolik yöntemler, nehirlerde maksimum tortu taşıma kapasitesini gösterse de bir tutarlılığın olması imkansızdır. Bu nedenle ölçülen sediment miktarı, genellikle hidrolik yöntemlerle hesaplanan sediment miktarından daha azdır [12]. Akarsulardaki askıda katı madde miktarı, sediment anahtar eğrisi başta olmak üzere, esnek modelleme yöntemleri, sediment gözlem istasyonlarında yapılan doğrudan ölçümler ve deneysel çalışmalara dayanan yaklaşımlar gibi farklı yöntemlerle belirlenebilmektedir [1]. Bu yöntemlerden sediment anahtar eğrisi, su (akım) debisi ile sediment yükü (sediment debisi) arasında basit bir ilişki sağlar ve hidrologlar tarafından altmış yılı aşkın süredir yaygın olarak kullanılmaktadır [13,14]. Akarsu akımındaki ortalama askıda sediment konsantrasyonunun ölçülmesi zaman alıcı ve maliyetli bir işlemdir. Bu nedenle sediment anahtar eğrilerinden önemli ölçüde yararlanılmaktadır [15]. Sediment anahtar eğrilerinin oluşturulmasında eşitlik olarak üs, üstel, doğrusal, logaritmik, polinomial fonksiyonlar havzadaki akım ve sediment yükü arasındaki ilişkiye bağlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [16]. Ayrıca günümüzde, regresyon yöntemleri ve yapay zeka tekniklerini de geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır [17]. Sediment anahtar eğrisi geliştirmek için yaklaşık yirmi iki yöntem kullanılmış olmasına rağmen en yaygın olanı sediment konsantrasyonu/akım debisi ilişkisi ile sediment debisi/akım debisi arasındaki güç



fonksiyonudur [18,19,20,21,22,18,23]. Özellikle doğrusal veya ikinci dereceden polinom sediment anahtar eğrileri yıllık ve daha uzun süreli sediment akımlarında çok iyi sonuçlar vermektedir [24].

Bu çalışmada, Yeşilirmak Havzasında yer alan yedi adet akım gözlem istasyonunun akım ve sediment ölçümlerinden yararlanılarak havza özelinde en uygun sediment anahtar eğrisi fonksiyonunun oluşturulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, her istasyona ait veri setleri için üs fonksiyon, üstel fonksiyon, doğrusal fonksiyon, logaritmik fonksiyon ve polinomial fonksiyon kullanarak sediment anahtar eğrileri oluşturulmuştur. Belirleyicilik katsayısından yararlanılarak tüm eşitliklerdeki sediment/akım uyumu tespit edilmiş ve havza için en uygun sediment anahtar eğrisi eşitliği belirlenmiştir.

## **II. CALIŞMA ALANI VE VERİLER**

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin yüz ölçümü bakımından en büyük üçüncü havzası konumunda olan (38 387 km<sup>2</sup>) Yeşilirmak Havzası sınırları içinde (39°46'80.05"K-41°37'26.86"K enlemleri ve 34°48'88.31"D-39°80'62.13"D boylamları) bulunan yedi adet akım gözlem istasyonundan yararlanılmıştır.



*Şekil 1. Akım gözlem istasyonlarının havza üzerindeki konumları*

Bu akım gözlem istasyonlarının dördü Yeşilirmak Nehri ana kolunda yer alırken, diğer üçü nehrin yan kollarında (Kürtün Çayı, Germuga Deresi ve Köroğlu Deresi) konumlanmaktadır. Akım gözlem istasyonlarının havza üzerindeki konumları ve genel özellikleri Şekil 1 ve Tablo 1' de detaylı olarak verilmiştir.

*Tablo 1. Akım gözlem istasyonlarının genel özellikleri*

No	İstasyon No	İstasyon Adı	Sediment Gözlem Yılları	Veri Sayısı	Yükseltisi ve Konumu	Ortalama Sediment Yüğü	Ortalama Akım
						(ton/gün)	(m <sup>3</sup> /sn)
1	D14A014	Kürtün Çayı – Ahullu	2012-2016	30	140 m; (36° 11' 43" D-41° 17' 10" K) Samsun - Ankara karayolunun 11.	10,523	1,548

					km'sindeki Çağlayan mevkindedir.		
2	D14A162	Yeşilırmak Nehri – Kozlu	2013-2016	22	1027 m; (37° 33' 04" D-40° 15' 14" K) Sivas İli; Doğanşar İlçesi, Kozlu Köyü'ndeki köprüdedir.	112,334	8,634
3	D14A174	Yeşilırmak Nehri – Yeşildere	2014-2016	23	512 m; (36° 04' 19 D- 40° 27' 24" K) Turhal-Amasya karayolunun 7. km'sinden sola ayrılan köy yolunun 4. km'sinde Yeşildere Köprüsü'ndedir.	147,387	16,677
4	D14A191	Germuga Deresi – Akkoca	2015-2016	14	266 m; (x:36.808056 y:40.627222) Tokat- VII. Bölge Müdürlüğü Samsun, 14. Yeşilırmak Havzası	49,296	2,219
5	E14A002	Yeşilırmak Nehri – Kale	2011-2016	60	190 m; (36° 30' 45" D-40° 46' 18" K) Tokat İli, Erbaa İlçesi'ne 16 km uzaklıktaki Kale Köyü'ne 500m mesafededir.	1655,896	107,196
6	E14A018	Yeşilırmak Nehri – Gömeleönü	1972-2016	511	820 m; (37° 07' 43" D-40° 18' 42" K) Tokat ili, Almus İlçesi'nden 35 km mesafede Gömeleönü Köyü'nün yanındadır.	1830,24	19,802
7	E14A030	- Köroğlu Deresi – Köroğlu	2015-2016	12	1475 m; (38° 42' 28" D-39° 57' 20" K) Erzincan-Sivas karayolunun84 km'sinde Erzincan İli, Refahiye İlçesi'ne bağlı Altköy içindeki köprüdedir.	66,447	3,716

Sediment anahtar eğrilerinin oluşturulabilmesi için gerekli olan nehrin akım ve sediment debileri Tablo 1'de yer alan akım gözlem istasyonlarından elde edilmiştir. Bu akım gözlem istasyonlarına ait tüm veriler ise Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt, Plan ve Tahsisler Daire Başkanlığı, Rasat Şube Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Elde edilen veri setlerindeki veri sayıları 12 ile 511 arasında değişiklik gösterirken, gözlem süreleri arasında da 2 ile 44 yıl gibi bir periyot farkı söz konusudur. Akım gözlem istasyonları arası veri sayıları ve periyotları arasında gözle görülür bir fark mevcuttur. Bazı akım gözlem istasyonları ise yıllık bazda 12-14 veri ile sınırlı kalmıştır. Bu değerler göz önüne alındığında elde edilecek sediment anahtar eğrileri için yetersiz görülebilir. Ancak sediment debisinde meydana gelen artışın genel olarak akım debisindeki artışa bağlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle farklı istasyonlardan alınan farklı periyotlara ait farklı sayıdaki verilerin kullanılması havza geneli için sediment anahtar eğrisi oluşturulmasında bize yarar sağlayacağından mevcut tüm istasyonların ölçüm verilerinden yararlanılmıştır.

Gözlem istasyonunda yapılan ölçümlere dair ortalama sediment dane dağılımı, sediment hacim ağırlığı Tablo 2' de verilmiştir. Tablo 2'de, sediment dane dağılımı kil, silt (askıda sediment miktarı) ve kum (sürüntü sediment miktarı) olarak gösterilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde, askı ve sürüntü sediment miktarının yüzde olarak genelde birbirlerine yakın değerlerde oldukları görülmektedir. Bu veriler, havzada hem kıyı erozyonuna hem de taban aşınmasına bağlı sediment taşınımının olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Ölçülen sedimentlerin karakteristik özellikleri

İstasyon no ve Adı	Ortalama Sediment Dane Dağılımı		Sediment Hacim Ağırlığı	Taşınan Sediment Konsantrasyonu
	Kil + Silt (%)	Kum (%)	$W_{50}$ ortalama (ton/m <sup>3</sup> )	(ppm)
D14A014 Kürtün Çayı – Ahullu	75,4	24,6	1,22	72,89
D14A162 Yeşilirmak Nehri –Kozlu	30,6	69,4	1,38	104,27
D14A174 Yeşilirmak Nehri – Yeşildere	56,5	43,5	1,29	93,87
D14A191 Germuga Deresi – Akkoca	32,8	67,2	1,37	150,54
E14A002 Yeşilirmak Nehri – Kale	41,7	58,3	1,34	165,77
E14A018 Yeşilirmak Nehri – Gömeleönü	42,5	57,5	1,34	346,21
E14A030 - Köroğlu Deresi – Köroğlu	41,4	58,6	1,34	114,53

### III. METODOLOJİ

Bu çalışmada, farklı fonksiyon türlerinden yararlanılarak (üs fonksiyon, üstel fonksiyon, doğrusal fonksiyon, logaritmik fonksiyon ve polinomial fonksiyon) sediment anahtar eğrisi eşitlikleri oluşturulmuştur. Literatür incelemesi yapıldığında genel anlamda sediment anahtar eğrisi eşitlikleri; yapılan çalışmalarda, üs ya da logaritmik fonksiyon olarak kullanılmaktadır. Sediment anahtar eğrisinin oluşturulmasında kullanılan üs ve logaritmik fonksiyonların genel gösterimleri eşitlik 1’de verilmiştir.

$$\log Q_s = \log a + b \log Q \quad \text{veya} \quad Q_s = aQ^b \quad (1)$$

Burada  $Q_s$  sediment debisini,  $Q$  nehir akım debisini temsil etmektedir. Eşitlikte yer alan  $a$  ve  $b$  ifadeleri de sabitlerdir. Asselman (2000), sediment anahtar eğrisindeki  $a$  ve  $b$  parametrelerinin belirli bir fiziksel anlam içermediğini savunmuştur. Diğer çalışmalar, sediment anahtar eğrisi eşitliğindeki  $a$  parametresini; nehir kanalındaki erozyon şiddetinin bir indeksi olarak görmektedir [25,26]. Genellikle yüksek  $a$  değerleri, kolayca aşınabilen ve taşınan malzemelerle karakterize edilen bölgelerde meydana gelmektedir. Derecelendirme parametresi  $b$  ise, nehrin aşındırıcı gücünü göstermek için kullanılmaktadır. Büyük değerlerin, artan akım ile sürüklenme ve taşımada güçlü bir artış gösteren nehirlerin göstergesi olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte  $b$ , debi arttığında yeni sediment kaynaklarının ne ölçüde kullanılabilir hale geldiğini de yansıtabilir [23]. Walling'e (1974) göre,  $b$  değerleri, taşıma için mevcut olan malzemenin tane boyutu dağılımından etkilenebilir [27]. Kuzey Amerika nehirlerinde tortu derecelendirme parametrelerinin genellikle tortu derecelendirmesi, erozyon ve iklimden etkilendiğini belirtmiştir [28].

Quilbé vd. (2006),  $Q_s$  ve  $Q$  arasındaki korelasyonların araştırılması gerektiğini öne sürmüştür. Sediment anahtar eğrisinin belirleyicilik katsayısı ( $R^2$ ) 0,5'ten büyükse, bunun muhtemelen en iyi tahmin edici olduğunu öne sürmüştür. Korelasyonlar yetersiz olduğunda oran yönteminin kullanılması gerektiğini önermiştir [29].

Ölçülen sediment debisinden ve sediment örneklerinin alındığı kesitte o andaki akım debisi değerlerinden yararlanılarak Tablo 3’te verilen eşitlikler yardımıyla askıda sediment miktarları (ton/gün) hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen sediment miktarları ile örneklerin alındığı andaki debi değerlerinin dağılımları yapılarak, her sediment gözlem istasyonu için sediment anahtar eğrileri oluşturulmuştur.

Tablo 3. Kullanılan fonksiyon türleri ve ifadeleri

Fonksiyon Adı	Fonksiyonun ifadesi
Üs fonksiyon	$Q_s = aQ^b$

Üstel fonksiyon	$Q_s = ae^{bQ}$
Doğrusal fonksiyon	$Q_s = aQ + b$
Logaritmik fonksiyon	$Q_s = a \ln(Q) + b$
Polinomial fonksiyon	$Q_s = aQ^2 + bQ + c$

Tablo 3'deki farklı fonksiyon türleri ile oluşturulan sediment anahtar eğrilerindeki akım/sediment uyumunun kontrolü belirleyicilik katsayısı ile yapılmıştır. Belirleyicilik katsayısını gösteren ifade eşitlik 2' de verilmiştir.

$$(R^2) = \left( \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \right)^2 \quad (2)$$

Burada x akarsu akım değerlerini sembolize ederken, y sediment miktarını ifade etmektedir.

## **IV. BULGULAR VE TARTIŞMA**

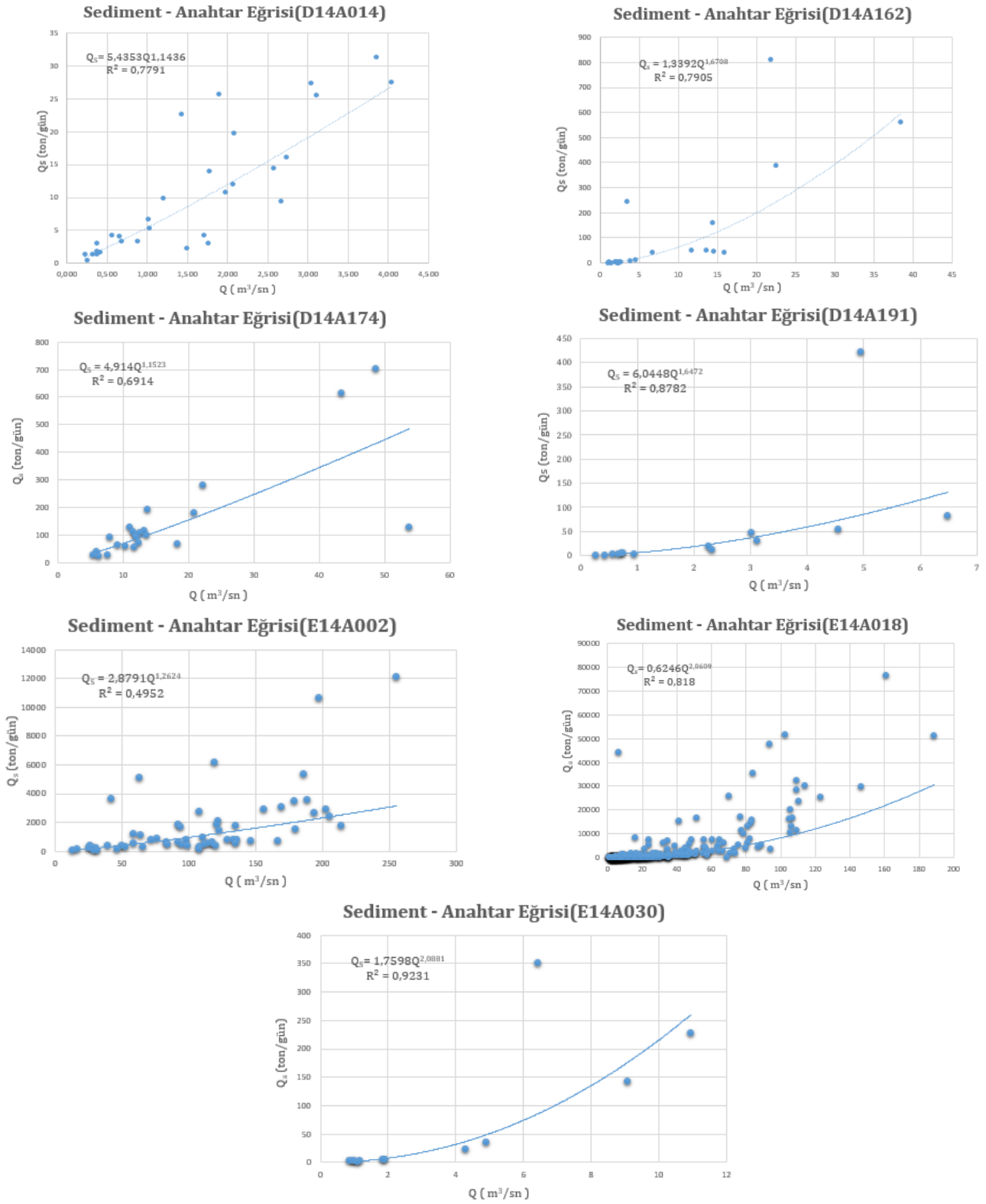
Yeşilirmak Havzası'nda yer alan yedi adet akım ve sediment gözlem istasyonlarına ait akarsu debisi ile taşınan askıda sediment miktarı arasındaki tahmin eşitliklerinin elde edilmesinde Microsoft Excel bilgisayar programından yararlanılmış ve Tablo 3'te verilen matematiksel fonksiyonlar kullanılarak, elde edilen sonuçların negatif veya tanımsız sediment miktarı değerleri vermediği eşitlikler üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Doğrusal fonksiyon, logaritmik fonksiyon ve polinomial fonksiyon kullanılarak geliştirilen askıda sediment miktarı tahmin eşitlikleri ile yapılan hesaplamalarda tüm veriler için belirleyicilik katsayıları 0,6326 değerinden küçük olanların sediment miktarları ( $Q_s$ ) negatif gelmiştir. Bu nedenle, sediment miktarları hesaplanırken belirleyicilik katsayısı 0,6326 değerinin altında olanlar yukarıda belirtilen fonksiyonlar için dikkate alınmamıştır.

### **A. ÜS FONKSİYON SEDİMENT MİKTARI TAHMİN EŞİTLİKLERİ ( $Q_s = aQ^b$ )**

Üs fonksiyonu kullanılarak elde edilen sediment miktarı tahmin eşitlikleri Tablo 4'de ifade edilmiştir. Eşitliklerin tüm akım gözlem istasyonları için oluşturdukları sediment anahtar eğrileri Şekil 2'de verilmiştir.

*Tablo 4. Üs fonksiyonu sediment miktarı tahmin eşitlikleri*

<b>İstasyon No</b>	<b>Veri Sayısı</b>	<b>Elde Edilen Eşitlik</b>	<b>Belirleyicilik Katsayısı (<math>R^2</math>)</b>
D14A014	30	$Q_s=5,4353*Q^{1,1436}$	0,7791
D14A162	22	$Q_s=1,3392*Q^{1,6708}$	0,7905
D14A174	23	$Q_s=4,914*Q^{1,1523}$	0,6914
D14A191	14	$Q_s=6,0448*Q^{1,6472}$	0,8782
E14A002	60	$Q_s=2,8791*Q^{1,2624}$	0,4952
E14A018	511	$Q_s=0,6246*Q^{2,0609}$	0,8180
E14A030	12	$Q_s=1,7598*Q^{2,0881}$	0,9231



**Şekil 2.** Üs fonksiyon kullanılarak oluşturulan sediment anahtar eğrileri

Tablo 4'den de görüldüğü gibi üs fonksiyon sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,4952 ile 0,9232 arasında değişmektedir. Bu değerler, üs fonksiyonun E14A002 akım gözlem istasyonu hariç, tüm akım gözlem istasyonlarında ve bu akım gözlem istasyonunun bulunduğu akarsu kolunun üzerinde bulunan diğer bölgelerde de askıda sediment yükünü belirlemede kullanılabileceğini göstermektedir.

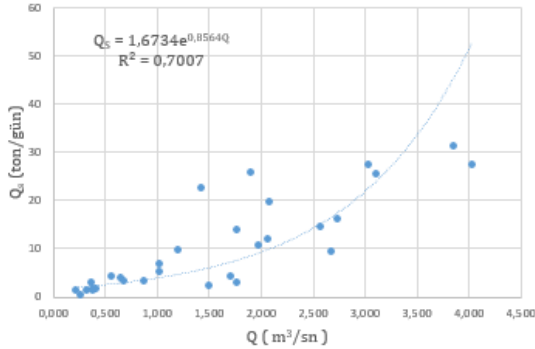
## B. ÜSTEL FONKSİYON SEDİMENT MİKTARI TAHMİN EŞİTLİKLERİ ( $Q_s = ae^{bQ}$ )

Üstel fonksiyonu kullanılarak elde edilen sediment miktarı tahmin eşitlikleri Tablo 5’de ifade edilmiştir. Eşitliklerin tüm akım gözlem istasyonları için oluşturdukları sediment anahtar eğrileri Şekil 3’de verilmiştir.

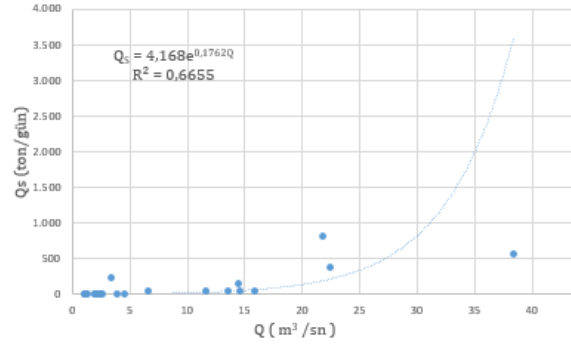
**Tablo 5.** Üstel fonksiyon sediment miktarı tahmin eşitlikleri

İstasyon No	Veri Sayısı	Elde Edilen Eşitlik	Belirleyicilik Katsayısı ( $R^2$ )
D14A014	30	$Q_s = 1,6734 * e^{0,8564 * Q}$	0,7007
D14A162	22	$Q_s = 4,168 * e^{0,1762 * Q}$	0,6655
D14A174	23	$Q_s = 44,847 * e^{0,0469 * Q}$	0,5344
D14A191	14	$Q_s = 1,7815 * e^{0,8211 * Q}$	0,8203
E14A002	60	$Q_s = 168,25 * e^{0,0149 * Q}$	0,4987
E14A018	511	$Q_s = 16,629 * e^{0,0786 * Q}$	0,6858
E14A030	12	$Q_s = 1,5443 * e^{0,5462 * Q}$	0,8677

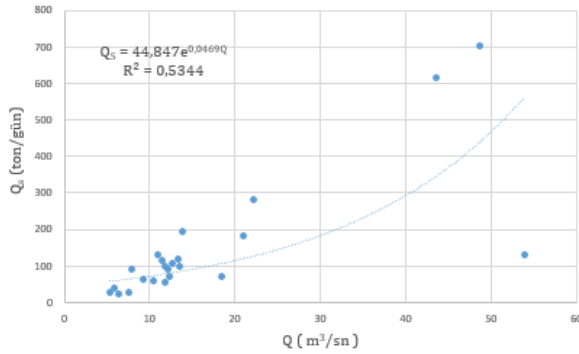
**Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A014)**



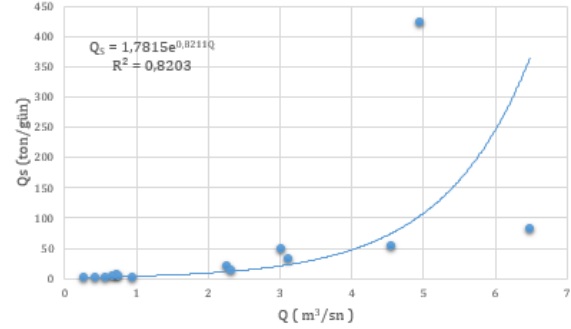
**Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A162)**



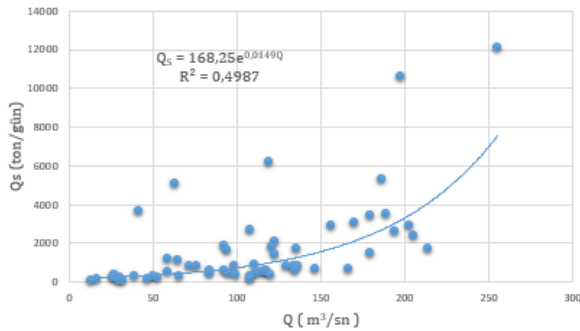
**Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A174)**



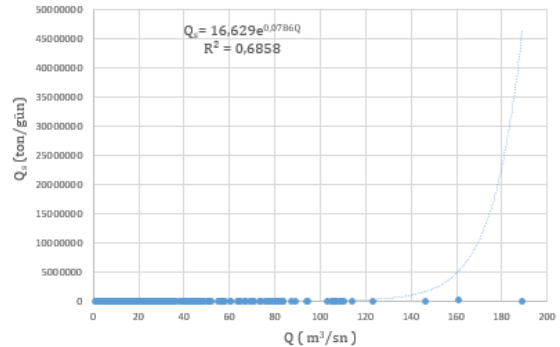
**Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A191)**

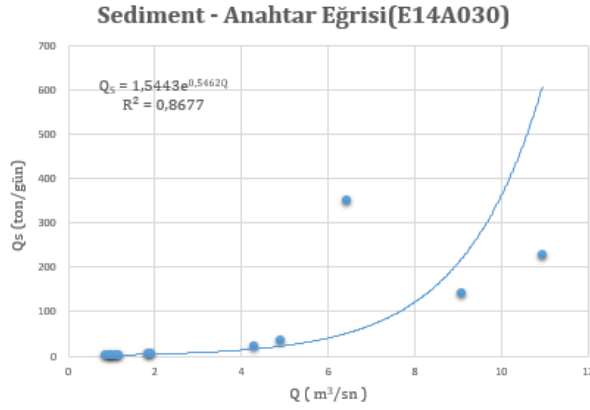


**Sediment - Anahtar Eğrisi(E14A002)**



**Sediment - Anahtar Eğrisi(E14A018)**





**Şekil 3.** Üstel fonksiyon kullanılarak oluşturulan sediment anahtar eğrileri

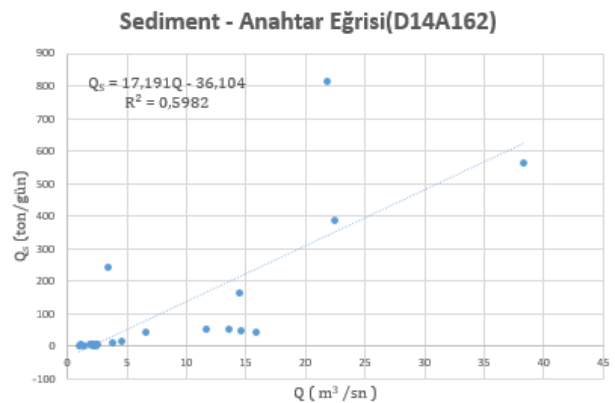
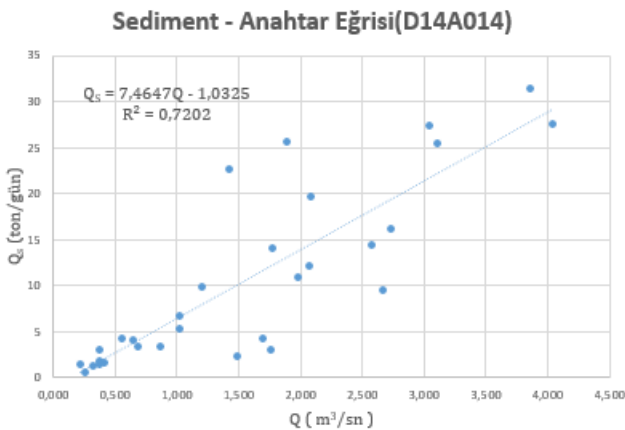
Üstel fonksiyon sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,4987 ile 0,8677 arasında değişmektedir. Elde edilen bu değerler göz önüne alındığında üs fonksiyon ile elde edilen sediment anahtar eğrilerinde olduğu gibi E14A002 nolu akım gözlem istasyonu hariç olmak üzere, üstel fonksiyonun tüm akım gözlem istasyonlarında ve bu akım gözlem istasyonunun bulunduğu akarsu kolunun üzerinde bulunan diğer bölgelerde de askıda sediment yükünü belirlemede kullanılabileceğini görülmektedir.

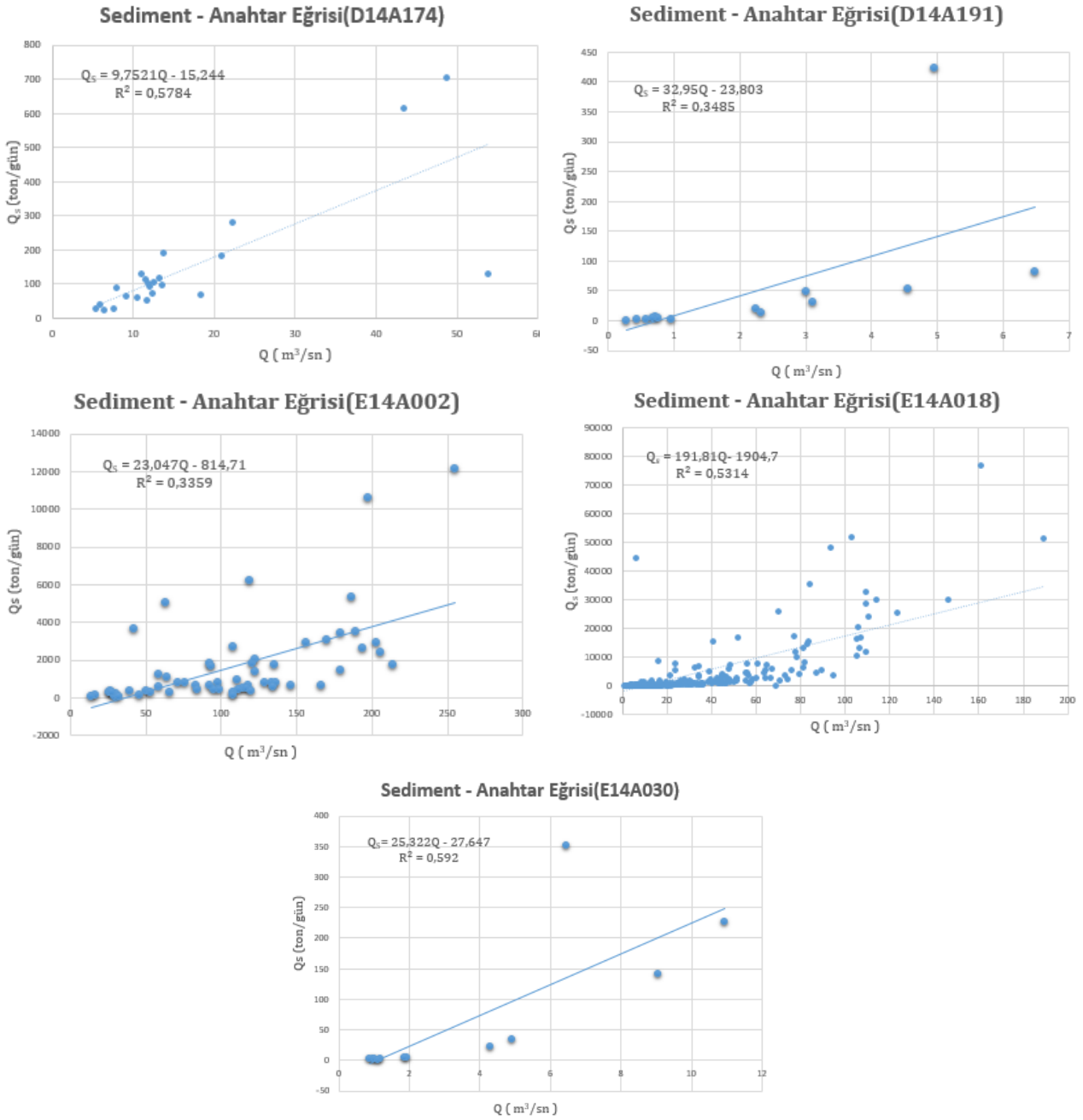
### C. DOĞRUSAL FONKSİYON SEDİMENT MİKTARI TAHMİN EŞİTLİKLERİ ( $Q_s = aQ + b$ )

Doğrusal fonksiyonu kullanılarak elde edilen askıda sediment miktarı tahmin eşitlikleri Tablo 6'da verilmiştir. Eşitliklerin tüm akım gözlem istasyonları için oluşturdukları sediment anahtar eğrileri Şekil 4'de gösterilmiştir.

**Tablo 6.** Doğrusal fonksiyon sediment miktarı tahmin eşitlikleri

İstasyon No	Veri Sayısı	Elde Edilen Eşitlik	Belirleyicilik Katsayısı ( $R^2$ )
D14A014	30	$Q_s = 7,4647 * Q - 1,0325$	0,7202
D14A162	22	$Q_s = 17,191 * Q - 36,104$	0,5982
D14A174	23	$Q_s = 9,7521 * Q - 15,244$	0,5784
D14A191	14	$Q_s = 32,950 * Q - 23,803$	0,3485
E14A002	60	$Q_s = 23,047 * Q - 814,71$	0,3359
E14A018	511	$Q_s = 191,81 * Q - 1904,7$	0,5314
E14A030	12	$Q_s = 25,322 * Q - 27,647$	0,5920





**Şekil 4.** Doğrusal fonksiyon kullanılarak oluşturulan sediment anahtar eğrileri

Doğrusal fonksiyon sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,3359 ile 0,7202 arasında değişmektedir. Tablo 6'daki belirleyicilik katsayısı değerleri incelendiğinde, doğrusal fonksiyon ile oluşturulan sediment anahtar eğrilerinin D14A014, D14A162, D14A174, E14A018 ve E14A030 akım gözlem istasyonları için güvenilir olduğu, diğer hiçbir istasyon için kullanılamayacağı görülmektedir.

#### **D. LOGARİTMİK FONKSİYON SEDİMENT MİKTARI TAHMİN EŞİTLİKLERİ ( $Q_s = a \ln(Q) + b$ )**

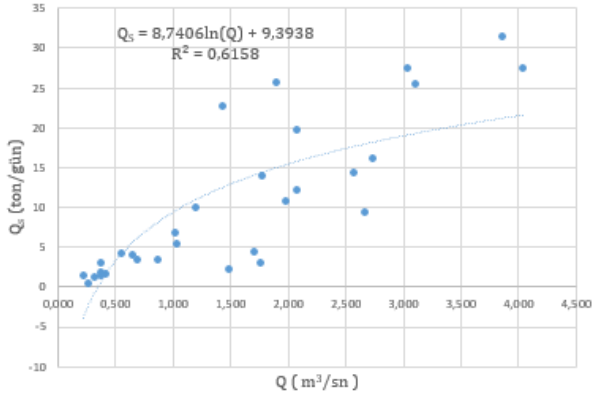
Logaritmik fonksiyonu kullanılarak elde edilen askıda sediment miktarı tahmin eşitlikleri Tablo 7'de verilmiştir. Eşitliklerin tüm akım gözlem istasyonları için oluşturdukları sediment anahtar eğrileri Şekil 5'de gösterilmiştir.



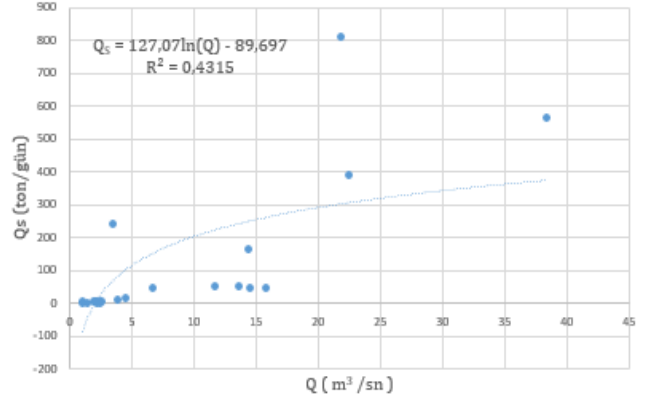
**Tablo 7. Logaritmik fonksiyon sediment miktarı tahmin eşitlikleri**

İstasyon No	Veri Sayısı	Elde Edilen Eşitlik	Belirleyicilik Katsayısı (R <sup>2</sup> )
D14A014	30	$Q_s = 8,7406 \ln(Q) + 9,3998$	0,6158
D14A162	22	$Q_s = 127,07 \ln(Q) - 89,697$	0,4315
D14A174	23	$Q_s = 209,14 \ln(Q) - 396,01$	0,5712
D14A191	14	$Q_s = 56,838 \ln(Q) + 28,595$	0,2759
E14A002	60	$Q_s = 1554,3 \ln(Q) - 5322,3$	0,2120
E14A018	511	$Q_s = 3062,5 \ln(Q) - 5286,1$	0,2349
E14A030	12	$Q_s = 90,976 \ln(Q) - 16,293$	0,5563

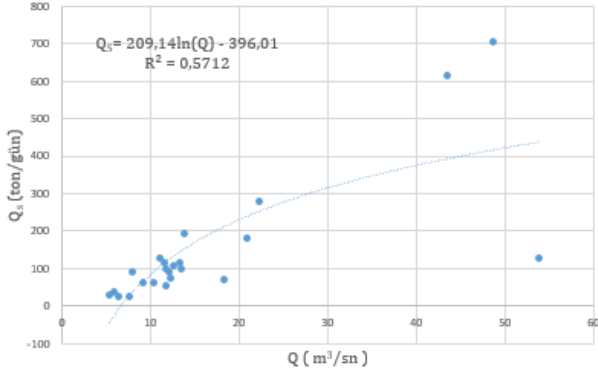
**Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A014)**



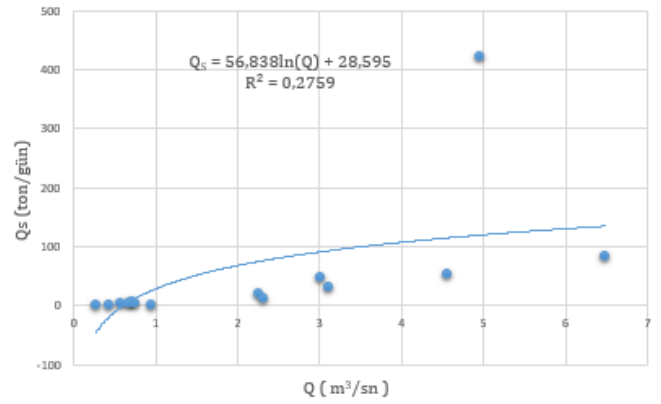
**Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A162)**



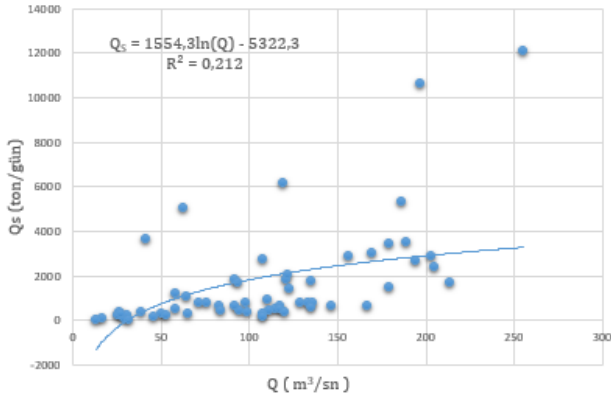
**Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A174)**



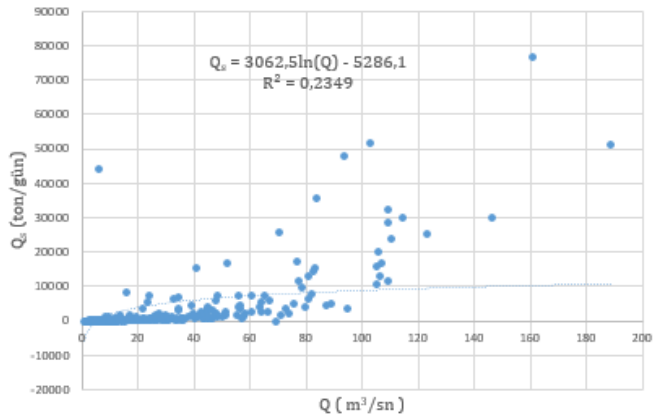
**Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A191)**

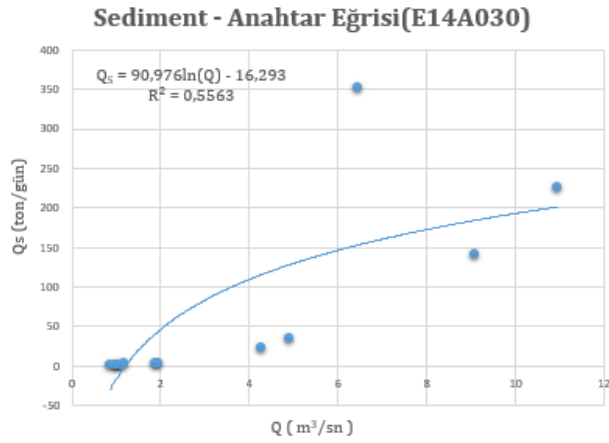


**Sediment - Anahtar Eğrisi(E14A002)**



**Sediment - Anahtar Eğrisi(E14A018)**





**Şekil 5.** Logaritmik fonksiyon kullanılarak oluşturulan sediment anahtar eğrileri

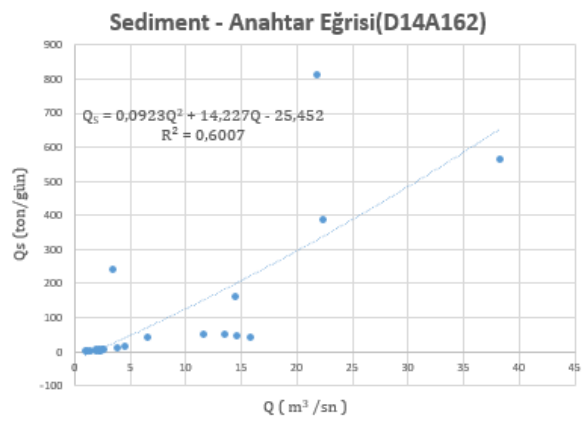
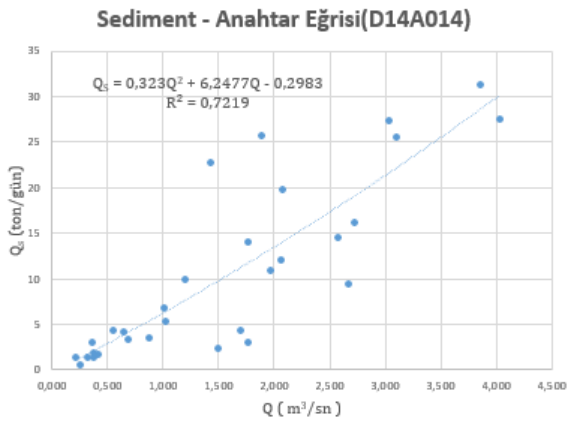
Logaritmik fonksiyon sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,6158 ile 0,2120 arasında değişmektedir. Belirleyicilik katsayısı değerlerine bakıldığında logaritmik fonksiyon ile türetilen sediment tahmin eşitliklerinin sadece D14A014, D14A174 ve E14A030 istasyonları için kullanılabilir olduğu, diğer istasyonlar için belirleyicilik katsayısı değerlerinin çok düşük sonuçlar verdiği ve bu nedenle logaritmik fonksiyon ile elde edilen sediment anahtar eğrilerinin bu istasyonlar için kullanımının mümkün olmadığı tespit edilmiştir.

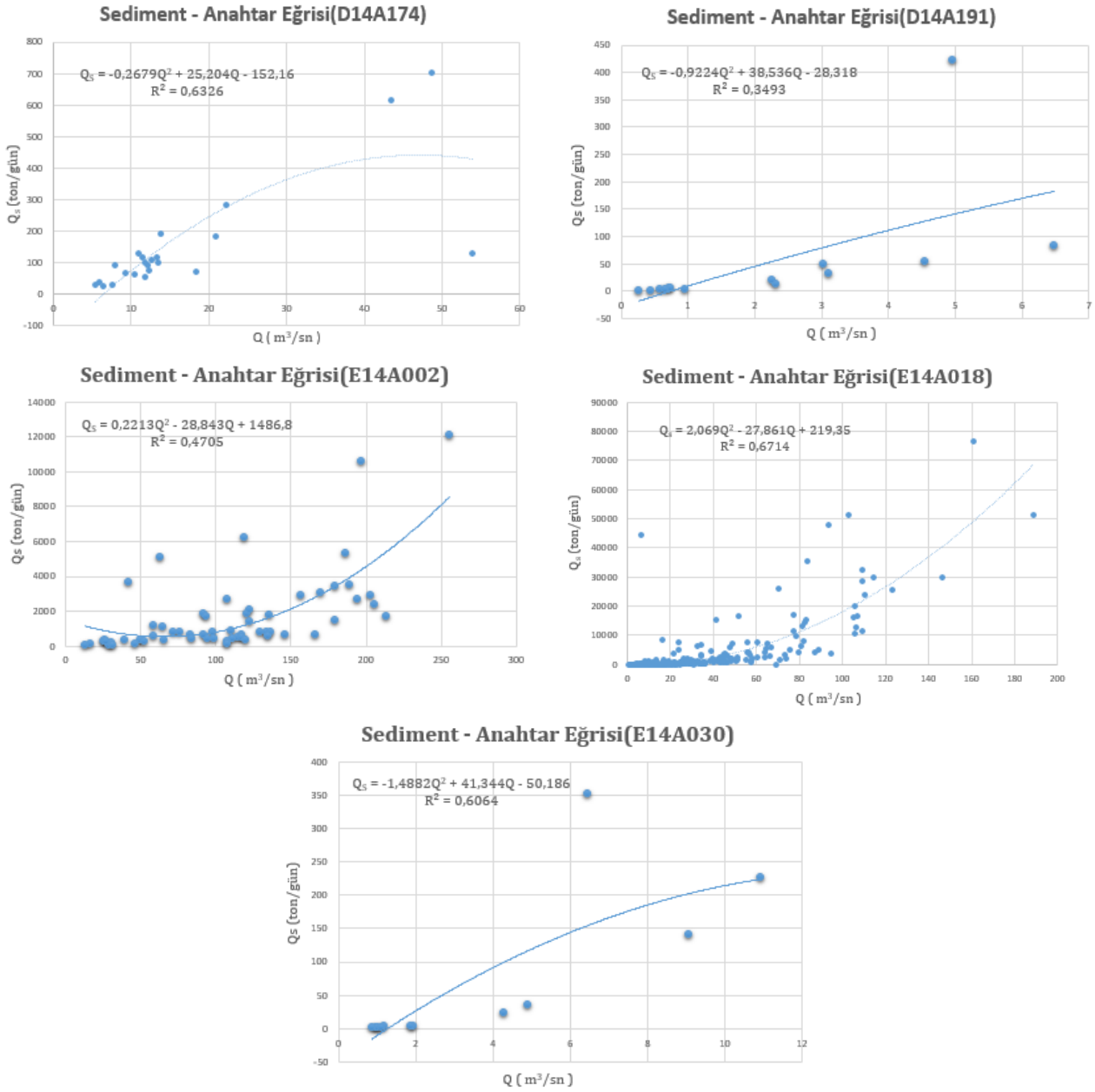
### E. POLİNOMİAL FONKSİYON SEDİMENT MİKTARI TAHMİN EŞİTLİKLERİ ( $Q_s = aQ^2 + bQ + c$ )

Polinomial fonksiyonu kullanılarak elde edilen askıda sediment miktarı tahmin eşitlikleri Tablo 8’de verilmiştir. Eşitliklerin tüm akım gözlem istasyonları için oluşturdukları sediment anahtar eğrileri Şekil 6’da gösterilmiştir.

**Tablo 8.** Polinomial fonksiyon sediment miktarı tahmin eşitlikleri

İstasyon No	Veri Sayısı	Elde Edilen Eşitlik	Belirleyicilik Katsayısı ( $R^2$ )
D14A014	30	$Q_s = 0,323*Q^2 + 6,2477*Q - 0,2983$	0,7219
D14A162	22	$Q_s = 0,0923*Q^2 + 14,227*Q - 25,452$	0,6007
D14A174	23	$Q_s = (-0,2679)*Q^2 + 25,204*Q - 152,16$	0,6326
D14A191	14	$Q_s = (-0,9224)*Q^2 + 38,536*Q - 28,318$	0,3493
E14A002	60	$Q_s = 0,2213*Q^2 - 28,843*Q + 1486,8$	0,4705
E14A018	511	$Q_s = 2,069*Q^2 - 27,861*Q + 219,35$	0,6714
E14A030	12	$Q_s = (-1,4882)*Q^2 + 41,344*Q - 50,186$	0,6064





**Şekil 6.** Polinomial fonksiyon kullanılarak oluşturulan sediment anahtar eğrileri

İkinci dereceden polinomial fonksiyon sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,3493 ile 0,6714 arasında değişmektedir. Belirleyicilik katsayıları incelendiğinde fonksiyondan elde edilen sediment anahtar eğrilerinin D14A191 ve E14A002 akım gözlem istasyonları dışında diğer akım gözlem istasyonlarının bulunduğu akarsular için kullanılmaya elverişli olduğu belirlenmiştir.

Tüm bu veriler ışığında genel bir değerlendirme yapılacak olursa; Yeşilirmak Havzası sınırları içerisinde yer alan yedi adet akım gözlem istasyonu ile birlikte, bu gözlem istasyonları için beş farklı fonksiyon türü kullanılarak elde edilen sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin en işlevsel olanları her bir istasyon için Tablo 9’da özetlenmiştir.

**Tablo 9.** Akım gözlem istasyonları ve istasyonlara ait sediment anahtar eğrisi eşitlikleri

Akım Gözlem İstasyonu	Fonksiyon Türü	Fonksiyonun İfadesi	Belirleyicilik Katsayısı (R <sup>2</sup> )
D14A014	Üs Fonksiyon	$Q_s = 5,4353 * Q^{1,1436}$	0,7791

D14A162	Üs Fonksiyon	$Q_s=1,3392*Q^{1,6708}$	0,7905
D14A174	Üs Fonksiyon	$Q_s=4,914*Q^{1,1523}$	0,6914
D14A191	Üs Fonksiyon	$Q_s=6,0448*Q^{1,6472}$	0,8782
E14A002	Üstel Fonksiyon	$Q_s=168,25*e^{0,0149*Q}$	0,4987
E14A018	Üs Fonksiyon	$Q_s=0,6246*Q^{2,0609}$	0,8180
E14A030	Üs Fonksiyon	$Q_s=1,7598*Q^{2,0881}$	0,9231

Tablo 9’da görüldüğü gibi Yeşilirmak havzasının farklı bölgelerinden seçilen yedi adet akım gözlem istasyonu için sediment anahtar eğrisi oluşturmada kullanılacak en uygun fonksiyon türü üs fonksiyondur. Sadece E14A002 istasyonu için sonuç üstel fonksiyon olarak elde edilmiştir. Ancak belirleyicilik katsayısına bakıldığında değerin 0,5 altında olduğu görülmektedir. Ayrıca üs fonksiyonuna ait belirleyicilik katsayısı değerine bakıldığında üstel fonksiyonun belirleyicilik katsayısıyla çok yakın değerler olduğu görülmektedir.

## V. SONUÇ

Bu çalışmada, Yeşilirmak Havzasında yer alan yedi adet akım gözlem istasyonunun akım ve sediment ölçümlerinden yararlanılarak havza için en uygun sediment anahtar eğrisi eşitlik türünün oluşturulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, her istasyona ait veri setleri için üs fonksiyon, üstel fonksiyon, doğrusal fonksiyon, logaritmik fonksiyon ve polinomial fonksiyon kullanarak sediment anahtar eğrileri oluşturulmuştur. Belirleyicilik katsayısından yararlanılarak tüm eşitliklerdeki sediment/akım uyumu tespit edilmiş ve havza özelinde en uygun sediment anahtar eğrisi eşitliği tespit edilmiştir.

Her akım gözlem istasyonu için beş farklı fonksiyon kullanılarak oluşturulan eşitliklerde üs fonksiyon eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,4952 ile 0,9232 arasında, üstel fonksiyon eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,4987 ile 0,8677 arasında, doğrusal fonksiyon eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,3359 ile 0,7202 arasında, logaritmik fonksiyon eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,6158 ile 0,2120 arasında ve polinomial fonksiyon eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,3493 ile 0,6714 arasında değişiklik göstermiştir. Tüm belirleyicilik katsayısı değerleri göz önüne alındığında Yeşilirmak havzası özelinde üs fonksiyonun sediment anahtar eğrisi oluşturulmasındaki en uygun fonksiyon olduğu belirlenmiştir.

Sediment ölçümlerinin yetersizliği, sediment miktarına etki eden değişkenlerin çokluğu, genel bir anahtar eğrisi fonksiyonlarının oluşturulmasına ve farklı fonksiyon türlerinin birbirleri ile doğru bir şekilde kıyaslanmasına olanak tanımamaktadır. Literatürde kullanılan fonksiyonların tüm bölgelerde doğru sonuçlar verip başarılı olması mümkün değildir. Bu nedenle, havza özelinde sediment-akım fonksiyonlarının oluşturulması havzadaki sediment miktarının tespit edilmesinde etkin bir rol oynamaktadır. Akarsulardaki askıda sediment ölçümünün ne kadar zahmetli ve maliyetli olduğu da göz önüne alındığında bir akarsu havzası için sediment anahtar eğrisi oluşturulmasının ve kullanımının ne kadar önemli olduğunu gözler önüne serilmektedir. Özellikle gelecekte bu havzada inşa edilecek olan su yapıların planlanması aşamasında oluşturulan sediment anahtar eğrilerinin hem zamandan hem de maliyetten büyük bir tasarruf sağlayacağı aşikârdır.

**TEŞEKKÜR:** Yazarlar; Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt, Plan ve Tahsisler Daire Başkanlığı, Rasatlar Şube Müdürlüğüne vermiş oldukları destekler için teşekkür eder.

## VI. KAYNAKLAR

[1] A. Ülke, S. Özkul, G. Tayfur, “Ampirik yöntemlerle Gediz nehri için askıda katı madde yükü tahmini, *İMO Teknik Dergi*,” c. 348, ss. 5387-5407, 2011.

[2] F. Öztürk, H. Apaydın, D.E. Walling, “Suspended sediment loads through flood events for streams of Sakarya River Basin,” *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, vol. 25, pp. 643-650, 2001.

- [3] G. Çeribaşı, E. Doğan, O. Sönmez, “Evaluation of Sakarya River streamflow and sediment transport with rainfall using trend analysis,” *FEB*, vol. 22, pp. 846-852, 2013.
- [4] G. Çeribaşı, E. Doğan, “Aşağı Sakarya Nehrindeki askı maddesi miktarının esnek yöntemler ile tahmini,” *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 351-358, 2016.
- [5] K. Mahmood, *Reservoir Sedimentation: Impact, Extent, Mitigation*, Washington, D.C.: World Bank Technical Paper, pp. 71, 1987.
- [6] W.R. White, *Evacuation of Sediment From Reservoirs*, London: Thomas Telford, 2001, pp. 48-59.
- [7] A. Palmieri, F. Shah, , G.W. Annandale, A. Dinar, *Reservoir Conservation, Vol. I. The Rescon Approach*, Washington, D.C., World Bank, 2003, pp. 6-7.
- [8] C.T. Yang, *Sediment Transport Theory and Practice*, McGraw-Hill, USA, 1996.
- [9] G. Yılmaz, L. Aruğaslan, G. Yüceerim, “Kocadere havzasında sediment veriminin arazi ölçümlerine ve MUSLE modeline dayalı olarak tahmin edilmesi,” *Toprak Su Dergisi*, Özel Sayı, ss. 11-18, 2021.
- [10] Ö. Kişi, “River suspended sediment concentration modeling using a neural differential evolution approach,” *Journal of Hydrology*, vol. 389, pp. 227-235, 2010.
- [11] Z.A. Boukhrissa, K. Khanchoul, Y. Le Bissonnais, M. Tourki, “Prediction of sediment load by sediment rating curve and neural network (ann) in El Kebir catchment,” Algeria, *J. Earth Syst. Sci.*, vol. 122, no. 5, pp. 1303–1312, 2013.
- [12] Adib, A. Tagavifar, “Evaluation and comparison different methods of preparation of sediment rating curve in telezang station of the Dez River,” *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 4, no. 5, pp. 717-723, 2010.
- [13] J.P.M. Syvitski, M.D. Morehead, D.B. Bahr, T. Mulder, “Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters,” *Water Resour. Res.*, vol. 36, pp. 2747–2760, 2000.
- [14] A.J. Horowitz, “An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations,” *Hydrological Processes*, vol. 17, no.17, pp. 3387-3409, 2003.
- [15] I. Saleh, K. Ayman, A. Hassan, “Suspended sediment rating curve for Tigris River upstream Al-Amarah Barrage,” *International Journal of Advanced Research*, vol. 2, no. 5, pp. 624-629, 2014.
- [16] İ. Erdeviren, Sakarya Havzasında akarsu debisi ile sediment miktarı arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [17] M.A. Ghorbani, S.H. Hosseini, M.H. Fazelifard, H. Abbasi, “Sediment load estimation by MLR, ANN, NF and sediment rating curve (SRC) in Rio Chama River,” *J. Civil Eng. Urban.*, vol. 3, no. 4, pp. 136-141, 2013.
- [18] J.M. Phillips, B.W. Webb, D.E. Walling, G.J.L. Leeks, “Estimating the suspended sediment ads of rivers in the LOIS study area using infrequent samples,” *Hydrological Processes*, vol. 13, pp. 1335–1350, 1999.





- [19] D.E. Walling, "Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin," *Water Resources Research*, vol. 13, pp. 531–538, 1977.
- [20] D.E. Walling, *Limitations of the Rating Curve Technique for Estimating Suspended Sediment loads with Particular Reference to British Rivers*, IAHS Publication, 1977.
- [21] A. De Vries, H.C. Klavers, "Riverine fluxes of pollutants: monitoring strategy first, calculation methods second," *European Journal of Water Pollution Control*, vol. 4, pp. 12–17, 1994.
- [22] G. Gergov, "Suspended sediment load of Bulgarian Rivers," *GeoJournal*, vol. 40, no. 4, pp. 387–396, 1996.
- [23] N.E.M. Asselman, "Fitting and interpretation of sediment rating curves," *Journal of Hydrology*, vol. 234, pp. 228–248, 2000.
- [24] A.J. Horowitz, K.A. Elrick, J. Smith, "Estimating suspended sediment and trace element fluxes in large river basins: methodological considerations as applied to the NASQAN programme," *Hydrological Processes*, vol. 15, pp. 1107–1132, 2001.
- [25] B.E. Peters-Kümmerly, "Untersuchungen über Zusammensetzung und transport von schwebstoffen in einigen schweizer flüssen," *Geographica Helvetica*, vol. 28, pp. 137–151, 1973.
- [26] R.P.C. Morgan, *Soil Erosion and Conservation*, 2<sup>nd</sup> ed. Longman, London, 1995, pp.198.
- [27] D.E. Walling, *Suspended Sediment and Solute Yields From a Small Catchment Prior to Urbanization*. In: Gregory, K.J., Walling, D.E. (Eds.), *Fluvial Processes in Instrumented Watersheds*, Institute of British Geographers Special Publication, vol. 6, London, 1974, pp. 169–192.
- [28] G. Yang, Z. Chen, F. Yu, Z. Wang, Y. Zhao, Z. Wang, "Sediment rating parameters and their implications: Yangtze River, China," *Geomorphology*, vol. 85, pp. 166–175, 2007.
- [29] R. Quilbé, A.N. Rousseau, M. Duchemin, A. Poulin, G. Gangbazo, J. Villeneuve, "Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: application to the beaurivage river (Québec, Canada)," *Hydrology*, vol. 326, pp. 295–310, 2006.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Mobil Platformda IoT Temelli ve Soket Programlamaya Dayalı Termal Sensör Uygulaması

 Emin GÜNEY <sup>a\*</sup>,  Akın YAŞAR <sup>b</sup>,  Gamze AĞIRTAŞ <sup>b</sup>  
 Cüneyt BAYILMIŞ <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi,  
Sakarya, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi,  
Sakarya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: eminguney@subu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1064120

### Öz

Son yıllarda IoT temelli uygulamaların artması ile teknolojik gelişmeler ve mikroelektroniksel alandaki başarımlar, sensör tabanlı sistemlerin gelişmesine yol açmıştır. Temelde sağlık hizmetlerinin maliyetlerini düşürmek ve insanlara sağlık sektörü üzerinde olumlu bir etki gösterecek olan bu sistemlerin yardımı ile yüksek bir derecede doğru sonuçlar elde edilmektedir. Bununla birlikte, dünya çapında Covid-19 salgınının yayılmasıyla da düşük maliyetli olarak sıcaklık ölçümü önem kazanmıştır. Bu makalede mobil platform üzerinde termal sensör kullanılarak canlı varlık tespiti yapılmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Temelde tespitini yapılabilmesi için termal sensöre bir çeşit termal kamera özelliği kazandırılması planlanmıştır. Sensörün görüş alanındaki cisimler yaydıkları sıcaklık nedeniyle fark edilebildiğinden dolayı cisimlerin hareketleri kolayca takip edilebilecektir. Termopil sensörün mobil platform bağlantısı I2C protokolüyle sağlanmıştır. Çalışmada, mobil platform üzerinde bir sunucu oluşturulmuş ve Python programlama dilinde TCP soket programlama teknolojisi ile haberleşme gerçekleştirilmiştir. TCP istemcisi sensörden gerçek zamanlı veri alınması işlemini gerçekleştirmektedir. Bunlara ek olarak, verilerin kullanıcıların anlayabileceği şekilde görüntülenebilmesi için bir masaüstü uygulaması tasarlanmıştır. Uygulamada veriler alınan 64 adet float veri dizisi ile işlenerek ısı haritası görüntüsü elde edilmiştir. Bununla beraber, çeşitli kişilerden farklı ortam ve sıcaklıklar altında denemeler yapılarak çalışmanın doğruluğu test edilmiştir. Son olarak, yapılan çalışmada termal görüntü ile kamera görüntüsü eşleştirilerek insan ve canlı nesnelerin ısı haritası gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Termal sensör, I2C protokolü, Raspberry Pi, Python, TCP istemci, Soket programlama

## Mobile Platform Thermal Sensor Application Based on IoT and Socket Programming

### ABSTRACT

With the increase in IoT-based applications in recent years, technological developments and achievements in microelectronics have led to the development of sensor-based systems. A high degree of accuracy is achieved with the help of these systems, which will reduce the costs of health services and have a positive impact on the health sector people. However, with the spread of the Covid-19 epidemic worldwide, low-cost temperature measurement has gained importance. In this article, a study was carried out to detect living things using a thermal sensor on a mobile platform. It is planned to add a thermal camera feature to the thermal sensor to make the detection. Since the objects in the sensor's field of view can be noticed due to the heat they emit, the movements of the objects can be easily followed. The mobile platform connection of the thermopile sensor is provided with the I2C protocol. In

the study, a server was created on the mobile platform, and communication was carried out with TCP socket programming technology in the Python programming language. TCP client performs real-time data acquisition from the sensor. In addition to these, a desktop application has been designed to display the data in a way that users can understand. The application processed the data with 64 float data arrays, and a heat map image was obtained. In addition, the accuracy of the study was tested by conducting trials under different environments and temperatures from various people. Finally, the accuracy of the heat map of human and living objects has been demonstrated by matching the thermal image and the camera image in the study.

*Keywords: Thermal sensor, I2C protocol, Raspberry Pi, Python, TCP client, Socket Programming*

## **I. GİRİŞ**

Son zamanlarda endüstrinin gelişmesi ile birlikte Nesnelerin İnternet'i (Internet of Things, IoT) oldukça popülerlik kazanmıştır. Bu nesnelere, kullanılma biçimleri ve çevreleri hakkında veri toplar ve paylaşırlar. Daha az maliyet, daha az yer kaplama ve hareketlilik ihtiyacı ile insan gücü yerine makine gücünün kullanılması ile nesnelere arası haberleşme de kolaylaşmıştır [1,2]. Veri üreten ve veriyi alan kısmın büyük çoğunluğunu insanlar oluştursa da internet kullanımının büyük çoğunluğunu da yine makineler ve akıllı nesnelere oluşturmaktadır [3]. Kullanımın gün geçtikçe daha da artacağı konusunda fikirler ortaya atılmaktadır. Bu fikirlerin artması ile termal kamera ile canlı tespiti projesini hayata geçirme konusunda, büyük bir motivasyon kaynağına sahip olduğu görülmektedir [4]. Sensörlerin enerji tüketimleri ve hızları düşünüldüğünde hareketlilik açısından sensörlerin kullanılması ve hızlı sonuçların alınması amacıyla sensörler socket programlama ile internete güvenli şekilde veri aktarabilmektedir [5].

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, Lee ve arkadaşları çalışmalarında IoT tabanlı bir sistem geliştirerek termal görüntüler üzerinde sıcaklık verilerini tahmin etmişlerdir. Bu sensörler vasıtasıyla iletilen sıcaklık verilerini ve görüntü sinyallerini bir araya getirerek 2D bir analiz izleme sistemi elde etmişlerdir [6]. Zhang ve arkadaşları, IoT teknolojilerini binadaki termal bölgenin modelini otomatik olarak çıkararak bir öğrenme çerçevesi önermişlerdir. Öğrenilen modelin performansı ve bu modele dayalı olarak iç ortam sıcaklık tahmini hatası değerlendirilmiş ve nicelleştirilmiştir [7]. Sundaravadivel ve arkadaşları IoT uygulaması olarak bir tiroid izleme sensörü geliştirmişlerdir. Temelde sensör verilerinin doktor-hasta arasında enerji verimli olarak paylaşılması hedeflenmiştir. Bunun için çalışmalarında vücut ısısı ve kan değerlerini kullanarak bir sıcaklık sensörü prototipi gerçekleştirilmiştir [8]. Yoon ve arkadaşları termoelektrik jeneratörden gelen verileri IoT temelli bir enerji toplama sistemi için güç verimliliğine dayalı yenilikçi bir çalışma sunmuşlardır [9]. Guney ve arkadaşları, gerçek zamanlı nabız bilgisini uzaktan izlemek için WebSocket ve MongoDB tabanlı bir hasta takip sistemi tanıtmışlardır [10].

Geleneksel kameralar ile sadece görüntü elde edilmekte ve işlenebilmektedir. Görüntülerin kaydedilmesi için hard disk gibi ek cihazlar gerekirken ve maliyetli bir çözüm olmaktadır. Bu tür kameralar ile canlı varlıklar tespit edilebilmekte ancak o varlıklara ait sıcaklık bilgileri elde edilememektedir. Ayrıca insan mahremiyeti gibi dikkat edilmesi gereken hususlar olduğu durumlarda kullanılamamaktadır. Canlı takip sistemlerinde, canlıların tespiti için canlıların kimliğinden bağımsız, yalnızca yaydığı ısıya bağlı olarak konumunu, hareket bilgilerini veren termal sensörler önemli bir alternatif olmaktadır. Günümüzde ise Covid-19 belirtilerinin başında gelen yüksek ateş rahatsızlığı, termal kameraların hayatımıza daha çok girmesine sebep olmuştur. Bu çalışmada termopil sensör, mobil platform, IoT ve socket programlama teknolojileri kullanılarak canlı varlık tespitini yapan bir uygulama geliştirilmiştir. Termopil sensör yaklaşık 5 m alanda ısı ölçümü gerçekleştirebilmektedir. Mobil platforma bağlı sensör ısı bilgisini sunucuya aktarmakta ve internet üzerinden TCP socket programlama ile ısı verisi elde edilmektedir. Ardından bu veriler ısı haritasına dönüştürülmektedir.

Bu makale ayrıca aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Bu bölümden sonra 2. Bölüm, önerilen sistem modelini tanıtarak yapılan uygulamada kullanılan cihaz ve teknolojileri detaylandırmaktadır. Bölüm 3'te canlı varlık tespit sistemi uygulamasının gömülü sistem üzerinde gerçekleştirilmesi ve ısı haritasının çıkarılması için çalışmanın ayrıntılarını içerir. Son bölümde ise çalışma kapsamında yapılanlar özetlenerek gelecek çalışmalara öneriler sunulmuştur.



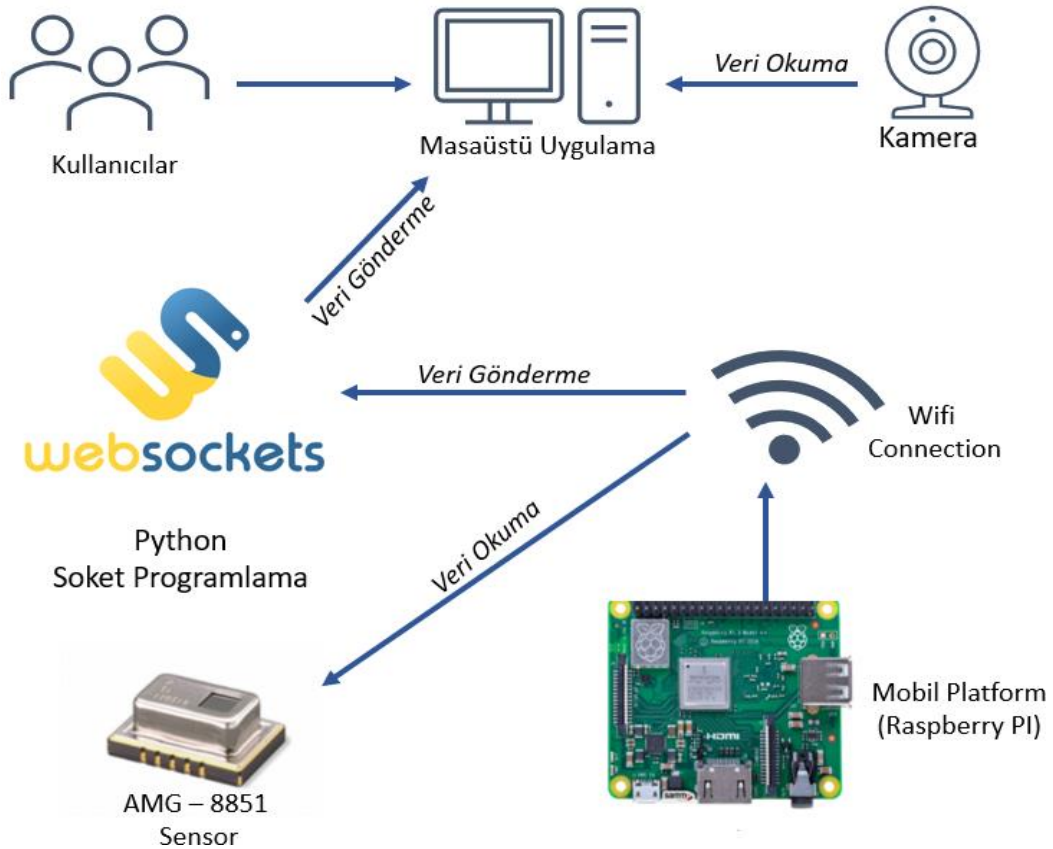
## II. ÖNERİLEN SİSTEM

Bu bölümde, canlı varlık tespiti için termopil ısı sensörü kullanılan IoT temelli uygulamaya ait sistem mimarisi ve kullanılan teknolojiler sunulmaktadır. Canlı varlık tespit sistemi, ortamdaki ısı bilgisini algılamak için AMG8851 termopil sensörü, sensörden verileri toplayan ve bu verileri socket sunucu ile bağlı olduğu Wi-Fi üzerinde aktaran Raspberry Pi mobil platform, bu platformdan veri akışının sağlanabileceği ve kullanıcının ısı haritası şeklinde ortama ait ısı verilerini görebileceği masaüstü uygulamadan oluşmaktadır. Masaüstü uygulama ile mobil platform arasındaki veri akışı python dilinde yazılmış socket istemci ile sağlanmaktadır.

Çalışmadaki son durumda birden fazla kişi üzerinde 100 ayrı kez deney yapıldı ve kişilerin sıcaklık değerleri ölçüldü. Kişiler arasında vücut sıcaklığı normalin altında, normal ve normalin üstünde bireyler bulunmaktaydı. Her kişiye özel ısı haritası çıkartılmış oldu. Farklı ortamlarda sistem denenmiş olup istenen amaca göre başarı oranının yüksek olduğu kanıtlanmıştır.

### A. SİSTEM MİMARİSİ

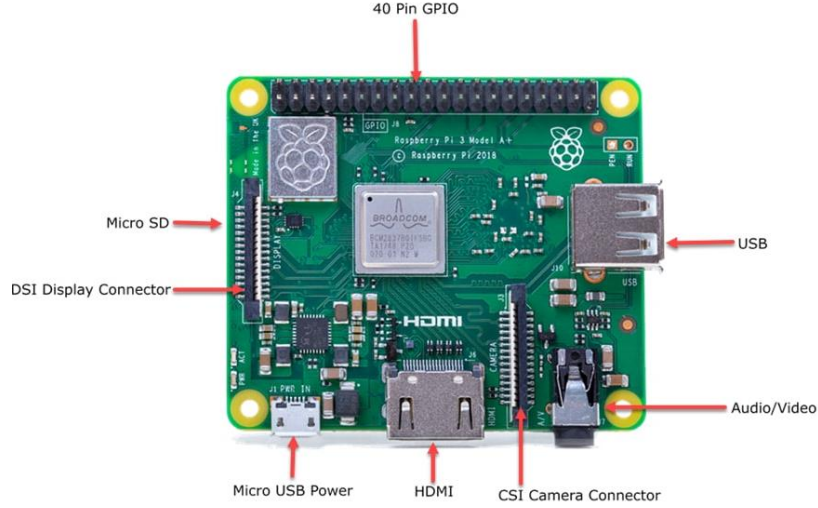
Termal sensör kullanılarak canlı varlık tespit sisteminin temel mimarisi ve sistem bileşenleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Raspberry Pi SDA ve SCL pinleri aracılığı ile AMG8851 sensöründen I2C protokolü ile gelen veriler toplanmaktadır. Raspberry Pi içerisindeki Raspberry Pi OS işletim sisteminde çalışmakta olan Python kodu aracılığıyla bağlı olunan Wi-Fi üzerinden Python Soket Sunucu ile verileri yayınlanmaktadır. Raspberry Pi cihazının bağlı olduğu Wi-Fi ağına bağlı kullanıcılar proje kapsamında gerçekleşen masaüstü uygulamasını çalıştırdığı anda Raspberry Pi tarafından oluşturulan sunucu portuna bağlanılarak veriler alınır. Bundan sonra ise, yine masaüstü uygulaması ile uygulama verileri işlenilerek kullanıcıya interpolate edilmiş görüntüyü sunulmasıyla uygulama gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. Uygulanan sistemin genel mimarisi

## B. RASPBERRY Pİ MOBİL PLATFORMU

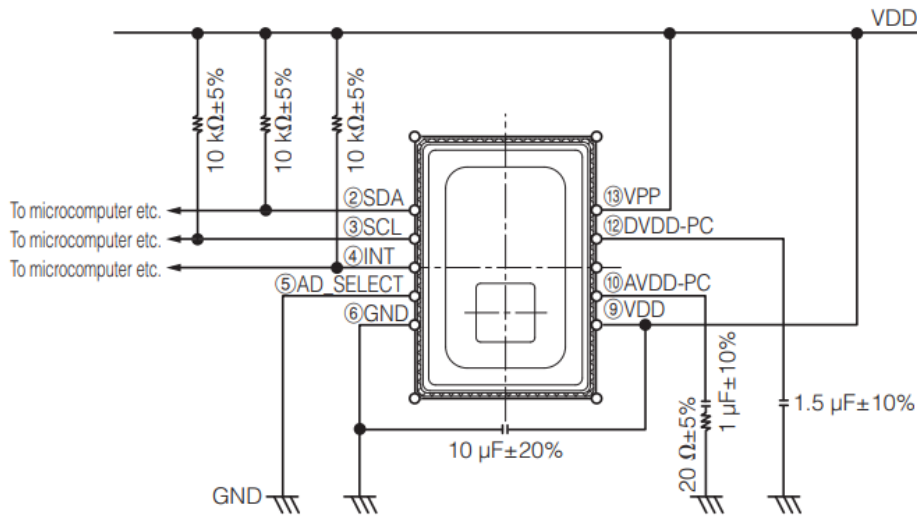
Raspberry Pi Model 3A+ Linux işletim sistemine sahip bir mikro bilgisayardır. Gömülü ve mobil bir sistem olan bu kartlar bilgisayarın yapabileceği birçok işlemi yapabilme yeteneğine sahiptir. Mobil platform üzerinde Raspberry Pi için optimize edilmiş Debian tabanlı çalışan açık kaynaklı bir işletim sistemi olan RaspBian kullanılmıştır. RaspBian sistemin kararlılığını ve performansını iyileştirmek amacıyla donanımı etkin bir şekilde kullanmaya izin vermektedir. Şekil 2’de Raspberry Pi mobil platformunun genel görünümü verilmiştir.



Şekil 2. Raspberry Pi kartının sahip olduğu pin ve girişlerin kart üzerinde gösterimi

## C. TERMAL SENSÖR: AMG8851

Termal kameralar genel olarak güvenlik amaçlı kullanılmakla beraber bütün cisimlerin ve insanların yaydığı kızılötesi enerjileri kolay bir şekilde görüntülenmesine yardımcı olmaktadır. Bunun yanında, termal kameralar cisimlerin yaydığı ısı enerjisini farklı bir ekrana yansıtılıp renk skalasında görülmesini de sağlamaktadır. Her cismin etrafa yaydığı ısı enerjisi farklıdır ve termal kameralar ise canlı/cansız her varlığın ısı enerjisini görüntüleme imkanına sahiptir. Çalışmada kullanılan termal sensör AMG8851 Panasonic firmasının gelişmiş MEMS teknolojisine dayalı, yüksek hassasiyetteki kızılötesi termal sensördür. Şekil 3’te AMG8851 termopil sensörünün bağlantı şeması verilmiştir.

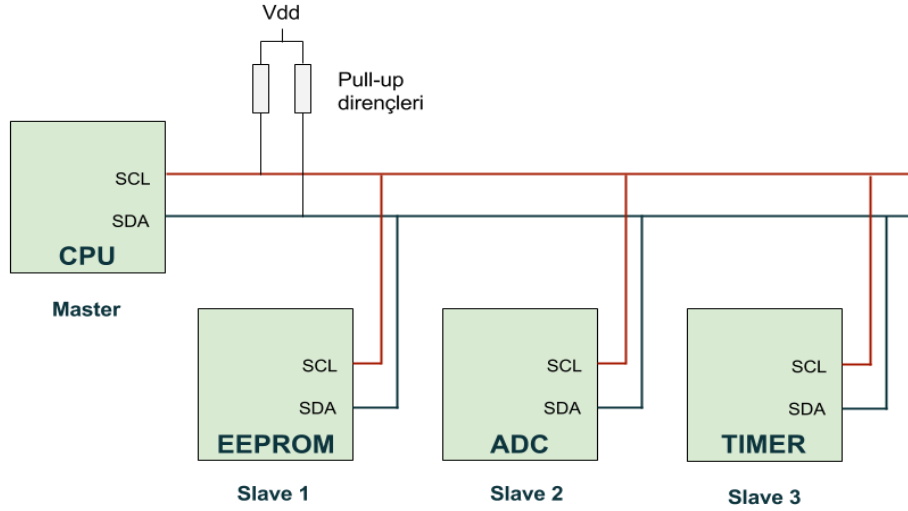


Şekil 3. Amg8851 Harici Devre

AMG8851 termopil sensörü iki boyutlu bir alanın sıcaklık değerlerini 8x8'lik dizi şeklinde yani 64 piksel olarak vermektedir. Mikrodenetleyiciye bağlanıldığında I2C üzerinden 64 ayrı kızılötesi sıcaklık okuma dizini döndürülür. Bu sensör 0°C ila 80°C arasındaki sıcaklıkları  $\pm 2.5^\circ\text{C}$  hassasiyetle ölçebilmektedir. Bunun yanında bir nesne veya insanı 7 metreye kadar bir mesafeden algılayabilir. Maksimum 10 Hz hızıyla insan dedektörü veya mini termal kamera oluşturmak için uygundur. AMG8851 sensörü haberleşme protokolü olarak I2C protokolünü kullanmaktadır. AMG8851 haberleşmede slave cihaz olarak Raspberry Pi ise master cihaz olarak görev almaktadır. Haberleşmenin sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için bu slave cihaz üzerindeki slave adres olarak adlandırılan I2C adresi bilinmelidir [7]. Amg8851 sensörleri için I2C adresi, Şekil 3.'te görülen AD\_SELECT ucunun güç kaynağına veya topraklamaya bağlanmasına göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada kullanılacak olan Amg8851 sensörü devreye sahip olduğu için, bu sensörün I2C adresi 0x68'dir. Eğer AD\_SELECT ucu güç kaynağına bağlı olan bir sensör olursa I2C adresi 0x69 olacaktır.

## D. I2C PROTOKOLÜ

Raspberry Pi, diğer Raspberry Pi veya sensörlerle haberleşmek için bazı haberleşme protokolleri kullanmaktadır. Bu protokollerden birisi olan I2C (Inter-Integrated Circuit), 1980'li yılların başında, Philips Semiconductor tarafından geliştirilmiş bir seri iletişim protokolüdür (Şekil 4).

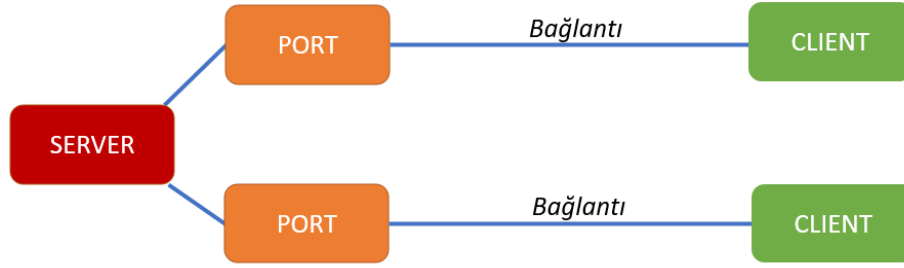


Şekil 4. I2C Protokolü ve master-slave bağlantısının gösterilmesi

Yakın mesafelerde düşük band genişliği ile çalışan, 2 kablolu bir protokoldür. İşlemci ve mikrodenetleyiciler, aynı veri yolu (bus) üzerinden, EEPROM, Analog Sayısal Dönüştürücü (ADC), LCD sürücü gibi birden çok çevre birimiyle haberleşebilmesine imkân tanır. Seri iletişim için cihazlara dahil edilmiş bir veri yolu arayüzü bağlantı protokolüdür [11], [12]. I2C protokolüne göre, saat hattı yüksek olduğunda veri hattı değişmez, sadece saat hattı düşük olduğunda değişebilir. 2 hat açık tahliyedir, bu nedenle I2C veriyolundaki cihazlar aktif düşük olduğundan hatların yüksek olması için bir çekme direnci gereklidir. Veriler 9 bitlik paketler halinde iletilir [13].

## E. SOKET PROGRAMLAMA

Soket programlama, ağdaki iki farklı cihaz arasında TCP/IP protokolünü kullanarak IP ve port numaraları üzerinden bir kanal oluşturarak haberleşme yapılmasını sağlamaktadır [16], [17]. Bu haberleşme çeşidinde bir soket (uç cihaz) belirlenen IP ve port üzerinden kanalı dinlerken diğer soket (uç cihaz) aynı kanal üzerinden diğer uca erişmeye çalışmaktadır. Bu iletişim Şekil 5'te gösterilmektedir.

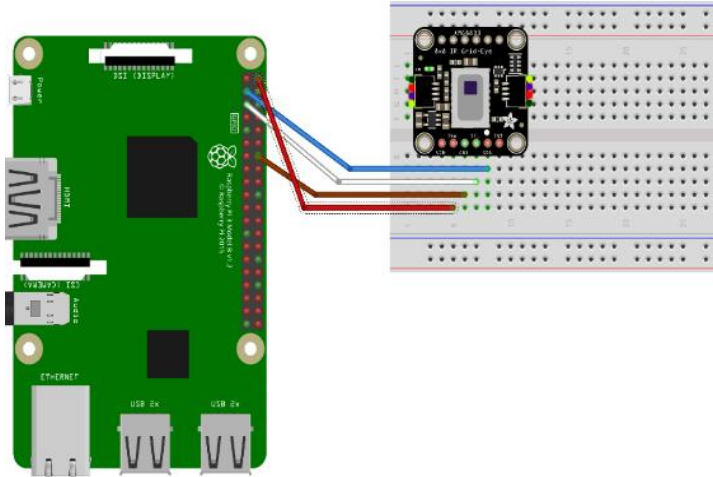


Şekil 5. Client-server ilişkisinin gösterilmesi

### III. CANLI VARLIK TESPİT SİSTEMİ UYGULAMASI

Şekil 6’da Raspberry Pi Model 3A+, ve Amg8851 arasındaki bağlantı verilmektedir. Raspberry Pi’nin 3 numaralı pini SDA, 5 numaralı pini SCL, 4 numaralı pini 5V, 6 numaralı pini ise topraktır. Raspberry Pi mobil platformuna işletim sistemi olarak Raspbian kurulmuştur. İşletim sistemi üzerinde WiFi bağlantısı için boot dizinine wpa\_supplicant.conf isimli bir konfigürasyon dosyası eklenmiştir. Raspberry Pi boot olduğunda bu kod otomatik olarak devreye girerek wifi’ye bağlanmayı sağlamaktadır.

Uzaktan kontrol erişimini açmak için Raspberry Pi’yi hdmi ve mouse aracılığı ile yöneterek Raspbian OS arayüzünden SSH ve VNC özelliği aktif hale getirilmiştir. İnternet modem arayüzüne girilerek Raspberry Pi, ip adresi öğrenilerek uzaktan kontrol için bilgisayara VNC Viewer uygulaması kurulmaktadır. Bu sayede ip adresi kullanılarak Raspbian OS arayüzüne uzaktan kontrol sağlanmış olmaktadır. AMG\_8851 kütüphanesi bilgisayara kurulmuştur. Bu sayede I2C protokolü kullanılarak haberleşmenin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmış olmaktadır. Yazılım araçları bölümünde tanıtılan socket programlama türlerinden, python ile TCP socket teknolojisini kullanarak Raspberry Pi üzerinden bir server oluşturulmuştur. Raspberry Pi bu kodu çalıştırdığında bağlı olduğu internet üzerinden bir server görevi görmektedir.

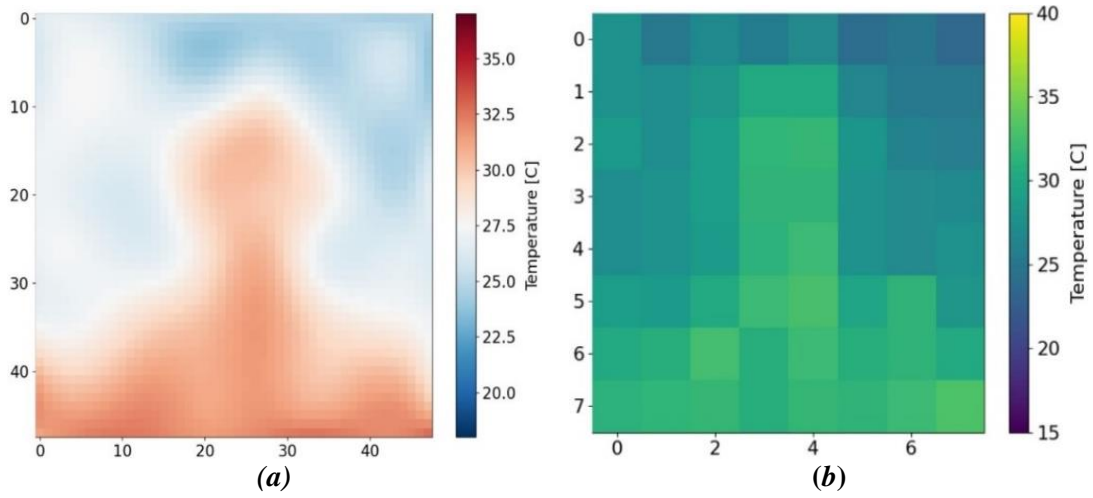


Şekil 6. Raspberry Pi ve Amg8851 bağlantısı

Gerekli kütüphaneler dahil edildikten sonra, bağlı olunan internette belirlenen portta bir socket oluşturuldu ve bu porta bağlanacak olan istemciler dinlenmeye başlanılmıştır. Raspberry Pi üzerine kurulan bu python TCP sunucuya bağlanacak bir python TCP kullanıcısı oluşturulmaktadır. Bu kullanıcı server kısmında belirlenen porta bağlanmaktadır. Sensörden elde edilen python kodu ile TCP server’ı bir araya getirerek sensör verileri gönderilmiştir.

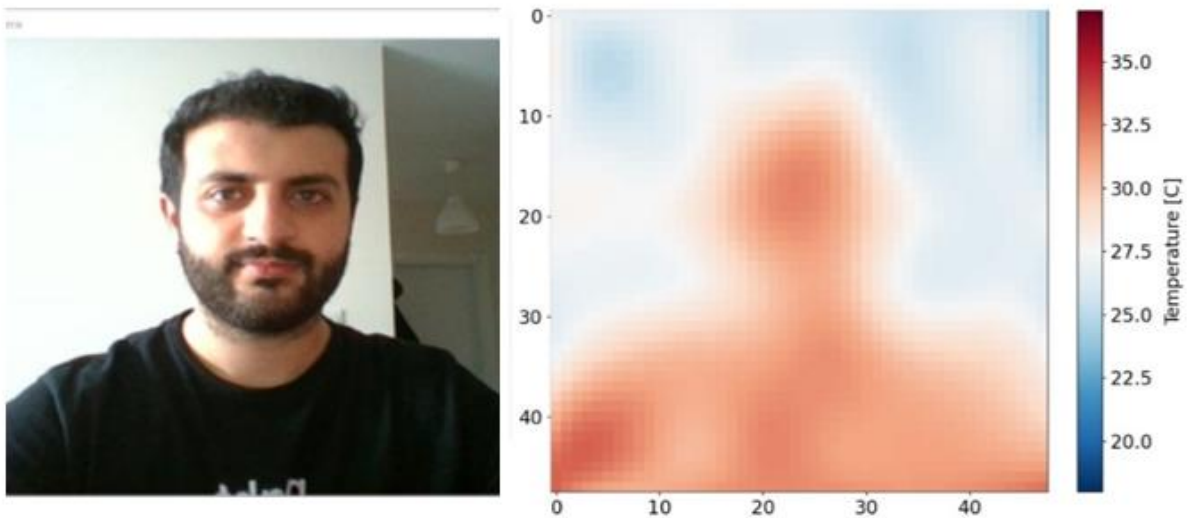
## A. ISI HARİTASININ ÇIKARILMASI

Termopil sensor ve mobil platform aracılığıyla elde edilen verilerin alınması ve görselleştirilmesi için python ile bir masaüstü uygulaması geliştirilmiştir. Veri iletişimi, TCP soket istemci ile gerçekleştirilmektedir. Uygulama ile sensörden alınan 64 adet float veri dizisi işlenerek ısı haritası görüntüsü elde edilmiştir. Isı haritasının çıkarılmasında, 8x8 boyutunda toplam 64 hücreye sahip bir dizi (array) tanımlanmıştır. Bu dizi sensörden gelmekte olan 64 adet float veri, TCP server'dan gerçek zamanlı alınan verilerin büyüklüğü doğrultusunda renklendirilmektedir. Döngü içerisinde yapılan bu işlem sensörden her yeni veri geldiğinde figürü güncelleyerek tekrar çizdirilmektedir. Yapılan uygulama çalıştırıldığında Şekil 7'de görülen ısı haritası kullanıcıya yansıtılmış olmaktadır. Görselleştirilen bu görüntünün daha anlaşılır olabilmesi için sayısal analiz tekniklerinden olan interpolasyon tekniği ile görüntü yumuşatılmıştır. 8x8 olan görüntü üzerinde kübik interpolasyon uygulanmıştır. Şekil 7'de yer alan ısı haritalarında (a ve b) x ve y eksenleri piksel boyutunu temsil etmektedir. İnterpolasyon sonrasında elde edilen yumuşatılmış sıcaklık haritası görüntüsü yine Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 7. Isı Haritası ve yumuşatılmış görüntünün gösterilmesi (a-b).

Kübik interpolasyon sayesinde iki görüntü arasında gözle görünür şekilde iyileşme katedilmektedir. Kullanıcıların daha iyi deneyim elde edebilmesi, sıcaklık haritasının doğruluğu hakkında fikir elde edebilmesi amaçlayarak AMG8851 sensörünün yanına web kamerası entegre edilmiştir. Şekil 8'de ısı haritasına web kamerası görüntüsü entegre edilmekte, bu sayede ısı haritasının doğrulaması yapılmıştır.



*Şekil 8. Yumuşatılmış görüntünün web kamerası ile görüntülenmesi*

## **IV. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bu çalışma, son yıllarda gittikçe yayılan Covid-19 salgınının insanların vücut sıcaklığı ile doğrudan ilişkili olmasından kamera ile nesnelerin sıcaklığının ölçülmesidir. Bu amaçla kullanılacak canlı varlık tespiti sistemi içerisinde, Raspberry Pi Model 3A+, AMG8851 termal sensör ve web kamerası kullanılarak sistemin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistem, soket programlama teknolojisini kullanarak Raspberry Pi'ye server görevi kazandırmakla ilişkilidir. Termopil sensörden alınan ısı verileri kullanıcıların daha sağlıklı bir şekilde anlayabilmesi için sayısal analiz tekniklerinden interpolasyon yöntemi ile renklendirilmiş ve böylelikle sıcaklık haritası görünümünde tasarlanarak masaüstü uygulamasıyla kullanıcılara bilgi sunulmuştur. Kullanıcıların daha iyi bir deneyim elde edebilmesi için ise sıcaklık haritası kamera ile elde edilen görüntülerle entegre edilmiştir. Bu sayede kullanıcılar, kameradan gerçek zamanlı gelmekte olan görüntüler ile termal sensör verilerini gerçek zamanlı olarak görebilecektir. Bunun yanında, çalışmada gerçekleştirilen model günümüzde kullanılan termal kameralara kıyasla maliyet olarak da pratik biçimde uygulanabilir. Dolayısıyla termal kameraların kullanım alanlarında kolaylıkla ve etkin bir şekilde kullanılabilir.

Çalışmada hedeflenen, birden fazla kişi üzerinde 100'den fazla deneyin yapılması, başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Seçilenler arasında vücut ısısı farklı değerlere sahip kişiler belirlendi ve bu kişiler farklı zaman ve ortam aralıklarında değişken koşullara maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında ise kameradan gerçek zamanlı gelmekte olan görüntüler ile termal sensör verilerinin gerçek zamanlı olarak elde ettiği verilerin, yüksek bir başarı oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Gelecekte çalışmayı geliştirmek açısından canlı tespit sistemine daha üst segment kamera aygıtı eklenerek kişinin kimliği de rahatlıkla tespit edilebilir. Bununla birlikte, tespit edilen kimlikler gerçek zamanlı bir veritabanına kişilerin kimlikleriyle birlikte sıcaklık değerleri kayıt altına alınarak veriler toplanabilir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] C. Wai Zhao, J. Jegatheesan, and S. Chee Loon, "Exploring IOT application using raspberry Pi," *International Journal of Computer Nets and Applications*, vol. 2, no. 1, Accessed: Jan. 20, 2022.
- [2] M. Kurtulus, F. Irgi, M. Namdar, A. Basgumus, and R. Temirtas, "Internet of things based predictive mechanical fault detection system," *4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, ISMSIT 2020- Proceedings*, Oct. 2020.
- [3] Z. H. Qian and Y. J. Wang, "IoT technology and application," *Acta Electronica Sinica*, vol. 40, no. 5, p. 1023, May 2012.
- [4] J. C. Zhao, J. F. Zhang, Y. Feng, and J. X. Guo, "The study and application of the IOT technology in agriculture," *Proceedings- 2010 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, ICCSIT 2010*, vol. 2, pp. 462–465, 2010.
- [5] K. Küçük and C. Bayılmış, *Nesnelerin İnternet'i: Teori ve Uygulamaları (Internet of things: theory and applications)*, 2019.
- [6] Y.-M. Lee and J.-S. Shin, "A Study on the Design of IoT-based Thermal Sensor and Video Sensor Integrated Surveillance Equipment," *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 19, no. 6, pp. 9–13, 2019.

- [7] X. Zhang, M. Pipattanasomporn, T. Chen, and S. Rahman, "An IoT-Based Thermal Model Learning Framework for Smart Buildings," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 518–527, Jan. 2020.
- [8] P. Sundaravadivel, S. P. Mohanty, E. Kougianos, and U. Albalawi, "An energy efficient sensor for thyroid monitoring through the IoT," *2016 17th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems, EuroSimE 2016*, Apr. 2016.
- [9] S. Yoon, S. Carreon-Bautista, and E. Sanchez-Sinencio, "An area efficient thermal energy harvester with reconfigurable capacitor charge pump for IoT applications," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 65, no. 12, pp. 1974–1978, Dec. 2018.
- [10] E. Guney, G. Agirtas and C. Bayilmis, "MongoDB based real-time monitoring heart rate using websocket for remote healthcare," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI Journal)*, vol. 8, no. 4, pp. 500-508, Dec. 2022.
- [11] D. Levshun, A. Chechulin, and I. Kotenko, "A technique for design of secure data transfer environment: Application for I2C protocol," *Proceedings- 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems, ICPS 2018*, pp. 789–794, Jun. 2018.
- [12] R. Sarojini and S. Ramalingam, "Smart real time data logging system for industrial automation using I2C protocol", Accessed: Jan. 20, 2022.
- [13] D. Levshun, A. Chechulin, and I. Kotenko, "A technique for design of secure data transfer environment: Application for I2C protocol," *Proceedings- 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems, ICPS 2018*, pp. 789–794, Jun. 2018.
- [14] "What is transmission control protocol TCP/IP model?" <https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/TCP-ip> (accessed Jan. 20, 2022).
- [15] "Transmission control protocol (TCP) (article) | Khan Academy." <https://www.khanacademy.org/computing/computers-and-internet/xcae6f4a7ff015e7d:the-internet/xcae6f4a7ff015e7d:transporting-packets/a/transmission-control-protocol--TCP> (accessed Jan. 20, 2022).
- [16] K. A. Radhika, B. L. Raksha, B. R. Sujatha, U. Pruthviraj, and K. v. Gangadharan, "IoT based joystick controlled pibot using socket communication," *2018 IEEE Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics, DISCOVER 2018- Proceedings*, pp. 121–125, Mar. 2019.
- [17] M. Xue and C. Zhu, "The socket programming and software design for communication based on client/server," *Proceedings of the 2009 Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System, PACCS 2009*, pp. 775–777, 2009.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## İnşaat Maliyet Risklerinin Simülasyon Yöntemi ile Analizi

 Ergün ÇOLAK <sup>a,\*</sup>,  Latif Onur UĞUR <sup>b</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup> İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [ergun205873@ogr.duzce.edu.tr](mailto:ergun205873@ogr.duzce.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1061297

### Öz

İnşaat projelerinde maliyet tahminleri ve yapılan tahminlerin gerçekleşmesi gerek işveren gerek yüklenici açısından büyük önem arz etmektedir. İnşaat sektörü pek çok risk faktörü içermesine rağmen, ülkemizde riskler gereken düzeyde ele alınmamakta ve bu nedenle gerçekleşecek maliyetlerin kontrolleri de yeterli düzeyde bulunmamaktadır. Proje başarısı için inşaat sektörünün barındırdığı belirsizlik ve riskler iyi belirlenmeli ve analiz edilmelidir. Firmalar, proje özelinde karşılaşacakları risklere karşı izleyecekleri stratejileri, risk unsurları gerçekleşmeden oluşturmalıdır. Meydana gelebilecek riskler proje üçgeninin unsurları olan kalite, maliyet ve süre hedeflerinde olumsuz yönde sapmalar oluşturabilecektir. Bu nedenle inşaat projeleri için risk yönetimi hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada Monte Carlo Simülasyonu yardımıyla inşaat ana maliyet kalemlerinin yurtiçi projelerde öngörülende sapma oranlarının, üç farklı istatistiki dağılım yardımı ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Monte Carlo Simülasyonu, bir paket yazılımı ile uygulanmıştır. Edinilen bulgular üzerinden @risk yazılımının verdiği üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı sonuçları karşılaştırılmıştır. Ana maliyet kalemlerinin yüzde minimum ve maksimum sapma değerleri için Türkiye Müteahhitler Birliği üyesi firmalara yurtiçi projeler için anket yapıp, değerlerin ortalamalarıyla ana maliyet kalemlerindeki minimum ve maksimum sapma oranı hesaplanmıştır. Çalışma sonucu inşaatta yurtiçi projelerde ana iş kalemlerinin tahmin edilen maliyetlerde gerçekleşme olasılıkları ve üç farklı istatistiki dağılım kullanarak bu dağılımlar arasındaki performans farkları değerlendirilmiştir. Edinilen bulgulardan önemli bir tanesi “toprak işleri için maliyet kaleminin minimum ve maksimum sapsmasının diğer kalemlere göre daha çok olduğu” dur. Çalışmada kullanılan istatistiki olasılık dağılımları değerlendirildiğinde; PERT dağılımının standart sapsmasının az olması, optimum değerde gerçekleşme olasılığını artırırken, uniform dağılımın standart sapsmasının fazla olması ise ona minimum ve maksimum noktaya yakın dağılım gerçekleşmesi olasılığını arttırdığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak; yatırım projelerinin maliyet hesaplamalarında gerçekçi değerlere dayalı risk analizleri yapılması gerektiğinin ve simülasyon yaklaşımlarında esas alınacak olasılık dağılım fonksiyonlarının seçiminin; nihai değerlendirmelere direkt olarak yansıtılmasının göz önünde bulundurulması gereken önemli birer parametre olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Monte Carlo Simülasyonu, Üçgen dağılım, Uniform dağılım, PERT dağılımı

## Analysis of Estimated Costs in Domestic Construction Projects with Simulation

### ABSTRACT

Cost estimations and realization of the estimations in construction projects are of great importance for both the employer and the contractor. Although the construction sector contains many risk factors, risks are not handled at the required level in our country and therefore, the controls of the costs that will occur are not sufficient. For the success of the project, the uncertainties and risks of the construction industry should be well defined and analyzed.



Firms should create the strategies they will follow against the risks they will encounter in the project before the risk factors occur. The risks that may occur may create negative deviations in the quality, cost and time targets, which are the elements of the project triangle. Therefore, risk management is vital for construction projects. In this study, with the help of Monte Carlo Simulation, it is aimed to determine the deviation rates of the main cost items in the domestic projects with the help of three different statistical distributions. In the study, Monte Carlo Simulation was applied with a package software. The results of the triangular distribution, uniform distribution and PERT distribution given by the @risk software were compared based on the findings. For the minimum and maximum deviation values of the main cost items, the member companies of the Turkish Contractors Association were surveyed for domestic projects, and the minimum and maximum deviation rates in the main cost items were calculated with the averages of the values. As a result of the study, the probability of realization of the main work items in the estimated costs in domestic projects in construction and the performance differences between these distributions were evaluated using three different statistical distributions. One of the important findings is that "the minimum and maximum deviation of the cost item for earthworks is higher than the other items". When the statistical probability distributions used in the study are evaluated; It has been observed that the small standard deviation of the PERT distribution increases the probability of occurrence at the optimum value, while the high standard deviation of the uniform distribution will increase probability of the distribution close to the minimum and maximum point. As a result; risk analyzes based on realistic values should be made in cost calculations of investment projects and the selection of probability distribution functions to be taken as a basis in simulation approaches; It has been understood that it is an important parameter that should be taken into account that it will directly reflect on the final evaluations.

*Keywords: Monte Carlo Simulation, Triangular distribution, Uniform distribution, PERT distribution*

## I. GİRİŞ

Her inşaat projesi yapılmaya başlamadan önce maliyet tahminlerine ihtiyaç duyar. Yapılan tahminin gerçekleşme olasılığı veya maliyet, tahminden sapacak ise yüzde kaç ihtimalle ne kadar sapacağını bilmek müteahhitin elini her zaman güçlendirir. İnşaat sektörünün en büyük sorunlarından birisi ve en önemlisi, maliyet hedeflerinde görülen sapmalardır [1]. Çoğu inşaat firması projelerini gerçekleştirirken riskleri hesaba katmaz veya katarken yeterli önlemler almadan bunu yapar. Ülkemizde riske karşı alınan tedbirler ya deneyimli yöneticiler tarafından maliyet veya süre artırımına gitmek ya da riski görmezden gelmektir. İlkinde proje sonuçlarına yapay olarak müdahale edilirken ikincide ise riskler göz ardı edildiğinden doğru süre ve maliyet tahminleri yapılamamaktadır. İncir'e göre bunun sonucunda inşaat sözleşmelerindeki taahhütler yerine getirilememekte, taraflar arasında anlaşmazlık oluşmakta ve ülkemizdeki hukuk sisteminin yavaşlığından dolayı bu anlaşmazlıklar yıllarca sürmektedir [2].

İnşaat projeleri başından sonuna kadar birçok kişi ve şirketin disiplinli bir şekilde bir arada çalışmasını gerektiren karmaşık bir sürece sahiptir. Hızla gelişen inşaat sektörünün karmaşık yapısı sebebiyle proje üçgeninin unsurları olan kalite, maliyet ve süre hedeflerinde olumsuz yönde sapmalar kaçınılmaz hale gelmektedir. Bunun sonucunda da risk olgusu ortaya çıkmaktadır. Kişiler veya şirketler en uygun güven aralığında faaliyetlerini gerçekleştirmek için meydana gelebilecek riskleri ve dolayısıyla kayıpları minimize etmek isterler. Ancak inşaat sektörünün karmaşık yapısı sebebiyle riskler hiçbir zaman sıfırlanamaz, genellikle tolere edilebilir seviyeye çekilerek riskler yönetilir [3]. İnşaat sektöründe riskler bilinmesine rağmen bunların proje üzerindeki etkilerini sayısal olarak belirlemeye, riskleri sistematik olarak değerlendirmeye ve bunların ortaya çıkması halinde stratejiler geliştirmeye yönelik çok az çalışma bulunmaktadır [4].

Emhan'a göre risk yönetimi genel anlamda şirketlerin karlılık içinde faaliyetlerine devam edebilmesi için gereken düzenlemeleri sağlama, organizasyonun işletme gücü, mal ve kişileri koruma, gerçekleştirilecek beklenmedik kayıpları en düşük maliyet ile bertaraf edebilmek için gerekli kaynakları ve faaliyetleri planlama, organizasyonu yönetme ve kontrol etme süreçlerinin tamamını kapsamaktadır [5]. İnşaat sektöründe bir projenin daha fikir aşamasındayken finansal modelin doğru bir şekilde kurulması, nakit akışından kaynaklanan sorunların giderilmesi ve milli servet kayıplarının önlenmesi

açısından büyük önem taşınmaktadır [6]. Bunu sağlamak için ise proje öncesinde maliyet tahmini üzerine çalışmalar yapılması çok önemlidir.

Monte Carlo Simülasyonu, risk analizindeki güçlü araçlardan biridir [7]. Bu simülasyon mevcut projede hem süre tahmininde hem de maliyet tahmininde kullanılabilir. Kullanıcıya önyargısız bir değerlendirme biçimi sunar. Kaplan'a göre Monte Carlo Simülasyonu, istatistiksel denemeler yardımıyla, karmaşık problemlere matematiksel çözümler aramada kullanılacak ideal bir simülasyon tekniğidir [8].

## **II. MONTE CARLO SİMÜLASYONU**

Simülasyon tanım olarak bir olayın ya da durumun gerçeğe eş değer bir şekilde canlandırılması ya da sembolize edilmesi halidir. Simülasyonun amacı, bir gerçek hayat sistemini girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek, gerçek sistemi kurulan model üzerinden tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde hiçbir değişiklik yapmadan deneyebilmektir [9].

Monte Carlo Metodu, analitik yollarla çözülemeyen problemleri simülasyon yöntemiyle “yaklaşık” olarak çözmemize yarar. Özellikle “çok zor” bir problemi, analitik yollarla çözebilmek için aşırı basitleştirmek yerine Monte Carlo metodları ile “yaklaşık” olarak çözmek daha doğru olacaktır [9].

Kwak ve Ingall'a göre bir model veya gerçek yaşam sistemi geliştirilir ve bu model belirli değişkenler içerir. Bu değişkenler, her bir değişken için değerlerin bir olasılık dağılım fonksiyonu ile temsil edilen farklı olası değerlere sahiptir. Monte Carlo Yöntemi, tüm sistemi birçok kez simüle eder (yüzlerce hatta binlerce kez), her seferinde olasılık dağılımından her bir değişken için rastgele bir değer seçer. Sonuç, modelin yinelemeleri aracılığıyla hesaplanan sistemin genel değerinin bir olasılık dağılımıdır [10].

Back'e göre basit olarak, Monte Carlo Tekniği; inşaat projelerinin simülasyonunu belli bir iterasyon sayısına göre, her bir iterasyona karşılık gelen değerleri kaydedip sonuçlarını olasılık dağılımlarıyla gösteren bir tekniktir [11]. Tahmin işlemi; gerçekleştirilen kişiler tarafından, finansal işlemler de karar vermek amacıyla, sonuçlar istatistik olarak gösterilmektedir. Yapılan maliyet çalışmaları yönetimlere; planlama, karar verme ve kontrol konuların da çeşitli yararlar sağlamaktadır.

### **A. MONTE CARLO SİMÜLASYONUNUN AVANTAJLARI**

Monte Carlo Simülasyonu bir simülasyonun modelinin sağladığı bütün avantaj ve kolaylıkları sağlamaktadır. Tekniğin en yararlı kısmı analitik yollar ile çözülemeyen problemleri simülasyon modeliyle yaklaşık olarak çözmemize yardım etmesidir. Analitik yaklaşımların aksine simülasyon modelleri, karmaşık problemlerin modellenmesi ve çözümünde daha başarılı olurlar. Değişkenler arasındaki etkileşimi simülasyon modellerinde gözlemlemek daha kolaydır [9].

Projelerde Monte Carlo Simülasyonunu kullanmanın diğer bir avantajı, projenin belirsizliğinin potansiyel etkilerini anlamaya ve ölçmeye çalışırken son derece güçlü bir araç olmasıdır. Monte Carlo Simülasyonu, proje yöneticisine, projenin ömrü boyunca meydana gelecek risk olaylarıyla başa çıkmak için uygun proje rezervlerini ölçmede ve gerekçelendirmede yardımcı olmaktadır [10].

Monte Carlo Simülasyonunun diğer bir avantajı klasik çözüm yöntemlerinin kullanılmadığı büyük karmaşık problemlerde çözümü rahat bir şekilde vermesidir. Bazı durumlarda mevcut proje veya problem bir başka yöntemle incelenmesi olanaksız olan koşullar ve kısıtlara sahip olabilir. Bu gibi durumlarda problemler simülasyon ile rahatça modellenebilir. Ayrıca Monte Carlo Simülasyonu ile sonuçlar çok kısa bir sürede analiz edilebilir.

### **B. MONTE CARLO SİMÜLASYONU DEZAVANTAJLARI**

Geçmişte Monte Carlo Simülasyonunun başlıca dezavantajları, yüksek hesaplama gücü kullanımı ve simülasyon etkinliğini tamamlamak için harcanan zaman ve kaynak miktarı olmuştur [12]. Proje programlarına karşı karmaşık simülasyonu çalıştırmak için kullanımı kolay yazılım araçlarının olmaması da bir sorundu. Bilgi işlem gücündeki çarpıcı gelişmeler ve popüler proje yönetimi çizelgeleme araçlarına Monte Carlo Simülasyon yazılımı eklentilerinin eklenmesi, bu endişeleri neredeyse geçersiz hale getirdi [10].

Monte Carlo Simülasyonunun dezavantajlarından biri de bir çeşit deneme yanılma yöntemi olmasıdır. Simülasyona gerekli girdiler verilir ve oda bu girdilere rastgele değerler atayarak olasılık dağılımları oluşturur. Ayrıca modelleme ve girdi verilerinde yapılacak hatalarda yanlış sonuçlar ortaya çıkmasına neden olabilir.

Monte Carlo Simülasyonunun diğer bir dezavantajı ve en fazla eleştirildiği nokta ise simülasyonda bir yönetim eylemi olmadığı için yinelemeleri rastgele yapıyor olmasıdır. Williams'a göre bazı araştırmacılar, yönetim eylemini simülasyona dahil eden modeller geliştirmeye çalışmışlardı ancak bugüne kadar bu modeller yüksek düzeyde karmaşıklığa sahipken, uygulayıcıların kabulü için yeterli genellik ve yeterli şeffaflık içermemekteydiler. [12].

Monte Carlo Simülasyonuna getirilen diğer bir eleştiri de simülasyonun içerisindeki olasılık dağılımlarının hepsinin sonlu olmasıdır. Esasen girdiler ne olursa olsun mevcut proje beklenenden çok daha fazla sapmalarla gerçekleşebilir. Graves, bu konuda proje tahminleri için kullanılacak farklı olasılık dağılımlarını öne sürdü. O, Monte Carlo simülasyonlarında kapalı uçlu dağılımlar (üçgen dağılım gibi) yerine açık uçlu dağılımlar yani lognormal dağılım kullanmayı önerdi. Sonuçta kapalı uçlu bir dağıtım, görev süresinin minimum süreden önce tamamlanması veya süre üst sınırının ötesinde devam etmesi olasılığını açıkça reddetmektedir. Gerçek dünya projelerinde bu gerçekçi bir varsayım değildir, çünkü bazen hiç beklenmeyen konular ortaya çıkabilir ve projede sorunlara neden olabilir [13].

### **III. AMAÇ VE YÖNTEM**

Bu çalışmada inşaat projelerindeki ana maliyet kalemlerinin yüzde ne kadar aşağıda ya da yukarıda olacağına Türkiye Müteahhitler Birliği üyesi, taahhütçü firmalara yapılacak olan anket sonucunda ulaşılabilecektir. Firmalara yurtiçi ana inşaat kalemlerinin (toprak işleri, altyapı işleri, ince işler, kaba işler, elektrik tesisatı mekanik tesisat, çevre düzenleme, ruhsat ve izin alınması, vergi ve sigortalar) tahmin edilen maliyetten ne kadar saptıkları sorulacaktır. Anket sonucundan elde edilen veriler Monte Carlo Simülasyonu içerisindeki üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımının girdileri olacaktır. Veriler bize olasılık dağılımlarının sınırlarını gösterecektir.

Monte Carlo Simülasyonu girildiği iterasyon sayısı ile rasgele örneklerle olasılık dağılımı oluşturan bir tekniktir. Monte Carlo simülasyonunda örnekleme hatalarının en aza indirgenebilmesine teminen yeterli sayıda iterasyonun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kabul edilebilir en alt limit olan 1000 adet iterasyon gerçekleştirildiğinde elde edilen sonucun yaklaşıklığı %2'dir [4]. Bu çalışma da olasılık dağılımları 1000 iterasyon sonucunda oluşturulmuştur. Bu programın, girilen verilerine 1000 kere değer atadığı ve olasılık dağılımlarını bu sonuçların ortalamalarıyla oluşturduğu anlamına gelir. Sistemi binden fazla kes simüle etmek (2000,3000 veya 5000) dağılımın dışında kalan bölümü daha da ince elemek anlamı gelir. Eğer girilen veriler rakamsal olarak birbirinden çok uzak ise, o zaman sonuçların daha gerçeğe yakın çıkması için iterasyon sayısının artırılması gerekebilir. Genellikle 1000 iterasyonun gerekli güvenilirliği sağladığı belirlenmiştir [4].

Bu uygulamada minimum ve maksimum sapma değerleri TMB üyesi inşaat firmalarına yapılan anket sonucundan alınırken; en optimum değer sıfır, yani tahmin edilen maliyetin gerçekleşme durumu olarak alınmıştır. 1000 iterasyon altında elde edilen sonuçlar; her bir ana maliyet kalemine ait olasılık dağılımları ve dağılımlar ile elde edilen olasılık yüzdeleriyle tablolar halinde verilmiştir. Tahmin edilen maliyette sapma ihtimalleri %10 ile %90 olasılık değerleri arasında gösterilmiştir. Yüzde on aralığın

şeyilme nedeni rakamlar arasında sayısal olarak çok fark olmamasındandır. Tablolarda % 1, %2,5 ve %5 ile %95, %97,5 ve %99 olasılık değerlerine, 3 dağılım arasındaki farkların ortaya daha açık bir şekilde konulması için yer verilmiştir.

Çalışmada kullanılan istatistiki olasılık dağılımları değerlendirildiğinde; PERT dağılımının standart sapmasının az olması, optimum değerde gerçekleşme olasılığını arttırırken, uniform dağılımın standart sapmasının fazla olması ise ona minimum ve maksimum noktaya yakın dağılım gerçekleşmesi olasılığını arttırmaktadır. Uniform dağılımın belirsizliğin çok fazla olduğu ve yalnızca olası bir aralığın saptanabildiği, ancak belirlenen bu aralıktaki değerlerden herhangi birisinin gerçekleşme olasılığının eşdeğer olduğunun düşünöldüğü durumlarda kullanımı uygun olmaktadır. Üçgen dağılım bu konuda diğer iki dağılım arasında bir grafik göstermektedir. İnşaat sektöründe de üçgen dağılımı kullanımı en yaygın dağılımdır. Bir değişken için genellikle en küçük, en büyük ve en iyi tahmin değerleri kolaylıkla belirlenebildiğinden, sadece bu bilgilerin derlenmesini gerektiren üçgen dağılım, çoğunlukla kullanılması en uygun dağılımlardan biri olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmanın önceki diğer çalışmalardan farkı; girdilerin, yani maliyet tahminindeki minimum ve maksimum sapmanın, TMB üyesi firmalara yapılan anket sonucunda elde edilmesidir. Anketlerin Türkiye'deki önemli inşaat firmalarına yapılmış olması çalışmanın sonuçlarının değerli olacağına işaretler. Ayrıca anket sonucunda elde edilen girdiler üç farklı dağılımla simülasyona girecektir. Çalışmanın üç farklı dağılımla yapılması sonuçların daha gerçekçi olmasını sağlayacaktır.

## **IV. UYGULAMA**

TMB üyesi firmalara yapılan anket sonucunda ana inşaat maliyeti kalemlerinde proje başlangıcında tahmin edilen maliyet değerlerinin proje tamamlandığında başlangıç tahmin değerlerinde minimum ve maksimum sapma oranlarının yurtiçi projelere göre ortalamalarının verildiği Tablo 1 aşağıda sunulmuştur.

*Tablo 1. Yurtiçi projelerde tahmin edilen maliyet değerlerinin minimum ve maksimum sapma oranları*

	<b>Minimum (%)</b>	<b>Maksimum (%)</b>
Toprak İşleri	-21.0	8.0
Alt Yapı İşleri	-18.0	3.8
Kaba İşler	-13.0	3.8
İnce İşler	-5.0	3.4
Elektrik Tesisatı	-5.0	3.1
Mekanik Tesisat	-5.0	2.4
Çevre Düzenleme	-2.7	2.3
Ruhsat ve İzin Alınması	-2.0	2.0
Vergi ve Sigortalar	-2.0	6.7

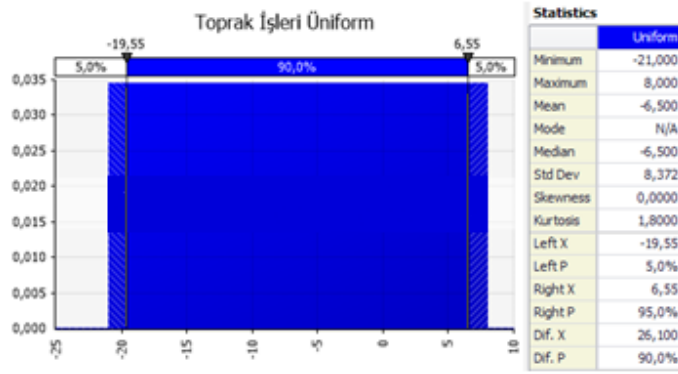
Toplamda 180 firmaya anket soruları yöneltilmiş, bunların 22 tanesinden cevap alınmıştır. Minimum ve maksimum sapma oranları bu 22 firmanın verdiği cevapların ortalamasıyla elde edilmiştir. Yapılan anket çalışmasına katılan kuruluşların tamamı Türkiye müteahhitler Birliği üyesi taahhütçü firmalardan oluşmaktadır. Bunun anlamı TMB, Üye Kabul Yönetmeliği'nde belirtilen şartların tamamının katılımcı firmalarca sağlanmakta olduğudur.

### **A. TOPRAK İŞLERİ**

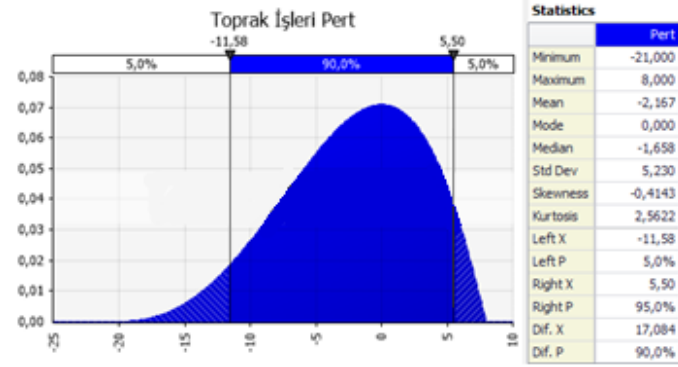
Toprak işleri ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca toprak işleri için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 2 aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. Toprak işleri için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 2. Toprak işleri için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 3. Toprak işleri için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 2. Toprak işleri için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

Olasılık (%)	Üçgen Dağılım Maliyet (%)	Uniform Dağılım Maliyet (%)	PERT Dağılımı Maliyet (%)
1	-18,532	-20,710	-14,975
2,5	-17,098	-20,275	-13,251
5	-15,482	-19,550	-11,584
10	-13,196	-18,100	-9,492
20	-9,964	-15,200	-6,801
30	-7,483	-12,300	-4,826
40	-5,392	-9,400	-3,162

50	-3,550	-6,500	-1,658
60	-1,885	-3,600	-0,231
70	-0,353	-0,700	1,186
80	1,188	2,200	2,673
90	3,183	5,100	4,391
95	4,594	6,550	5,501
97,5	5,592	7,275	6,247
99	6,477	7,710	6,890

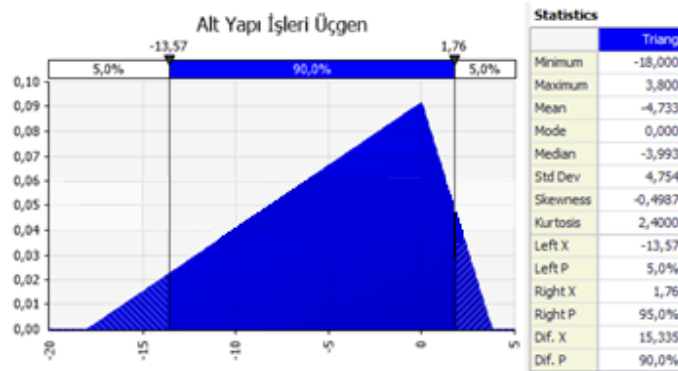
Toprak işleri ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %72,4 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %61,6 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %60-%70 arasında olduğu görülmektedir.

Olasılık dağılımları kendi arasında karşılaştırıldığında PERT dağılımının diğer dağılımlara göre daha orta değerde biriktiği görülmektedir. Öyle ki %1 ihtimalle maliyet tahmininin %14,975 daha az gerçekleşeceğini öngören dağılım minimum değerinden henüz %1 ihtimaldeyken bile fazlasıyla uzaklaşmaktadır. PERT dağılımının özelliği gereği standart sapmanın diğer dağılımlara oranla az olması ona bu şekli kazandırmaktadır.

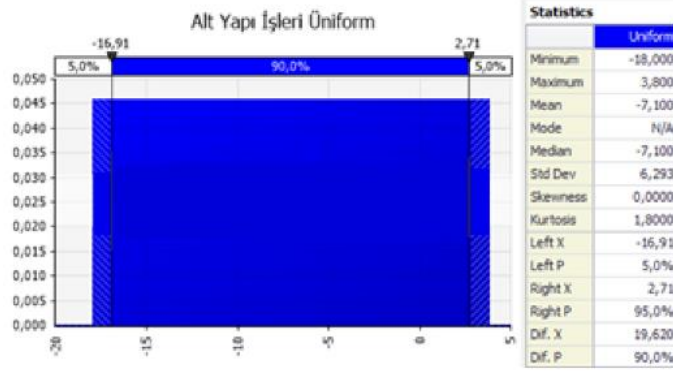
Uniform dağılımın minimum ve maksimum değerlere en yakından başlayan dağılım olduğu görülmektedir. Standart artış ile oluşturulan uniform dağılım aynı yüzde artışında maliyet değişiminin de aynı olduğu görülmektedir.

## B. ALT YAPI İŞLERİ

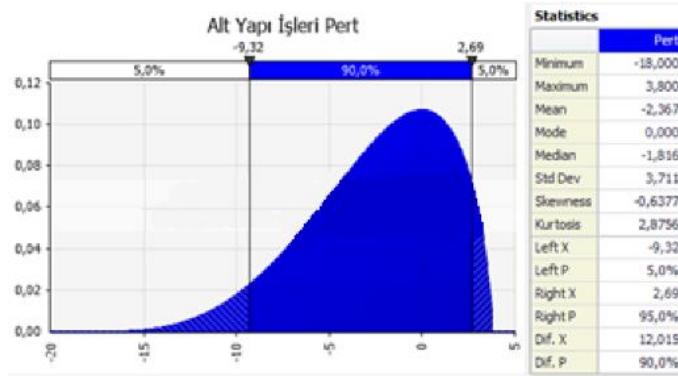
Alt yapı işleri ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca alt yapı işleri için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 3 aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. Alt yapı işleri için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 5. Alt yapı işleri için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 6. Alt yapı işleri için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 3. Alt yapı işleri için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

Olasılık (%)	Üçgen Dağılım Maliyet (%)	Uniform Dağılım Maliyet (%)	PERT Dağılımı Maliyet (%)
1	-16,019	-17,782	-12,169
2,5	-14,868	-17,455	-10,700
5	-13,571	-16,910	-9,321
10	-11,736	-15,820	-7,641
20	-9,141	-13,640	-5,557
30	-7,150	-11,460	-4,082
40	-5,472	-9,280	-2,876
50	-3,993	-7,100	-1,816
60	-2,656	-4,920	-0,840
70	-1,427	-2,740	0,0989
80	-0,282	-0,560	1,044
90	0,922	1,620	2,075
95	1,765	2,710	2,694
97,5	2,361	3,255	3,081
99	2,890	3,582	3,388

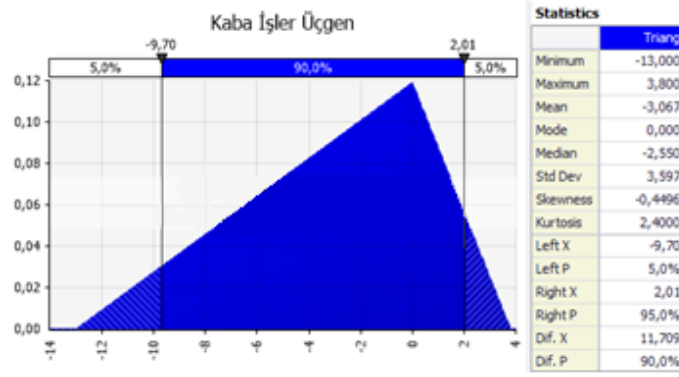
Alt yapı işleri ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %82,6 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %68,9 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %70-%80 arasında olduğu görülmektedir.

Olasılık dağılımlarının standart sapmaları karşılaştırıldığında da PERT dağılımının standart sapmasının diğer dağılımlardan daha az olduğu, en yüksek standart sapmanın ise yine uniform dağılımda olduğu görülmektedir.

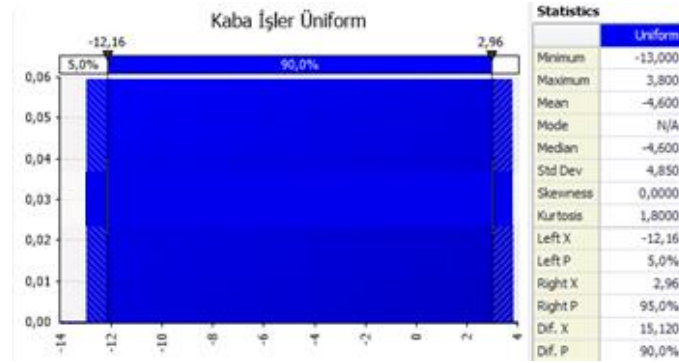
Üçgen dağılımın standart sapmasının ise uniform dağılım ile PERT dağılımı arasında bir değerde olduğu görülmektedir.

### C. KABA İŞLER

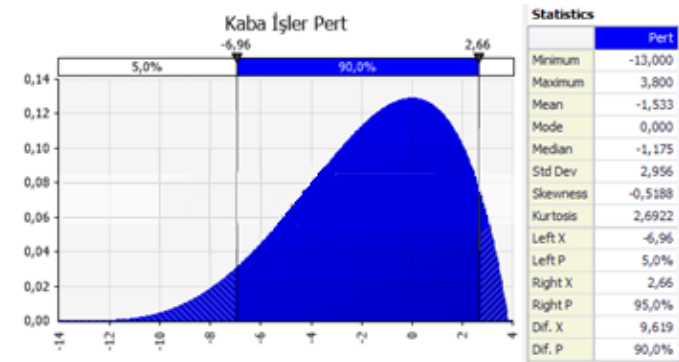
Kaba işler ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca kaba işler için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 4 aşağıda verilmiştir.



Şekil 7. Kaba işler için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 8. Kaba işler için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 9. Kaba işler için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



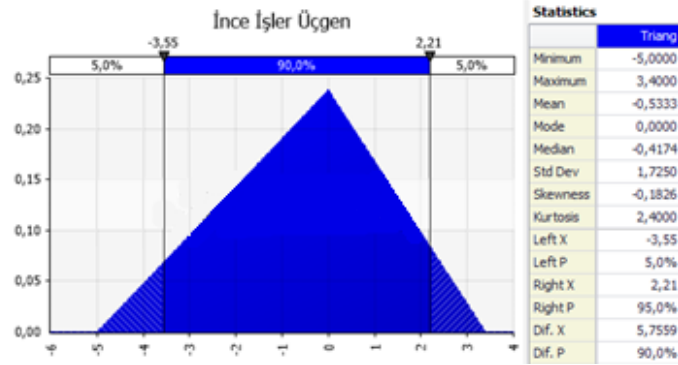
**Tablo 4.** Kaba işler için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

Olasılık (%)	Üçgen Dağılım Maliyet (%)	Uniform Dağılım Maliyet (%)	PERT Dağılımı Maliyet (%)
1	-11,522	-12,832	-9,039
2,5	-10,663	-12,580	-7,974
5	-9,695	-12,160	-6,960
10	-8,327	-11,320	-5,705
20	-6,391	-9,640	-4,118
30	-4,906	-7,960	-2,974
40	-3,653	-6,280	-2,023
50	-2,550	-4,600	-1,175
60	-1,553	-2,920	-0,381
70	-0,636	-1,240	0,396
80	0,227	0,440	1,196
90	1,273	2,120	2,097
95	2,013	2,960	2,659
97,5	2,537	3,380	3,026
99	3,001	3,632	3,331

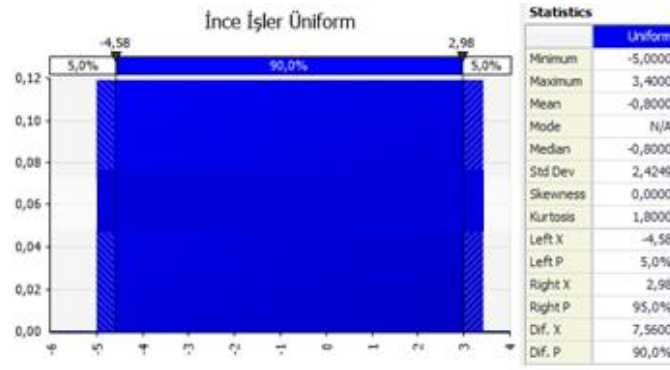
Kaba işler ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %77,4 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %64,9 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %65-%75 arasında olduğu görülmektedir.

#### D. İNCE İŞLER

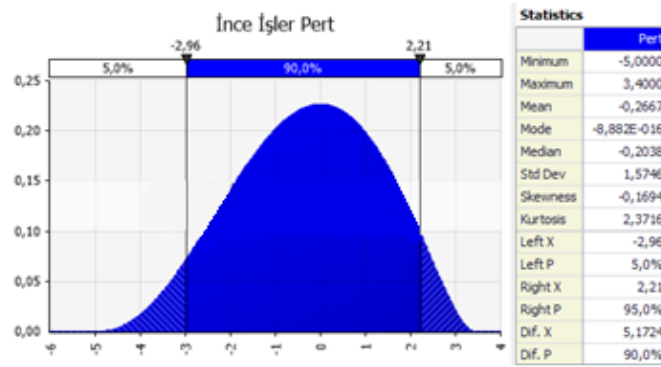
İnce işler ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca ince işler için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 5 aşağıda verilmiştir.



**Şekil 10.** İnce işler için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 11. İnce işler için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 12. İnce işler için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 5. İnce işler için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

Olasılık (%)	Üçgen Dağılım Maliyet (%)	Uniform Dağılım Maliyet (%)	PERT Dağılımı Maliyet (%)
1	-4,3519	-4,9160	-3,7859
2,5	-3,9753	-4,7900	-3,3474
5	-3,5509	-4,5800	-2,9611
10	-2,9506	-4,1600	-2,4215
20	-2,1017	-3,3200	-1,6956
30	-1,4504	-2,4800	-1,1396
40	-0,9012	-1,6400	-0,6552
50	-0,4174	-0,8000	-0,2038
60	0,0201	0,0400	0,2382
70	0,4729	0,8800	0,6921
80	1,0100	1,7200	1,1878
90	1,7100	2,5600	1,7934
95	2,2050	2,9800	2,2113
97,5	2,5550	3,1900	2,5106
99	2,8656	3,3160	2,7874

İnce işler ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %59,5 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %54,6 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %55-%60 arasında olduğu görülmektedir.

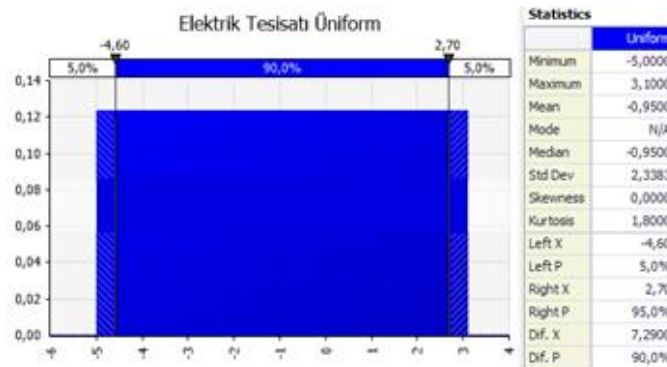
İnce işler maliyet kalemi inşaatın maliyet bakımından önemli bir kısmını oluştururken anket değerlerinde kaba işlere göre daha düşük bir sapma aralığında olması nedeniyle olasılık dağılımlarının birbirine daha yakın sonuç verdiği görülmektedir. Sonuçta şu unutulmamalıdır ki tahmin edilen maliyet değerlerinin sapma oranları olasılık dağılımlarının tek girdileridir. İnçe işler gibi büyük bir ana maliyet kalemi için olasılık dağılımlarının verdiği bu yakın sonuçlar fazlasıyla önem arz etmektedir.

## E. ELEKTRİK TESİSATI

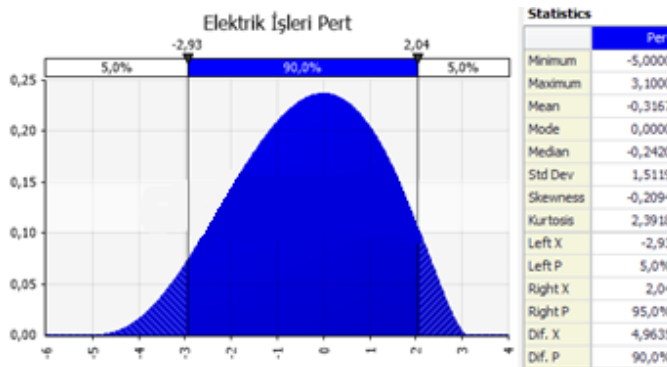
Elektrik tesisatı ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca elektrik tesisatı için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 6 aşağıda verilmiştir.



Şekil 13. Elektrik tesisatı için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 14. Elektrik tesisatı için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 15. Elektrik tesisatı için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 6. Elektrik tesisatı için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

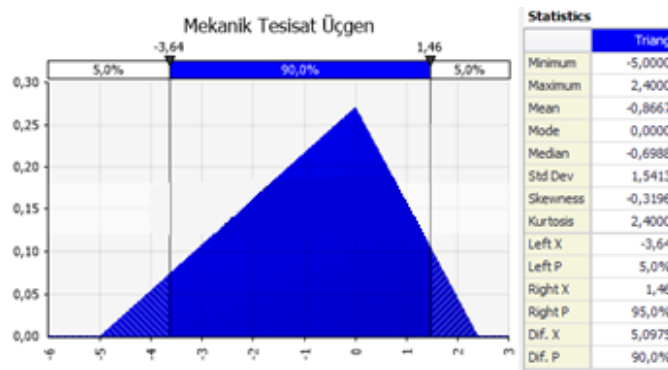
Olasılık (%)	Üçgen Dağılım Maliyet (%)	Uniform Dağılım Maliyet (%)	PERT Dağılımı Maliyet (%)
1	-4,3636	-4,9190	-3,7490
2,5	-3,9938	-4,7975	-3,3377
5	-3,5770	-4,5950	-2,9269
10	-2,9875	-4,1900	-2,3947
20	-2,1540	-3,3800	-1,6842
30	-1,5143	-2,5700	-1,1440
40	-0,9751	-1,7600	-0,6760
50	-0,5000	-0,9500	-0,2420
60	-0,0705	-0,1400	0,1807
70	0,3554	0,6700	0,6126
80	0,8590	1,4800	1,0812
90	1,5154	2,2900	1,6489
95	1,9795	2,6950	2,0366
97,5	2,3077	2,8975	2,3118
99	2,5989	3,0190	2,5636

Elektrik tesisatı ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %61,7 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %55,7 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %55-%60 arasında olduğu görülmektedir.

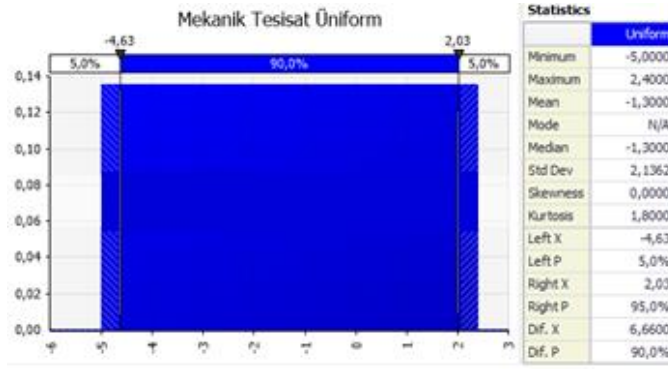
Elektrik tesisatı ana maliyet kaleminin de sapma oranlarının az olması nedeniyle olasılık dağılımlarının birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

## F. MEKANİK TESİSAT

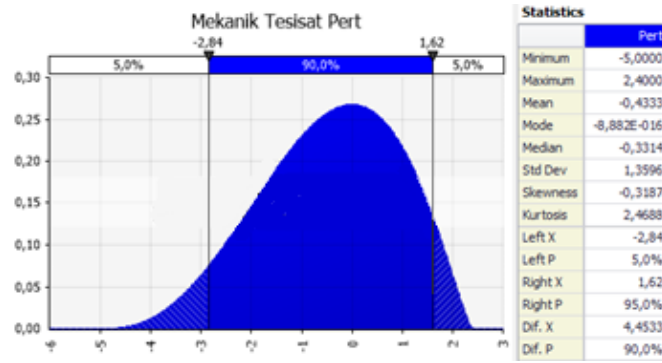
Mekanik tesisat ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca mekanik tesisat için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 7 aşağıda verilmiştir.



Şekil 16. Mekanik tesisat için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 17. Mekanik tesisat için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 18. Mekanik tesisat için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

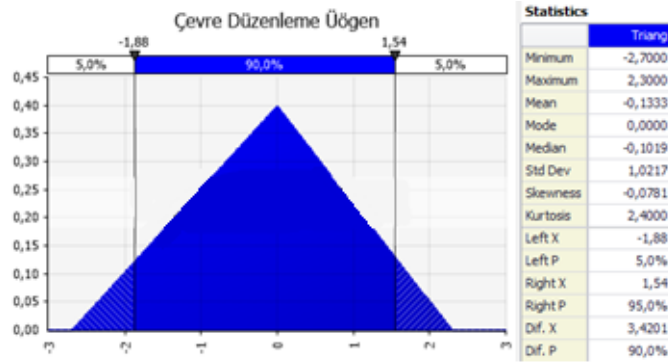
Tablo 7. Mekanik tesisat için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

Olasılık (%)	Üçgen Dağılım Maliyet (%)	Uniform Dağılım Maliyet (%)	PERT Dağılımı Maliyet (%)
1	-4,3917	-4,9260	-3,6497
2,5	-4,0382	-4,8150	-3,2386
5	-3,6399	-4,6300	-2,8354
10	-3,0765	-4,2600	-2,3221
20	-2,2797	-3,5200	-1,6506
30	-1,6683	-2,7800	-1,1497
40	-1,1529	-2,0400	-0,7223
50	-0,6988	-1,3000	-0,3314
60	-0,2883	-0,5600	0,0442
70	0,0918	0,1800	0,8252
80	0,5153	0,9200	1,3017
90	1,0673	1,6600	1,3017
95	1,4577	2,0300	1,6178
97,5	1,7337	2,2150	1,8361
99	1,9786	2,3260	2,0299

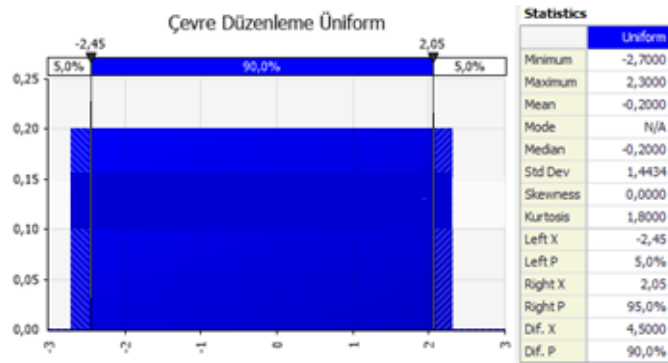
Mekanik tesisat ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %67,6 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %58,8 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %60-%70 arasında olduğu görülmektedir.

## G. ÇEVRE DÜZENLEME

Çevre düzenleme ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 19, Şekil 20 ve Şekil 21 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca çevre düzenleme için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 8 aşağıda verilmiştir.



Şekil 19. Çevre Düzenleme için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 20. Çevre Düzenleme için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 21. Çevre Düzenleme için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 8. Çevre Düzenleme için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

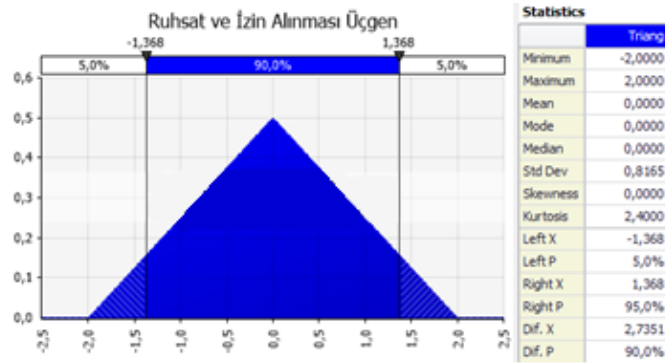
Olasılık (%)	Üçgen Dağılım Maliyet (%)	Uniform Dağılım Maliyet (%)	PERT Dağılımı Maliyet (%)
1	-2,3326	-2,6500	-2,0940
2,5	-2,1191	-2,5750	-1,8722
5	-1,8784	-2,4500	-1,6450

10	-1,5381	-2,2000	-1,3432
20	-1,0568	-1,7000	-0,9289
30	-0,6875	-1,2000	-0,6058
40	-0,3762	-0,7000	-0,3203
50	-0,1019	-0,2000	-0,0509
60	0,1552	0,3000	0,2161
70	0,4426	0,8000	0,4940
80	0,7834	1,3000	0,8020
90	1,2276	1,8000	1,1861
95	1,5417	2,0500	1,4574
97,5	1,7638	2,1750	1,6561
99	1,9609	2,2500	1,8442

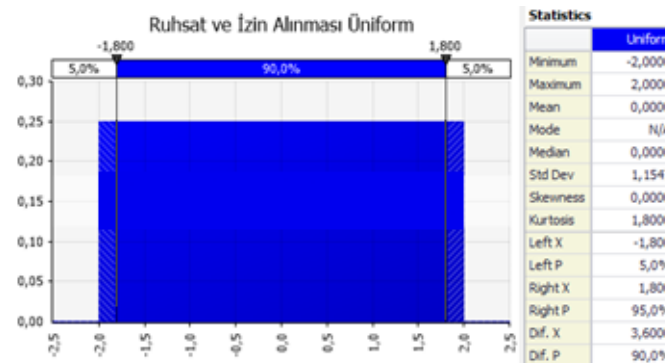
Çevre Düzenleme ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %54 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %51,9 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %50-%55 arasında olduğu görülmektedir.

## H. RUHSAT VE İZİN ALINMASI

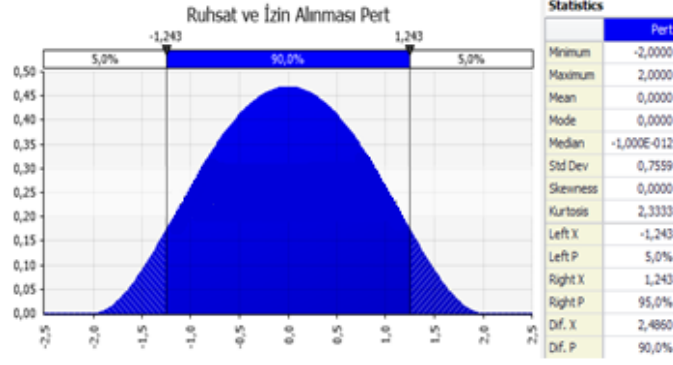
Ruhsat ve izin alınması ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca ruhsat ve izin alınması için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 9 aşağıda verilmiştir.



Şekil 22. Ruhsat ve izin alınması için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 23. Ruhsat ve izin alınması için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 24. Ruhsat ve izin alınması için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 9. Ruhsat ve izin alınması için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

Olasılık (%)	Üçgen Dağılım Maliyet (%)	Uniform Dağılım Maliyet (%)	PERT Dağılımı Maliyet (%)
1	-1,7172	-1,9600	-1,5774
2,5	-1,5528	-1,9000	-1,4135
5	-1,3675	-1,8000	-1,2430
10	-1,1056	-1,6000	-1,0135
20	-0,7351	-1,2000	-0,6936
30	-0,4508	-0,8000	-0,4407
40	-0,2111	-0,4000	-0,2150
50	0	0	0
60	0,2111	0,4000	0,2150
70	0,4508	0,8000	0,4407
80	0,7351	1,2000	0,6936
90	1,1056	1,6000	1,0135
95	1,3675	1,8000	1,2430
97,5	1,5528	1,9000	1,4135
99	1,7172	1,9600	1,5774

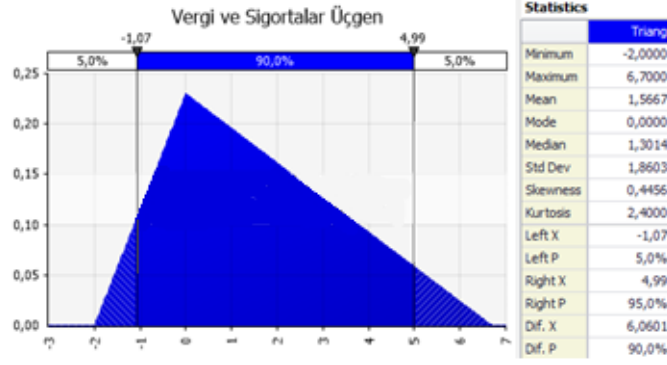
Ruhsat ve izin alınması ana maliyet kalemi için üçgen, uniform ve PERT olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %50 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımı da tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığını aynı yüzde ile göstermektedir.

Ruhsat ve izin alınması ana maliyet kalemi için minimum ve maksimum sapma oranlarının aynı olması nedeniyle olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin gerçekleşmesi ihtimalinde aynı değeri, %50 değerini göstermektedir.

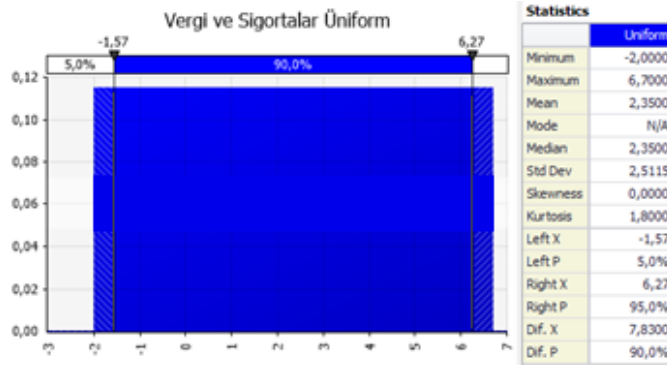
## I. VERGİ VE SİGORTALAR

Vergi ve sigortalar ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca vergi ve sigortalar için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 10 aşağıda verilmiştir.

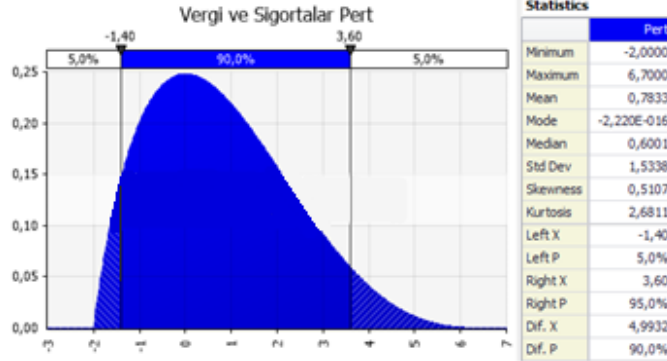




Şekil 25. Vergi ve sigortalar için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 26. Vergi ve sigortalar için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 27. Vergi ve sigortalar için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 10. Vergi ve sigortalar için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

Olasılık (%)	Üçgen Dağılım Maliyet (%)	Uniform Dağılım Maliyet (%)	PERT Dağılımı Maliyet (%)
1	-1,5829	-1,9130	-1,7509
2,5	-1,3405	-1,7825	-1,5904
5	-1,0673	-1,5650	-1,3980
10	-0,6809	-1,1300	-1,1035
20	-0,1345	-0,2600	-0,6332
30	0,3123	0,6100	-0,2165
40	0,7861	1,4800	0,1876
50	1,3014	2,3500	0,6001

60	1,8713	3,2200	1,0402
70	2,5183	4,0900	1,5332
80	3,2856	4,9600	2,1262
90	4,2857	5,8300	2,9467
95	4,9928	6,2650	3,5952
97,5	5,4928	6,4825	4,1187
99	5,9365	6,6130	4,6676

Vergi ve sigortalar ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %23 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %35,4 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %25-%35 arasında olduğu görülmektedir.

Vergi ve sigortalar ana maliyet kalemi tahmin edilen maksimum sapma oranının minimum sapma oranından daha fazla olduğu tek kalemdir. Bu nedenle tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının bu kalemde en az olduğu görülmektedir.

## **V. DEĞERLENDİRME**

Monte Carlo simülasyonu girilen verilere değerler atayarak problemi yaklaşık yollarla çözen bir tekniktir. Dolayısıyla simülasyona girilen veriler, sonuçların doğru veya anlamlı çıkması için hayati önemi sahiptir. Bu çalışmada verilerin TMB üyesi firmalara yapılan anket sonucunda elde edilmesi, çalışmanın Türkiye çapında bir sonuç vermesini sağlamaktadır.

TMB üyesi firmalara yapılan anket sonucunda inşaat ana maliyet kalemlerinden maliyet tahmini en fazla sapma gösteren kalemin toprak işleri ana maliyet kalemi olduğu sonucu çıkmaktadır. Toprak işlerinin hem maksimum sapma oranında hem de minimum sapma oranında en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Bu verilerden anlaşılabilir ki inşaat firmaları yurtiçinde bir projede görev alacakları zaman toprak işleri için maliyet kaleminin minimum ve maksimum sapmasının diğer kalemlere göre daha çok olduğunu göz ardı etmemeleri gerekir.

Vergi ve sigortalar ana maliyet kalemi, öngörülen maksimum sapmanın minimum sapmadan daha fazla olduğu tek kalemdir. Bu da onun olasılık dağılımlarında başlangıçta tahmin edilen maliyetinin gerçekleşme olasılığını %25-%35 arasında tutmaktadır ki; tahmin edilen maliyetin gerçekleşme ihtimali yarıdan az olan tek kalemdir. Bu kısımdan şu anlaşılabilir ki vergi ve sigortalar kalemi, yurtiçi inşaat projeleri için inşaat firmalarının öngördüğü maliyet değerinin gerçekleşme ihtimali az, öngörülen değeri aşma ihtimali fazla olan bir değerdir.

Minimum sapmanın maksimum sapmadan en fazla olduğu kalem alt yapı işleri kalemidir ki bu maliyet kaleminin de tahmin edilen maliyette gerçekleşme ihtimali %70-%80 arasındadır. Geriye kalan %20-%30 ihtimalin hiç de göz ardı edilemeyecek bir oran olduğu aşikardır.

Çalışmada kullanılan istatistiki olasılık dağılımları değerlendirildiğinde; PERT dağılımının standart sapmasının az olması, optimum değerde gerçekleşme olasılığını artırırken, uniform dağılımın standart sapmasının fazla olması ise ona minimum ve maksimum noktaya yakın dağılım gerçekleşmesi olasılığını arttırmaktadır. Üçgen dağılım bu konuda diğer iki dağılım arasında bir grafik göstermektedir. Kullanımı kolay olduğundan inşaat sektöründe sıkça kullanılmaktadır. Herhangi bir analizde üç dağılımdan birini kullanmaya karar vermek için mevcut durumu değerlendirmek gerekir. Eğer belli aralıktaki değerlerin gerçekleşme olasılıkları eşdeğer görülüyor ise uniform dağılımı kullanmak daha doğru sonuçlar verecektir. Bu değerlerden en optimum değer inşaat sektöründe gerçekleşme olasılığı diğer değerlerden fazla görülüyor ise PERT dağılımını kullanmak daha mantıklı olacaktır. Bu değerler hakkında yorum yapılamıyor ise üçgen dağılımı kullanmak daha kolay olacaktır.

Monte Carlo simülasyonu içerisindeki dağılımları değerlendirmek gerekirse mevcut dağılımların hepsinin sınırlı dağılımlar olduğunu yani dağılımlara belli limitler koyulduğunu göz ardı etmemek gerekir. Bu çalışmada sınırların dışına çıkılmaması bile mevcut limitlerin içerisinde çalışmanın üç farklı dağılımda yapılması, hangi maliyet sapmasının hangi olasılık ile gerçekleşeceğini üç farklı dağılımda görmek, sınırlar içerisinde ortaya daha gerçekçi sonuçlar çıkarmaktadır.

Monte Carlo simülasyonunun proje yöneticileri tarafından daha bilindik hale gelmesiyle kullanımın artacağı aşikardır. Simülasyonun mevcut durumunun eleştiriye açık yönleri vardır fakat karmaşık ve büyük projelerde, kullanımının kolay olması ve hızlı sonuç vermesi Monte Carlo simülasyonunun kullanılma oranını arttıracaktır.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] L. O. Uğur, “İnşaat sektöründe riskler ve risk yönetimi,” Türkiye Müteahhitler Birliği, Ankara, 2006.
- [2] F. İncir, “İnşaat sektöründe risk yönetimi ve kaliteye etkisi” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2003.
- [3] R. Kömürlü ve E. Güzelay, “İnşaat Projelerinin Yapımında Risk Yönetim Süreci” *Artium* c. 9, s. 2, ss. 79-86, 2021.
- [4] M. Talat Birgönül ve İ. Dikmen, “İnşaat projelerinin risk yönetimi.” *İMO teknik Dergi*, c. 97, ss. 1305-1326, 1996.
- [5] A. Emhan, “Risk yönetim süreci ve risk yönetmekte kullanılan teknikler,” *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 23, s. 3, ss. 209-220, 2009.
- [6] L.O. Uğur, “İnşaat firmalarının maliyet ve süre belirleme yöntemleri üzerine bir alan çalışması,” İnşaat Yönetimi Kongresi, Ankara, 2007.
- [7] K. Rezaie, M. S. Amalnik, A. Gereie, B. Ostadi and M, “Using extended Monte Carlo simulation method for the improvement of risk management: Consideration of relationships between uncertainties,” *Applied Mathematics and Computation*, vol. 190 no. 2, pp 1492-1501, 2007.
- [8] B. Kaplan, “Genetik Algoritma ve Monte Carlo Simülasyonu ile Bir İnşaat Projesinde Alt Yüklenici Seçimine İlişkin Süre Maliyet Kalite Optimizasyonu ve Risk Değerlendirmesi” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [9] A. Haçerlioğulları, “Monte Carlo Simülasyon Metodu ve MCNP Kod Sistemi,” *Kastamonu Eğitim Dergisi*, c. 14, s. 2, ss 545-556, 2006.
- [10] Y. H. Kwak and L. Ingall, “Exploring Monte Carlo simulation applications for project management,” *Risk management*, vol. 9, no. 1, pp 44-57, 2007.
- [11] W. Edward Back, Walter W. Boles and Gary T. FryBack, “Defining triangular probability distributions from historical cost data,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 126, no. 1, pp 29-37, 2000.
- [12] T. Williams, “The contribution of mathematical modelling to the practice of project managementto the practice of project management” *IMA Journal of Management Mathematics*, vol. 14 no. 1, pp 3-30, 2003.

- [13] R. Graves, "Open and Closed: The Monte Carlo Model," *Pm Network*, vol. 15, no. 12, pp 48-52, 2001.
- [14] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, PMI Project Management Institute, 2013.
- [15] L. O. Uğur, "TMB üyesi inşaat firmalarında planlama, yapı maliyeti hesaplama ve risk yönetimi yaklaşımları," Türkiye Mühendisler Birliği, Ankara, 2007.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Soğuk İklim Bölgelerinde İnce Taneli Zeminlerin Fiziksel ve Mekanik Davranışının İncelenmesi

Serap ATİLA ŞAHİN<sup>a</sup>, Müge Elif FIRAT<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE,

<sup>b</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE,

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: morakoglu@firat.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1057354

### ÖZ

Donma-çözülme döngülerinin çeşitli zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi ve ortaya konulması, soğuk iklim bölgelerindeki temel sistemleri, yol yapımı ve toprak işleri uygulamaları bakımından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, yüksek plastisiteli ince taneli zeminin yükseklik ve su içeriklerindeki değişimleri farklı sayıda donma-çözülme döngülerinden (0, 2, 5 ve 11) sonra incelenmiş ve konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli basınç testleri altındaki davranışlarına ilişkin deneysel sonuçlar sunulmuştur. Zemin numunelerinin yükseklikleri maksimum donma-çözülme döngüsünden sonra %2,44 oranında artarken, su içerikleri %4,36 oranında azalmıştır. Maksimum donma-çözülme döngüsünden sonra, zeminlerin üç eksenli UU basınç dayanımlarında %19-%40 arası, elastisite modüllerinde %30-%40 arası ve kohezyonunda %50,28 oranında azalma görülürken, içsel sürtünme açısında %4,85 oranında artış görülmüştür. Çalışmanın bulguları ince daneli zeminlerde donma-çözülmenin zayıflatıcı ve yapısında bozucu etkilerini doğrular nitelikte olup, özellikle incelenen soğuk iklim bölgesine ait zeminlerin üzerinde yapılacak altyapıların tasarım değerlendirilmesi ve donma-çözülme kaynaklı problemlere karşı önlemler için bilimsel bir temel sağlayabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek plastisiteli zemin, Donma-çözülme döngüleri, Üç eksenli basınç test

## Investigation of the Physical and Mechanical Behaviors of Fine-Grained soils in Cold Regions

### ABSTRACT

Investigation and revealing the effect of freeze-thaw cycles on the physical and mechanical properties of various soils is important in terms of foundation systems, road construction and earthwork applications in cold regions. In this study, the changes in height and water content of high plasticity fine-grained soil were investigated after different number of freeze-thaw cycles (0, 2, 5, and 11) and experimental results on their behavior under unconsolidated-undrained (UU) triaxial compression tests are presented. After the maximum freeze-thaw cycle, while the heights of the soil samples increased by 2.44%, their water content decreased by 4.36%. Moreover, after the maximum freeze-thaw cycle, the triaxial UU compressive strength of the soils decreased by 19%-40%, the elasticity modules decreased by 30%-40%, the cohesion decreased by 50.28%, while the internal friction angle increased by 4.85%. The findings of the study confirm the weakening and deteriorating effects of freeze-thaw cycles in fine-grained soils, and may provide a scientific basis for the design evaluation of infrastructures to be built on soils belonging to the cold regions in this study and to prevent against freeze-thaw problems.

**Keywords:** High plasticity soil, Freeze-thaw cycles, Triaxial compression test

# I. GİRİŞ

Mevsimsel sıcaklık farkları, yıl içinde birkaç kez zeminlerde donma-çözülme de beraberinde getirmektedir. Bu olay zeminde yapısal olarak değişime sebep olduğundan fiziksel özelliklerinin yanında mekanik özelliklerinde de değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimler iklim şartlarına, zemin türüne ve özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bu bakımdan, altyapı sistemlerinin kurulacağı zeminlerde, zemin özelliklerinin tanımlanmasının yanında çevresel faktörlerin etkilerinin incelenmesi de sonradan doğacak problemlerin öngörülmesi ve alternatif çözümler sunulması açısından önemlidir. Altyapı zeminleri, standart temel tasarım limitlerinden daha düşük sıcaklıklara ya da donma sıcaklığına düştüğünde, üzerine gelen normal yüklerden daha fazla yüklemelerle önemli üretim kayıplarına maruz kalabilmekte; bu da finansal kayıplara ve riskli erken mekanik yenilmelere sebep olmaktadır [1].

Soğuk iklim bölgelerinde tasarımdaki zorluk, altyapı zeminlerinin donma ve çözülme süreçlerini kontrol etmektir. Altyapı zeminlerinde üç önemli olay don etkisiyle ilişkilidir: donma kabarması, zeminin çözünmeden dolayı zayıflaması ve çözünmeden dolayı zeminin oturması [2], [3]. Donma-çözülme süreçlerinde zemin değişime uğrayan çok fazlı bir sistem olduğundan donma olayı kaçınılmazdır. Bu bakımdan, herhangi bir mühendislik yapısı inşa edilmeden önce, zeminlerin mevsimsel donma-çözülme analizleri yapılarak, ilgili dayanım parametrelerinin bu koşullar altında belirlenip, daha sonra yapının inşa edilmesi gerekmektedir. Donmuş zeminin çözülmesi sırasında, zemin ortamındaki buz eriyerek zemin yapısı yeni bir boşluk oranına eşit olur [4], [5]. Ayrıca donma ve çözülme döngüleri altyapı zemininin su içeriği, taşıma kapasitesi ve permeabilitesi gibi mühendislik özelliklerinin olumsuz olarak etkilenmesine de yol açmaktadır [6]- [14].

Donma-çözülme döngüsüne maruz kalan zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışları ve kayma mukavemeti genellikle büyük ölçüde değişir. Bu nedenle, zeminler mühendislik altyapısının bir parçası olarak kullanıldığında, uygun bir teknik çözümün belirlenmesi her zaman esastır. Zeminlerin mühendislik özellikleri, hava sıcaklığının 0 °C'nin altına düşerek zemin boşluklarındaki suyun buza dönüşmesi ve donan suyun ısınan hava ile çözülmesi nedeniyle donma-çözülme döngülerinden sonra önemli ölçüde değişecektir. Çünkü donma-çözülme döngülerinden sonra zeminler başlangıç su içeriklerine ulaşamayacaktır [6]-[8].

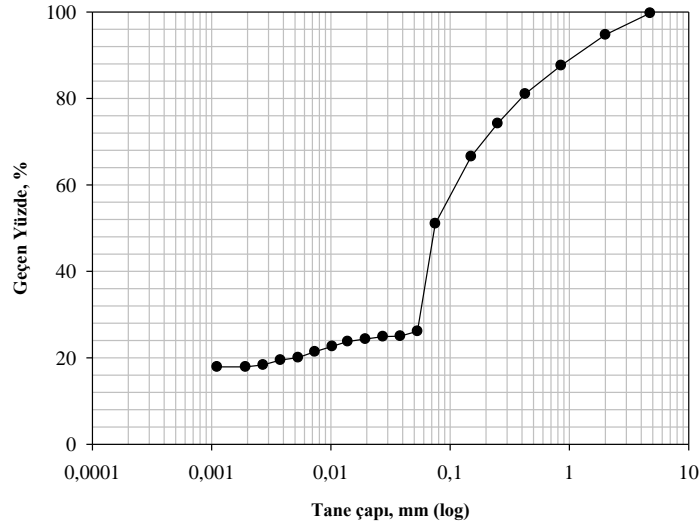
Soğuk iklim bölgelerinde bu güne kadar yapılan çalışmalar hem donma-çözülme sürecinin anlaşılıp değerlendirilmesinin önemini hem de bu süreçte donma-çözülme kaynaklı problemler için alternatif çözümler geliştirilmesi yönünde olmuştur. Önceki çalışmalar, donma-çözülme döngülerinin ince daneli zeminlerin üzerindeki etkilerinin ve yapısal değişimlerinin granüler zeminlerden daha fazla olduğunu göstermiştir [15]-[19]. Bu nedenle, soğuk bölgelerdeki yapıların hizmet ömrü, tasarımı ve inşasında zemin mukavemeti önemli bir sorun teşkil etmektedir.

Donma-çözülme döngülerinin fiziksel özellikler üzerindeki etkilerini araştırmak için yapılan çalışmalar, dane boyutu dağılımı [20], [21], Atterberg limiti [21]-[23] ve boşluk oranı [24] gibi fiziksel parametrelerin bu döngülerden sonra önemli değişikliklere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Diğer taraftan, yapılan çalışmalar, donma-çözülme çevrimlerinin zeminlerin dayanımlarında önemli bir azalmaya sebep olduğunu göstermiştir [24], [25]. Viran ve Binal [20], yüksek plastisiteli kil (CH) ve killi kumlu (SC) zeminlerin farklı donma-çözülme davranışları altındaki fiziko-mekanik özelliklerini incelemişler ve donma-çözülme döngülerinin zeminlerin plastisite, likit limitleri, konsolidasyon parametreleri ve dayanım özellikleri üzerinde önemli sonuçlar elde etmişlerdir. Donma-çözülme döngüleri, SC zemin numunelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerini sırasıyla %95,90 ve %25,44 oranında azaltırken, CH zemin numunelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerini sırasıyla %38,54 ve %36,99 oranında azaltmıştır. Zaimoğlu vd. [26], farklı sayıda donma-çözülme döngüsüne maruz kalmış ince daneli zeminlerin serbest basınç mukavemetleri üzerindeki etkisini incelemek için bir dizi testler yapmışlardır. Donma-çözülme deney sonuçları, belli oranlarda yük uygulanmış ve yük uygulanmamış numuneler için ortaya konulmuştur. Yükleme altında olan zeminlerin donma-çözülme dayanımlarının üzerinde yük olmayan zeminlerden daha az olduğu görülmüştür.

Donma-çözülme döngüleri, soğuk iklim bölgelerinde inşa edilen karayolu, demiryolu ve baraj gibi mühendislik yapılarını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Soğuk iklim bölgelerinde zeminler yılda en az bir donma-çözülme döngüsüne maruz kalırlar. Ayrıca, zeminler genellikle mühendislik altyapısının bir parçası olarak kullanıldığından, uygun bir teknik çözümün belirlenmesi her zaman önemlidir. Bu amaçla, farklı sayıda donma-çözülme döngülerine maruz kalmış killi zeminlerin yükseklik ve su içeriklerindeki değişimleri, konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç testleri altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışları, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve elastisite modülü değerlerini bu çalışmada incelenmiştir.

## **II. MATERYAL-METOT**

Bu çalışmada, üç eksenli basınç testlerinin davranışını belirlemek için Elazığ ilindeki Ataşehir Mahallesi'nde açılmış olan bir temel çukurundan temin edilen killi bir zemin kullanılmıştır. Bu zemin numunesinin laboratuvar çalışmalarından; likit limit değeri %58,23 ve plastisite indeksi %45,67, maksimum kuru yoğunluk 1,656 gr/cm<sup>3</sup> ve optimum su içeriği %21,5 olarak belirlenmiştir. Zemin numunesinin birleştirilmiş sınıflandırma sistemine (USCS) göre sınıfı yüksek plastisiteli bir kil olan CH olarak belirlenmiştir. Şekil 1'de killi zeminin dane boyutu dağılım eğrisini sunulmuştur.



*Şekil 1. Çalışmada kullanılan zeminin dane boyutu dağılımları.*

### **A. ZEMİN NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI**

Bu çalışmada incelenecek zeminin fiziksel özellikleri belirlendikten sonra konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla 38,0 mm çapında ve 76,0 mm yüksekliğinde zemin numuneleri Proktor testi ile belirlenen maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasında hazırlanmıştır. Tablo 1 ve Şekil 2'de numunelerin test planı ve hazırlanma süreçleri gösterilmiştir.

Zemin numuneleri hazırlanırken şu adımlar takip edilmiştir; (i) Optimum su muhtevasında numuneler elde etmek ve su kaybını önlemek için zemin numunesi etüvde 105±5 °C'de 12 saat kurutulmuştur. Gerekli kurutmadan sonra tüm malzemeler soğuması için nem kabineye yerleştirilmiştir. (ii) Proktor testi ile belirlenen optimum su içeriğine göre zemin numunesine yavaş adımlarla su eklenmiş ve yoğurulmuştur. (iii) Daha sonra karışımın içindeki su içeriğinin homojen dağılımını sağlamak için zemin-su karışımı plastik torbalara konularak 24 saat tutulmuştur. (iv) Zeminlerin su içerikleri deneylere başlamadan önce tekrar kontrol edilmiştir. (v) Zemin-su karışımları Şekil 2 (a)'da gösterilen üç eksenli deney numunelerini hazırlama aparatı ile 38,0 mm çapında, 76,0 mm yüksekliğinde numune hazırlayıcı

ile üç tabaka halinde Şekil 2 (b)'deki gibi sıkıştırılmıştır. Numunenin ilk tabakası kalıba yerleştirilmiş ve sıkıştırılmıştır. Daha sonra kalan iki tabaka ilave edilerek ayrı ayrı yerleştirilerek aynı şekilde sıkıştırılmış ve deney numunesi Şekil 2 (c)'deki gibi hazırlanmıştır. (vi) Numunelerin hazırlanmasından sonra, su içeriğini korumak için hızlı bir şekilde plastik ambalajlar ile kaplanmış ve nem kabinlerine yerleştirilmiştir.

**Tablo 1.** Fiziksel ve mekanik testlerin planlanması.

Test	Örnek Boyutları		Zemin Özellikleri			D-Ç sayısı				Sıcaklık*		
	Yükseklik (mm)	Çap (mm)	USCS sınıfı	w* (%)	$\gamma_k^*$ (gr/cm <sup>3</sup> )	0	2	5	11	D (°C)	Ç (°C)	T (°C)
Yükseklik değişimi	76,0	38,0	CH	%21,5	1,656	+	+	+	+	-18	20	~20
Su içeriği değişimi	76,0	38,0	CH	%21,5	1,656	+	+	+	+	-18	20	~20
Statik UU üç eksenli basınç testi	76,0	38,0	CH	%21,5	1,656	+	+	+	+	-18	20	~20

\* w: Su içeriği;  $\gamma_k$ : Maksimum kuru birim hacim ağırlık; D: Donma; Ç: Çözülme; T: Test sıcaklığıdır.



(a)



(b)



(c)

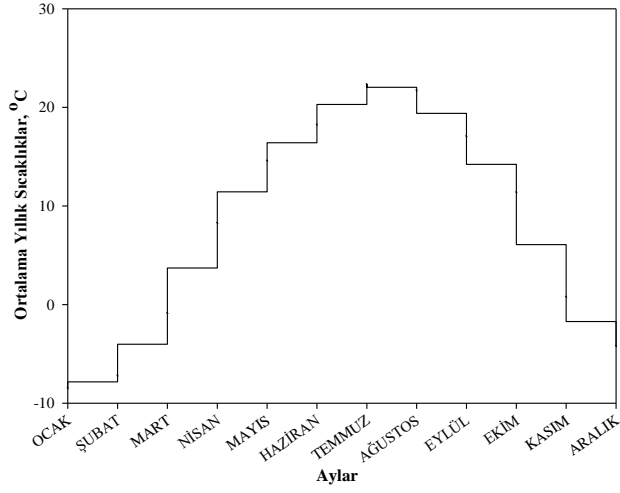
**Şekil 2.** (a) Üç eksenli numune hazırlama aparatı; (b) Zemin numunelerinin hazırlanması ve (c) Hazırlanmış numuneler.

## B. DONMA-ÇÖZÜLME TESTLERİNİN UYGULANMASI

Türkiye'nin doğusunu etkileyen karasal iklimden dolayı, bölgenin büyük çoğunluğu donma etkilerine maruz kalmaktadır. Ortalama yıllık sıcaklıklar göz önüne alındığında, bölgenin donma periyodlarının Kasım - Mart ayları arasında olduğu söylenebilir. Ayrıca, bölgenin yıllık yağış ortalaması 130,4 mm'dir. Şekil 3'de zemin numunesinin alındığı bölgenin aylara göre yıllık sıcaklık değişimlerini gösterilmiştir [27].

Hazırlanan zemin numuneleri, üç eksenli basınç dayanımlarından önce kapalı sistem dondurma kabineye yerleştirilerek, farklı sayılarda donma-çözülme döngülerine (0, 2, 5 ve 11) maruz bırakılmıştır. Donma sıcaklıkları, zemin numunelerinin alındığı yerin yaklaşık ortalama minimum donma sıcaklığı dikkate alınarak seçilmiştir ( $T_{\text{donma}} = -18$  °C).





**Şekil 3.** Bölgenin ortalama yıllık sıcaklık değişimleri (1999-2019 yılları arası) [27].

Şekil 4 (a)'da görüldüğü gibi, zemin örnekleri - 18 °C donma sıcaklığında 12 saat süreyle bir dondurma kabinine yerleştirilmiştir. Dondurma kabininin sıcaklığı ayarlanan sıcaklığa ulaştığında, numuneler ve ortam arasındaki sıcaklık dengesini korumak için 12 saat tutulmuştur. Daha sonra zemin örnekleri Şekil 4 (b)' deki gibi nem kabini içine yerleştirilerek 12 saat çözülme sürecine maruz bırakılmıştır. Tüm bu işlemler tek bir donma-çözülme döngüsü olarak kabul edilmiştir. Ayrıca Şekil 5, zemin numunelerinin sıcaklık kontrol süreçleri ile donma-çözülme döngülerinin zamana bağlı olarak değişimlerini göstermektedir.



(a)



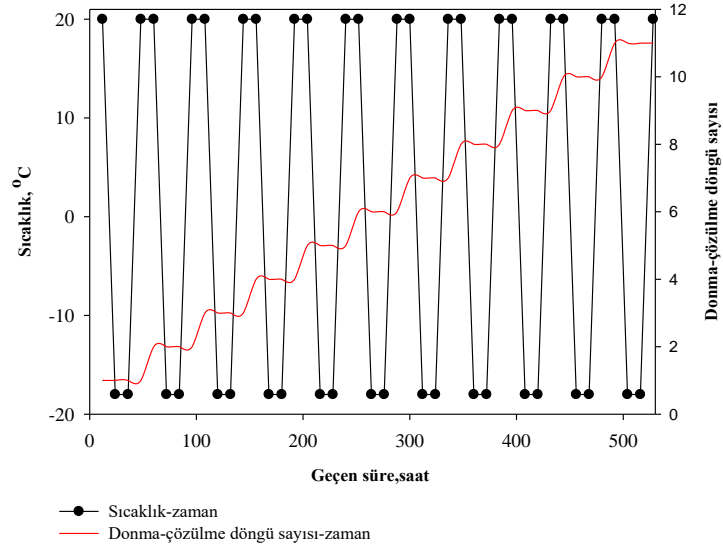
(b)

**Şekil 4.** Donma-çözülme testleri: (a) Donma kabini ve (b) Çözülme süresince test numuneleri.

Soğuk iklim bölgelerinde, yüzey sıcaklığı donma noktasına yaklaştıkça zemin partiküllerindeki su donmaya başlar. Sonuç olarak, oluşan buz parçacıkları ile zeminin hacmi, yüksekliği ve su içeriği gibi fiziksel parametreler yeniden şekillenir. Donma-çözülme döngülerinin en önemli sonuçlarından birisi donma kabarmasıdır. Numunenin hacimsel değişiklikleri üzerindeki farklı etkiler, zemin donduğunda veya çözülmesinde görülür. Donma sürecinde numunenin yüksekliği artarken, çözülme periyodunda numunenin yüksekliği azalmaktadır. Bununla birlikte, donma ve çözülme periyotlarındaki bu hacim değişiklikleri, numunenin ilk yüksekliğine eşit değildir. Bu amaçla, numunelerin yükseklik değişimleri Eş. 1'de verildiği gibi boyutsuz  $H$  parametresi ile hesaplanmıştır;

$$H = \frac{\Delta H}{H_0} \quad (1)$$

burada  $\Delta H$ , zeminin ilk yüksekliği ile  $n$  sayıda donma-çözülme döngüsüne maruz kaldıktan sonraki son yüksekliği arasındaki fark olup,  $H_0$  ise donma-çözülme döngüsüne maruz kalmamış zeminin ilk yüksekliğidir.



Şekil 5. Sıcaklık kontrol süreçleri.

Öte yandan, bu çalışmada, donma-çözülme döngülerinden sonra zemin numunelerinin su içeriklerindeki değişimlerini gösteren, boyutsuz bir parametre olan  $W$ , Eş. 2'deki gibi hesaplanmıştır:

$$W = \frac{\Delta w}{w_0} \quad (2)$$

burada  $\Delta w$ :  $n$  sayıda donma-çözülme döngüsüne maruz kalmış zeminin su içeriği miktarıdır,  $w_0$  ise donma-çözülme döngüsüne maruz kalmamış zeminin başlangıçtaki su içeriğidir.

### C. KONSOLIDASYONSUZ-DRENAJSIZ (UU) ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TESTLERİNİN UYGULANMASI

Bu çalışmada, UU üç eksenli basınç testi ASTM D2850-95 'ye göre yapılmıştır [28]. Bu çalışmada, numunelerin UU dayanımları Fırat Üniversitesi- Teknoloji Fakültesi-İnşaat Mühendisliği Bölümü-Zemin mekaniği laboratuvarında ELE markalı üç eksenli deney aleti ile belirlenmiştir. Donma-çözülme döngülerine tabi tutulan 38,0 mm çapında ve 76,0 mm yüksekliğindeki silindirik zemin numuneleri, dayanım parametrelerini belirlemek için Şekil 6 (a)'daki gibi üç eksenli basınç deney hücresi içine yerleştirilmiş ve hücreye su doldurularak, farklı oranlarda (100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa) yanal hücre basıncı uygulanmıştır. Şekil 6 (b)'de deney sonrası görünümü verilen zemin numunesi, UU yükleme altında kırılma kriterleri %25'lik kesme deformasyonu ile tanımlanmıştır. Gerilme hızı dakikada 0.780 mm'de sabit tutulmuştur.



(a)



(b)

**Şekil 6.** (a) Deney öncesi numunenin görünümü ve (b) Deney sonrası numunenin görünümü.

Bu çalışmada, zeminin üç eksenli basınç testleri altındaki deviyör gerilme-deformasyon ( $\sigma_{dev}-\epsilon$ ) ilişkilerinin yanında kesme dayanımı parametreleri olan kohezyon ( $c$ ) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) değerleri,  $p$ - $q$  grafiklerindeki değişimlerle belirlenmiştir. Bu parametreler Eş. 3 ve Eş. 4 ile hesaplanmıştır:

$$p = \left[ \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)_f}{2} \right] \quad (3)$$

$$q = \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}{2} \right] \quad (4)$$

burada  $\sigma_1$  ve  $\sigma_3$  zeminin yenilme anındaki aksenal ve yanal gerilmesidir. Ayrıca,  $p$  ve  $q$  arasındaki genel ilişki Eş. 5'de verilmiştir:

$$q = b + p \tan \alpha \quad (5)$$

$b$  doğrunun  $q$  eksenine kesiştiği yerde,  $\alpha$  eğimdir. Tablo 2'de gösterilen  $b$  ve  $\alpha$  verileri dikkate alınarak, numunelerin kohezyonu ( $c$ ) ve iç sürtünme açısı ( $\phi$ ) Eş. 6 ve Eş. 7 kullanılarak hesaplanabilir [29]:

$$\phi = \sin^{-1} \tan \alpha \quad (6)$$

$$c = \frac{b}{\cos \phi} \quad (7)$$

**Tablo 2.** Kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesaplama parametrelerinin özeti.

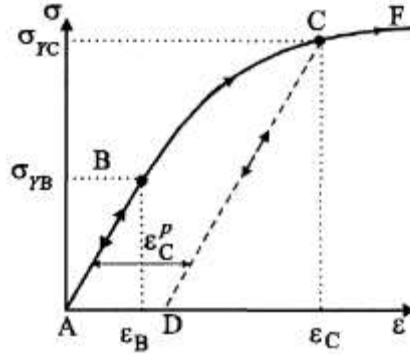
0 D-Ç döngüsü		2 D-Ç döngüsü		5 D-Ç döngüsü		11 D-Ç döngüsü	
$b$	$\alpha$	$b$	$\alpha$	$b$	$\alpha$	$b$	$\alpha$
(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)
72,354	0,1348	50,332	0,1097	34,11	0,1246	36,007	0,1283

Hetorejen, anizotropik ve süreksiz malzemeler olarak tanımlanan zeminler, herhangi bir yükleme altında elasto-plastik davranış gösterirler [30]. Zeminlerin doğal ortamlarındaki koşullarının modellenmesi açısından bazı temel parametrelerinin (elastisite modülü, poisson oranı, kohezyon, içsel sürtünme açısı vb.) bilinmesi önem arz etmektedir. Hooke yasasına göre, herhangi bir malzemenin, elastik sınırlar

içinde gerilmenin, bu gerilmeye bağlı olarak birim deformasyondaki oranı Elastisite Modülü (E) ya da Young modülü olarak tanımlanır ve Eş. 8 ile hesaplanır:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (8)$$

Şekil 7’de görüleceği gibi zeminlerin elastisite modülü (E), gerilme ( $\sigma$ ) - birim deformasyon ( $\varepsilon$ ) eğrisinde B akma sınırına kadar olan lineer kısmın (AB hattının) eğimi olarak tanımlanır. Bu hat üzerinde eğer yükleme kaldırılırsa zemin numunesi herhangi bir deformasyona uğramadan eski haline tekrar dönebilecektir.



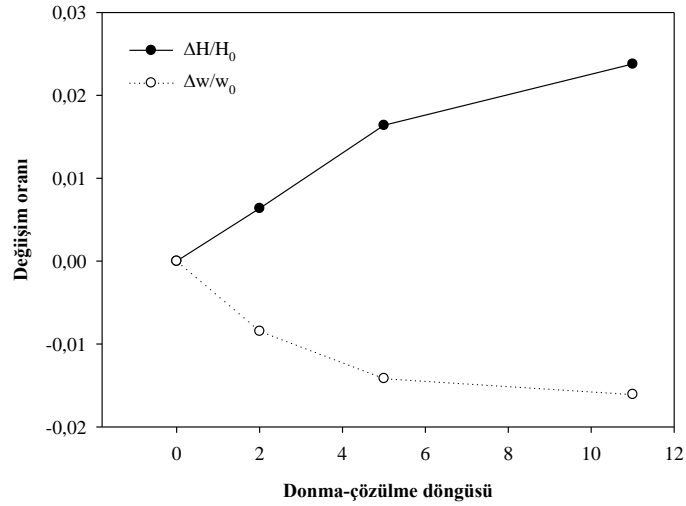
Şekil 7. Gerilme-deformasyon eğrisi üzerinde elastisite modülü [30].

### **III. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **A. DONMA-ÇÖZÜLME DÖNGÜLERİNİN ZEMİN NUMUNELERİN HACİMSEL ÖZELLİKLERİ VE SU İÇERİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Şekil 8’de, farklı sayıda donma-çözülme döngülerine maruz kalan zemin numunelerinin yükseklik ve su içeriklerindeki değişimler verilmiştir. Başlangıçta, artan donma-çözülme döngüleri ile numunelerin su içeriği sert bir şekilde azalmış, daha sonra bu azalma beşinci döngüden on birinci donma-çözülme döngüsüne giderken yavaş yavaş azalma eğilimi göstermiştir. Ayrıca, donma-çözülme döngülerinin artmasıyla numunelerin yükseklikleri artma eğilimindedir. Maksimum donma-çözülme döngüsü, zemin numunelerinin yüksekliklerini %2,44 oranında arttırırken, su içeriklerini %4,36 oranında azaltmıştır.

Her iki değişken, yani yükseklik ve su içeriği değişimleri dikkate alındığında, zemin 11 donma-çözülme döngüsü sonrasında içyapısında yeni bir dengeye ulaşacaktır. Bu denge konumundan sonra zemin numunesinin donma-çözülme sonrasında yükseklik değişimleri kararlı bir duruma ulaşacak ve su içeriğindeki değişim minimum olacaktır.

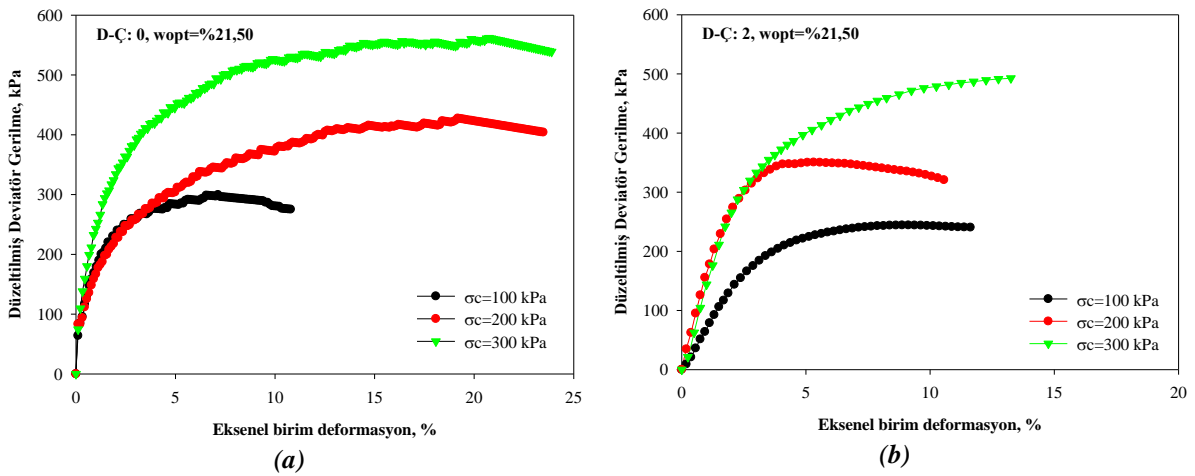


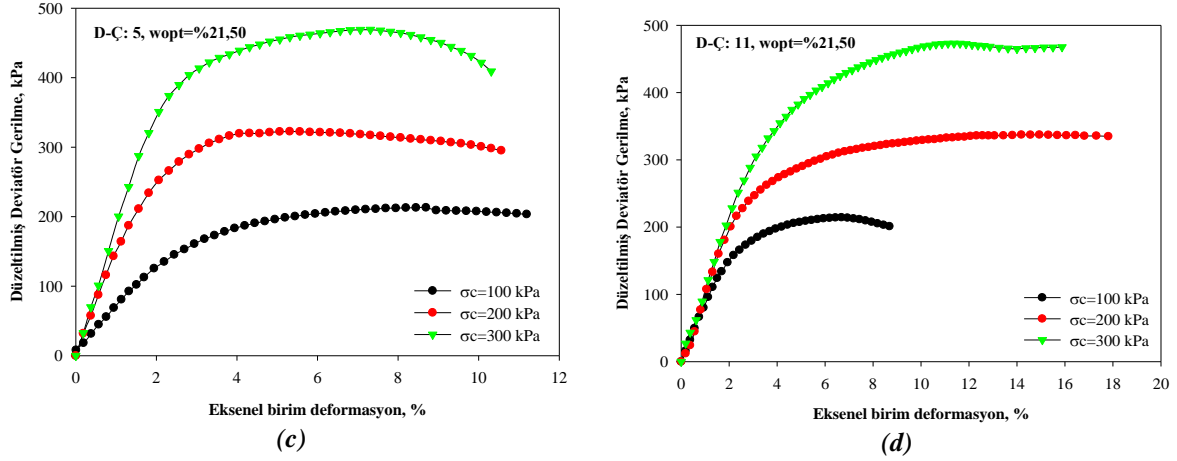
Şekil 8. Donma-çözülme döngülerine maruz kalmış zeminin yükseklik ve su içeriğindeki değişimler.

## B. DONMA-ÇÖZÜLME DÖNGÜLERİNİN ZEMİN NUMUNELERİN GERİLME-DEFORMASYON DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Şekil 9 (a), donma-çözülme döngüleri öncesi farklı hücre basınçları altındaki (100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa) CH zeminine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme davranışını göstermektedir.

Öte yandan, Şekil 9 (b) ve (d) arası zemin numunelerinin sırasıyla 2, 5 ve 11 donma-çözülme sonrası farklı hücre basınçları için (100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa) gerilme-şekil değiştirme davranışları sunulmuştur. Zemin donma periyoduna maruz kaldığında içindeki boşluk suyu buza dönüşür. Bu buz kuvveti, zemin parçacıklarının birbirinden ayrılmasına neden olur ve bu da boşluk suyu basıncını artırır. Ancak, çözülme sırasında artan boşluk suyu basıncı önceki durumuna geri dönemez. Bu nedenle donma-çözülme döngüleri genellikle zemin mukavemetini azaltır. Aynı hücre basıncı altında zemin numunesinin artan donma-çözülme döngülerinden sonra dayanımlarında azalma olduğu görülmektedir. Ayrıca zemin numunelerinin donma-çözülme döngülerinden sonra gösterdikleri davranışlar kırılığandan sünek davranışa doğru olmuştur.

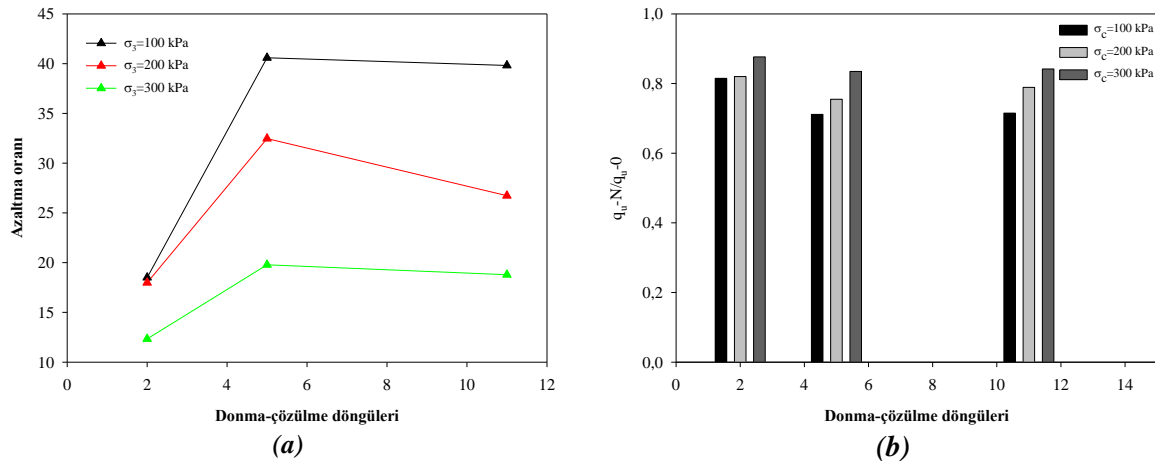




**Şekil 9.** Donma-çözülme döngülerine (D-Ç) maruz kalmış farklı hücre basınçları altındaki zeminin gerilme-deformasyon davranışı (a) D-Ç:0, (b) D-Ç:2,(c) D-Ç:5, (d) D-Ç:11.

Donma-çözülme döngülerinin zeminin üç eksenli basınç dayanımlarını üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmek için, her bir donma-çözülme döngüsü ve hücre basıncı için gerilme azaltma yüzdeleri Şekil 10 (a) ve maksimum gerilme kayıpları Şekil 10 (b)'de gösterilmiştir. Buna göre, donma-çözülme döngüleri, zemin numunelerinin maksimum gerilme değerleri üzerinde azalmaya sebep olmuştur. 11 donma-çözülme döngüsünden sonra, zeminlerin maksimum mukavemetleri %19 ile %40 oranında azalmıştır.

Öte yandan, hücre basıncı, zemin partiküllerinin konsolide olmasına ve hareket etmesine yol açan önemli bir parametredir ve bu nedenle donma-çözülme döngülerinden sonra mukavemet problemlerini tanımlamada önemli bir etkiye sahiptir. 100 kPa hücre basıncı altındaki 299,547 kPa olan maksimum gerilme 11 donma-çözülme döngüsü için %39,83 oranında azalırken, hücre basıncı maksimum değeri olan 300 kPa'a ulaştığında 561,83 kPa'lık maksimum gerilme değeri %18,79 oranında azaldığı gözlenmiştir.



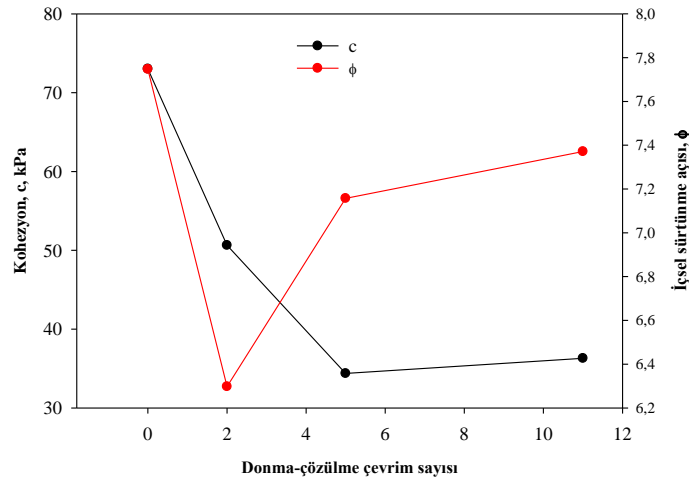
**Şekil 10.** (a) Donma-çözülme azaltma yüzdeleri ve (b) Donma-çözülme kaynaklı gerilme kayıpları.

Şekil 9 ve 10'da görüldüğü gibi, artan hücre basıncına karşı zemin numunelerinin gösterdiği direnç donma-çözülme döngülerine rağmen artma eğilimindedir. En yüksek hücre basıncında, yüksek plastisiteli zemin numunesi daha sünek bir davranış sergilemiştir. Bunun nedeni, hücre basıncının 100 kPa'dan 300 kPa'a artmasıyla zemine etkiyen asal gerilme arttığına, zeminin sürtünme oranının artmasıdır. Donma-çözülme çevrimleri, etkilediği alanda üstyapının yüzeyinde ve mühendislik yapısının temellerinde büyük hasarlara ve çatlaklara sebep olurken, yüksek çevre basıncından kaynaklanan zemin

danelerinin yeniden düzenlenmesi ile bu çatlaklar birbirine yaklaşarak zemin mukavemetini iyileştirebilir. Bu nedenle, donma-çözülme döngülerinin etkisi büyük olanlardan ziyade daha küçük bir hücre basıncı oranında daha belirgindir. Bu sonuçlar, Roustaei vd. [31]'nin yapmış oldukları çalışmalarında benzer bulgulara sahip olduğunu göstermektedir.

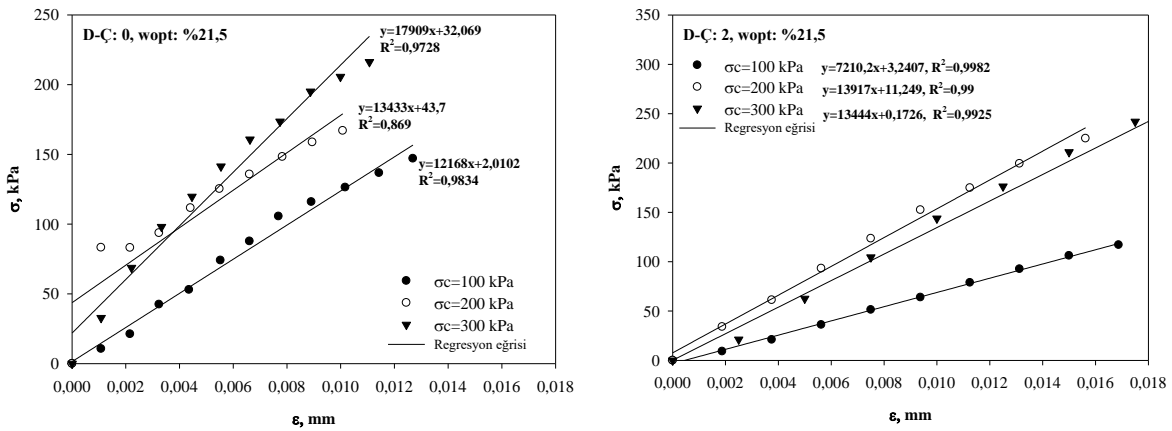
### C. DONMA-ÇÖZÜLME DÖNGÜLERİNİN ZEMİN NUMUNELERİN KESME DAYANIMI PARAMETRELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

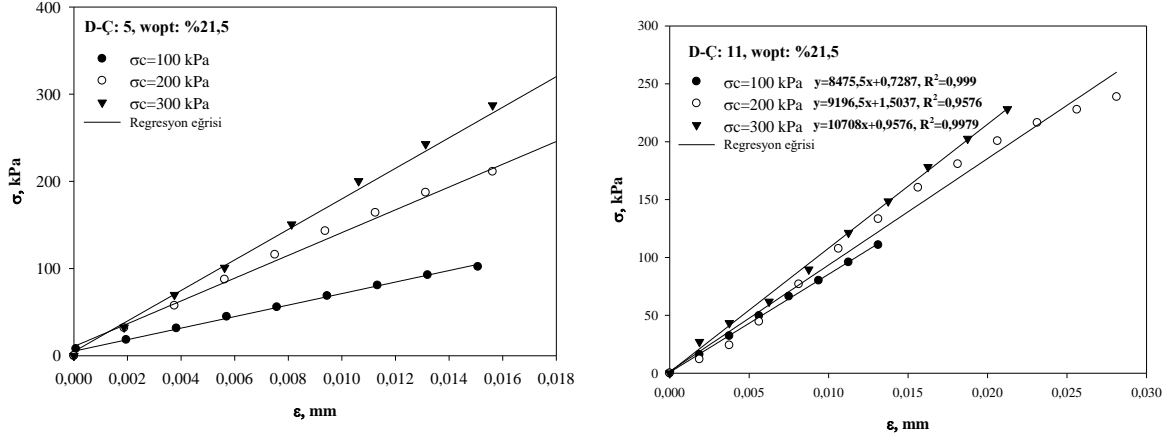
Eşit. 5- 7 ve Tablo 2 göz önüne alınarak, donma-çözülme döngüleri öncesi ve sonrasında zemin numunelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri hesaplanmış ve Şekil 11'de sunulmuştur. Donma-çözülme döngülerinin artmasıyla zeminin kohezyonunun azaldığı gözlenmiştir [31]-[33]. Bununla birlikte, bazı durumlarda, kil parçacıklarının boşlukları ile ilgili olarak, numunelerin artan hacmi nedeniyle, donma-çözülme döngülerinin sayısının artmasıyla (örneğin 11. donma-çözülme çevriminde) birlikte kohezyonda hafif bir artış olmuştur. Öte yandan, içsel sürtünme açısı, donma-çözülme döngülerinin sayısı arttıkça bir artış göstermiştir.



Şekil 11. Donma-çözülme öncesi ve sonrası zeminin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri.

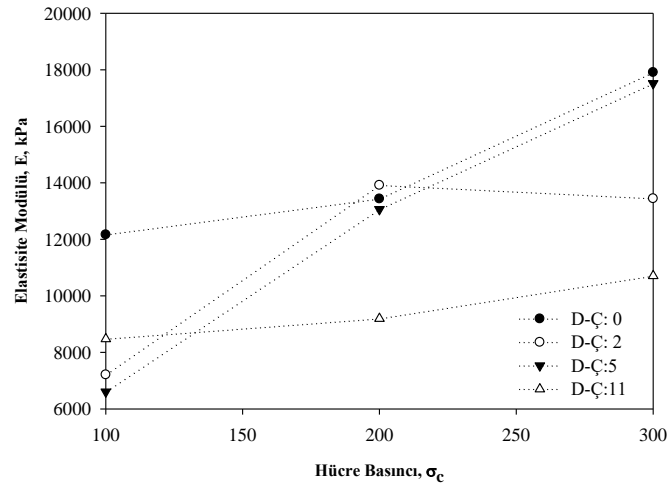
Diğer taraftan, donma-çözülme öncesi ve sonrası zemin numunelerinin elastisite modülleri ( $E$ ), gerilme ( $\sigma$ )- birim deformasyon ( $\epsilon$ ) eğrisi grafiğinden,  $y=ax+b$  biçiminde bir denklemle temsil edilen grafik üzerinde a katsayısı ile kPa cinsinden Şekil 12'deki gibi belirlenmiştir.





Şekil 12. Donma-çözülme öncesi ve sonrası zeminin farklı hücre basınçları altında elastisite modülleri.

Bu zemin numunesi donma-çözülme çevrimlerinden sonra  $\sigma_{dev}-\varepsilon$  grafiği üzerinde daha sünek bir davranış sergilediği için elastisite modüllerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 13’de zeminin elastisite modüllerinin donma-çözülme döngüleri altındaki değişimi verilmiştir. Elastisite modülü, artan donma-çözülme döngüleri ile azalma eğilimindedir. 11 donma-çözülme döngüsünden sonra ortalama %30,345 oranında  $\sigma_c=100$  kPa için, %31,538 oranında  $\sigma_c=200$  kPa için ve %40,209 oranında  $\sigma_c=300$  kPa için azalmaktadır.



Şekil 13. Zemin elastisite modüllerinin donma-çözülme (D-Ç) döngüleri altındaki değişimi.

## IV. SONUÇ

Bu çalışmada, soğuk iklim bölgelerinde bulunan zeminlerin üç eksenli UU basınç dayanımı altındaki davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, zeminin fiziksel özellikleri belirlenmiş ve farklı sayıda donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılan zemin numunelerinin UU üç eksenli basınç testleri uygulanarak davranışları incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Maksimum donma-çözülme döngüsü, zemin numunelerinin yüksekliklerini %2,44 oranında arttırırken, su içeriklerini %4,36 oranında azaltmıştır. Yükseklik ve su içeriği değişimleri dikkate alındığında, bu zemin numunesinin kararlı denge konumuna 11 donma-çözülme döngüsünden sonra ulaşacağı görülmektedir.



- UU üç eksenli deney sonuçlarına göre hücre basıncı arttıkça zemin numunelerinin dayanımı artan donma-çözülme çevrimlerine rağmen artmıştır. En yüksek hücre basıncında, yüksek plastisiteli zemin numunesi daha sünek bir davranış sergilemiştir. Bunun nedeni, hücre basıncının artmasıyla zemine etkiyen asal gerilme arttığına, zeminin sürtünme oranının artmasıdır.
- Aynı hücre basıncı altında zemin numunesinin artan donma-çözülme döngülerinden sonra dayanımlarında azalma olduğu görülmektedir. Ayrıca zemin numunelerinin donma-çözülme döngülerinden sonra gösterdikleri davranışlar kırıldandan sünek davranışa doğru olmuştur.
- 11 donma-çözülme döngüsünden sonra zemin numunelerinin 100 kPa hücre gerilmesi altındaki gerilim azalması %40,04 oranında, 200 kPa hücre gerilmesi altındaki gerilim azalması %27,94 oranında ve 300 kPa hücre gerilmesi altındaki gerilim azalması %18,95 oranında belirlenmiştir.
- 11 donma-çözülme döngüsünden sonra zemin numunelerinin elastisite modüllerinde  $\sigma_c=100$  kPa için %30,345 oranında,  $\sigma_c=200$  kPa için %31,538 oranında ve  $\sigma_c=300$  kPa için %40,209 oranında azalma gözlenmiştir.
- Donma-çözülme döngülerinin artmasıyla zemin numunelerinin kohezyonu azalmıştır. Bununla birlikte, kil parçacıklarının boşlukları ile ilgili olarak, numunelerin artan hacmi nedeniyle, 11. donma-çözülme döngüsünden sonra kohezyonda hafif bir artış gözlenmiştir. Ayrıca, içsel sürtünme açısında, donma-çözülme döngülerinin sayısının artmasıyla bir artış gözlenmiştir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] L. Sun, X. Chang, X. Yu, G. Jia, L. Chen, Y. Wang, and Z. Liu, "Effect of freeze-thaw processes on soil water transport of farmland in a semi-arid area," *Agricultural Water Management*, vol. 252, 106876, 2021.
- [2] X. Lu, F. Zhang, W. Qin, H. Zheng, and D. Feng, "Experimental investigation on frost heave characteristics of saturated clay soil under different stress levels and temperature gradients," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 192, 103379, 2021.
- [3] Y. Lai, W. Pei, M. Zhang, and J. Zhou, "Study on theory model of hydro-thermal-mechanical interaction process in saturated freezing silty soil," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 78, pp. 805–819, 2014.
- [4] A. Li, F. Niu, C. Xia, C. Bao, and H. Zheng, "Water migration and deformation during freeze-thaw of crushed rock layer in Chinese high-speed railway subgrade: Large scale experiments," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 166, 102841, 2019.
- [5] Z. Lin, F. Niu, X. Li, A. Li, M. Liu, J. Luo, and Z. Shao, "Characteristics and controlling factors of frost heave in high-speed railway subgrade, Northwest China," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 153, pp. 33-44, 2018.
- [6] K. Hazirbaba, "Effects of freeze-thaw on settlement of fine grained soil subjected to cyclic loading," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 160, pp. 222-229, 2019.
- [7] L. Tang, S. Tian, X. Ling, and G. Li, "Effect of freeze-thaw cycles on the strength of base course materials used under China's high-speed railway line," *Journal of Cold Regions Engineering*, vol. 31, no.4, pp. 1-9, 2017.

- [8] Z. Lu, S. Xian, H. Yao, R. Fang, and J. She, "Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of compacted soil," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 157, pp. 42-52, 2019.
- [9] H. B. Wei, L. L. Han, Q. L. Li, Z. Q. Li, and Y. P. Zhang, "Research on dynamic compressive stress response of new type filler subgrade in freezing and thawing processes," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 164, 102785, 2019.
- [10] J. E. Aubert, and M. Gasc Barbier, "Hardening of clayey soil blocks during freezing and thawing cycles," *Applied Clay Science*, vol. 65-66, pp. 1-5, 2012.
- [11] Y. Zhang, W. Zhao, W. Ma, H. Wang, A. Wen, and P. Li, "Effect of different freezing modes on the water-heat-vapor behavior in unsaturated coarse-grained filling exposed to freezing and thawing," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 174, 103038, 2020.
- [12] B. Tai, J. Liu, T. Wang, Y. Shen, and X. Li, "Numerical modelling of anti-frost heave measures of high-speed railway subgrade in cold regions," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 141, pp. 28-35, 2017.
- [13] B. Tai, Q. Wu, Z. Zhang, and X. Xu, "Cooling performance and deformation behavior of crushed-rock embankments on the Qinghai-Tibet Railway in permafrost regions," *Engineering Geology*, vol. 265, 105453, 2020.
- [14] J. Gao, Y. Lai, M. Zhang, and D. Chang, "The thermal effect of heating two-phase closed thermosyphons on the high-speed railway embankment in seasonally frozen regions," *Applied Thermal Engineering*, vol. 141, pp. 948-957, 2018.
- [15] S. Ahmadi, H. Ghasemzadeh, and F. Changizi, "Effects of A low-carbon emission additive on mechanical properties of fine-grained soil under freeze-thaw cycles," *Journal of Cleaner Production* vol. 304, 127157, 2021.
- [16] X. Ling, S. Tian, L. Tang, and S. Li, "A damage-softening and dilatancy prediction model of coarse-grained materials considering freeze-thaw effects," *Transportation Geotechnics*, vol. 22, 100307, 2020.
- [17] J. M. Konrad, and M. Samson, "Hydraulic conductivity of kaolinite-silt mixtures subjected to closed-system freezing and thaw consolidation," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 37, no.4, 857e869, 2000.
- [18] J. Qi, P. A. Vermeer, and G. Cheng, "A review of the influence of freeze-thaw cycles on soil geotechnical properties," *Permafrost and Periglacial Processes*, vol. 17, no. 3, 245e252. 2006.
- [19] A. Aldaood, M. Bouasker, and M. Al-Mukhtar, "Impact of freeze-thaw cycles on mechanical behaviour of lime stabilized gypseous soils," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 99, 38e45, 2014.
- [20] P. A. G. Viran and A. Binal, "Effects of repeated freeze-thaw cycles on physico-mechanical properties of cohesive soils," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 11, no. 250, pp. 1-13, 2018.
- [21] E. Özgan, S. Ertürk ve S. Serin, "Donma ve çözülmenin kohezyonlu zeminlerin fiziksel özelliklerine etkisinin incelenmesi," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 7-16, 2012.


- [22] Y. Zheng, W. Ma, and H. Bing, "Impact of freezing and thawing cycles on structure of soils and its mechanism analysis laboratory testing," *Rock and Soil Mechanics*, vol. 36, no. 5, pp. 1282-1287, 2015.
- [23] S. Leroueil, J. Tardif, M. Roy, P. La Rochelle, and J. M. Konrad, "Effects of frost on the mechanical behaviour of Champlain Sea clays," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 28, no. 5, pp. 690-697, 2011.
- [24] Y. Lu, S. H. Liu, E. Alonso, L. J. Wang, L. Xu, and Z. Li, "Volume changes and mechanical degradation of a compacted expansive soil under freeze-thaw cycles," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 157, pp. 206-214, 2019.
- [25] L. Tang, S. Y. Cong, L. Geng, X. Z. Ling, and F. D. Gan, "The effect of freeze-thaw cycling on the mechanical properties of expansive soils," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 145, pp. 197-207, 2018.
- [26] A. Ş. Zaimoğlu, F. Hattatoğlu, ve R. K. Akbulut, "Yüke maruz ince daneli zeminlerin donma-çözülme davranışı," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 19, s. 3, ss. 117-120, 2013.
- [27] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2020, 11 Şubat). *Kış mevsimi yağış değerlendirmesi* [Online]. Erişim: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yagis-raporu.aspx?b=m>.
- [28] Standard test method for unconsolidated-undrained triaxial compression test on cohesive soils ASTM D2850-95, West Conshohocken, PA, 1999.
- [29] D. Wang, W. Ma, Y. H. Niu, X. Chang, Z. Wen, "Effects of cyclic freezing and thawing on mechanical properties of Qinghai-Tibet clay," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 48, pp. 34-43, 2007.
- [30] D. M. Wood, *Soil behaviour and critical state soil mechanics*, 1st ed., New York, USA: Cambridge University Press, 1990, pp. 43-53.
- [31] M. Roustaei, A. Eslami, and M. Ghazavi, "Effects of freeze-thaw cycles on a fiber reinforced fine grained soil in relation to geotechnical parameters," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 120, pp. 127-137, 2015.
- [32] N. Ogata, T. Kataoka, and A. Komiya, "Effect of freezing-thawing on the mechanical properties of soil," In: Kinosita S, Fukuda M (Eds.), *Proceedings of the 4th International Symposium on Ground Freezing*, Japan, 5-7 August 1985, pp. 201-205.
- [33] S. Atila Şahin, "Soğuk iklim bölgelerinde yüksek hızlı demiryolu altyapısının dinamik davranışlarının incelenmesi," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2022.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Comparative Study of Improvement of Hematite as Visible Light-Driven Photocatalyst by Doping with Zinc and Copper

 Emre Alp <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Metallurgy and Materials Engineering Department, Bartın University, Bartın, Turkey

\* emrealp@bartin.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1051644

### ABSTRACT

The low cost, earth abundance, nontoxic, and efficient photocatalysts materials have a critical role in order to solve environmental issues. In this regard, hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) has received significant attention due to its desirable properties. In the present study, zinc-doped and copper-doped hematite nanoparticles were synthesized by the hydrothermal method. The photocatalytic features of produced nanopowders were investigated. The evaluations of photocatalytic activities of synthesized nanoparticles were executed by monitoring the degradation rate of Rhodamine B (RhB) under the solar simulator in heterogeneous photocatalysis. Compared to commercial Degussa TiO<sub>2</sub> powder, the transition metal doped hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) samples showed better photocatalytic activities against RhB under the solar simulator. It was observed that even though there were no significant differences in their characteristic properties strongly affecting photocatalytic activity such as morphological features, optical absorption characteristics, and band gaps, Cu-doped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles exhibited higher photocatalytic activity, which is %20 higher than the Zn-doped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The synthesized Cu-doped hematite nanoparticles are hopeful materials as a visible-light-driven photocatalytic material to degrade organic pollutants in aquatic media.

**Keywords:** Hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Zn-doped Hematite, Cu-doped Hematite, Heterogeneous Photocatalysis

## Görünür-Işık ile Çalışan Fotokatalizör Hematitin Çinko ve Bakır ile Katkılanmasıyla Geliştirilmesinin Karşılaştırmalı İncelenmesi

### ÖZ

Çevre ile ilgili konuların çözümünde, ucuz, bol bulunan, toksik olmayan ve verimli çalışan fotokatalitik malzemeler kritik role sahiptir. Bu açıdan, hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) istenen bu özelliklerden dolayı oldukça ilgi çekmektedir. Bu çalışmada, çinko katkılı ve bakır katkılı hematit nanopartiküller hidrotermal yöntem ile sentezlenmiştir. Üretilen nanotozların fotokatalitik özellikleri incelenmiştir. Sentezlenen nanopartiküllerin fotokatalitik aktivitesi güneş simülatörü altında Rodamin b.'yi parçalama performansı izlenerek belirlenmiştir. Geçiş metalleriyle katkılanmış hematit yapıların Rodamin b.'yi (RhB) parçalama verimi, ticari ürün Degussa TiO<sub>2</sub> tozlara göre daha yüksekti. Fotokatalitik aktiviteyi güçlü bir şekilde etkileyen ışık absorpsiyonu, morfolojik yapı ve optik bant genişliği gibi özellikler açısından büyük farklar olmasa da, Cu-katkılı  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartiküllerin, Zn-katkılı  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartiküllerden %20 kadar daha yüksek fotokatalitik aktive gösterdiği gözlemlendi. Sulu ortamlardaki organik kirliliklerin temizlenmesinde, Cu-katkılı  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartiküller görünür bölgede aktif fotokatalitik malzeme olarak umut verici bir malzemedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Zn-katkılı hematit, Cu-katkılı hematit, Heterojen fotokataliz

## **I. INTRODUCTION**

High efficient photocatalytic nanomaterials are thought to have a crucial role to overcome some most important issues such as clean energy demands, environmental pollution, and global warming [1]. Recent studies have reported that hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) is one of the most up-and-coming materials for solar-related applications due to its high physicochemical stability, low cost, nontoxicity, and narrow optical bandgap (1.9-2.2 eV) [2], which enables it to absorb more portion of solar irradiation relative to conventional photocatalytic materials, such as  $\text{TiO}_2$  and  $\text{ZnO}$ . Although hematite has favorable properties to use in solar-related applications, it has some shortcomings. It suffers from poor electrical conductivity ( $8 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ ) [3], short hole-diffusion length (2-4 nm) [3], low carrier mobility ( $< 1 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) [4], low absorptivity (120 nm  $\lambda=550$  nm) [5] and a very short excited-state lifetime ( $10^{-12}$  s) [6]. To overcome these shortcomings, there are various methods such as manipulation of morphological features [7, 8], surface treatments [9], plasmonic effects [10], and incorporation of dopants [11,12]. These mentioned inherent disadvantages of hematite semiconductors give rise to diminishing their photoactivity. To solve these limitations in the inherent of hematite and ameliorate its properties, doping is one of the effective methods. With this objective, several transition metals such as Sn [13], Ti [14], Mn [15], Zn [16], Mg [17], Nb [18], Cu [19], and Ta [20] have been doped into hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) to improve the photocatalysis efficiency of hematite.

Up to now, various methods have been used to synthesize doped hematite nanostructures, including electrodeposition [21], co-precipitation technique [31], hydrothermal process [22]. Suman et al. [32] synthesized Zn-doped hematite nanopowders with varying concentrations by using a sol-gel process. They reported that the bandgap value of doped nanoparticles reduced relative to pure hematite and the lowest bandgap was Zn %4 doped hematite nanoparticles, belonging to those that were the highest photodegradation activity. Satheesh and co-workers [23] fabricated doped hematite nanoparticles with three different transition metals ( $M = \text{Cu}, \text{Ni}, \text{and Co}$ ) by the co-precipitation method. They observed that Cu-doped hematite particles exhibited higher photocatalytic activity than Ni-doped and Co-doped hematite and moreover, it preserved its activity without significant loss after the four times photodegradation tests.

In the present study, the hydrothermal method was utilized to produce transition metal (Zinc-Zn and Copper-Cu) doped hematite nanoparticles. The photocatalytic efficiency of synthesized nano-particles was carried out by monitoring the degradation of RhB model dye under AM 1.5G solar simulator. The copper- and zinc-doped hematite nanoparticles did not show significant differences in terms of morphological features, optical absorption, and band gaps, but a remarkable difference in their photocatalytic performances was observed. It was observed that the doping with zinc and copper mightily affected the photocatalytic characteristic of nanopowders compared to the photocatalytic activity of commercial Degussa  $\text{TiO}_2$  powder. The superior photocatalytic degradation efficiency was obtained with the copper doped hematite when compared to that of zinc doped hematite and the Degussa  $\text{TiO}_2$  powder.

## **II. EXPERIMENTAL**

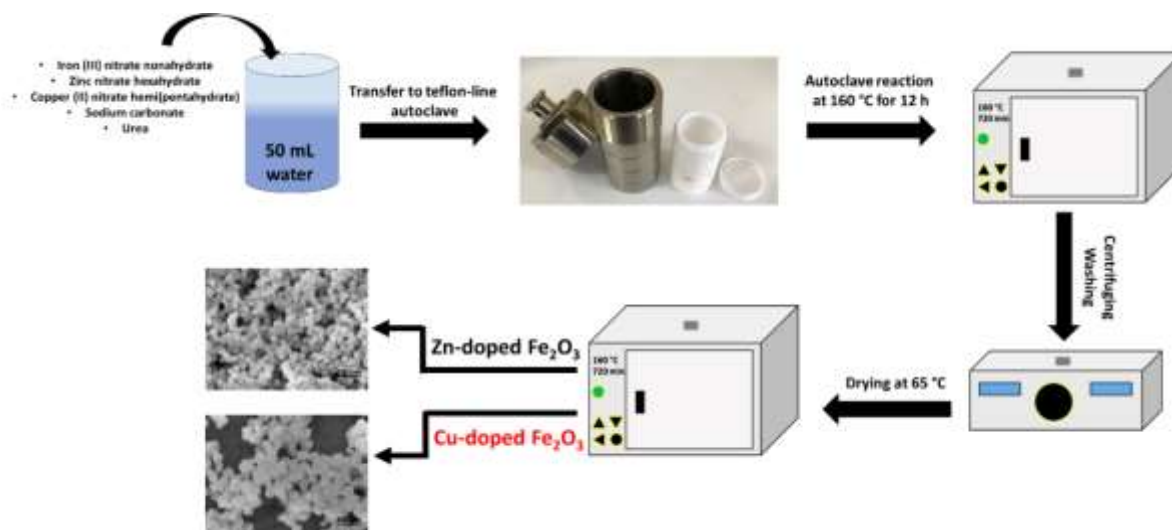
### **A. CHEMICALS AND HYDROTHERMAL SYNTHESIS OF DOPED-HEMATITE NANOPARTICLES**

Iron (III) nitrate nonahydrate ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ), zinc nitrate hexahydrate ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), copper (II) nitrate hemi(pentahydrate) ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ), sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), urea ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ), hydrogen peroxide 30% ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), and rhodamine B ( $\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{ClN}_2\text{O}_3$ ) were purchased from Sigma-Aldrich. All aqueous solutions were prepared with deionized (DI) water (18.2 M $\Omega$ /cm at 25 °C). All used chemicals were of analytical grade and used as received.

To produce the doped-hematite nanoparticles, 900 mg of iron nitrate nonahydrate, 1176 mg of sodium carbonate, and 75 mg urea were dissolved into 50 mL of DI water. These prepared solutions were the same for both nanoparticles fabricated with the different transition metals. Copper (II) nitrate hemi(pentahydrate) and zinc nitrate hexahydrate were added for producing Cu-doped hematite and Zn-doped hematite, respectively. The obtained solutions were transferred to a 100 ml Teflon-lined stainless-steel reactor and then, were placed into a furnace at 160 °C for 12 h. The as-synthesized particles were centrifuged and washed with ethanol and distilled water several times to provide the removal of residuals. Finally, the obtained products were dried overnight. Scheme 1 demonstrates the schematic drawings of the steps of the production procedures for fabricating doped hematite nanoparticles.

## B. CHARACTERIZATION

The microstructural characteristics and chemical analyses of the synthesized doped-hematite nanoparticles were carried out via the field emission gun scanning electron microscope (FESEM). The phase characterization of synthesized nanoparticles was carried out by a RIGAKU SmartLab™ X-ray diffractometer with Cu-K $\alpha$  radiation ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) in the range 20-80°. The degradation rate of pollutants by synthesized nanoparticles during the photocatalytic test was monitored via UV-Vis-NIR spectrophotometers. Also, evaluation of optical band gap value and optical measurement related to doped-hematite nanoparticles were executed out by UV-Vis-NIR spectrophotometers.



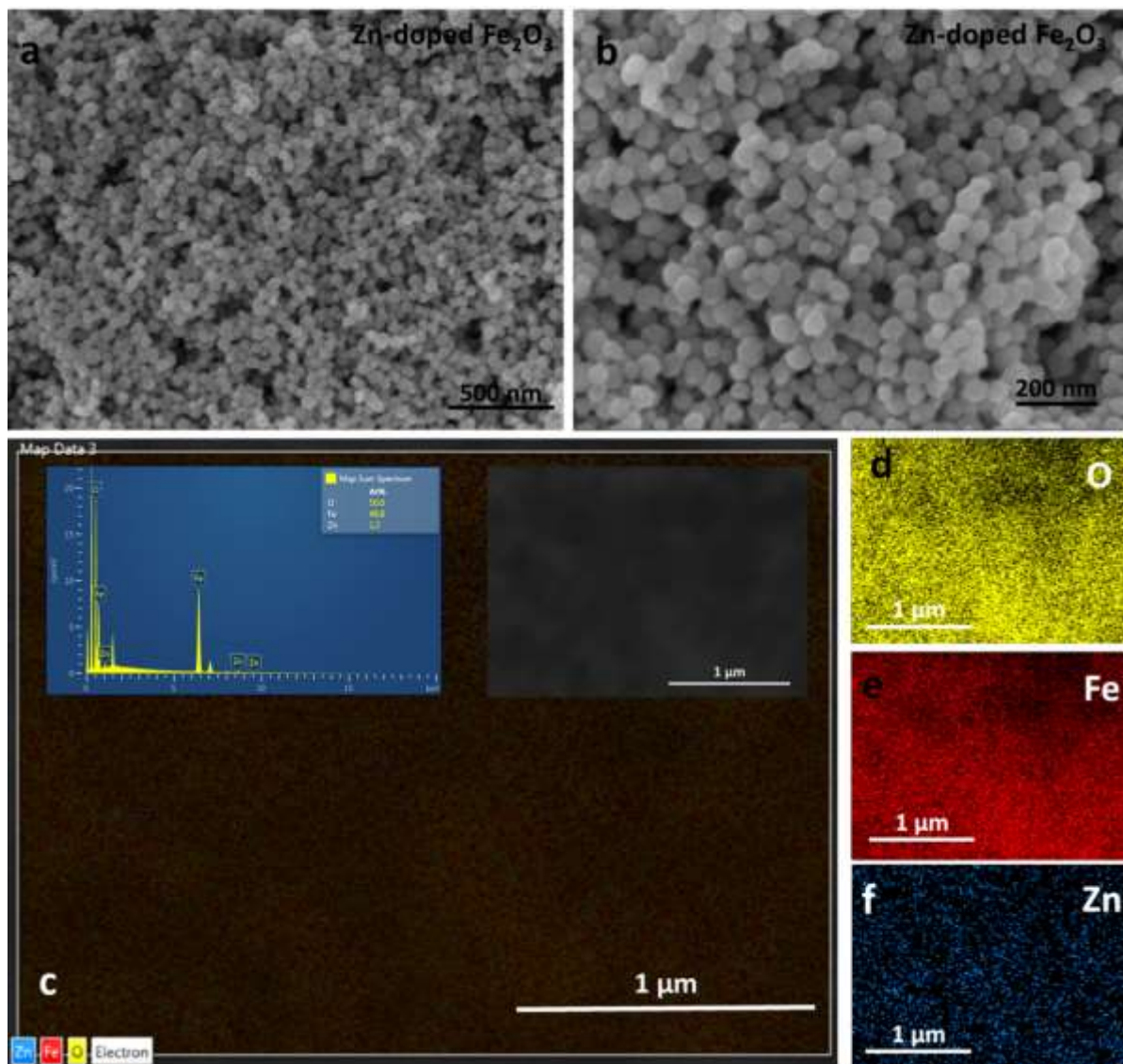
*Figure 1. Schematic illustration of the production of transition metal-doped hematite.*

## C. PHOTOCATALYTIC PROPERTIES

The photocatalytic performances measurements of synthesized transition metal-doped hematite nanoparticles were executed against rhodamine B (RhB) dye in an atmospheric environment. The typically prepared solutions for evaluating the efficiency of produced nanoparticles had the identical concentration of pollutant model molecule (10 mg RhB /L) for all photocatalytic tests. Then, 40 mg of produced nanoparticle materials was added into solution (80 mL) involving the model pollutant, and the suspension was dispersed. 0,5 mL of hydrogen peroxide was added into suspensions as a sacrificial electron scavenger. Before photoexcitation, the suspensions were stirred in the dark for an adequate duration to provide adsorption stability. After the adsorption-desorption process, the suspensions homogeneously dispersed were put under a simulated solar light machine at 15 cm in distance away from the light spot with continuously magnetic stirring. By taking the sample from the suspension at a determined interval time, the photocatalytic degradation rates of the model pollutant were monitored via a spectrophotometer.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

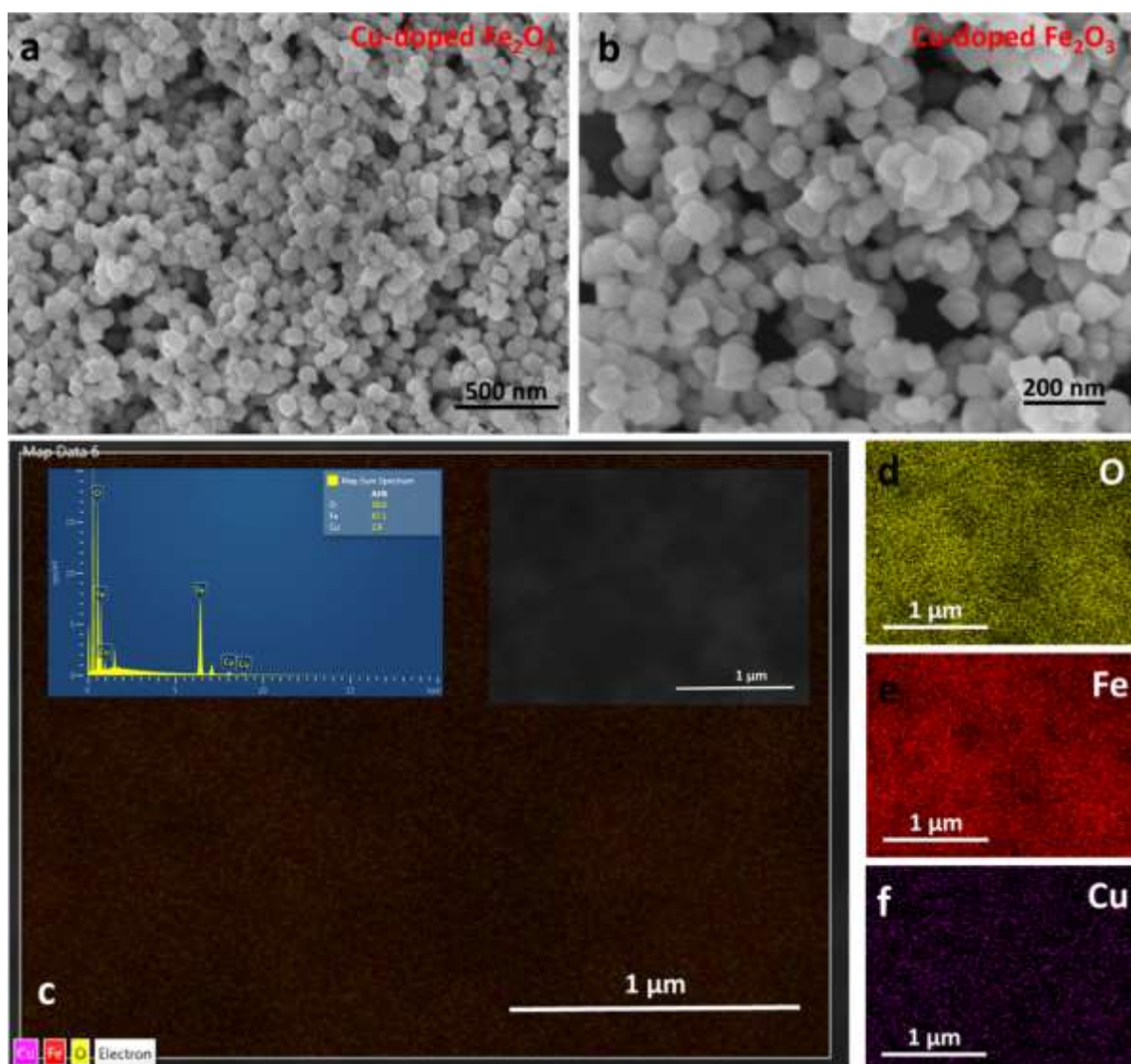
The morphological characteristics, chemical analyses, and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) elemental maps of hydrothermally synthesized nanoparticles are presented in Figures 2-3. As seen from figure 2a-b, produced Zn-doped hematite powders were spherical morphology with an average of 50 nm in size. The fabricated nanoparticles were uniform size and shape distribution as seen from images represented in figure 1a-b. The energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) analysis taken from Zn-doped hematite particles is given in Figure 2c-f, along with elemental mappings. The doping atomic zinc ratio to the hematite was determined as 1.2% by chemical analysis taken from a selected area in the sample.



**Figure 2.** Representative Scanning Electron Microscopy images of the synthesized Zn-doped hematite (a-b). Chemical analysis and EDS elemental mapping of the synthesized Zn-doped hematite (c-f).

The electron microscopy images belonging to Cu-doped hematite nanoparticles are represented in figure 2a-b. Just like in Zn-doped hematite powders in terms of synthesizing homogeneity, their morphological features were also similar to Zn-doped hematite powders but too little larger than them. The doping copper ratio to the hematite was 2.9% at as seen in the EDS spectrum of synthesized particles given inset of figure 3c.

Phase analysis of the synthesized doped-hematite nanoparticles was executed via XRD and patterns belonging to related nanoparticles are presented in figure 3. All diffraction peaks of synthesized hematite nanoparticles are well-matched with JCPDS file data for Zn-doped hematite (drawn as a black line) and Cu-doped hematite (drawn as a red line), which are (012), (104), (110), (113), (024), (116), (214), and (300) peaks of the trigonal structure of the hematite phase ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, space group: R-3c, lattice parameters of a = b = 0.503 nm and c = 1.373 nm, JCPDS file No. 33-0664). No other peak was observed except the hematite phase of iron oxide.



**Figure 3.** Representative Scanning Electron Microscopy images of the synthesized Cu-doped hematite (a-b). Chemical analysis and EDS elemental mapping of the synthesized Cu-doped hematite (c-f).

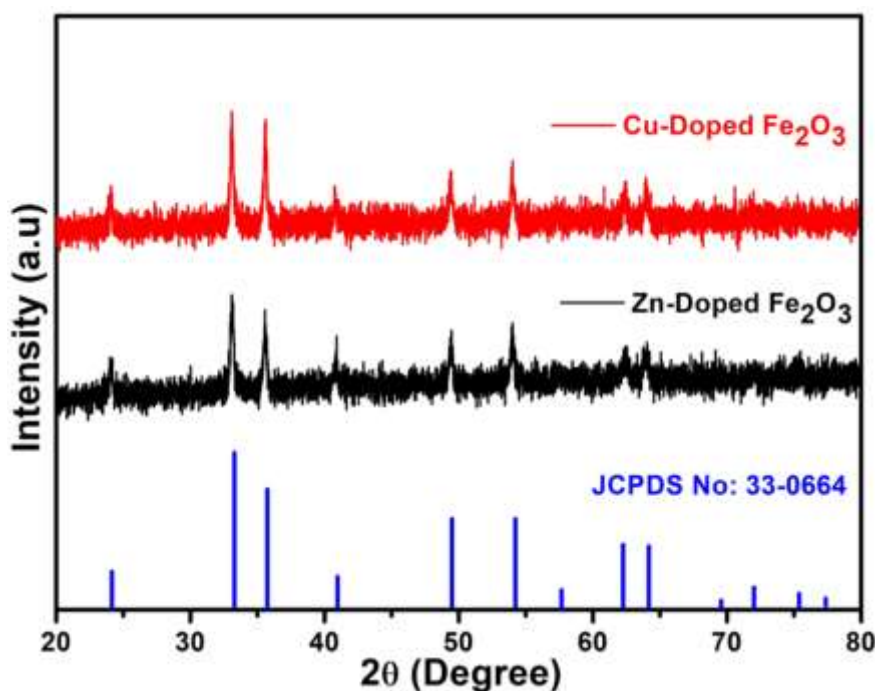
The absorption spectra and the estimated optical band gap values of the produced nanoparticles are given in figure 4. The absorption spectra represented in graphs were derived from using Kubelka-Munk (K-M) Theory [24]. Tauc's approximation given with the equation below is used to evaluate the optical band gap values of materials [25].

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n \quad (1)$$

In the equation,  $\alpha$  is the extinction coefficient which is corresponding to F(R) in the Kubelka-Munk theory. The other variables given in the equation are proportionality constant (A), optical band gap of



the semiconductor material ( $E_g$ : eV), light frequency ( $\nu$ :  $s^{-1}$ ), and Planck constant ( $h$ : J.s). The exponent  $n$  is a constant relating to the electronic transition type.

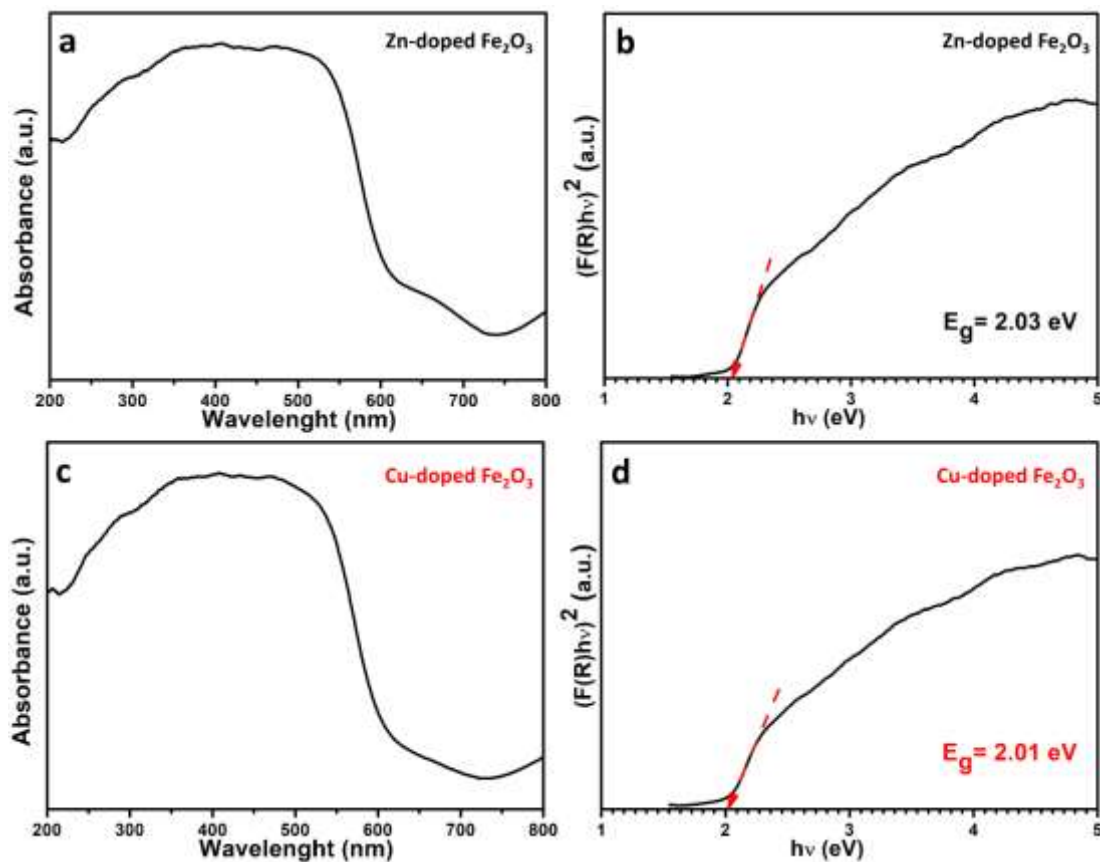


**Figure 4.** XRD diffraction pattern of synthesized doped-hematite particles. (Black pattern and red pattern designate Zn-doped hematite and Cu-doped hematite, respectively.)

In that study, the band type of hematite was taken into account as a direct allowed transition for determining its optical band gap value due to the fact that studies published in the literature [26,10] report that hematite had a direct allowed transition. For this reason, the optical bandgaps of produced powders were determined from the plot of  $h\nu$  vs.  $(F(R)h\nu)^2$  through extrapolating the straight portion to the energy axis at  $\alpha=0$  in figure 4b and figure 4d. The optical bandgap of synthesized particles were calculated to be 2.01 eV and 2.03 eV for Cu-doped hematite and Zn-doped hematite, respectively. The determined optical band gap values for both synthesized nanoparticles were so close to each other. Similarly, it should be noted that the absorption vs. wavelength characteristics of powders were also quite identical. Even though these optical similarities, their photocatalytic performances were reasonably different from each other as would be seen in the following section.

It is known that in the heterogeneous photocatalytic processes, the elimination of pollutant effluents in aquatic media realizes by so-called reactive oxygen species (ROS), such as mainly hydroxyl radicals ( $\cdot\text{OH}$ ), but also singlet oxygen ( $^1\text{O}_2$ ) and superoxide anion radicals ( $\cdot\text{O}_2^-$ ), etc [27]. In the presence of photocatalyst, the reactive oxygen species are produced by photogenerated holes ( $h^+$ ) - electrons ( $e^-$ ) pairs. The hydroxyl radicals ( $\cdot\text{OH}$ ) as the reactive oxygen species, that are generated by photoinduced holes ( $h^+$ ) - electrons ( $e^-$ ) pairs, cause decoloration of dye molecule to harmless products in a photocatalysis process (as presented in a schematic demonstration in figure 5) [28, 29]. In this case study, photogenerated charge carriers in the hematite photocatalyst lead to produce hydroxyl radicals ( $\cdot\text{OH}$ ) by trapping with hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), artificial electron scavenger. The behavior of electrons has two ways: they are caught by hydrogen peroxide to produce hydroxyl radicals and trapped by  $\text{Fe}^{+3}$  on the surface to create  $\text{Fe}^{+2}$ . The pathways of the degradation process could be given by reactions below:

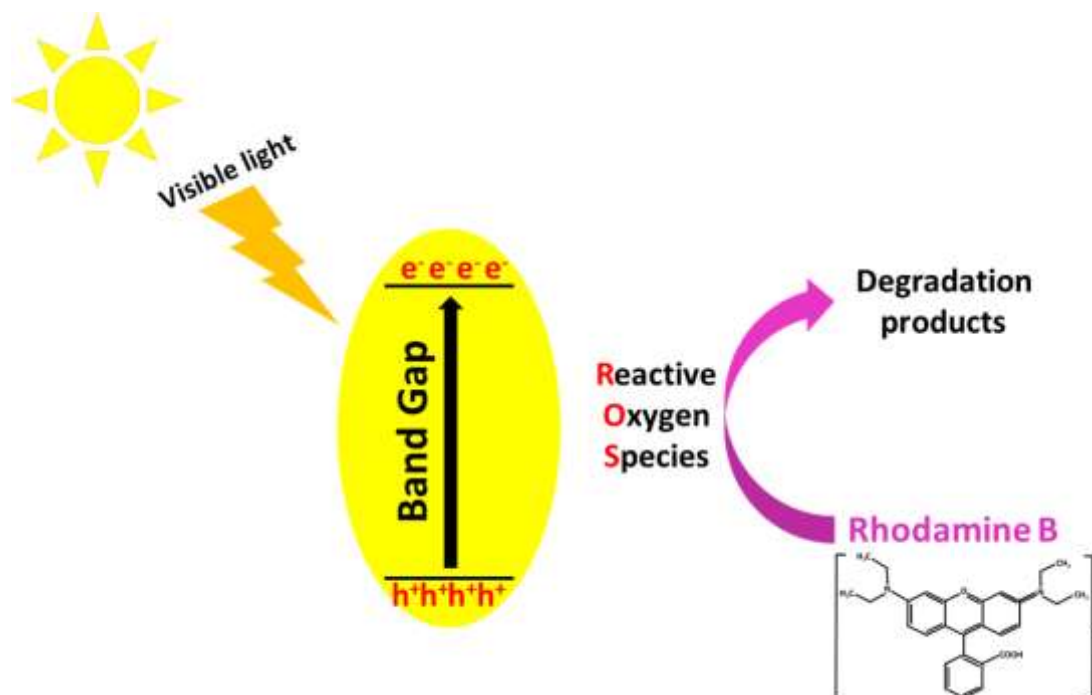




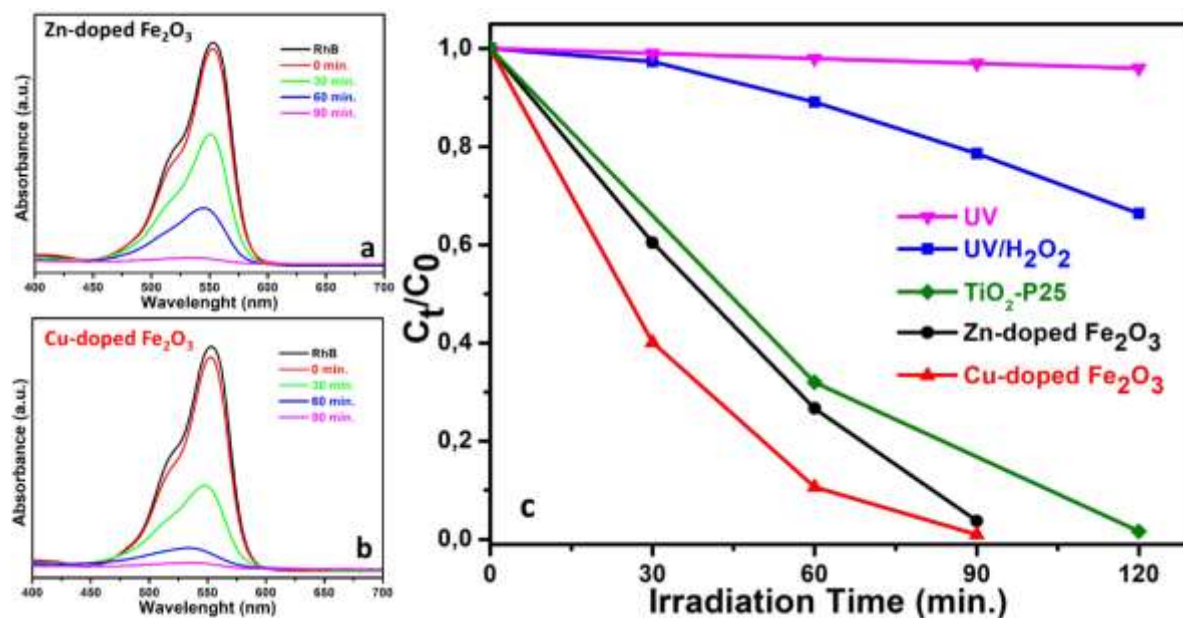
**Figure 5.** Optical properties and calculated band gap values of the doped-hematite nanoparticles. The absorption spectra of a) Zn-doped hematite and c) Cu-doped hematite and evaluation of bandgaps via Tauc-plots for b) Zn-doped hematite and d) Cu-doped hematite.

Figures 6a and 6b show the changes in the absorption spectra of the rhodamine B aqueous solution exposed to solar simulator over time in the presence of transition metal-doped photocatalysts. The degradation rate of RhB during photocatalytic processes was measured by using Beer-Lambert Law [30]. To determine the degradation rate of the organic dye molecules, the maximum absorbance of the spectrum (given in figure 6a-b) obtained in UV-Vis-NIR spectroscopy was used because peak intensity was directly related to dye concentration in the aqueous solution according to Beer-Lambert Law. The transformed graphics of concentration vs irradiation time belonging to synthesized powders are presented in figure 6c along with other photocatalytic reference results. The spectrum marked as zero minutes indicates adsorption curves at which after adsorption/desorption stability between powder and dye is established by magnetically stirring in the dark for 1 hour. Synthesized transition metal-doped hematite powders almost exhibited identical adsorption properties against dye molecules. In order to be clearly monitored the improvements of the hydrothermally fabricated transition metal-doped hematite photocatalysts against model pollutant dye, photolysis of  $\text{H}_2\text{O}_2$  and commercial product Degussa  $\text{TiO}_2$  nanoparticles, which is a widely used photocatalyst, were also studied. It was observed that there was no degradation in the model pollutant under UV light for 2 hours. The photolysis degradation rate by hydrogen peroxide without photocatalytic nanoparticles was 10,8% after 1 hour under the solar simulator, which is given as a blue line in figure 6c. Degussa  $\text{TiO}_2$  powder with an average particle size of 25 nm in size was able to degrade nearly 70% of model pollutant dye in the same duration time. The photocatalytic degradation rate of pollutant molecules executed by Zn-doped hematite nanoparticles, which work in the visible region of the solar spectrum, was slightly higher than the degradation rate performed by the Degussa  $\text{TiO}_2$  powder. The Cu-doped hematite nanoparticles exhibited the highest

heterogeneous photocatalytic performance, which was 90% of RhB in an aqueous solution, in the same working time under solar irradiation. This mentioned result is %20 higher than the value obtained by Zn-doped hematite nanoparticles.



**Figure 6.** Representative degradation mechanism of the synthesized transition metal doped-hematite photocatalysts against Rhodamine B under solar radiation.



**Figure 7.** The photocatalytic degradation test results against organic dye of rhodamine B (RhB) under solar simulator. a) absorption spectrum for Zn-doped hematite, b) absorption spectrum for Cu-doped hematite, and c) transformed time-concentration graph related to synthesized doped-hematite photocatalysts along with photolysis results.

The incorporation of Zn<sup>2+</sup> and/or Cu<sup>2+</sup> ions in Fe<sup>3+</sup> sites results in a charge imbalance in the host lattice. one or more of the following mechanisms can take place for compensating charge neutrality: (1) transformation of Fe<sup>3+</sup> to Fe<sup>2+</sup> state, (b) filling of oxygen vacancies and (c) formation of cation vacancies.

The substitution effect in hematite at the Fe site influences magnetic, optical, and electrical properties. [31, 32, 33]. Mechanisms providing charge neutrality can lead to improving the life of photo-induced charge carriers, the recombination rate of hole-electron pairs, and electrical conductivity. In the view of photocatalytic applications, the photocatalytic performances of catalysts are boosted such ways mentioned. It is thought that the dopant  $\text{Cu}^{2+}$  may act as a trap for photogenerated holes and electrons inhibits the recombination of photo-induced charge carriers [34, 23, 35]. Therefore, the lifetime of charge carriers has also been prolonged. As a result of these mechanisms, much more reactive oxygen species (ROS) are generated, and thus, it results in enhanced photocatalytic activity. Moreover, bandgap, which is slightly narrow relative to Zn-doped hematite particles, and more surface defects arising from Cu-dopant might have contributed to the photocatalytic activity of Cu-doped hematite powders.

## **IV. CONCLUSIONS**

Highly photoactive visible-light-driven photocatalyst nanoparticles and nanoparticles included homogeneously distributed dopants were successfully produced by a basic hydrothermal technique. The synthesized transition metal-doped hematite photocatalysts against RhB dye molecule were studied under AM 1.5G solar simulator. It was found that copper was a highly effective dopant and Cu-doped hematite nanoparticles showed better photocatalytic activity (%20 higher) compared with Zn-doped hematite nanoparticles. Furthermore, both synthesized nanoparticles of Zn-doped and Cu-doped hematite exhibited better photocatalytic activity relative to the reference commercial product of Degussa  $\text{TiO}_2$ . It was important to note that even though there were no significant differences relative to each other, which strongly influence photocatalytic activity such as morphological features, optical absorption characteristics, and band gaps. The photocatalytic activity of Cu-doped  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles was 20% higher than that of the Zn-doped  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . The synthesized Cu-doped hematite particle is a promising candidate as a visible-light-driven photocatalytic material to degrade pollutants in an aquatic media.

## **V. REFERENCES**

- 
- [1] P. Wang, B. Huang, Y. Dai and M.H. Whangbo, "Plasmonic photocatalysts: harvesting visible light with noble metal nanoparticles," *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 14, no. 28, pp. 9813-9825, 2012.
- [2] K. Sivula, F. Le Formal and M. Grätzel, "Solar water splitting: progress using hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) photoelectrodes," *ChemSusChem*, vol. 4, no. (4), pp. 432-449, 2011.
- [3] J.H. Kennedy and K.W. Frese, "Flatband Potentials and Donor Densities of Polycrystalline  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  Determined from Mott-Schottky Plots," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 125, no. 5, pp. 723-726, 1978.
- [4] A.J. Bosman and H.J. Van Daal, "Small-polaron versus band conduction in some transition-metal oxides," *Advances in Physics*, vol. 19, no. 77, pp. 1-117, 1970.
- [5] K. Itoh and J.M. Bockris, "Thin film photoelectrochemistry: iron oxide," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 131, no. 6, pp. 1266-1271, 1984.
- [6] N.J. Cherepy, , D.B. Liston, J.A. Lovejoy, H. Deng and J.Z. Zhang, " Ultrafast studies of photoexcited electron dynamics in  $\gamma$ - and  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  semiconductor nanoparticles," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 102, no. 5, pp. 770-776, 1998.

- 
- [7] S.C. Warren, K. Voitchovsky, H. Dotan, C.M. Leroy, M. Cornuz, F. Stellacci, C. Hébert, A. Rothschild and M. Grätzel, "Identifying champion nanostructures for solar water-splitting," *Nature materials*, vol. 12, no. 9, pp.842-849, 2013.
- [8] M. Li, Y. Yang, Y. Ling, W. Qiu, F. Wang, T. Liu, Y. Song, X. Liu, P. Fang, Y. Tong and Y. Li, "Morphology and doping engineering of Sn-doped hematite nanowire photoanodes," *Nano letters*, vol. 17, no. 4, pp. 2490-2495, 2017.
- [9] L. Xi, P.S. Bassi, S.Y. Chiam, W.F. Mak, P.D. Tran, J. Barber, J.S.C. Loo and L.H. Wong, "Surface treatment of hematite photoanodes with zinc acetate for water oxidation," *Nanoscale*, vol. 4, no. 15, pp. 4430-4433, 2012.
- [10] E. Alp, R. İmamoğlu, U. Savacı, S. Turan, M.K. Kazmanlı and A. Genç, "Plasmon-enhanced photocatalytic and antibacterial activity of gold nanoparticles-decorated hematite nanostructures," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 852, pp.157021, 2021.
- [11] V. Kumar, D.S. Ahlawat, S.A. Islam and A. Singh, "Ce doping induced modifications in structural, electrical and magnetic behaviour of hematite nanoparticles," *Materials Science and Engineering: B*, vol. 272, pp.115327, 2021.
- [12] J. Cai, H. Liu, C. Liu, Q. Xie, L. Xu, H. Li, J. Wang and S. Li, "Enhanced photoelectrochemical water oxidation in hematite: accelerated charge separation with co doping," *Applied Surface Science*, vol. 568, pp. 150606, 2021.
- [13] Y. Ling, G. Wang, D.A. Wheeler, J.Z. Zhang and Y. Li, "Sn-doped hematite nanostructures for photoelectrochemical water splitting," *Nano letters*, vol. 11, no. 5, pp.2119-2125, 2011.
- [14] S.M. Tao, L.Y. Lin and D. Zhou, "Developing hematite homojunction with titanium and magnesium dopants for photocatalyzing water oxidation," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 9, pp. 6321-6328, 2021.
- [15] J. Huang, G. Hu, Y. Ding, M. Pang and B. Ma, "Mn-doping and NiFe layered double hydroxide coating: effective approaches to enhancing the performance of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in photoelectrochemical water oxidation," *Journal of Catalysis*, vol. 340, pp. 261-269, 2016.
- [16] A. Kay, D.A. Grave, D.S. Ellis, H. Dotan and A. Rothschild, "Heterogeneous doping to improve the performance of thin-film hematite photoanodes for solar water splitting," *ACS Energy Letters*, vol. 1, no. 4, pp. 827-833, 2016.
- [17] M. Mohapatra, S. Layek, S. Anand, H.C. Verma and B.K. Mishra, "Structural and magnetic properties of Mg-doped nano- $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles synthesized by surfactant mediation-precipitation technique," *physica status solidi (b)*, vol. 250, no. 1, pp. 65-72, 2013.
- [18] H.W. Chang, Y. Fu, W.Y. Lee, Y.R. Lu, Y.C. Huang, J.L. Chen, C.L. Chen, W.C. Chou, J.M. Chen, J.F. Lee and S. Shen, "Visible light-induced electronic structure modulation of Nb- and Ta-doped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanorods for effective photoelectrochemical water splitting," *Nanotechnology*, vol. 29, no. 6, pp. 064002, 2018.
- [19] A. Ahmadi-Arpanah, H. Meleki-Ghaleh, Z. Dargahi, P. Khademi-Azandehi, G. Mirzaei, Y. Beygi-Khosrowshahi and M.H. Siadati, "The photocatalytic antibacterial behavior of Cu-doped nanocrystalline hematite prepared by mechanical alloying," *Applied Nanoscience*, vol. 11, no. 3, pp. 817-832, 2021.
- [20] X. Zhang, H. Li, S. Wang, F.R.F. Fan and A.J. Bard, "Improvement of hematite as photocatalyst by doping with tantalum," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 118, no. 30, pp. 16842-16850, 2014.

- 
- [21] L. Wang, C.Y. Lee and P. Schmuki, "Ti and Sn co-doped anodic  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films for efficient water splitting," *Electrochemistry communications*, vol. 30, pp. 21-25, 2013.
- [22] D. Cao, W. Luo, M. Li, J. Feng, Z. Li and Z. Zou, "A transparent Ti<sup>4+</sup> doped hematite photoanode protectively grown by a facile hydrothermal method" *CrystEngComm*, vol. 15, no. 13, pp. 2386-2391, 2013.
- [23] R. Satheesh, K. Vignesh, A. Suganthi and M. Rajarajan, "Visible light responsive photocatalytic applications of transition metal (M= Cu, Ni and Co) doped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles," *Journal of environmental chemical engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 1956-1968, 2014.
- [24] P. Kubelka, "New contributions to the optics of intensely light-scattering materials. Part I," *Journal of the Optical Society of America*, vol. 38, no. 5, pp. 448-457, 1948.
- [25] J. Tauc, Optical properties of amorphous semiconductors, *Amorphous and Liquid Semiconductors*, 1st ed., Boston, USA: Springer, 1974, ch. 4, pp. 159-220.
- [26] S. Piccinin, "The band structure and optical absorption of hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): a first-principles GW-BSE study," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 21, no. 6, pp. 2957-2967, 2019.
- [27] W. H. Glaze, J. W. Kang and D. H. Chapin, "The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation," *Ozone Sci. Eng.*, vol. 9, no. 4, pp. 335-352, 1987.
- [28] J.M. Poyatos, M.M. Muño, M.C. Almecija, J.C. Torres, E. Hontoria and F. Osorio, "Advanced oxidation processes for wastewater treatment: state of the art," *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 205, no. 1-4, pp. 187, 2010.
- [29] M.A. Rauf and S.S. Ashraf, "Fundamental principles and application of heterogeneous photocatalytic degradation of dyes in solution," *Chemical engineering journal*, vol. 151, no. 1-3, pp. 10-18, 2009.
- [30] D.F. Swinehart, "The beer-lambert Law," *J. Chem. Educ.*, vol. 39, no. 7, pp. 333, 1962.
- [31] A. Lassoued, M.S. Lassoued, B. Dkhil, A. Gadri and S. Ammar, "Structural, optical and morphological characterization of Cu-doped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles synthesized through co-precipitation technique," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1148, pp. 276-281, 2017.
- [32] S. Chahal, A. Kumar and P. Kumar, "Zn doped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: an efficient material for UV driven photocatalysis and electrical conductivity," *Crystals*, vol. 10, no. 4, pp. 273, 2020.
- [33] A. Yogi and D. Varshney, "Magnetic and structural properties of pure and Cr-doped haematite:  $\alpha$ -Fe<sub>2-x</sub>Cr<sub>x</sub>O<sub>3</sub> (0 ≤ x ≤ 1)," *Journal of Advanced Ceramics*, vol. 2, no. 4, pp.360-369, 2013.
- [34] Z.D. Pozun and G. Henkelman, "Hybrid density functional theory band structure engineering in hematite," *The Journal of chemical physics*, vol. 134, no. 22, pp. 224706, 2011.
- [35] X.Y. Meng, G.W. Qin, S. Li, X.H. Wen, Y.P. Ren, W.L. Pei and L. Zuo, "Enhanced photoelectrochemical activity for Cu and Ti doped hematite: The first principles calculations," *Applied Physics Letters*, vol. 98, no. 11, pp.112104, 2011.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS Kuantum Nokta Katkılı Sıvı Kristal Yapıların Dielektrik Sabitinin Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Tahminlenmesi

Mustafa AKSOY <sup>a</sup>, Gülnur ÖNSAL <sup>b,\*</sup>, Onur UĞURLU <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Akıllı Sistemler Mühendisliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir Bakırçay Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Temel Bilimler Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE  
\* gulnur.onsal@bakircay.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1091499

### ÖZ

Bu çalışmada, Ni(II)Pc (nikel(II)ftalosiyenin) ve CdSeS/ZnS (cadmium selenide sulfide/zinc sulfide) kuantum nokta katkılı 5CB (4-pentyl-4'-cyanobiphenyl) nematik sıvı kristal kompozit yapıların dielektrik özellikleri ile birlikte bu özelliklerin makine öğrenmesi algoritmaları ile tahminlenmesi rapor edilmektedir. Konsantrasyon oranının dielektrik özelliklere etkilerini saptamak için 5CB nematik sıvı kristal yapıya ağırlıkça %2 ve %5 oranında Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılanmıştır. Numunelerin dielektrik ölçümleri, dielektrik spektroskopisi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, dielektrik sabitinin reel ( $\epsilon'$ ) ve sanal bileşenlerinin ( $\epsilon''$ ) tahmini için  $k$ -En Yakın Komşu, Karar Ağacı, Rastgele Orman algoritmaları kullanılmış ve algoritmaların tahmin performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Algoritmalarda girdi parametreleri frekans, voltaj ve katkı oranı; çıktı parametreleri ise, dielektrik sabitinin reel ( $\epsilon'$ ) ve sanal bileşenleri ( $\epsilon''$ ) olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre dielektrik sabitinin en iyi tahmin performansına Rastgele Orman algoritması ile ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Nematik sıvı kristal, Dielektrik özellikler, Makine öğrenmesi

## Estimation of Dielectric Constant of Ni(II)Pc and CdSeS/ZnS QDs Dope Liquid Crystal Structures by Machine Learning Algorithms

### ABSTRACT

In this study, the dielectric properties of Ni(II)Pc (nickel(II)phthalocyanine) and CdSeS/ZnS (cadmium selenide sulfide/zinc sulfide) quantum dot-doped 5CB (4-pentyl-4'-cyanobiphenyl) nematic liquid crystal composite structures along with the prediction of these properties by machine learning algorithms are reported. In order to determine the effects of the concentration ratio on the dielectric properties, 2% and 5% wt/wt Ni(II)Pc and CdSeS/ZnS quantum dots were doped into the 5CB nematic liquid crystal. The dielectric measurements of the samples were carried out using the dielectric spectroscopy method. Moreover,  $k$ -Nearest Neighbor, Decision Tree and Random Forest algorithms were used for the estimation of the real ( $\epsilon'$ ) and imaginary components ( $\epsilon''$ ) of the dielectric constant, and the prediction performances of the algorithms were examined comparatively. According to the results obtained, the best estimation performance of the dielectric constant was obtained with the Random Forest algorithm.

**Keywords:** Nematic liquid crystal; Dielectric properties, Machine learning

# I. GİRİŞ

Sıvı kristaller maddenin katı ve sıvı halleri arasındaki özel bir faz olarak tanımlanır [1]. Elektrik alan, manyetik alan, ısı ve ışık gibi dış etkilere oldukça duyarlı oldukları için ekran teknolojisi, optik anahtarlama, uzaysal ışık modülatörü ve holografik veri depolama gibi çeşitli uygulama alanlarına sahiptir [2]-[4]. Kuantum noktaları [5], ftalosiyanınlar [6], polimerler [7] ve karbon nanotüpler [8] gibi malzemelerin sıvı kristal yapıya katkılanmasıyla yapının özellikleri geliştirebilmektedir.

Bu katkı malzemeleri içerisinde Ftalosiyanınlar aromatik, makrosiklik [9], [10] bileşiklerdir. Ftalosiyanınların moleküler yapısı iki boyutlu  $18\pi$ -elektron konjuge sistemine sahiptir; bu özelliklerinden dolayı elektron transfer kabiliyetine sahiptir [11]. Bu özellikler ftalosiyanınların boyarmadde, mürekkep [12], [13], organik güneş pilleri [14], sıvı kristallerle birleştirilmiş görüntüleme teknolojileri [15] gibi birçok uygulamada kullanılmasına olanak sağlar. Son yıllarda sıvı kristal yapılarda katkı malzemesi olarak tercih edilen bir diğer malzeme de kuantum noktalarıdır. Yarı iletken kuantum noktaları, boyut homojenliği açısından bilimsel ve teknolojik uygulamalar için bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca katkı oranlarında yapılan değişiklik ile sıvı kristal yapıların yönelimlerini değiştirebilmektedir [16]. Yüksek yük taşıyıcı özellik sergilemesi, kuantum nokta ve sıvı kristal molekülleri arasında ekstra dipol oluşumu gibi benzersiz özellikleri nedeniyle, katkılı olduğu kompozit malzemelerin elektriksel, dielektrik ve optik özelliklerini geliştirirler.

DeneySEL çalışmalarında kullanılacak olan kompozit malzemelerin hazırlanma aşaması, yorucu, maliyetli ve zahmetlidir [17]. İstenilen özelliklere sahip kompozit malzemenin oluşturulabilmesi için oldukça fazla sayıda numune hazırlanması ve çok fazla sayıda zahmetli ve maliyetli deney süreçlerinin tekrarlanması gerekir. Bu durum deneySEL çalışmalarda hem zaman hem de maliyet açısından dezavantajdır. Bu çalışmada, son yıllarda araştırmacılar tarafından tercih edilen, deneyleri ve güçlü tahmin algoritmalarını bir arada kullanan yarı deneySEL bir yaklaşım kabul edilmiştir [18]. Elde edilen malzemelerin deney çıktıları dikkate alınarak, üretilmemiş numuneler için olası ve güvenilir sonuçlar üretebilecek matematiksel modeller ve algoritmalar geliştirmek, yukarıda bahsedilen deneySEL dezavantajların üstesinden gelmenin önemli bir yoludur [19].

Karmaşık veriler için yüksek tahmin yeteneği nedeniyle makine öğrenimi tekniklerinin malzeme bilimindeki rolü son yıllarda hızla artmaktadır [20]. Son on yılda, araştırmacıların polimerler gibi farklı malzemelerin fiziksel özelliklerini ve dielektrik sabitlerini tahmin etmek için makine öğrenme algoritmalarını kullandığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Umeda ve arkadaşları malzemelerin dielektrik sabitini tahmin etmek için Doğrusal Ridge yöntemi (Linear Ridge Method), Gauss süreci tekniğini (Gaussian Process Method) ve Rasgele Orman algoritmasını (Random Forest Algorithm) kullanmış ve Rastgele Orman algoritmasının dielektrik sabiti için en iyi tahmin değerlerine sahip olduğunu raporlamışlardır [17]. Pıllania ve arkadaşları, birkaç polimerin dielektrik sabitleri de dahil olmak üzere çeşitli parametreleri tahmin etmek için Kernel Ridge Regresyonunu kullanmış ve bu parametreler için tahmin hatalarının %10'dan az olduğunu bildirmişlerdir [18]. Mannodi-Kanakkithodi ve arkadaşları, polimerlerin elektronik dielektrik sabiti, iyonik dielektrik sabiti ve bant aralığını tahmin etmek için Kernel Ridge Regresyonu, Destek Vektör Regresyonu (Support Vector Regression) ve AdaBoost yöntemlerinin performanslarını araştırmışlardır [21]. Benzer bir çalışma Mannodi-Kanakkithodi ve arkadaşları tarafından da yapılmıştır [22]. Araştırmacılar bu çalışmada istenilen özelliklerde malzeme üretimi için Kernel Ridge Regresyonunu ile bir tahmin modeli geliştirmiş, elektronik ve iyonik dielektrik sabitleri tahmini için maksimum %10 tahmin hatası bildirmişlerdir. Ulusal literatür incelendiğinde de son yıllarda bu kapsamda çalışmaların olduğu görülmektedir. Eyecioglu ve arkadaşları, kütlece farklı polianilin katkılı polipropilen (PP) polimerinin dielektrik fonksiyonlarının gerçek ve sanal bileşenlerinin frekansa bağlı değerlerinin Yapay Sinir Ağları ile tahminlenebileceğini göstermiştir [19]. Kılıç ve arkadaşları polietilenin hem polianilin katkısına hem de sıcaklığa bağlı değişimlerinin, genelleştirilmiş regresyon sinir ağları yöntemiyle %93-%99 arasında değişen doğruluk değeriyle tahmin edildiğini raporlamıştır [23]. Son olarak, Eyecioglu farklı bazalt türü ile katkılanmış polianilin polimer kompozitlerinin frekansa bağlı kompleks dielektrik fonksiyonlarının gerçek ve sanal bileşenlerinin tahminlemede doğrusal regresyon,  $k$ -En Yakın Komşu regresyon ve



Karar Ağacı regresyonu algoritmalarının performanslarını karşılaştırmıştır. Çalışmada Karar Ağacı regresyonu algoritmasının hem gerçek hem de sanal bileşenlerinin tahminlenmesinde en başarılı algoritma olduğu gösterilmiştir [24].

Bu çalışmanın birincil amacı, ftalosiyanın ve kuantum nokta katkılı 5CB (4-pentyl-4'-cyanobiphenyl) sıvı kristal kompozit yapıların dielektrik özelliklerini detaylı olarak araştırmak, ikincil amacı, deneysel verilere makine öğrenme algoritmaları uygulayarak malzemelerin dielektrik sabitlerini tahmin etmek için güvenilir tahmin modelleri oluşturmaktır. Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: ikinci bölümde çalışmada kullanılan materyaller ve makine öğrenmesi algoritmaları açıklanmıştır. Materyallerin deneysel sonuçları ve algoritmaların tahmin sonuçları üçüncü bölümde verilmiştir. Son bölümde çalışmanın genel değerlendirilmesi yapılmış ve gelecek dönemde yapılması planlanan çalışmalardan bahsedilmiştir.

## **II. MATERYAL VE METOD**

### **A. KOMPOZİT MALZEMENİN HAZIRLANMASI**

Bu çalışmada düşük frekans bölgesinde pozitif dielektrik anizotropiye ( $\Delta\epsilon' \geq 0$ ) sahip, %98 saflıkta 5CB (4-pentyl-4'-cyanobiphenyl) nematik sıvı kristal kullanılmıştır. Katkı malzemesi olarak Ni(II)Pc (nikel(II)ftalosiyanın) ve CdSeS/ZnS (cadmium selenide sulfide/zinc sulfide) kuantum nokta kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sıvı kristal, ftalosiyanın ve kuantum nokta Sigma Aldrich Chemical Company'den temin edilmiştir. 5CB nematik sıvı kristal oda sıcaklığında nematik fazdadır ve basit bir moleküler yapıya sahiptir. Ayrıca kimyasal kararlılığı, yüksek dielektrik ve optik anizotropiye sahip olmasından dolayı günümüzde modern cihazlar için yeni fonksiyonel malzemelerin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmada katkı malzemesi olarak seçilen kuantum noktalar yüksek yük transfer özelliklerinden dolayı sıvı kristal moleküllerinin yönelimini kolaylaştırmaktadır. Kullanılan diğer katkı malzemesi ftalosiyanınlar da yüksek elektron transfer kabiliyetine sahiptir. Bu üstün özellikleri sebebiyle çalışmada 5CB nematik sıvı kristal yapı ve katkı malzemesi olarak da kuantum nokta ve ftalosiyanın seçilmiştir.

İlk olarak Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta (10:1 molar oran) ile homojen bir karışım hazırlanmıştır. Elde edilen karışım saf 5CB sıvı kristale ağırlıkça %2 ve %5 oranında katkılanmıştır. Homojen dağılım için tüm numuneler 6 saat 40°C'de ultrasonik banyo kullanılarak karıştırılmıştır. Dielektrik ölçümler için hazırlanan örnekler, kılcallık yöntemi kullanılarak Indium Tin Oxide (ITO) kaplı, 14,6 µm kalınlığında, düzlemsel hizalanmış sıvı kristal hücrelerine enjekte edilmiştir. Sıvı kristal hücreleri Instec, ABD tarafından temin edilmiştir. Numunelerin dielektrik ölçümleri, Novocontrol Alpha A Dielektrik/Empedans Analizörü ile 100 Hz – 10 MHz frekans aralığında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

### **B. MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARI**

Makine öğrenmesi algoritmaları, belirli bir girdi verisi ile çıktı verisi arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir model oluşturmak için bir öğrenme süreci gerçekleştiren yöntemlerdir. Bu öğrenme süreci, girdi ve çıktı arasındaki parametrelerin doğrusal olmayan davranışını tespit etmek yerine, bağımsız bir doğrulama veri kümesinde tahmin hatasını en aza indirecek şekilde modelin hiper parametrelerinin ayarlanması ile gerçekleştirilir. Toplu öğrenme yöntemleri, tek bir öğrenme modeli kullanmak yerine birden fazla öğrenme modelini birleştiren makine öğrenimi alanındaki yeni yaklaşımlardan biridir ve yöntemleri, genellikle tek bir öğrenme modeli kullanan geleneksel öğrenme yöntemlerinden daha yüksek tahmin performansı sağlar [25].

Bu çalışmada, dielektrik sabitlerinin gerçek ve sanal kısımlarını ( $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$ ) tahmin etmek için Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılı 5CB kompozit yapı veri setleri üzerinde geleneksel regresyon algoritmalarından *k*-En Yakın Komşu Regresyonu (*k*-Nearest Neighbor Regression) ve Karar Ağacı Regresyonu (Decision Tree Regression) kullanılmıştır. Bu iki algoritmaya ek olarak, topluluk tabanlı

regresyon algoritmalarından Rastgele Orman Regresyonu (Random Forest Regression) deney verileri üzerinde uygulanmıştır.

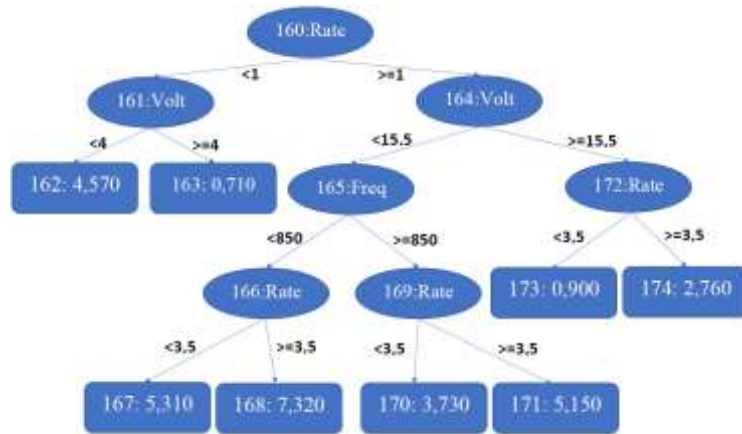
Çalışmada ilk olarak, kompozit yapıların üç girdi parametresi (frekans, voltaj değeri ve katkı oranı) ve iki çıktı parametresi ( $\varepsilon'$  ve  $\varepsilon''$ ) kullanılarak deneysel veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra eğitim adımında  $\varepsilon'$  ve  $\varepsilon''$  değerlerini tahmin etmek için veri setine üç farklı makine öğrenmesi algoritması uygulanmıştır. Bir sonraki adımda, uygulanan algoritmaların tahmin performansları,  $k=10$  olarak seçilerek tekrarlı  $k$ -kat çapraz doğrulama yöntemi ( $k$ -fold cross-validation) kullanılarak değerlendirilmiştir.

$k$ -En Yakın Komşu (kNN), makine öğrenmesi teknikleri arasında en basit ve yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem 1967 yılında T.M. Cover ve P.E. Hart tarafından önerilmiştir. kNN algoritmasında, herhangi bir verinin hangi sınıfa dahil edileceğine  $k$  sayıda yakın komşunun mesafesi dikkate alınarak karar verilir [26]. kNN regresyon için kullanıldığında, verinin değeri kendisine en yakın  $k$  eğitim noktasının ortalaması alınarak tahminlenir. Noktalar arasındaki mesafeyi hesaplamak için Öklid, Manhattan, Hamming gibi farklı metrikler kullanılabilir. Bu çalışmada uzaklık ölçüsü olarak Öklid metriği kullanılmıştır.  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , her biri  $M$  özellikten ve  $N$  noktadan oluşan bir veri seti için,  $x_t$  test noktası ile  $x_i$  eğitim noktası arasındaki öklid mesafesi Eşitlik 1. ile hesaplanır:

$$d(x_t, x_i) = \sqrt{\sum_{m=1}^M (x_{t,m} - x_{i,m})^2} \quad (1)$$

Eşit. 1'de  $x_{t,m}$  ve  $x_{i,m}$  sırasıyla  $x_t$  ve  $x_i$ 'nin  $m$ 'nci özellik değerleridir.

İlk olarak Quinlan tarafından 1986 önerilen Karar ağacı yapısı, hiyerarşik bir böl ve yönet yöntemini uygulayan bir veri yapısı olarak tanımlanabilir [27]. Karar düğümleri ve yaprak düğümlerden oluşan bir karar ağacı, verilerin bir segmentasyonunu temsil eder. Karar ağaçları, standart sapma azaltma (standard deviation reduction) tekniği ile regresyon için kullanılabilir. Karar ağacında bir karar düğümünün, her biri test edilen öznelik değerlerini temsil eden iki veya daha fazla dalı vardır. Yaprak düğümleri ise sayısal hedefi belirler. Bir karar ağacında en üstteki karar düğümüne kök düğüm denir. Karar Ağacı Regresyonu (DT-R), tekrarlayan bölme işlemi yoluyla bağımlı değişkenin sayısal sonuçlarını tahmin etmek için karar ağaçlarını kullanır. Çalışmada kullanılan veri seti ile modellenen bir karar ağacı örneği Şekil 1. ile verilmektedir.



Şekil 1. Karar Ağacı.

Rastgele Orman regresyonu (RF) 2001 yılında Leo Breiman tarafından önerilmiştir. RF birden fazla karar ağacı üretmek doğruluk değerini yükseltmeyi hedefler [28]. Rastgele orman regresyon algoritması, eğitim veri setinin farklı alt kümeleriyle eğitilmiş regresyon ağaçlarının bir araya getirilmesiyle oluşur. RF'nin son tahmini, bireysel regresyon ağaçlarının regresörlerinin ortalamasıdır. Ormandaki ağaç sayısı RF için önemli bir parametredir.

### C. HATA METRİKLERİ

Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılı 5CB kompozit yapıların dielektrik özelliklerinin tahmini için kullanılan makine öğrenmesi regresyon algoritmalarının başarı performanslarının karşılaştırılmasında Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-OMH), Karekök Ortalama Karesel Hata (Root Mean Square Error-KOKH) ve Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) metrikleri kullanılmıştır.

$$OMH = \frac{\sum_{i=1}^N |\bar{y}_i - y_i|}{N} \quad (2)$$

$$KOKH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_i)^2}{N}} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

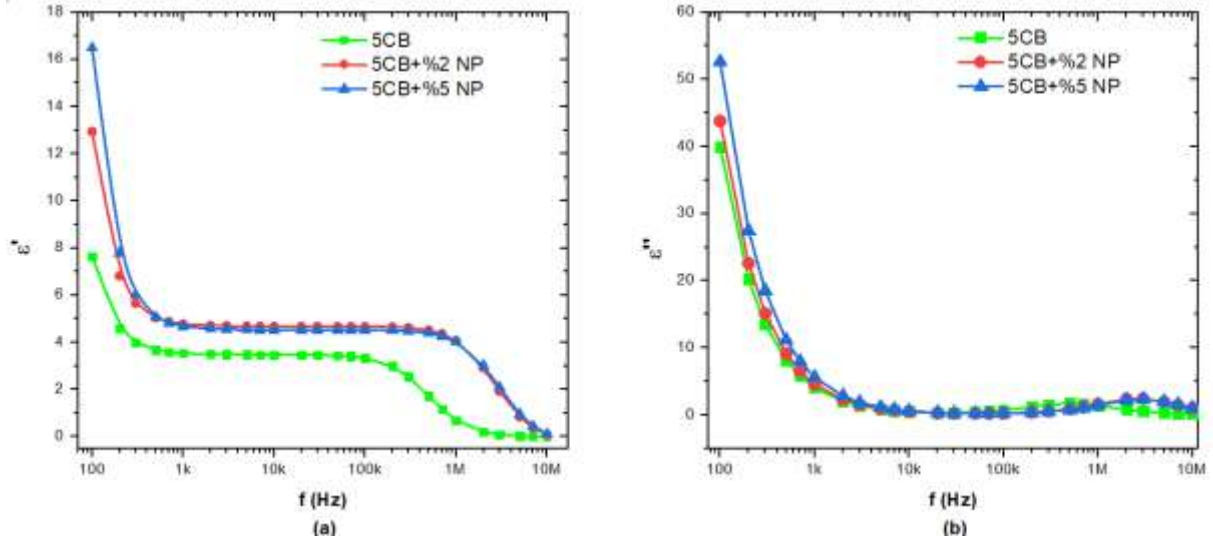
Eşit. 2, 3 ve 4'te  $\bar{y}_i$   $i$ 'nci tahmin edilen değeri;  $\hat{y}_i$ ,  $y$  değerlerinin ortalamasını;  $y_i$   $i$ 'nci örneğin deneyde gözlemlenen gerçek değerini;  $N$  ise toplam örnek sayısını ifade etmektedir.

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

### A. DİELEKTRİK BULGULAR

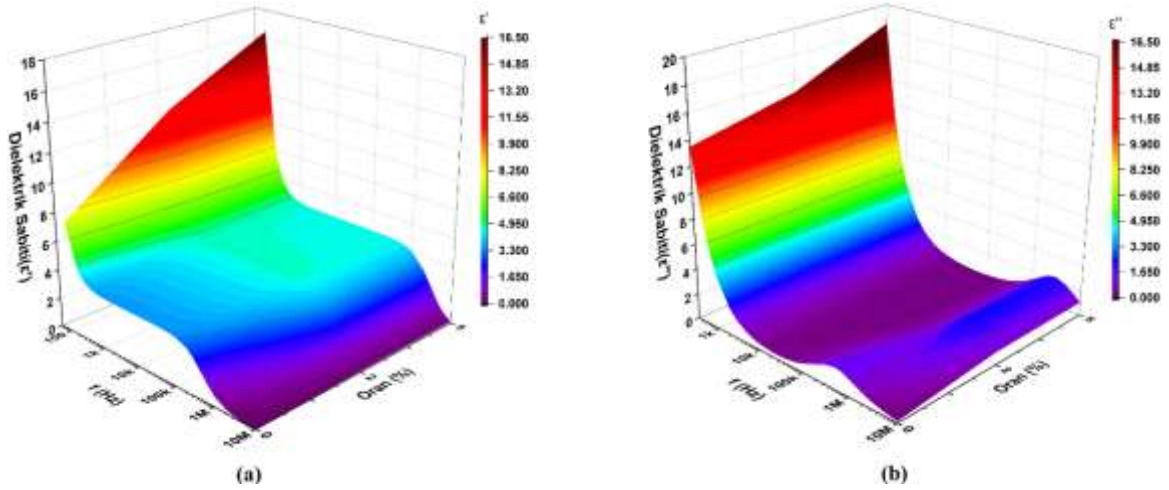
Bu çalışmada, saf 5CB ve Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılı sıvı kristal kompozit yapıların dielektrik özellikleri, dielektrik spektroskopi teknikleri (DST) ile belirlenmiştir. Bu teknik ile sıvı kristal yapılarda önemli parametreler olan dielektrik sabitinin reel ve sanal kısmı frekansa bağlı olarak tüm örnekler için belirlenmiştir.  $\epsilon'$  dielektrik sabitinin reel kısmını ifade eder ve malzemelerde depolanan enerji ile ilgilidir;  $\epsilon''$  dielektrik sabitinin sanal kısmını ifade eder ve malzemelerde dağılan enerji ile ilgilidir.

Şekil 2 (a), saf ve farklı oranlarda Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılı 5CB sıvı kristal kompozit yapıların dielektrik sabitinin reel kısmının ( $\epsilon'$ ) frekansa bağlı değişimini göstermektedir. Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkısı beraber, şekildeki gibi nanoparçacık (NP) olarak, 5CB+%2 NP ve 5CB+%5 NP olarak ifade edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, düşük frekans bölgesinde saf sıvı kristale katkı yapılmasıyla  $\epsilon'$  değeri önemli ölçüde artmaktadır. Bu artışın konsantrasyondaki artış ile de devam ettiği görülmektedir.  $\epsilon'$  değerindeki artış, Ni(II)Pc, CdSeS/ZnS kuantum nokta ve 5CB sıvı kristal arasındaki moleküler etkileşimlere bağlanabilir. Elektrik alan uygulanmasıyla moleküller elektrik alana paralel olarak hizalanır ve böylece kompozit yapıların net dipol momentini artırır, bunun sonucunda da  $\epsilon'$  değerinde bir artış görülmektedir. Ayrıca frekansın artmasıyla dipoller test sinyalinin takip edemez ve dipoller ile elektrik alan arasında bir faz gecikmesi meydana gelir. Bunun sonucunda da polarizasyon azalır. Bu sebeple tüm örnekler için artan frekansla  $\epsilon'$  değerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 2. Kompozit yapıların 1 Volt gerilimde a)  $\epsilon'$  - f b)  $\epsilon''$  - f grafiği.

Şekil 2 (b), saf ve farklı oranlarda Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılı 5CB sıvı kristal kompozit yapıların dielektrik sabitinin sanal kısmının ( $\epsilon''$ ) frekansa bağlı değişimini göstermektedir. Kompozit yapıların relaksasyon davranışlarını araştırmak için kullanılan  $\epsilon'' - f$  grafiğinin tepe noktasına karşılık gelen frekans değerine relaksasyon frekansı ( $f_R$ ) denir. Relaksasyon frekansı, incelenen sistemlerin moleküler hareketleri hakkında bilgi veren bir parametredir. 5CB, 5CB+%2 NP ve 5CB+%5 NP kompozit yapılarının relaksasyon frekans değerleri sırasıyla 526 kHz, 2,58 MHz ve 2,82 MHz'dir. Şekilde görüldüğü gibi Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkısıyla  $f_R$  değerinin yüksek frekans bölgesine doğru kaydığı gözlemlenmektedir. Bu sonuç Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkısının kompozitlerin çalışma frekans aralığını genişlettiğini göstermektedir.



Şekil 3. Kompozit yapıların sabit 1 V geriliminde dielektrik sabitinin a) gerçek ( $\epsilon'$ ) b) sanal ( $\epsilon''$ ) kısmının frekans ve katkı yüzdesiyle değişimi.

Deneysel veriler kullanılarak, 1 V gerilim değerinde dielektrik sabitinin gerçek ve sanal kısmının değişimi 100 Hz-10MHz frekans aralığında ve farklı katkı yüzdeleri için beraber incelenmiştir. Bu değişim Şekil 3'te üç boyutlu grafik ile verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi en yüksek  $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$  değerinin %5 katkı oranına sahip kompozit yapı için 100 Hz frekans değerinde olduğu tespit edilmiştir.

## B. MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARI İLE DİELEKTRİK SABİTİ TAHMİNİ

### B. 1. Veri Seti

DeneySEL veri seti, üç girdi parametresi (frekans, voltaj değeri ve dağılım oranı) ve iki çıktı parametresi ( $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$ ) olan 1953 veri içerir. DeneySEL veri kümesinin parametrelerinin temel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Veri setinin özellikleri.

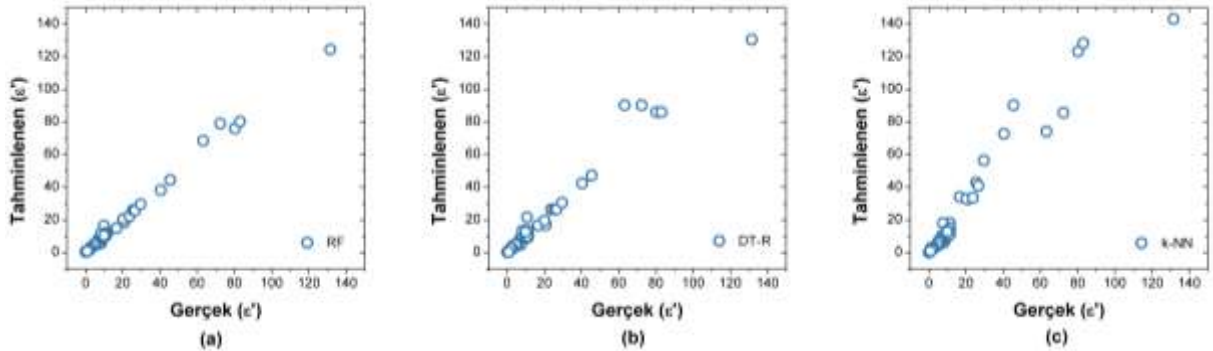
Parametre	Frekans (Hz)	Voltaj (V)	Katkı Oranı (%)	$\epsilon'$ ( $\epsilon$ )	$\epsilon''$ ( $\epsilon$ )
Minimum	10	0	0	0,002	0,095
Maksimum	10000000	20	5	206,655	233,065
Ortalama	967741,29	10	2,333	12,065	12,537
Standart Sapma	2271411,12	6,057	2,055	27,135	29,012

### B. 2. Hiper Parametrelerin Belirlenmesi

Bu çalışmanın regresyon algoritmaları WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Regresyon algoritmalarının hiper parametrelerinin, aşırı öğrenmeyi önleme ve tahmin performansları artırma üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ağaç tabanlı topluluk yöntemi olan RF'nin en önemli üç temel hiper parametresi; tahmin edici sayısı, bir iç düğümü bölmek için minimum örnek sayısı ve ağaç yapısı için özellik sayısıdır. RF algoritmasında tahminci sayısı 100 olarak seçilmiştir. Seed sayısı 1, iterasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir. Diğer iki hiper parametre, en yüksek tahmin performansına sahip olduğu gözlemlenen varsayılan değer olarak seçilmiştir. kNN algoritmasında, regresyon modelinin başarısında komşu sayısı  $k$  ve uzaklık ölçütleri önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada varsayılan değer olan Öklid metriği seçilirken  $k$  parametresi 3 olarak seçilmiştir. DT-R algoritması için ise tahminci sayısı 100 olarak belirlenmiştir.

### B. 3. Tahmin Sonuçları

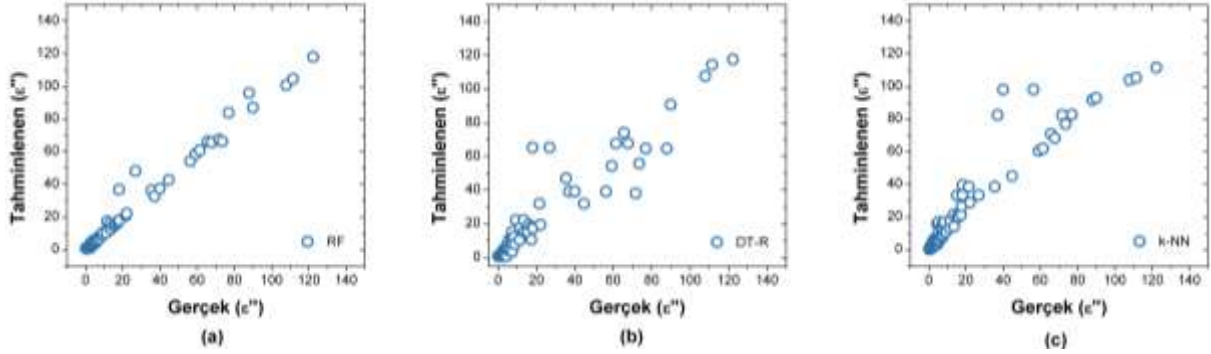
Regresyon algoritmaları,  $k=10$  olarak ayarlanarak  $k$ -kat çapraz doğrulama tekniği kullanılarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Algoritmaların  $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$  değerleri için tahmin performansları OMH, KOKH ve  $R^2$  hata metrikleri kullanılarak ayrı ayrı test edilmiştir.



Şekil 4. Dielektrik sabitinin Reel kısmının ( $\epsilon'$ ) a) Random Forest (RF), b) Decision Tree Regression (DT-R) ve c)  $k$ -En Yakın Komşu ( $k$ -NN) algoritmaları ile karşılaştırmalı tahmin performansı grafiği.

Şekil 4'te dielektrik sabitinin reel kısmının ( $\epsilon'$ ) RF, DT-R ve  $k$ -NN algoritmaları ile tahmin performanslarına ait grafik verilmiştir. Yatay eksen dielektrik sabitinin reel kısmının gerçek değeri,

düşey eksen ise dielektrik sabitinin reel kısmının algoritmalar tarafından tahmin edilen değerlerini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde RF algoritmasının daha doğru tahminler yaptığı açıkça görülmektedir. Buna karşın DT-R algoritmasının dielektrik sabitinin düşük değerleri için daha doğru sonuçlar üretirken nispeten daha yüksek değerler için tahminde daha yüksek hatalarla karşılaştığı görülmektedir. Son olarak  $k$ -NN algoritmasının dielektrik sabitinin reel kısmının tahmininde en kötü performansa sahip olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.** Dielektrik sabitinin Sanal kısmının ( $\epsilon''$ ) a) Random Forest(RF), b) Decision Tree Regression (DT-R) ve c)  $k$ -En Yakın Komşu ( $k$ -NN) algoritmaları ile karşılaştırmalı tahmin performansı grafiği.

Şekil 5'te dielektrik sabitinin sanal kısmının ( $\epsilon''$ ) RF, DT-R ve  $k$ -NN algoritmaları ile tahmin performanslarına ait grafik verilmiştir. Yatay eksen dielektrik sabitinin sanal kısmının gerçek değerini, düşey eksen ise dielektrik sabitinin sanal kısmının algoritmalar tarafından tahmin edilen değerlerini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde RF algoritmasının daha doğrusal ve isabetli tahminler yaptığı açıkça görülmektedir. DT-R algoritmasının dielektrik sabitinin reel kısmının tahminine benzer bir performans gösterdiği ve düşük değerler için daha doğru sonuçlar ürettiği görülmektedir.  $k$ -NN algoritmasının ise, dielektrik sabitin reel kısmının tahmininin aksine sanal kısmının tahmininde daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.

**Tablo 2.**  $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$  tahmini değeri için algoritma performanslarının karşılaştırılması

Algoritma	$\epsilon'$			$\epsilon''$		
	OMH	KOKH	R <sup>2</sup>	OMH	KOKH	R <sup>2</sup>
RF	0,848	2,629	0,994	1,121	3,032	0,990
DT-R	1,916	7,057	0,933	2,493	7,474	0,934
$k$ -NN	3,727	12,739	0,885	3,049	9,278	0,949

Tablo 2'de dielektrik sabitinin reel ve sanal kısımlarının RF, DT-R ve  $k$ -NN algoritmaları ile tahmin performanslarının OMH, KOKH ve R<sup>2</sup> hata sonuçlarının karşılaştırması verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde RF algoritmasının R<sup>2</sup> değerlerinin %99'un üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca deneysel veri kümesinde dielektrik sabitinin reel ve sanal kısımlarının ortalamalarının 12,065 ve 12,537 olduğu dikkate alındığında, RF algoritmasının OMH değerlerinin kabul edilebilir bir seviyede olduğu söylenebilir. Buna karşın,  $k$ -NN algoritmasının özellikle dielektrik sabitinin reel kısmının tahmininde başarısız bir performansa sahip olduğu açıktır.

Tüm sonuçlar dikkate alındığında RF algoritmasının en iyi tahmin performansına sahip olduğu görülmektedir. DT-R algoritmasının da nispeten gerçek değerlere daha uygun olduğu görülmesine karşın  $k$ -NN algoritmasının dielektrik sabitin tahmininde oldukça kötü bir performansa sahip olduğu görülmektedir. RF algoritması, veri setinin farklı bölümleri ile oluşturulan çok sayıda karar ağacının sonuçlarının ortalamasını aldığından dolayı gerek aşırı öğrenmenin önlenmesi gerekse doğru tahmin konusunda, geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerine göre daha başarılıdır.

## **IV. SONUC**

Çalışmada 5CB Sıvı Kristal yapıya ağırlıkça %2 ve %5 oranlarında Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılanarak yeni kompozit yapıların dielektrik özellikleri araştırılmıştır. Hem katkının hem de artan katkı konsantrasyon oranının saf sıvı kristalin dielektrik özelliklerini etkilediği görülmüştür. Moleküler etkileşimlere bağlı olarak, artan katkı oranı ile  $\epsilon'$  değeri artmıştır. Ayrıca relaksasyon frekansı değerinin de katkı ile yüksek frekans bölgesine kaydığı görülmektedir. Bu sonuçlar Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkısının saf sıvı kristalin dielektrik özelliklerini geliştirdiğinin bir göstergesidir. Ayrıca bu çalışmada örneklerden elde edilen dielektrik sabitinin sanal ve reel kısımlarının tahminlenmesinde 3 farklı makine öğrenmesi algoritmasının ( $k$ -En Yakın Komşu, Karar Ağacı, Rastgele Orman) tahmin performansları karşılaştırılmıştır. Algoritmalarının tahmin performansları, Ortalama Mutlak Hata, Karekök Ortalama Karesel Hata ve Belirleme Katsayısı istatistiksel performans metrikleri ile karşılaştırılmış ve bilinmeyen değerlerin tahmini için en uygun modelin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, dielektrik sabitinin tahmininde en yüksek performansa sahip algoritmanın Rastgele Orman algoritması olduğunu göstermektedir. Gelecek çalışmalarda 5CB Sıvı Kristal yapıya ağırlıkça farklı oranlarda Ni(II)Pc ve CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılanarak elde edilen kompozit yapıların elektro-optik özellikleri araştırılacaktır.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] S. Kasap, P. Capper, F. Pascal, and M. J. Deen, Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials, Springer-Verlag, Boston, 2017.
- [2] P. Malik, A. Chaudhary, R. Mehra, and K. K. Raina, "Electrooptic and dielectric studies in cadmium sulphide nanorods/ferroelectric liquid crystal mixtures," *Advances in Condensed Matter Physics*, vol. 2012, p. 853160, 2012.
- [3] Y. Huang, E.-L. Hsiang, M.-Y. Deng, and S.-T. Wu, "Mini-LED, Micro-LED and OLED displays: Present status and future perspectives," *Light: Science & Applications*, vol. 9, no. 1, pp. 1–16, 2020.
- [4] H.-W. Chen, J.-H. Lee, B.-Y. Lin, S. Chen, and S.-T. Wu, "Liquid crystal display and organic light-emitting diode display: present status and future perspectives," *Light: Science & Applications*, vol. 7, no. 3, pp. 17168–17168, 2018.
- [5] C. Cirtoaje, E. Petrescu, C. Stan, and A. Rogachev, "Electric Freedericksz transition in nematic liquid crystals with graphene quantum dot mixture," *Applied Surface Science*, vol. 487, pp. 1301–1306, 2019.
- [6] A.N. Gowda, M. Kumar, A.R. Thomas, R. Philip, S. Kumar, "Self-Assembly of Silver and Gold Nanoparticles in a Metal-Free Phthalocyanine Liquid Crystalline Matrix: Structural, Thermal, Electrical and Nonlinear Optical Characterization," *Chem. Sel.* Vol. 1, pp. 1361–1370, 2016.
- [7] M. Pande, P. K. Tripathi, S. K. Gupta, R. Manohar, and S. Singh, "Enhancement of birefringence of liquid crystals with dispersion of poly (n-butyl methacrylate)(PBMA)," *Liquid Crystals*, vol. 42, no. 10, pp. 1465–1471, 2015.
- [8] R. K. Shukla, A. Chaudhary, A. Bubnov, and K. K. Raina, "Multi-walled carbon nanotubes-ferroelectric liquid crystal nanocomposites: effect of cell thickness and dopant concentration on electro-optic and dielectric behaviour," *Liquid Crystals*, vol. 45, no. 11, pp. 1672–1681, 2018.
- [9] D. Bonegardt, D. Klyamer, B. Köksoy, M. Durmuş, and T. Basova, "Hybrid materials of carbon nanotubes with fluoroalkyl-and alkyl-substituted zinc phthalocyanines," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 31, pp. 11021–11028, 2020.

- [10] S. Moradian, H. Dezhmpanah, J. B. Ghasemi, and H. Behnejad, "Spectrophotometric-chemometrics study of the effect of solvent composition and temperature on the spectral shape and shift of copper and nickel phthalocyanines in different aqueous-nonaqueous mixed solvents," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 227, p. 117621, 2020.
- [11] K. Sakamoto and E. Ohno-Okumura, "Syntheses and functional properties of phthalocyanines," *Materials*, vol. 2, no. 3, pp. 1127–1179, 2009.
- [12] Ö. Bekaroğlu, Y. Bian, G. Bottari, X. Cai, G de la Torre, U. Hahn, N. Ishikawa, J. Jiang, N. Kobayashi, X. Li, Y. Liu, J-Y. Liu, P-C. Lo, Q. Luo, D.K.P. Ng, T. Nyokong, H. Tian, T. Torres, H. Wang, H. Wu, S. Yoshimoto and Y. Zhang, *Functional phthalocyanine molecular materials*, vol. 135, Heidelberg, Germany: Springer Science & Business Media, 2010, pp. 9.
- [13] S. Moradian, H. Dezhmpanah, J. B. Ghasemi, and H. Behnejad, "Spectrophotometric-chemometrics study of the effect of solvent composition and temperature on the spectral shape and shift of copper and nickel phthalocyanines in different aqueous-nonaqueous mixed solvents," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 227, p. 117621, 2020.
- [14] F. Ghani, J. Kristen, and H. Riegler, "Solubility properties of unsubstituted metal phthalocyanines in different types of solvents," *Journal of Chemical & Engineering Data*, vol. 57, no. 2, pp. 439–449, 2012.
- [15] E. Güzel, B. S. Arslan, G. Y. Atmaca, M. Nebioğlu, and A. Erdoğan, "High Photosensitized Singlet Oxygen Generating Zinc and Chloroindium Phthalocyanines Bearing (4-isopropylbenzyl) oxy Groups as Potential Agents for Photophysicochemical Applications," *ChemistrySelect*, vol. 4, no. 2, pp. 515–520, 2019.
- [16] A. Rastogi, G. Pathak, A. Srivastava, J. Herman, and R. Manohar, "Cd1- X ZnXS/ZnS core/shell quantum dots in nematic liquid crystals to improve material parameter for better performance of liquid crystal based devices," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 255, pp. 93–101, 2018.
- [17] Y. Umeda, H. Hayashi, H. Moriwake, and I. Tanaka, "Prediction of dielectric constants using a combination of first principles calculations and machine learning," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 58, no. SL, p. SLLC01, 2019.
- [18] G. Pilania, C. Wang, X. Jiang, S. Rajasekaran, and R. Ramprasad, "Accelerating materials property predictions using machine learning," *Scientific reports*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2013.
- [19] Ö. Eyecioglu, M. Kılıç, ve Z. G. Özdemir, "Polipropilen/Polianilin Kompozit Filmlerin Dielektrik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Modeli İle Tahmini," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, c. 6, s. 4, ss. 787-802, 2018.
- [20] J. Wei *et al.*, "Machine learning in materials science," *InfoMat*, vol. 1, no. 3, pp. 338–358, 2019.
- [21] A. Mannodi-Kanakkithodi, G. Pilania, and R. Ramprasad, "Critical assessment of regression-based machine learning methods for polymer dielectrics," *Computational Materials Science*, vol. 125, pp. 123–135, 2016.
- [22] A. Mannodi-Kanakkithodi, G. Pilania, T. D. Huan, T. Lookman, and R. Ramprasad, "Machine learning strategy for accelerated design of polymer dielectrics," *Scientific reports*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, 2016.
- [23] M. Kılıç, Ö. Eyecioglu, Z. Özdemir, and Ü. Alkan, "Estimation of dielectric parameters of LDPE/PANI composite films depending on temperature and PANI additive concentration by GRNN,"



*Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 35, no. 2, pp. 1077–1088, 2020.

[24] Ö. Eyecioğlu, “Bazalt/PANI Kompozitlerinin Dielektrik Özelliklerinin Tahmini için Makine Öğrenmesi Modellerinin Karşılaştırılması,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s 23, ss. 817-826, 2021.

[25] J. Mendes-Moreira, C. Soares, A. M. Jorge, and J. F. D. Sousa, “Ensemble approaches for regression: A survey,” *Acm computing surveys (csur)*, vol. 45, no. 1, pp. 1–40, 2012.

[26] L. E. Peterson, “K-nearest neighbor,” *Scholarpedia*, vol. 4, no. 2, pp. 1883, 2009.

[27] E. Alpaydin, *Introduction to machine learning*. MIT press, 2020.

[28] Y. L. Pavlov, *Random forests*. De Gruyter, 2019.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## HCT116 ve HT29 Kolon Kanseri Hücrelerinde 5-Florourasil Kaynaklı Hücre Ölümünün Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi ile İncelenmesi

Dilşad ÖZERKAN <sup>a,\*</sup>, Ferdane DANIŞMAN KALINDEMİRTAŞ <sup>b</sup>, Naci TÜZEMEN<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu TÜRKİYE

<sup>b</sup> Fizyoloji A.B.D., Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Tıp Fakültesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: dilsadokan@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.993669

### ÖZ

Kolon kanseri, tüm dünyada yaygın olan ve yüksek oranda ölümcül bir kanser tipidir. Tüm kanserlerde olduğu gibi kolon kanserinin seyrinin izlenmesi kritik bir öneme sahiptir. 5-Florourasil (5-FU) kolon kanserlerinde sıklıkla kullanılan bir antikanser ilaçtır ve hücre ölümü esnasında hücrelerde bir takım biyokimyasal ve moleküler farklılıklara neden olmaktadır. Bu çalışmada HCT116 ve HT29 kolon kanseri hücreleri 5-FU kemoterapi ilacı ile inkübe edildikten sonra, 5FU'nun hücreler üzerinde oluşturduğu biyokimyasal değişikliğin tespiti için Fourier transform kızılötesi (FTIR) spektroskopisi kullanılmıştır. 5-FU'nun inhibisyon yüzdesinin 50'ye eşit olduğu konsantrasyonu (IC50), MTT yöntemi kullanılarak belirlendi. IC50 değeri saptandıktan sonra FTIR ölçümleri alındı. Buna göre, 5-FU IC50 değeri sırasıyla HCT116 hücreleri için 12,69 µg/ml, HT29 hücreleri için 10,10 µg/ml bulunmuştur. 5-FU'nun sebep olduğu hücre ölümünün göstergeleri olduğu söylenen lipid içeriğindeki artış ile nükleik asit oranı, total hücresel proteinlerin α-sarmal ve β-yaprak ikincil yapıları ve aminoasit kalıntılarının azalması, kollajen konformasyonundaki değişiklikler gibi IR biyobelirteçlerindeki değişiklikler FTIR spektroskopisi ile gösterilmiştir. Sonuç olarak hem ucuz ve hem de hızlı bir yöntem olan FTIR ile kanser hücre ölümünün incelenmesi alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Kolon kanseri, 5-florourasil, FTIR

## Investigation of 5-Fluorouracil-Induced Cell Death in HCT116 and HT29 Colon Cancer Cells by Fourier Transform Infrared Spectroscopy

### ABSTRACT

Colon cancer is a common and highly lethal type of cancer all over the world. As with all cancers, monitoring the course of colon cancer is critical. 5-Fluorouracil (5-FU) is an anticancer drug frequently used in colon cancers and causes some biochemical and molecular differences in cells during cell death. In this study, after incubation of HCT116 and HT29 colon cancer cells with 5-FU chemotherapy drug, Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was used to detect the biochemical change caused by 5FU on cells. The concentration (IC50) of 5-FU at which percent inhibition equals 50 was determined using the MTT method. FTIR measurements were taken after the IC50 value was determined. Accordingly, the IC50 value of 5-FU was found to be 12.69 µg/ml for HCT116 cells and 10.10 µg/ml for HT29 cells, respectively. FTIR spectroscopy showed changes in IR biomarkers such as the increase in lipid content, which is said to be indicators of cell death caused by 5-FU, and the nucleic acid ratio, the α-helix and β-sheet secondary structures of total cellular proteins, and the reduction of amino acid

residues, and changes in collagen conformation. As a result, examining cancer cell death with FTIR, which is both a cheap and fast method, can be used as an alternative method.

*Keywords: Colon cancer, 5-fluorouracil, FTIR*

## **I. GİRİŞ**

Kanserlerin, kendi kendini yenileme yeteneğini korurken, kanserin kaynağı olan dokuya karşılık gelen çeşitli hücre tiplerine farklılaşabilen kanser kök hücreleri (KKH'ler) tarafından yönlendirildiği fikri, artık esas olarak tüm kanserler için yaygın olarak kabul edilmektedir [1]. Tüm kanser türleri arasında kolorektal kanser, en sık görülen maligniteler arasındadır ve gelişmiş ülkelerde kansere bağlı ölümlerin en sık ikinci nedenidir [2, 3]. Cerrahinin yanında kemoterapi de kolorektal kanser tedavisinde sıklıkla kullanılmaktadır ve 5-florourasil (5-FU), kolon kanseri tedavisinde tercih edilen kemoterapötik bir ajandır [4]. 5-FU, Kolorektal kanserler, meme ve baş ve boyun kanserleri dahil olmak üzere katı tümörlerin tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. 5-FU, tümör hücresine girdiğinde, timidilat sentetazın (TS) inhibisyonu yoluyla veya apoptozun aktivasyonuna yol açan RNA ve DNA'ya dahil edilmesi yoluyla sitotoksik etkiler gösterebilir [6, 7].

Titreşimsel spektroskopi teknikleri günümüzde hızla ilerlemektedir ve bu ilerlemelerin ardından tıbbi biyolojideki uygulamaları artmaktadır. Fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR), kimyada analitik bir araç olarak kullanılmaktadır [8, 9]. Dahası FTIR, minimal numune hazırlama ile kanseri tespit etmek ve tanımlamak için basit, hızlı ve invaziv olmayan bir yöntem olarak uygulanabilir ve karmaşık bir karışımdaki çeşitli bileşenlerin kalitatif tanımlaması ve kantitatif analizi için kullanılabilir [7, 10-18]. Ancak halen literatürde hücre ölümü ile ilişkili bölgeler tam olarak aydınlatılamamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada HCT116 ve HT29 kolon kanseri hücrelerine 5-FU uygulanarak kemoterapiye dirençli hücreler ile uygulanmamış hücre grupları arasındaki moleküler yapıdaki değişikliklerin ve apoptotik bölgelerin anlaşılması planlanmıştır.

## **II. MATERYAL ve METOD**

### **A. HÜCRE KÜLTÜRÜ**

#### **A. 1. Besiyeri Hazırlanması**

17.7 g/100 mL DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium, Sigma Kat. No: D 2902) üzerine 3.024 g/100 mL NaHCO<sub>3</sub> (Sigma Kat. No: S 5761) ilave edilmiştir. %10 FBS (Fetal Bovine Serum, Sigma Kat. No: F 4135) ve %1 penisilin/streptomisin (Merck Kat No: 11074440001) eklendi. +40 °C'de muhafaza edilmiştir.

#### **A. 2. Kolon Hücre Hatlarının Hazırlanması**

Çalışma için insan kolon kanseri (ATCC) hücre hatları, HT29 ve HCT116 kullanıldı. Hücreler, 50 ve 250 mL'lik kültür şişelerinde %10 FBS içeren DMEM'de büyütüldü ve toplam hücre sayısı  $1 \times 10^5$ /mL olarak belirlendi. Daha sonra 96'lık düz tabanlı mikropalakaya aktarıldı ve nemli ortamda (NuAire US) %5 CO<sub>2</sub> içeren bir inkübatörde 37 °C'de 1 gün inkübe edildi.

#### **A. 3. 5-FU Uygulanması Sonrası Hücre Canlılığı Analizi**

MTT, canlı hücrelerin 3-[4,5-dimetiltiazol-2-il]-2,5 difenil tetrazolyum bromürü formazana indirgeme yeteneğine dayanan kolorimetrik bir tahlildir. Sitotoksik etkileri belirlemek için laboratuvarımız tarafından modifiye edilen MTT'nin bir versiyonu olan Mosmann yöntemi kullanıldı [18]. 5-FU (10, 20, 30, 50 µg/mL) uygulamasına T25 kültür şişelerinde büyütülen HCT116 ve HT-29 hücreleri %85 konfluent hale geldiğinde (yaklaşık  $2 \times 10^6$  hücre) başlandı. Belirlenen dozlar hücrelere ilave edildikten

sonra, 3 gün 37°C'de %5 CO<sub>2</sub> içeren inkübatörde bekletilmiştir. 3 günün sonunda 10 µl MTT reaktifi ilave edilerek, 4 saat inkübatörde bekletilmiştir. Süre sonunda isopropil alkol ile formazan çözülerek ELISA okuyucuda (BioTek, ABD) 570 nm'de platedeki kuyucukların absorbanları ölçülmüştür. MTT analizlerinin sonucunda doz/cevap eğrileri hazırlanmış, bileşiklerin IC<sub>50</sub> (hücrelerin %50'sinin büyümesini inhibe eden konsantrasyon) hesaplanmış ve bu parametreye göre 5-FU'nun etkinliği karşılaştırılmıştır.

## **B. FTIR SPEKTROSKOPİSİ İÇİN NUMUNE HAZIRLAMA**

FTIR analizi, 5-FU için belirlenen IC<sub>50</sub> konsantrasyonu kullanılarak yapılmıştır. Gruplar; kontrol grupları (HCT116 ve HT29) ve 5-FU uygulanmış HCT116 ve HT29 grupları olarak belirlenmiştir. HCT116 ve HT29 hücreleri 6'lı kuyucuklara ekilmiştir. Hücreler %80 konfluensiye ulaştığında, IC<sub>50</sub> değeri belirlenmiş ve 5-FU konsantrasyon oranında kuyucuklara ilave edilmiştir. 72 saat 37 °C'de %5 CO<sub>2</sub> içeren inkübatörde, nemli ortamda inkübasyona bırakılmıştır. 72 saatin sonunda inkübe edilen hücreler tripsin ile zeminden kaldırılmış ve 3 kez PBS ile santrifüjlenerek yıkanarak süpernatant atılmıştır. Pellet 1 ml PBS içerisinde çözülmüş ve önceden etiketlenen cam lamalar üzerine yayılmıştır. Lam üzerindeki hücre süspansiyonları kurumaları için 24-48 saat çeker ocakta bekletilmiştir. Kuruyan örnekler, ependorf tüpleri içerisine alınarak analize hazır hale getirilmiştir. Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan ATR-FTIR (Bruker Alpha) cihazında analiz edilmiştir.

## **C. İSTATİKSEL ANALİZ**

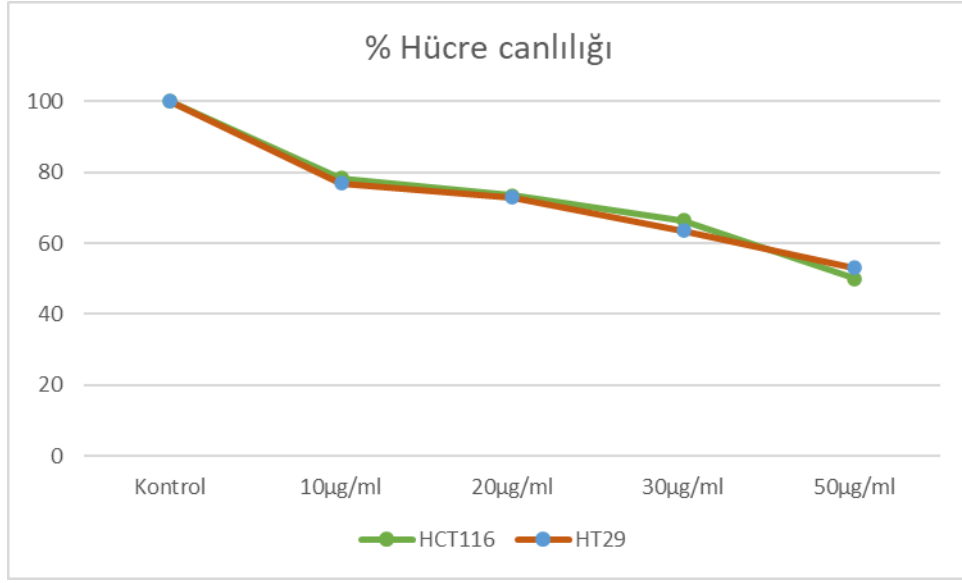
IC<sub>50</sub> değerinin belirlenmesi için Graphpad Prism 5.0.1 Programı kullanılmıştır. Programa göre IC<sub>50</sub>'yi belirlemek için bir doz-cevap eğrisi oluşturulur. Öncelikle bir XY veri tablosu oluşturulmuş, veri girişi yapıldıktan sonra, sırasıyla logaritmik değerler transforme ve normalize edildikten sonra analiz kısmından “non-linear regression (curve fit) kısmı seçilmiştir. Ardından “dose-response inhibition” kısmından IC<sub>50</sub> değeri ve doz cevap eğrisi belirlenmiştir.

# **III. BULGULAR ve TARTIŞMA**

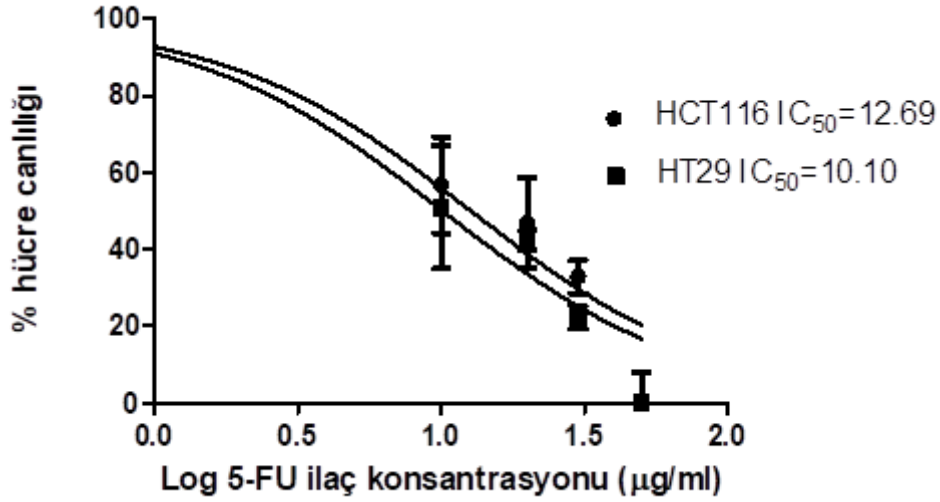
HCT116 agresif bir yapı gösterirken HT29 agresif değildir. HCT116 farklılaşma yeteneğine sahip değildir, bu nedenle HT29, koloni oluşturma kabiliyetine sahip hücelere dönüşebilir [19-21]. Bu farklı özellikleri nedeniyle çalışmamızda 2 farklı kolon hücre hattı seçilmiş ve sonuçları her yönden karşılaştırılmıştır.

## **A. HÜCRE CANLILIĞI**

5-FU dozları 10, 20, 30 ve 50µg/ml aralığında seçilerek HCT116 ve HT29 hücrelerine uygulanmıştır. Buna göre her iki hücre hattında da 50µg/ml dozu hücre canlılığını %50 inhibe etmiştir (Şekil 1). Buna göre veriler Graphpad Prism 5.0.1 Programında analiz edilerek IC<sub>50</sub> değeri HCT116 için 12,69 µg/ml; HT29 için 10,10 µg/ml olarak bulunmuştur (Şekil 2). 5-FU için literatür ile benzer dozlar seçilmiş ve hücre canlılığı benzer şekilde azalmıştır [22, 23].



Şekil 1. 5-FU uygulanmış HCT116 ve HT29 kolon kanseri hücrelerinde %canlılık grafiği.



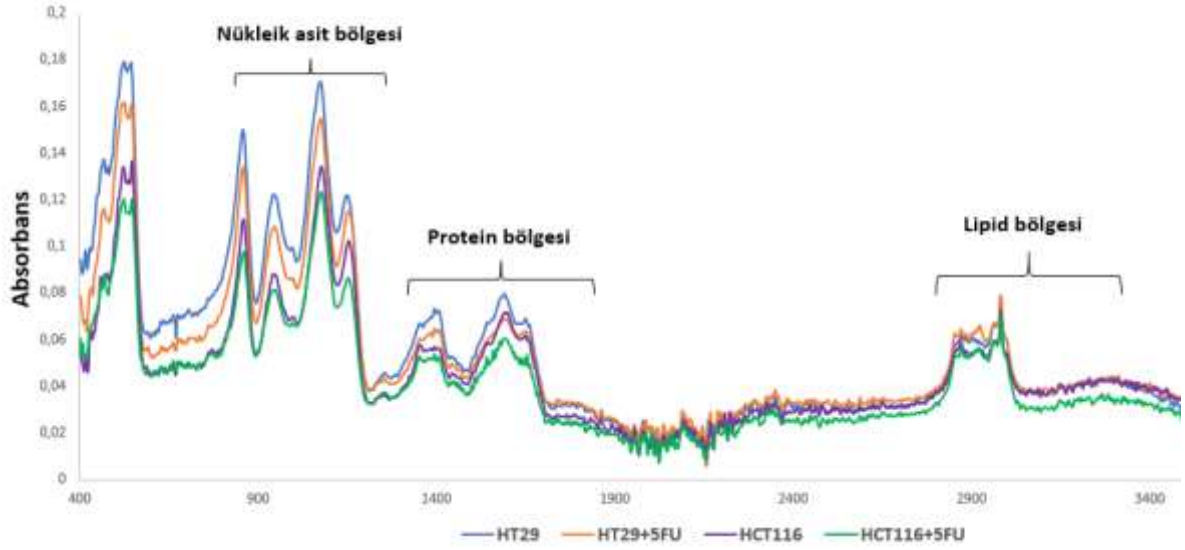
Şekil 2. 72 saatlik 5-FU uygulaması sonrasında HCT116 ve HT29 kolon kanseri hücre dizilerinde IC50 analizi. (Hücreler, 10, 20, 30 ve 50 µM dozlar kullanılarak 5-FU ile veya 5-FU olmadan inkübe edildi ve MTT tahlili ile inkübasyondan sonra hücre süspansiyonunun absorbansı ölçülerek canlı hücre miktarı tespit edildi. Bu verilere göre normalize değerler belirlenerek IC<sub>50</sub> değeri Graphpad Prism 5 programı kullanılarak belirlendi.).

## B. FTIR ANALİZİ

Araştırmada, bireysel fonksiyonel grupların absorbans değerindeki farklılıkları ve tepe noktalarının kaymasını incelenmiştir. Kontrol gruplarından HCT116 ve HT29 kolon kanseri hücrelerinin ve 72 saat boyunca 5-FU ile muamele edilen hücrelerin absorbans spektrumları Şekil 3'te, tüm bölgelerdeki FTIR pikleri ve anlamları ise Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** HCT116 ve HT29 kontrol grupları ve 5-FU uygulanmış deney gruplarının ortalama IR spektrumunun önceden tanımlanması.

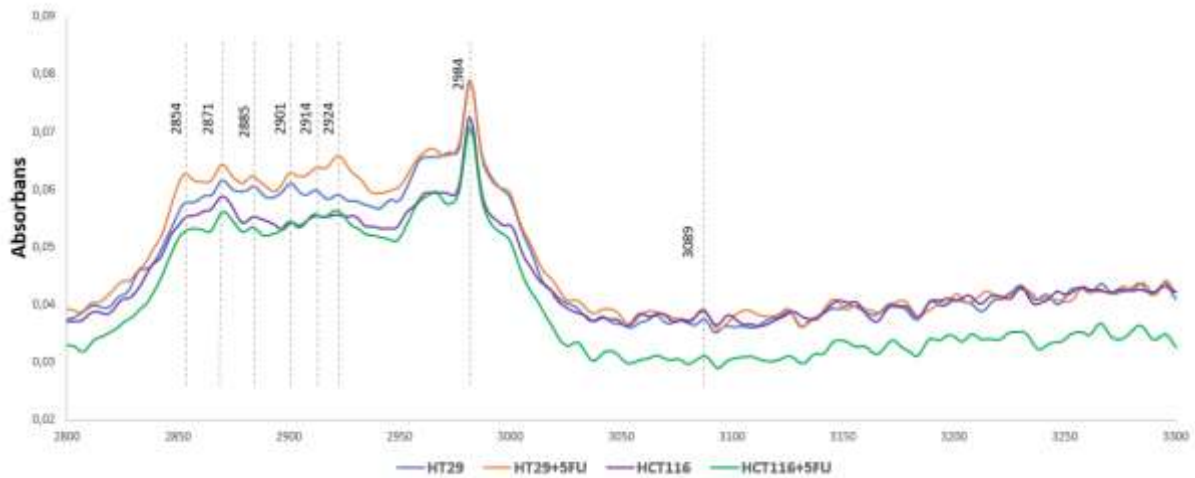
FTIR Piki	Anlamı	Kaynakça
942cm <sup>-1</sup>	Oksazin halkası	[14]
1075 cm <sup>-1</sup>	Simetrik fosfat germe modları veya n( PO <sub>2</sub> ) sym.	[15]
1150 cm <sup>-1</sup>	Tahmini karbonhidrat konsantrasyonları verir (malign hücrelerde daha düşük)	[24,25]
1254 cm <sup>-1</sup>	Amid III	[26,27].
1352 cm <sup>-1</sup>	C-O germe ve düzlem içi C-O-H bükme	[28]
1395 cm <sup>-1</sup>	Amino asit kalıntılarının alifatik yan grupları	[26]
1651 cm <sup>-1</sup>	Amid I	[29,30]
1592 cm <sup>-1</sup>	Amid II	[30]
2854 cm <sup>-1</sup>	CH <sub>2</sub> simetrik germe	[31]
2871 cm <sup>-1</sup>	CH <sub>3</sub> simetrik germe	[32]
2885 cm <sup>-1</sup>	C-H germe	[17]
2901 cm <sup>-1</sup>	v, CH	[33]
2914 cm <sup>-1</sup>	CH <sub>2</sub> bandı	[35]
2924 cm <sup>-1</sup>	CH <sub>2</sub> asymmetric	[35]
2984 cm <sup>-1</sup>	CH <sub>a,a'</sub> germe	[17]
3089 cm <sup>-1</sup>	C=C	[36]



**Şekil 3.** Kontrol ve 5-FU ile muamele edilmiş HCT116 ve HT29 kolon kanseri gruplarının ortalama IR spektrumları gösterilmektedir.

### B.1. Lipitlerle ilgili Bant Değişiklikleri

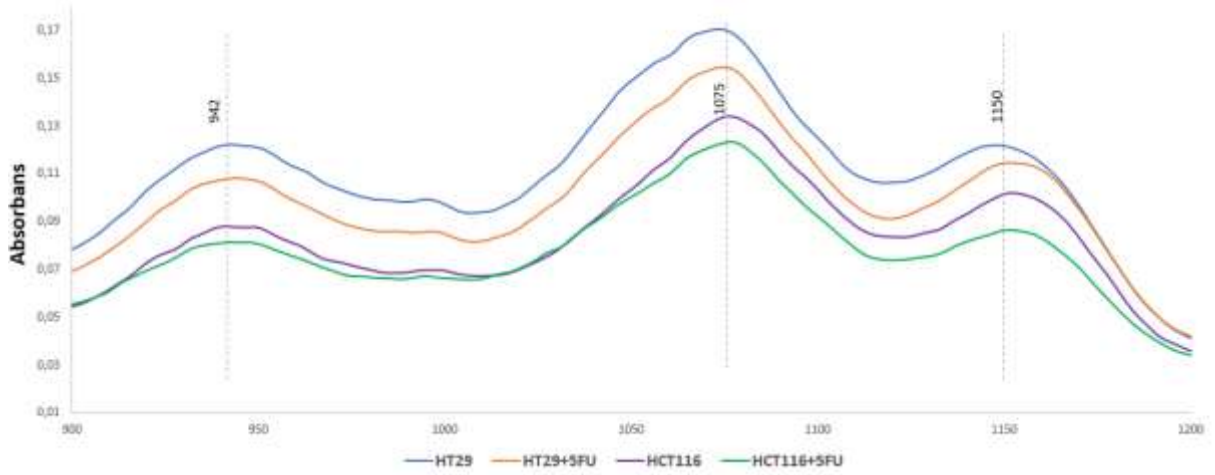
Ana fonksiyonel grupların nispi yoğunluk oranlarındaki değişiklikler Şekil 4'de gösterilmektedir. Hücre lipidleri ile bağlantılı bantlar esas olarak 3089, 2984, 2924, 2914, 2901, 2885, 2871 ve 2854  $\text{cm}^{-1}$ 'de meydana geldi. Lipit bölgesinde yer alan piklerin spektral özellikleri, hücresel membrandaki yağ asitlerinde bulunan  $\text{CH}_2$  ve  $\text{CH}_3$  metilen gruplarının asimetric ve simetric C-H germe titreşimlerinin absorpsiyon bantlarıdır. Bu bantlardaki değişiklikler doku ve hücrelerdeki lipid değişikliklerini yansıtabilir [37]. 5-FU uygulanmış ve uygulanmamış HCT116 ve HT29 hücrelerinde meydana gelen pikler karşılaştırılmıştır. Buna göre 2854, 2874, 2885, 2984 ve 3089  $\text{cm}^{-1}$  bölgelerinde 5-FU uygulanan HCT116 gruplarında uygulanmayanlara göre düşük bulunurken; 2901 ve 2914 ve 2924  $\text{cm}^{-1}$  absorbans pikleri benzerdir. HT29 gruplarında ise tüm lipit bölgesi pikleri 5-FU uygulananlarda yüksek bulunmuştur. Li ve arkadaşları, kanser hastalarının serumunda, ilerlemiş kolon kanserli hastalarda trigliserit ve HDL kolesterol seviyesinin, erken evre hastalığı veya sağlıklı olanlardan önemli ölçüde düşük olduğunu göstermiştir [38]. Bu iki lipid fraksiyonu,  $\text{CH}_2$  ve  $\text{CH}_3$  gruplarıyla uzun karbon zincirleri tarafından oluşturulmuştur [39].



**Şekil 4.** Lipid bölgesi 3300-2800  $\text{cm}^{-1}$  aralığına ayarlanmıştır. 5-FU'nun HCT116 ve HT29 kolon kanseri hücrelerine uygulanması sonucunda görülen FTIR pik değerleri.

## B.2. Nükleik Asitlerle İlgili Bant Değişiklikleri

Ana fonksiyonel grupların nispi yoğunluk oranlarındaki değişiklikler Şekil 5'te gösterilmektedir. 1075  $\text{cm}^{-1}$  bölgesindeki bant, esas olarak fosfodiester gruplarının simetrik modlarından kaynaklanmaktadır. Fosfat germe modları, nükleik asitlerdeki fosfodiester gruplarından kaynaklanır ve malign dokulardaki nükleik asitlerde bir artış olduğunu gösterir [15]. Bu bant, bir hücrenin nükleik asit içeriği ile ilişkilidir [40]. 1075  $\text{cm}^{-1}$  de ki pik incelendiğinde 5-FU uygulanmış HCT116 ve HT29 gruplarında uygulanmayanlara göre bir düşüş izlenmiştir. Bu durum hücre ölümünün herhangi bir aşamasında kaybedilen nükleik asit içeriğiyle olabilir. Altta yatan nedenleri araştırmak için daha fazla araştırma gereklidir.



Şekil 5. Nükleik asit bölgesi 900-1200  $\text{cm}^{-1}$  aralığına ayarlanmıştır. 5-FU'nun HCT116 ve HT29 kolon kanseri hücrelerine uygulanması sonucunda FTIR pik değerleri görülmektedir.

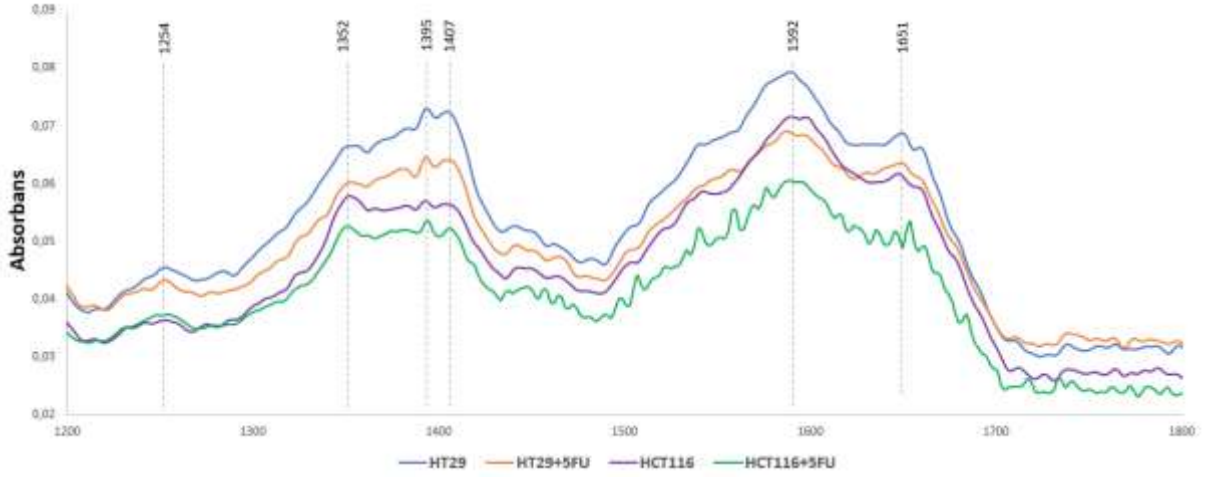
## B.3. Proteinlerle İlgili Bant Değişiklikleri

Ana fonksiyonel grupların nispi yoğunluk oranlarındaki değişiklikler Şekil 6'da gösterilmektedir. 1395  $\text{cm}^{-1}$  titreşim bantları, sırasıyla ser, thr ve tirozin C-O (H) germe titreşiminden kaynaklanmaktadır. Bu durum hücrelerin dış lipid tabakası üzerindeki fosfatidilserin maruziyetini arttırdığını göstermektedir. 5-FU uygulanan HCT116 grubunda, kontrol grubuna kıyasla piklerde bir artış söz konusuysen; 5-FU uygulanmış HT-29 hücrelerinde kontrol grubuna göre bir azalma görülmüştür. Amino asit kalıntılarının alifatik yan gruplarını temsil eden 1395  $\text{cm}^{-1}$  tepe noktasındaki bant, her iki 5-FU uygulanmış hücre gruplarında diğer gruplardakilere kıyasla daha düşük dalga sayılarına kaymıştır.

Tüm spektrumlarında, sırasıyla 1651  $\text{cm}^{-1}$ 'de amid I ve 1592  $\text{cm}^{-1}$  amid II bölgelerindeki absorpsiyonlar için esas pikler gözlemlendi. 1.651  $\text{cm}^{-1}$ 'deki titreşim bandı, öncelikle proteinlerin  $\alpha$ -sarmal ikincil yapısı ile [41], 1.592  $\text{cm}^{-1}$ 'deki absorpsiyon bantları, proteinlerin  $\beta$ -pilili ikincil yapısı ile karakterize edildi [42]. 5-FU uygulanmış HCT116 ve HT-29 kolon kanseri hücrelerinde uygulanmayanlara göre pik yoğunluğunda bir azalmanın ve kaymaların olduğu gözlenmektedir. Yoğunluktaki bu azalma, hücre ölümü sonucunda hücre membranındaki proteinlerdeki  $\alpha$ -sarmal ve  $\beta$ -pilili moleküler içeriğin azaldığını ifade etmektedir.

1254  $\text{cm}^{-1}$  amid III piki, kollajen konformasyonu ile ilişkilidir [43]. Hücre ölümü ile kollajen yoğunluğunda değişiklikler söz konusudur. 5-FU uygulanması sonucunda, her iki kolon kanseri hücre hattında kollajen konformasyonunda ciddi değişiklikler meydana gelmiştir.





**Şekil 6.** Protein bölgesi 1200-1800  $cm^{-1}$  aralığına ayarlanmıştır. 5-FU'nun HCT116 ve HT29 kolon kanseri hücrelerine uygulanması sonucunda görülen FTIR pik değerleri şekilde gösterilmiştir.

## IV. SONUÇ

Hücre hatları, birincil insan dokusunun aksine, zaman içinde tekrar tekrar kullanılabilen değerli bir kaynağı temsil eder. Mutasyon içeriği [44] ve mRNA ekspresyonu açısından kolaylıkla karakterize edilebilirler. Ayrıca, birincil insan dokusundan elde edilen verilerin yorumlanmasını etkileyebilecek stromal doku ile kontamine değildirler [45]. Hücre hatlarının orijinal olarak izole edildikleri tümörleri temsil ettiğine dair güçlü kanıtlar vardır [46] ve orijinal dokuda bulunanlara benzer yapılar geliştirebilir [47]. Veriler, HCT116'nın yüksek düzeyde agresif ve farklılaşmayan, lümen oluşturan kolonilere yol açmayan karakterizasyonu tutarlıdır. Ancak, HT29 en azından bir miktar farklılaşma kapasitesini korumuştur [48]. Kemoterapinin kanser üzerindeki iyileştirici etkisini izlemek ve değerlendirmek için birçok yöntem bulunmasına rağmen, kolon kanseri, kanser hastaları arasında en sık ölüm nedeni olmaya devam etmektedir. Bu nedenle kolon kanseri kemoterapisini izlemek için yeni tekniklerin araştırılması klinik öneme sahiptir. Son yıllarda, biyolojik makromoleküllerin yapısını belirlemek için Fourier Dönüşümü Kızılötesi spektroskopisinin kullanıldığı çok fazla çalışma bulunmaktadır. CT (bilgisayarlı tomografi), MRI (manyetik rezonanslı görüntüleme) ya da PET (nükleer tıbbi görüntüleme) gibi görüntüleme yöntemlerle karşılaştırıldığında, IR yöntemi nispeten ucuzdur, hızlıdır ve herhangi bir reaktifte ihtiyaç duyulmamaktadır. Diğer bir taraftan, yüksek çözünürlükte bir proteinin tam üç boyutlu yapısı, X-ışını kristalografisi ile belirlenebilir. Bu teknik, molekülün tüm proteinler için uygun olmayan iyi düzenlenmiş bir kristal oluşturmasını gerektirir. X-ışını kristalografisine bir alternatif, çok boyutlu nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisidir. NMR spektroskopisi kullanılarak proteinlerin çözeltideki yapıları belirlenebilir. Büyük proteinlerin NMR spektrumlarının yorumlanması çok karmaşıktır, bu nedenle mevcut uygulaması küçük proteinlerle (~15-25 kDa) sınırlıdır. Bu sınırlamalar, atomik çözünürlükte yapılar üretmeyen ancak aynı zamanda proteinler hakkında (özellikle ikincil yapı hakkında) yapısal bilgi sağlayan alternatif yöntemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu yöntemler dairesel dikroizm (CD) ve titreşim (kızılötesi ve RAMAN) spektroskopisini içerir. FTIR spektroskopisinin tekniği, çeşitli ortamlarda sadece az miktarda protein (1mM) gerektirir. Bu nedenle, yüksek kaliteli spektrumlar, arka plan floresansı, ışık saçılması ve proteinlerin boyutuyla ilgili problemler olmadan nispeten kolay bir şekilde elde edilebilir. Her yerde bulunan su emilimi matematiksel yaklaşımlarla çıkarılabilir. Proteinlerin spektrumlarında örtüşen alt bileşenleri ayırabilen yöntemler artık mevcuttur. Bu gerçekler, pratik biyolojik sistemleri FTIR spektroskopisi ile yapılan çalışmalara uygun hale getirmiştir [49, 50]. Bununla birlikte halen araştırılması gereken çok fazla kısım bulunmaktadır. Farklı yöntemlerin uygulanmasına rağmen, FTIR spektrumlarının özdeş alanlarının piklerinin tanımlanmasında önemli bir benzerlik olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile biri tümörojenik, diğeri non-tümörojenik olan kolon hücrelerinde bulunan önemli piklerin tespit edilerek, 5-FU

uygulamasının bu pikleri nasıl değişikliğe uğrattığını göstermekti. Araştırmamızda FTIR spektroskopisinin ayrıca, hücre membranındaki lipit/nükleik asit/kollajen konformasyonundaki ve protein ikincil yapısındaki değişikliklere bağlı olarak hücre ölümünü ayırt edebildiğini de gösterilmiştir. Sonuç olarak, FTIR spektroskopik çalışmalarda karşılaşılan frekansların benzersiz bir koleksiyonunun hazırlanmasının, gelecekteki çalışmalar için önemli yardım sağlayabileceğine inanılmaktadır.

**TEŞEKKÜR:** Çalışmada gerek laboratuvar imkanları gerek fikirleriyle bize yol gösteren sayın Prof. Dr. D. Serap KURUCA'ya teşekkürlerimizi iletiriz.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] T. Reya, S.J. Morrison, M.F. Clarke, and I.L. Weissman, "Stem cells, cancer, and cancer stem cells," *Nature*, vol. 414, pp. 105–111, 2001.
- [2] L.H. Kushi, T. Byers, C. Doyle, C. L. Rock, W. Demark-Wahnefried, E. V. Bandera, *et al.* "American cancer society guidelines on nutrition and physical activity for cancer prevention: reducing the risk of cancer with healthy food choices and physical activity," *CA Cancer J Clin*, vol. 56, pp. 254-281, 2006.
- [3] F. Bray, J. Ferlay, I Soerjomataram, R.L. Siegel, L.A. Torre, and A. Jemal, "Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries," *CA Cancer J Clin*, vol. 68, pp. 394-424, 2018.
- [4] K. Sasaki, N.H. Tsuno, E. Sunami, G. Tsurita, K. Kawai, Y. Okaji, *et al.* "Chloroquine potentiates the anti cancer effect of 5 fluorouracil on colon cancer cells," *BMC Cancer*, vol. 10, pp. 370, 2010.
- [5] G. Folprecht and C.H. Kohne, "The role of new agents in the treatment of colorectal cancer," *Oncology*, vol. 66, pp. 1-17, 2004.
- [6] M.D. Wyatt and D.M. Wilson, "Participation of DNA repair in the response to 5-fluorouracil," *Cell Mol Life Sci*, vol. 66, no.3, pp. 788-799, 2009.
- [7] A.L. Stelling, D. Toher, O. Uckermann, J. Tavkin, E. Leipnitz, J. Schweizer, *et al.* "Infrared spectroscopic studies of cells and tissues: triple helix proteins as a potential biomarker for tumors," *PLoS One*, vol. 8, pp. e58332, 2013.
- [8] M.J. Baker, J. Trevisan, P. Bassan, R. Bhargava, H. J. Butler, *et al.* (2014). "Using Fourier transform IR spectroscopy to analyze biological materials," *Nature protocols*, vol.9(8), pp. 1771-1791, 2014.
- [9] A. Dazzi, C. B. Prater, "AFM-IR: Technology and applications in nanoscale infrared spectroscopy and chemical imaging." *Chemical reviews*, vol. 117, no.7, pp. 5146-5173, 2017.
- [10] G. Bellisola and C. Sorio, "Infrared spectroscopy and microscopy in cancer research and diagnosis," *Am J Cancer Res*, vol. 2, pp. 121, 2012.
- [11] G. Güler, E. Acikgoz, N.Ü.K. Yavasoglu, B. Bakan, E. Goormaghtigh ve H. Aktug, "Deciphering the biochemical similarities and differences among mouse embryonic stem cells, somatic and cancer cells using ATR-FTIR spectroscopy," *Analyst*, vol. 143, no. 7, pp. 1624-1634, 2018.

- [12] A. Sala, D.J. Anderson, P.M. Brennan, H.J. Butler, J.M. Cameron, M.D. Jenkinson, *et al.* "Biofluid diagnostics by FTIR spectroscopy: A platform technology for cancer detection," *Cancer letters*, vol. 477, pp. 122-130, 2020.
- [13] P. Giamougiannis, C.L. Morais, B. Rodriguez, N.J. Wood, P. L. Martin-Hirsch, and F. L. Martin, "Detection of ovarian cancer ( $\pm$ neo-adjuvant chemotherapy effects) via ATR-FTIR spectroscopy: comparative analysis of blood and urine biofluids in a large patient cohort," *Analytical and bioanalytical chemistry*, pp. 1-13, 2021.
- [14] P. Thirukumar, A. Shakila, S. Muthusamy, "Synthesis and characterization of novel bio-based benzoxazines from eugenol," *Rsc Advances*, vol. 4, no. 16, pp. 7959-7966, 2014.
- [15] C. Junhom, N. Weerapreeyakul, W. Tanthanuch, K. Thumanu, "FTIR microspectroscopy defines early drug resistant human hepatocellular carcinoma (HepG2) cells," *Exp. cell Res*, vol. 340, no. 1, pp. 71-80, 2016.
- [16] P. G. Andrus and R.D. Strickland, "Cancer grading by Fourier transform infrared spectroscopy," *Biospectros*. vol. 4, no. 1, pp. 37-46, 1998.
- [17] X. Li, J. Lin, J. Ding, S. Wang, Q. Liu and S. Qing, "Raman spectroscopy and fluorescence for the detection of liver cancer and abnormal liver tissue," In Engineering in Medicine and Biology Society, IEMBS'04, 26th Annual International Conference of the IEEE, San Francisco, CA, 2004, pp. 212-215.
- [18] T. Mosmann, "Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays," *J Immunol Methods*, vol. 65, pp. 55-63, 1983.
- [19] S. Chakrabarty, "Regulation of human colon-carcinoma cell adhesion to extracellular matrix by transforming growth factor beta 1," *Int J Cancer*, vol. 50, no. 6, pp. 968-73, 1992.
- [20] S.R. Choi, M. Cho, H.R. Kim, D.H. Ahn, M.H. Slesinger, Y.S. Kim, "Biological properties and expression of mucins in 5-fluorouracil resistant HT29 human colon cancer cells," *Int J Oncol*, vol. 17(1), pp. 141-147, 2000.
- [21] M.J. Demers, S. Thibodeau, D. Noël, N. Fujita, T. Tsuruo *et al.* "Gauthier R, Arguin M, Vachon PH. Intestinal epithelial cancer cell anoikis resistance: EGFR-mediated -sustained activation of Src overrides Fak-dependent signaling to MEK/Erk and/or PI3-K/Akt-1," *J Cell Biochem*, vol. 107, no. 4, pp. 639-654, 2009.
- [22] F. Lokiec, F. Ghiringhelli, A. Bernard, A. "Isolated Lung Perfusion as an Adjuvant Treatment of Colorectal Cancer Lung Metastases: A Preclinical Study in a Pig Model," *PLoS One*, vol. 8, no. 3, p. e59485, 2013.
- [23] G. B. Park, Y. H. Chung, D. Kim, "2-Deoxy-D-glucose suppresses the migration and reverses the drug resistance of colon cancer cells through ADAM expression regulation," *Anti-Cancer Drugs*, vol. 28, no. 4, pp. 410-420, 2017.
- [24] M. Khanmohammadi, and A. B. Garmarudi, "Infrared spectroscopy provides a green analytical chemistry tool for direct diagnosis of cancer," *TrAC Trends Analytical Chem*, vol. 30, no. 6, pp. 864-874, 2011.
- [25] G. E. Menzies, H. R. Fox, C. Marnane, L. Pope, V. Prabhu, S. Winter, P. D. Lewis, "Fourier transform infrared for noninvasive optical diagnosis of oral, oropharyngeal, and laryngeal cancer," *Translational Res*, vol. 163, no. 1, pp. 19-26, 2014.

- [26] L. Chiriboga, P. Xie, H. Yee, V. Vigorita, D. Zarou, D. Zakim and M. Diem, "Infrared spectroscopy of human tissue. I. Differentiation and maturation of epithelial cells in the human cervix," *Biospectrosc*, vol. 4, no. 1, pp. 47–53, 1998.
- [27] N. Fujioka, Y. Morimoto, T. Arai, M. Kikuchi, "Discrimination between normal and malignant human gastric tissues by Fourier transform infrared spectroscopy," *Cancer Detect. Prev*, vol. 28, no. 1, pp. 32–36, 2004.
- [28] J. Liu, Q.H. Zhang, F. Ma, S.F. Zhang, Q. Zhou and A.M. Huang, "Three-step identification of infrared spectra of similar tree species to *Pterocarpus santalinus* covered with beeswax," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1218, p. 128484, 2020.
- [29] G.I. Dovbeshko, N.Y. Gridina, E.B. Kruglova and O.P. Pashchuk, "FTIR spectroscopy studies of nucleic acid damage," *Talanta*, vol. 53, no. 1, pp. 233–246, 2000.
- [30] S. Prabhakar, N. Jain and R.A. Singh, "Infrared spectra in monitoring biochemical parameters of human blood," *In Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2012*, vol. 365, no. 1, p. 012059.
- [31] Y. Liu, Y. Xu, Y. Zhang, D. Wang, D. Xiu, Z. Xu and X. Ling, "Detection of cervical metastatic lymph nodes in papillary thyroid carcinoma by Fourier transform infrared spectroscopy," *Br. J. Surg*, vol. 98, no. 3, pp. 380–384, 2011.
- [32] I. Dreissig, S. Machill, R. Salzer and C. Krafft, "Quantification of brain lipids by FTIR spectroscopy and partial least squares regression," *Spectrochim. Acta Part A: Mol. Biomol. Spectros*, vol. 71, no. 5, pp. 2069–2075, 2009.
- [33] N. Q. Trung, P.T. Phuong Nam, N.T. Phuong Chi and N. Van Tuyen, "[Fe (III)(MeO-salen) Cl] complexes and their in vitro cytotoxicity against KB and HepG2 human cancer cells," *Vietnam Journal of Chemistry*, vol. 56, no. 6, pp. 689-694, 2018.
- [34] D.G. Conceição, B.H.R. Gonçalves, F.F.D. Hora, A.S. Faleiro, L.S. Santos and S.P. Ferrão, "Use of FTIR-ATR spectroscopy combined with multivariate analysis as a screening tool to identify adulterants in raw milk," *Journal of the Brazilian Chemical Society*, vol. 30, pp. 780-785, 2019.
- [35] K.M. Ostrowska, A. Garcia, A. D. Meade, A. Malkin, I. Okewumi, J.J. O'Leary, and F.M. Lyng, "Correlation of p16 INK4A expression and HPV copy number with cellular FTIR spectroscopic signatures of cervical cancer cells," *Analyst*, vol. 136, no. 7, pp. 1365–1373, 2011.
- [36] A.R. Garifzyanov, N.V. Davletshina, L.I. Akhmadullina, I.T. Safiullin and R.A. Cherkasov, "Synthesis of New Aminophosphobetaines," *Russian Journal of General Chemistry*, vol. 88, no. 11, pp. 2445-2448. 2018.
- [37] S.W. Fogarty, I.I. Patel, J. Trevisan, T. Nakamura, C. J. Hirschmugl, N. J., Fullwood, and F. L. Martin, "Sub-cellular spectrochemical imaging of isolated human corneal cells employing synchrotron radiation-based Fourier-transform infrared microspectroscopy," *Analyst*, vol. 138, pp. 240-248, 2013.
- [38] T. Li, Y. Qian, H. Li, J. Deng, "Combination of serum lipids and cancer antigens as a novel marker for colon cancer diagnosis," *Lipids Health Dis*, vol. 17, p. 261, 2018.
- [39] F. Probert, V. Ruiz-Rodado, D. Te Vruchte, E.R. Nicoli, T.D.W. Claridge, *et al.* "NMR analysis reveals significant differences in the plasma metabolic profiles of Niemann Pick C1 patients, heterozygous carriers, and healthy controls," *Sci. Rep*, vol. 7, p. 6320, 2017.

- [40] E. Batard, F. Jamme, D. Boutoille, C. Jacqueline, J. Caillon, G. Potel, and P. Dumas, "Fourier transform infrared microspectroscopy of endocarditis vegetation," *Appl Spectrosc*, vol. 64, pp. 901-906, 2010.
- [41] G.W. Abbott, B. Ramesh and S.K. Srari, "Interaction between soluble and membrane-embedded potassium channel peptides monitored by fourier transform infrared spectroscopy," *PLoS One*, vol. 7, p. e49070, 2012.
- [42] H.H. Mantschn and R.A. Shaw, "Vibrational spectroscopy and medicine: an alliance in the making," *Vib Spectrosc*, vol. 30, pp. 31-41, 2002.
- [43] A. Bonifacio and V. Serg, "Effects of sample orientation in Raman microspectroscopy of collagen fibers and their impact on the interpretation of the amide III band," *Vibrational Spectroscopy*, vol. 53, no. 2, pp. 314-317, 2010.
- [44] Y. Liu and W.F. Bodmer, "Analysis of P53 mutations and their expression in 56 colorectal cancer cell lines," *Proc Natl Acad Sci USA*, vol. 103, pp. 976-981, 2006.
- [45] S.L. Volchenboum, C. Li, S. Li, E. F. Attiyeh, C. P. Reynolds, J. M. Maris, *et al*, "Comparison of primary neuroblastoma tumors and derivative early-passage cell lines using genome-wide single nucleotide polymorphism array analysis," *Cancer Res*, vol. 69, pp. 4143-4149, 2009.
- [46] E.J. Douglas, H. Fiegler, A. Rowan, S. Halford, D. C. Bicknell, W. Bodmer, *et al*. "Array comparative genomic hybridization analysis of colorectal cancer cell lines and primary carcinomas," *Cancer Res*, vol. 64, pp. 4817-4825, 2004.
- [47] J.K. Willson, G.N. Bittner, T.D. Oberley, L.F. Meisner, and J.L. Weese, "Cell culture of human colon adenomas and carcinomas," *Cancer Res*, vol. 47, pp. 2704-2713, 1987.
- [48] T. M. Yeung, S. C. Gandhi, J. L. Wilding, R. Muschel, and W.F. Bodmer, "Cancer stem cells from colorectal cancer-derived cell lines," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, no. 8, 3722-3727, 2010.
- [49] J.L. Arrondo, A. Muga, J. Castresana, F.M. Goni, "Quantitative studies of the structure of proteins in solution by Fourier-transform infrared spectroscopy," *Prog Biophys Mol Biol*. vol. 59, no.1, pp.23-56, 1993.
- [50] J.L. Arrondo, F.M. Goni, "Structure and dynamics of membrane proteins as studied by infrared spectroscopy," *Prog Biophys Mol Biol*, vol.72, no. 4, pp.367-405, 1999.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## *Prangos ferulacea* (L.) Lindl. Bitkisinin Toplam Fenolik ve Toplam Flavonoid Madde Miktarı ve Antioksidan Aktivitesinin Belirlenmesi

Çağla KIZILARSLAN HANÇER<sup>a,\*</sup>, Oğuzhan YAVUZ<sup>b</sup>, Fatih UÇKAYA<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Farmasötik Botanik Anabilim Dalı, Eczacılık Fakültesi, Bezmialem Vakıf Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Merkez Eczanesi, Kadıköy/İstanbul, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Hemşirelik Bölümü, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Antalya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ckizilarslanhancer@bezmialem.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1038822

### ÖZ

*Prangos ferulacea* (L.) Lindl. Erzurum ili ve çevrelerinde halk arasında tıbbi ve gıda amaçlı olarak kullanılan bir bitkidir. Özellikle şehrin kuzey taraflarında her yılın Mayıs ayında toplanan *P. ferulacea* (Yöresel adı Çaşır, Çakşır) yaprakları salamura yapılarak tüm yıl boyunca gıda olarak tüketilmektedir. Bu çalışmada Mayıs ayında araziden toplanan bitkinin yaprakları kurutulup 6 farklı çözücü ile (su, metanol, %70 metanol, hekzan, kloroform, aseton) ekstresi, uçucu yağı ve yağ altı suyu elde edilmiştir. Bitkinin salamurasından ise 4 farklı çözücü (aseton, metanol, hekzan, kloroform) ile ekstresi elde edilmiştir. Tüm ekstraktların antioksidan aktivite ve toplam fenolik-flavonoid madde içeriğine bakılmıştır. Ayrıca deney gruplarından elde edilen verilerin temel bileşen analizi (PCA) ve CLUSTVIS yardımı ile ısı haritası kümelemesi yapılmıştır. Sonuç olarak *P. ferulacea* yapraklarından hazırlanan ekstraktların; DPPH yönteminde metanol, su ve %70 metanol kuru bitki ekstraktlarının; ABTS yönteminde %100 metanol, %70 metanol ve su kuru bitki ekstraktlarının standart antioksidanlar kadar etkili oldukları görülmüştür. CUPRAC yönteminde ise kuru bitki su ekstresi 100 µg/mL konsantrasyonunda 1,86 absorbans değeri ile en yüksek bakır iyonu indirgeme gücüne sahip ekstre olmuştur. Kuru bitki metanol ve salamura hekzan ekstraktları 100 µg/mL konsantrasyonunda 1 absorbans değerinden daha yüksek etki göstermiştir. Bitkiden elde edilen uçucu yağ ve yağ altı suyu her 3 yöntemde de en düşük antioksidan aktiviteyi göstermiştir. Toplam fenolik madde içeriği incelendiğinde su, aseton ve metanol kuru bitki ekstraktlarının; toplam flavonoid madde içeriği incelendiğinde ise kloroform ve su kuru bitki ekstraktları ile metanol salamura ekstresinin en yüksek madde içeriğine sahip oldukları görülmüştür. Özellikle yaprakları gıda olarak kullanıldığı için antioksidan aktivite değerlendirmesi açısından su ekstresinin her 3 yöntemde de iyi sonuçlar vermesi, ayrıca toplam fenolik-flavonoid madde içeriğinin yüksek değerleri *P. ferulacea* bitkisinin gıda olarak kullanım şeklini desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Prangos ferulacea*, Antioksidan aktivite, Fenolik içerik, Flavonoid içerik, PCA

## Determination of Total Phenolic and Total Flavonoid Content and Antioxidant Activity of *Prangos ferulacea* (L.) Lindl.

### ABSTRACT

*Prangos ferulacea* (L.) Lindl. is a plant used for medicinal or food purposes among the people in Erzurum province and its surroundings. Especially in the northern parts of the city, the leaves of *P. ferulacea* (Local name Çaşır, Çakşır) collected in May every year are pickled and consumed as food throughout the year. In this study, the leaves of the plant collected from the field in May were dried and extract with 6 different solvents (water,

methanol, 70% methanol, hexane, chloroform, acetone), essential oil, and distillation water were obtained. The extract was obtained from the pickles of the plant with 4 different solvents (acetone, methanol, hexane, chloroform). Antioxidant activity and total phenolic-flavonoid contents of all extracts were examined. In addition, principal component analysis (PCA) of the data obtained from the experimental groups and heat map clustering were done with the help of CLUSTVIS. As a result, in the DPPH method methanol, water, and 70% methanol extracts of dry plant; in ABTS method methanol, 70% methanol, and water extracts of dry plant were found to be as effective as standard antioxidants. In the CUPRAC method, the dry plant water extract had the highest copper ion reducing power with an absorbance value of 1.86 at a concentration of 100 µg/mL. Dry plant methanol and hexane pickles extracts showed a higher effect than 1 absorbance value at 100 µg/mL concentration. The essential oil and distillation water showed the lowest antioxidant activity in all three methods. When the total phenolic content was examined, it was seen that the dry plant extracts of water, acetone, and methanol; when the total flavonoid content was examined, it was seen that chloroform and water dry plant extracts and methanol pickles extract had the highest substance content. Especially since the leaves are used as food, the good results of water extracts in all three methods in terms of antioxidant activity evaluation, and the high values of the total phenolic-flavonoid substance content support the use of the *P. ferulacea* plant as food.

**Keywords:** *Prangos ferulacea*, Antioxidant activity, Phenolic content, Flavonoid content, PCA

Geliş: 20/12/2021, Düzeltme: 08/05/2022, Kabul: 13/05/2022

## I. GİRİŞ

Apiaceae familyasının bir üyesi olan *Prangos* Lindl. cinsinin dünyaya yayılmış 43 türü bulunmaktadır. Bu türler İran-Turan fitocoğrafik bölgesinin çeşitli bölgelerinde yetişir [1]. Anadolu *Prangos* cinsi için çok önemli bir merkezdir. Bu cins Türkiye’de geniş dağılmakla birlikte 10 tanesi endemik olan 19 taksonla temsil edilmektedir [2]. *Prangos ferulacea* (L.) Lindl., ülkemizde iç, kuzey ve güney Anadolu’da, kayalıklar arasında, 600-2500 metreler arasında yetişen çok yıllık bir bitkidir. Mayıs-Temmuz aylarında çiçeklenir [3]. *P. ferulacea*, özellikle Doğu Anadolu’da “Çaşır, Çakşır, Çağşır” adıyla bilinmektedir. Bitkinin diğer bölgelerde kullanılan yöresel isimleri ise “Eşek çaşırı, Çaşır, Heliz, Köfte otu, Sarı çaşır, Kürdan otu, Melek otu ve Tekesakalı’dır” [4].

Dünyanın pek çok ülkesinde halk hekimliğinde kullanılan *P. ferulacea* bitkisinden elde edilen ekstrelerinin antioksidan, antidiyabetik, antilipidemik, analeptik, antispazmodik, antihelmintik, antimikrobiyal, analjezik, emoliyan, yara iyileştirici, hepatoprotektif, tümör küçültücü ve sitotoksik etkiler gösterdiği belirtilmiştir [5, 6]. *P. ferulacea* kökleri ve toprak üstü kısımları ülkemizde afrodisyak etkili olarak; genç sürgünleri diyabet tedavisinde; yaprakları ve genç sürgünleri antihipertansif etkili olarak kullanılmaktadır [7]. Bitkinin yaprakları Van otlı peynir yapımında, mercimek köftesi yapımında ve bitki salatası yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca gövde kabukları soyulduktan sonra yenir [8]. Bitkinin hayvan yemi olarak kullanıldığı da bilinmektedir [9]. Bitki, besin değerinin yüksek olması, insan sağlığı bakımından önemli etkileri olması, halk hekimliğinde farklı kullanım alanları bulunması ve toksik olmaması nedeniyle dikkat çekmektedir [5].

*P. ferulacea*; Erzurum ili ve çevresinde de halk arasında sıklıkla antidiyabetik ve antikanser etkili olarak kullanılmaktadır. Özellikle şehrin kuzey taraflarında her yılın Mayıs ayında toplanan yaprakları salamura yapılarak tüm yıl boyunca yemeklere katılarak, kahvaltıda ve özel günlerde tüketilmektedir. Bitkide bulunan bileşenler kumarinler, terpenler, flavonoidler, alkoller, esterler, benzaldehitler, ketonlar, fenolik asitler, benzenoidler, ozlar, enzimler (mirosinaz, peroksidaz), vitaminler, mineraller, glikozidlerdir. Bitkinin farklı kısımlarından elde edilen uçucu yağın kimyasal bileşenleri de tespit edilmiştir. Bitkiyle ilgili yapılan kimyasal çalışmaların çoğu uçucu yağlar ve kumarinler üzerinde yoğunlaşmıştır [5].

Serbest radikaller ateroskleroz, iskemik kalp hastalığı, kanser, Alzheimer, Parkinson gibi birçok hastalığın ve hatta yaşlanma sürecinin patogenezinde önemli rol oynar [10]. Hücresel savunma

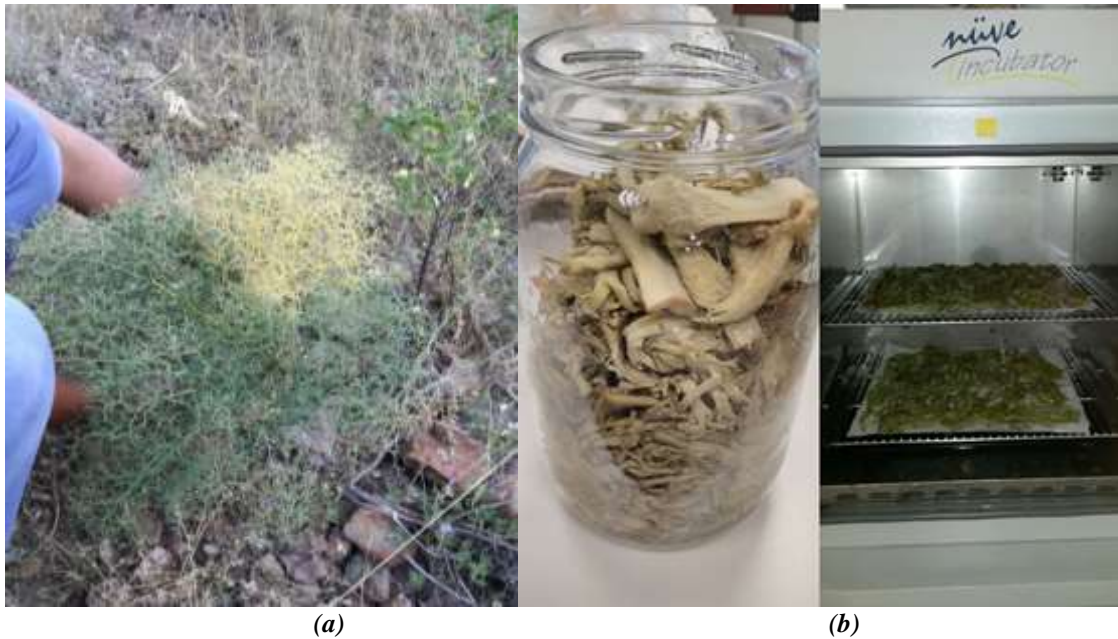
sisteminde hem eksojen hem de endojen antioksidanların kullanımı ile serbest radikallerin süpürülmesi önemli bir konudur. Son on yılda gıda kaynaklı antioksidanlar, reaktif oksijen türleri (ROT) süpürme etkileriyle büyük ilgi görmüşlerdir [11]. Günümüzde kullanılan sentetik antioksidanların olumsuz sağlık etkilerine sahip olduğu veya bunları teşvik ettiği düşünülmektedir ve bu nedenle kullanımlarına kısıtlamalar getirilmiştir ve doğal olarak oluşan antioksidanların sentetik antioksidanların yerine geçme eğilimi vardır [12].

Dünyanın farklı yerlerinde yetişen ve özellikle tıbbi özelliklerinden faydalanılan birçok bitkinin antioksidan aktiviteleri belirlenmiştir. Bu bitkilerde, antioksidan etki genellikle fenollerin ve flavonoidlerin varlığı ve bunların serbest radikal süpürücü aktiviteleri ile ilgilidir. *P. ferulacea* zengin bir antioksidan kaynağıdır [6]. Bu doğrultuda, yapmış olduğumuz çalışmada Erzurum’da doğal olarak yetişen *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından farklı çözücülerle hazırlanan ekstraktlarının, uçucu yağın ve yağ altı suyunun antioksidan kapasitesi “CUPRAC” Bakır (II) iyonu indirgeme kapasitesi, “ABTS” katyon radikalini giderme etkileri, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radikaline karşı inhibisyon etkileri ile belirlenmiştir. Ayrıca toplam fenolik ve toplam flavonoid madde miktarı tayin edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile gıda olarak önemli bir kullanım alanına sahip *P. ferulacea* bitkisinin yapraklarından elde edilen uçucu yağın, yağ altı suyunun ve ayrıca halk arasında sıklıkla kullanılan salamurasının antioksidan aktivitesi ve toplam fenolik-flavonoid madde miktarı tayini ilk defa birarada verilerek değerlendirilmiştir.

## **II. MATERYAL ve YÖNTEM**

### **A. BİTKİNİN TOPLANMASI VE KURUTULMASI**

Çalışmada kullanılan *P. ferulacea* yaprakları 2018 yılı Mayıs ayının ikinci yarısında Erzurum ili, Oltu ilçesi, İnci Köyü mevkiinden toplanarak gölgede kurutulmuştur (Şekil 1a). Herbaryum tekniklerine uygun olarak hazırlanan bitki örneği İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Herbaryumu’na (ISTE) verilmiştir (ISTE no: 115523). Kurutulan bitki blender ile parçalanarak kuru bir ortamda muhafaza edilmiştir. Bölgeden toplanan bitki, yöre halkı tarafından suda haşlanıp ardından kaya tuzu ile birlikte şişelenerek yıl boyunca kullanmak için salamura edilmektedir. Yöre halkından temin edilen salamura örnekler çalışmada kullanılmadan önce etüvde 40 °C sıcaklıkta kurutulmuştur (Şekil 1b).



**Şekil 1. (a) *P. ferulacea* bitkisinin toplanan taban yaprakları (b) Salamura bitkinin etüvde kurutulması.**



## B. BİTKİ EKSTRELERİNİN HAZIRLANMASI

Kurutulup eşit büyüklükte parçalara ayrılan ve homojenize edilen *P. ferulacea* taban yaprakları 10 gr olacak şekilde tartılmıştır. Altı farklı çözücüden (distile su, %70 MeOH, %100 metanol, aseton, hekzan, kloroform) mezür ile 100 mL alınmış ve tartılan bitkiler ile aynı balon jöjeye konulmuştur. Bu şekilde kuru bir yerde 3 günlük maserasyon yapılarak süzüntü her gün toplanmıştır. Elde edilen süzüntülerden hekzan, kloroform, aseton ve metanol rotary evaporatörde çözücülerinden arındırılmıştır. Distile su ve %70 MeOH süzüntüleri ise önce rotary evaporatörde uçurulmuş ve ardından liyofilizatörde çözücülerinden arındırılıp ekstralar elde edilmiştir.

Kurutulan salamura bitki de aynı şekilde 10 gr olacak şekilde tartılmıştır. Dört farklı çözücüden (hekzan, kloroform, aseton ve metanol) 100 mL alınmış ve ölçülen bitkiler ile aynı balon jöjeye konulmuştur. 3 günlük maserasyon işlemi yapılarak elde edilen süzüntüler rotary evaporatörde çözücülerinden arındırılarak ekstralar elde edilmiştir.

## C. UÇUCU YAĞ VE YAĞ ALTI SUYUNUN HAZIRLANMASI

Kurutulup eşit büyüklükte parçalara ayrılan ve homojenize edilen *P. ferulacea* taban yapraklarından 50 gram tartılıp balon jöjeye alınmıştır. Clevenger Yöntemi ile 0,1 mL uçucu yağ ve 7,5 mL yağ altı suyu elde edilmiştir [13]. Yöntemde, soğutucu ile irtibatlandırılan bir cam balon içerisinde su ve *P. ferulacea* taban yaprakları 4 saat kaynatılmış ve su buharı ile birlikte hareket eden *P. ferulacea* uçucu yağ moleküllerinin soğutucuda yoğunlaştırılıp sudan ayrıştırılması sağlanmıştır [14].

Distilasyon işlemi sırasında saat başı 10 mL yağ altı suyu alınarak, distilasyon sonunda yağ altı suları tek bir şişede toplanmıştır. Dinlendirme işleminden sonra filtre kağıdından süzülüp çalışmaya hazır hale getirilmiştir [15].

## D. TOPLAM FENOLİK ve FLAVONOİT İÇERİK TESPİTİ

### D. 1. Toplam Fenolik Madde Miktar Tayini

Ekstrelerin toplam fenolik içerikleri Folin-Ciocalteu Reaktif (FCR) kullanılarak gallik aside eşdeğer olarak belirlenmiştir [16]. 100 ppm'lik gallik asit çözeltisi hazırlanmış ve bu çözeltiden 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 µL alınarak hacimleri distile su ile 184 µL'ye tamamlanmıştır. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstraların, uçucu yağının ve yağ altı suyunun 1000 ppm konsantrasyondaki çözeltileri hazırlanmıştır. Bir miligram ekstre içeren örnek çözeltilerinden 4 µL alınarak, distile su ile 184 µL'ye tamamlanıp, gallik asit çözeltileri ve örneklere 4 µL FCR ve 3 dk sonra %2'lik Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisinden 12 µL ilave edilmiştir. Karışım 2 saat oda sıcaklığında bekletilmiş ve örneklerin absorbansları Elisa mikropkaka okuyucu ile 760 nm'de okunmuştur. Ekstrelerin toplam fenolik içerikleri standart gallik asit grafiğinden elde edilen eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

### D. 2. Toplam Flavonoid Madde Miktar Tayini

Hazırlanan örneklerin toplam flavonoid içerikleri alüminyum nitrat metodu ile kuersetine eşdeğer olarak belirlenmiştir [17]. 1000 ppm'lik kuersetin çözeltisi hazırlanmış ve bu çözeltiden 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 µL alınarak hacimleri %80'lik etanol ile 192 µL'ye tamamlanmıştır. 4 µL 1 M potasyum asetat eklenmiş ve bir dakika sonra 4 µL %10'luk alüminyum nitrat ilave edilmiştir. 40 dakika inkübasyon süresinden sonra 415 nm'de mikropkaka okuyucu ile absorbansları okunmuştur. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstraların, uçucu yağının ve yağ altı suyunun hazırlanan çözeltilerinin de absorbans değerleri okunmuştur. Örneklerin toplam flavonoid içerikleri, standart kuersetin grafiğinden elde edilen eşitlikten faydalanarak belirlenmiştir.

## E. ANTIOKSİDAN AKTİVİTE TESTLERİ

*P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun antioksidan aktiviteleri, DPPH serbest radikal giderme, ABTS katyon radikali giderme tayini ve bakır (II) iyonu indirgeme kapasite tayini (CUPRAC) yöntemleri ile belirlenmiştir.

### E. 1. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi Tayini

*P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun DPPH serbest radikalini giderme aktiviteleri Blois metoduna göre yapılmıştır [18]. Serbest radikal olarak DPPH'nin 0,1 mM'lık çözeltisi kullanılmış ve mikrolaka kuyucuklarına sırasıyla 10-100 µg/µl konsantrasyonlarında çözelti oluşturacak şekilde stok çözeltileri aktarılıp toplam hacimleri 40 µL olacak şekilde etanol ile tamamlanmıştır. Daha sonra her bir numune tüpüne stok DPPH çözeltisinden 160 µl ilave edilerek 30 dakika oda sıcaklığında ve karanlıkta inkübe ettikten sonra etanolden oluşan köre karşı 517 nm'de absorbansları okunmuştur. Kontrol olarak etanol kullanılmıştır. Sonuçlar standart BHA, BHT ve α-tokoferol ile kıyaslanmıştır. DPPH serbest radikal giderim aktivitesi (% inhibisyon) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Eş. 1).

$$\% \text{ İnhibisyon} = \left[ \frac{A_{\text{kontrol}} - A_{\text{örnek}}}{A_{\text{kontrol}}} \right] \times 100 \quad (1)$$

### E. 2. ABTS Katyon Radikali Giderme Aktivitesi Tayini

*P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun ABTS katyon radikali giderim aktiviteleri 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) kullanılarak belirlenmiştir [19]. Örneklerin 10 mg'ı 10 mL etanolde çözülerek stok çözeltileri hazırlanmıştır. Bu stok çözeltilerden 2, 5, 10 ve 20 µL alınarak etanol ile hacimleri 40 µL'ye tamamlanmış ve üzerlerine 7 mM ABTS katyon radikali çözeltisinden 160 µL ilave edilmiştir. Reaksiyon karanlıkta 6 dakika bekletildikten sonra 734 nm'de absorbansları ölçülmüş ve örneklerin absorbans değerleri kontrole karşı değerlendirilmiştir. Kontrol olarak etanol kullanılmıştır. Sonuçlar standart BHA, BHT ve α-tokoferol ile kıyaslanmıştır. ABTS katyon radikali giderim aktivitesi de (% inhibisyon) Eş. 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

### E. 3. CUPRAC Yöntemi (Bakır (II) İyonu İndirgeme Gücü)

*P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun Bakır (II) iyonu (Cu<sup>2+</sup>) indirgeme kapasiteleri Apak ve arkadaşlarının kullandığı CUPRAC metodunun modifiye edilmiş hali kullanılarak belirlenmiştir [20]. Bunun için mikrolaka kuyucuklarına 10-30 µg/mL konsantrasyonlarında hazırlanmış stok ve standart çözeltileri ayrı ayrı eklenmiştir. Üzerlerine 0,01 M'lık 0,25 mL CuCl<sub>2</sub> çözeltisi ilave edilmiş, ardından 0,25 mL 7,5x10<sup>-3</sup> M'lık etanolik neokuprin çözeltisi ve 1 M'lık amonyum asetat tamponu ilave edilmiştir. Yarım saatlik bir inkübasyondan sonra 450 nm'de absorbansları okunmuştur. Reaksiyon karışımının artan absorbansı artan bakır iyonu indirgeme kapasitesini göstermiştir. Kontrol olarak etanol kullanılmıştır. Sonuçlar standart BHA, BHT ve α-tokoferol ile kıyaslanmıştır.

## F. İSTATİSTİK ANALİZ

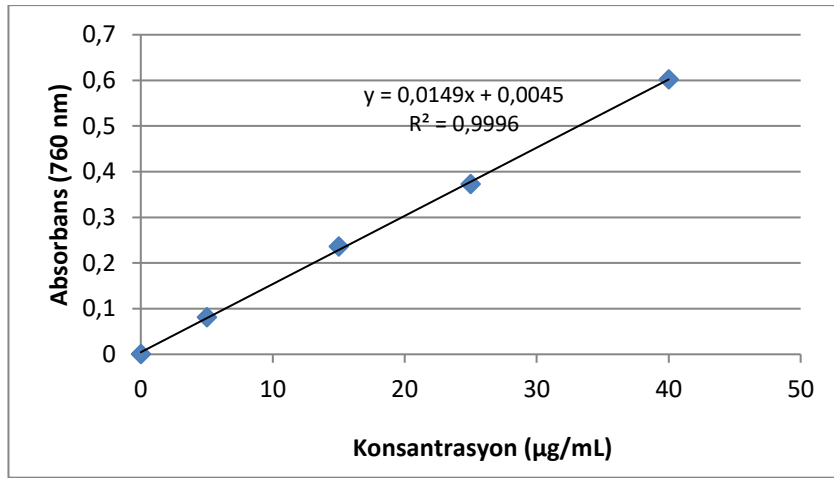
Deney gruplarından elde edilen verilerin, “(x-mean)/stdev” üzerinden transforme edildikten sonra PAST-Software ile temel bileşen analizi (Principal component analysis, PCA) ve CLUSTVIS yardımı ile ısı haritası kümelemesi (Heat map clustering) yapılmıştır.

### III. BULGULAR

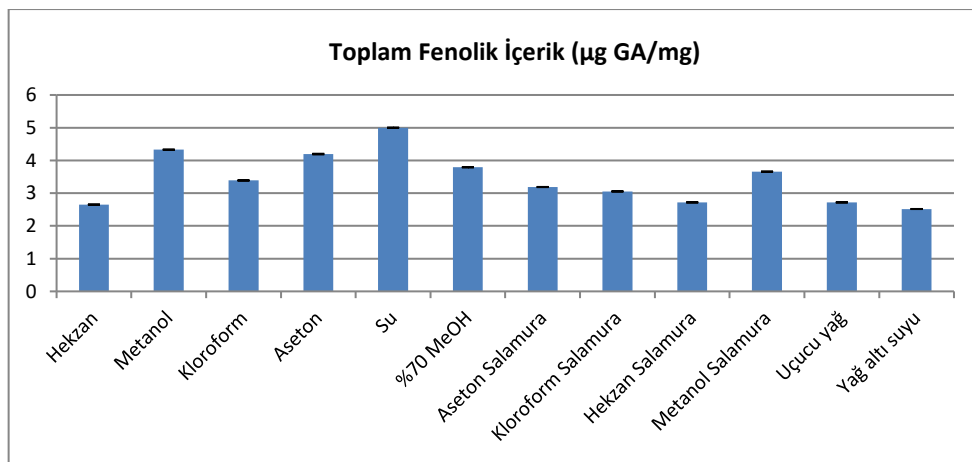
#### A. TOPLAM FENOLİK ve TOPLAM FLAVONOİD İÇERİK BULGULARI

##### A. 1. Toplam Fenolik Madde Miktar Tayini

*P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağın ve yağ altı suyunun Folin-Ciocalteu reaktifi kullanılarak toplam fenolik madde analizi yapılmıştır. Analizde standart olarak kullanılan gallik asit (GA) grafiği oluşturulmuş (Şekil 2) ve bu grafik kullanılarak ekstrelerdeki, uçucu yağdaki ve yağ altı suyundaki fenolik madde miktarı gallik asite ( $\mu\text{g GA}/\text{mg}$  ekstrakt) eşdeğer olarak hesaplanmıştır (Şekil 3). Yapılan fenolik madde analizi sonucunda su ekstresinin toplam fenolik madde içeriğinin  $5 \mu\text{g GA}/\text{mg}$  olduğu belirlenmiştir. Bunu  $4,329 \mu\text{g GA}/\text{mg}$  ile metanol ekstresi ve  $4,195 \mu\text{g GA}/\text{mg}$  ile aseton ekstresi takip etmektedir.



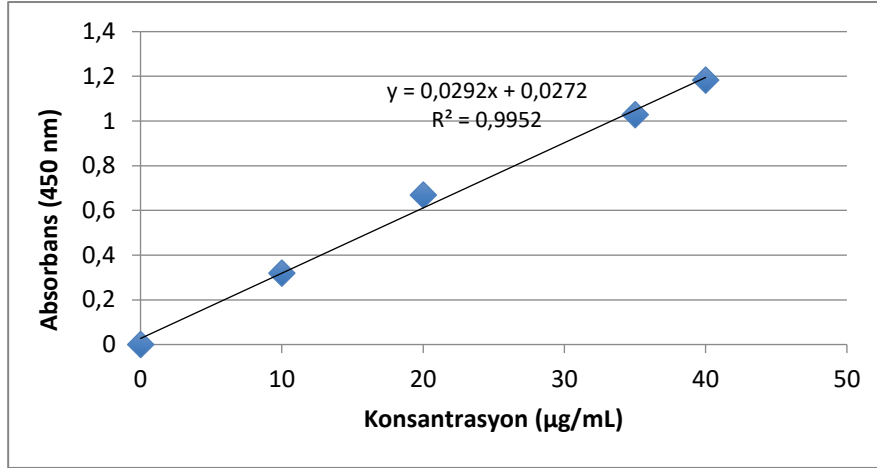
Şekil 2. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun toplam fenolik madde miktarı için gallik asit kalibrasyon eğrisi.



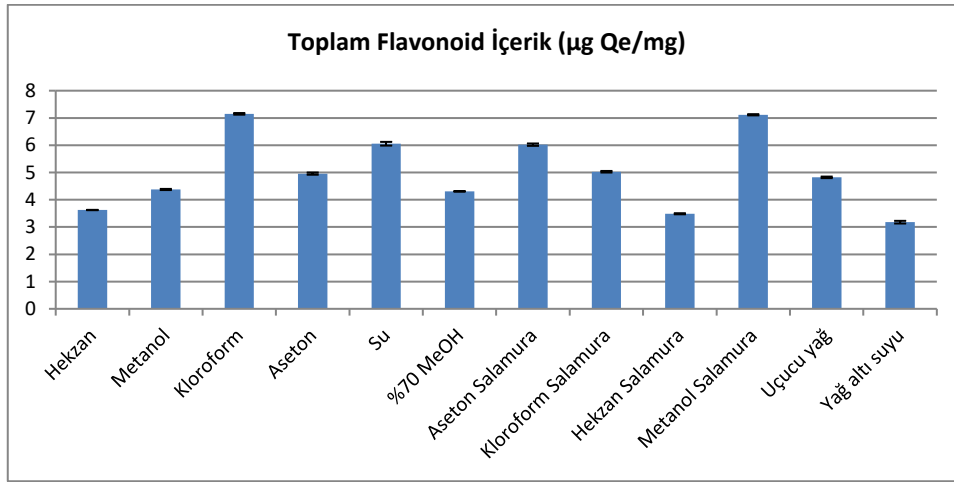
Şekil 3. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun toplam fenolik madde miktarı sonuçları.

##### A. 2. Toplam Flavonoid Madde Miktar Tayini

*P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağın ve yağ altı suyunun toplam flavonoid madde içeriği standart olarak kuersetin (Qe) kullanılarak grafik oluşturulmuş (Şekil 4) ve bu grafik kullanılarak ekstrelerdeki, uçucu yağdaki ve yağ altı suyundaki flavonoid madde içeriği kuersetine ( $\mu\text{g Qe/mg}$  ekstrakt) eşdeğer olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Yapılan analiz sonucunda kloroform ekstresinin toplam flavonoid madde içeriğinin  $7,15 \mu\text{g Qe/mg}$ , metanol salamura ekstresinin  $7,116 \mu\text{g Qe/mg}$ , su ekstresinin  $6,054 \mu\text{g Qe/mg}$  ve aseton salamura ekstresinin  $6,02 \mu\text{g Qe/mg}$  olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun toplam flavonoid madde miktarı için kalibrasyon eğrisi.



Şekil 5. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun toplam flavonoid madde miktarı sonuçları.

*P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun toplam fenolik ve toplam flavonoid miktarları toplu olarak Tablo 1'de verilmiştir. Tespit edilen en yüksek içerikler koyu yazılarak belirtilmiştir. Bitkinin yapraklarından elde edilen uçucu yağ ve toplanan yağ altı suyu düşük flavonoid ve fenolik içeriğe sahiptir.

Tablo 1. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun toplam fenolik ve toplam flavonoid miktarları\*.

Ekstre	Toplam flavonoid içerik ( $\mu\text{g Qe/mg}$ )	Toplam fenolik içerik ( $\mu\text{g GA/mg}$ )
Hekzan	$3,623 \pm 0,006$	$2,651 \pm 0,001$

Metanol	4,376 ± 0,006	4,329 ± 0,007
Kloroform	<b>7,150 ± 0,027</b>	3,389 ± 0,001
Aseton	4,958 ± 0,018	4,195 ± 0,011
Su	6,054 ± 0,092	<b>5,000 ± 0,002</b>
%70 MeOH	4,308 ± 0,009	3,792 ± 0,002
Aseton Salamura	6,020 ± 0,007	3,188 ± 0,002
Kloroform Salamura	5,027 ± 0,005	3,054 ± 0,001
Hekzan Salamura	3,486 ± 0,028	2,718 ± 0,001
Metanol Salamura	7,116 ± 0,063	3,658 ± 0,001
Uçucu Yağ	4,821 ± 0,031	2,718 ± 0,001
Yağ Altı Suyu	3,178 ± 0,019	2,517 ± 0,001

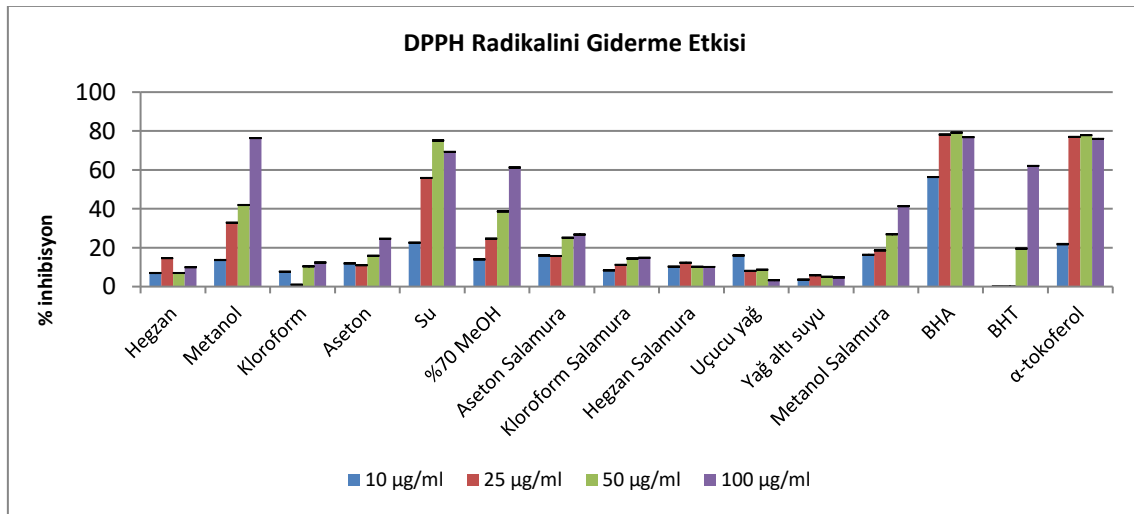
\* Tablodaki değerler 3 tekrarin ortalamasını ve standart sapmayı göstermektedir.

## B. ANTIÖKSİDAN AKTİVİTE BULGULARI

*P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun antioksidan aktiviteleri radikalik inhibisyon ve metal indirgeme gücü parametreleri ile belirlenmiştir.

### B. 1. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi Tayini

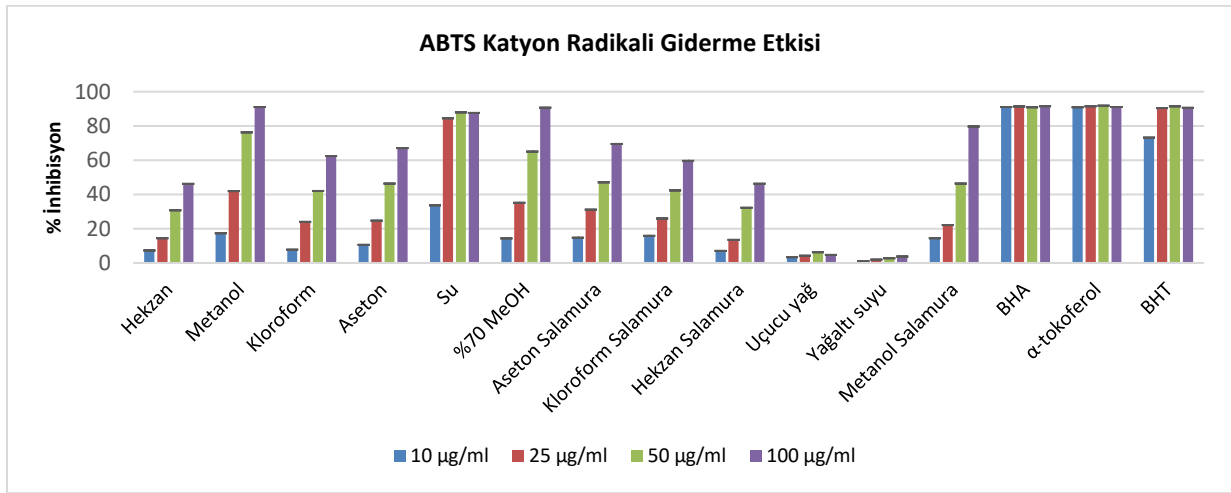
*P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun serbest radikal süpürücü etkisine DPPH testi ile bakılmıştır. Örneklerin DPPH radikaline karşı inhibisyon etkileri incelendiğinde, metanol, su ve %70 MeOH kuru bitki ekstrelerinin standart antioksidanlar olan BHA ve  $\alpha$ -tokoferol kadar etkili oldukları görülmüştür. Metanol ekstresi 100  $\mu$ g/mL konsantrasyonunda %76,4 inhibisyon ile  $\alpha$ -tokoferol (%75,9) standardından daha yüksek antioksidan etki gösterirken, BHA (%76,8) standardı ile neredeyse aynı seviyede antioksidan kapasiteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Su ekstresinin 50  $\mu$ L/mL konsantrasyonda standartlar ile oldukça yakın düzeyde antioksidan etki gösterdiği görülmüştür. %70 MeOH ekstresi ise 100  $\mu$ g/mL konsantrasyonunda %50'nin üzerinde inhibisyon etki göstermiştir. Bu üç ekstre arasında en yüksek antioksidan kapasiteyi metanol, ardından su ve sonrasında %70 MeOH göstermiştir. Diğer ekstreler %50'nin altında inhibisyon gösterdiklerinden daha az antioksidan etkiye sahip oldukları görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun DPPH radikalini giderme etkisi.

## B. 2. ABTS Katyon Radikali Giderme Aktivitesi Tayini

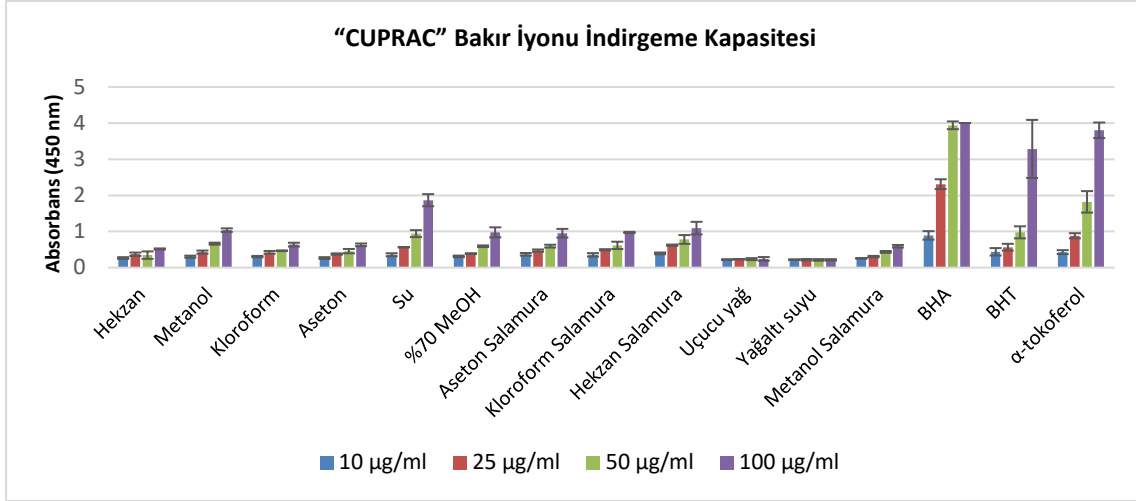
ABTS Katyon Radikali Giderme Aktivitesi Tayini yöntemi sulu karışımların, içeceklerin, ekstrelerin veya saf maddelerin radikal giderme aktivitelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun, ABTS katyon radikalini giderme etkileri incelendiğinde, metanol, %70 MeOH ve su ekstrelerinin standart antioksidanlar olan BHA, BHT ve  $\alpha$ -tokoferol kadar etkili oldukları görülmüştür. Metanol ekstresi 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  konsantrasyonunda %91 inhibisyon ile BHT (%90) standardından daha yüksek inhibisyon,  $\alpha$ -tokoferol ve BHA (%91-%91) standartlarıyla ise aynı antioksidan özellik göstermiştir. %70 MeOH ekstresi 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  konsantrasyonunda %90,5 inhibisyon ile BHT standardıyla aynı,  $\alpha$ -tokoferol ve BHA standartlarına ise yakın antioksidan aktivite göstermiştir. Su ekstresi ise 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  konsantrasyonunda ve 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$  konsantrasyonunda %87 ve %88 inhibisyon göstermiştir. Aseton, kloroform, aseton salamura, kloroform salamura ve metanol salamura ekstreleri ise %50'nin üzerinde inhibisyon etki göstermiştir. %50'nin altında olan ekstreler az seviyede antioksidan etki göstermişlerdir (Şekil 7).



Şekil 7. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun ABTS katyon radikalini giderme etkisi.

## B. 3. CUPRAC Yöntemi (Bakır (II) İyonu İndirgeme Gücü)

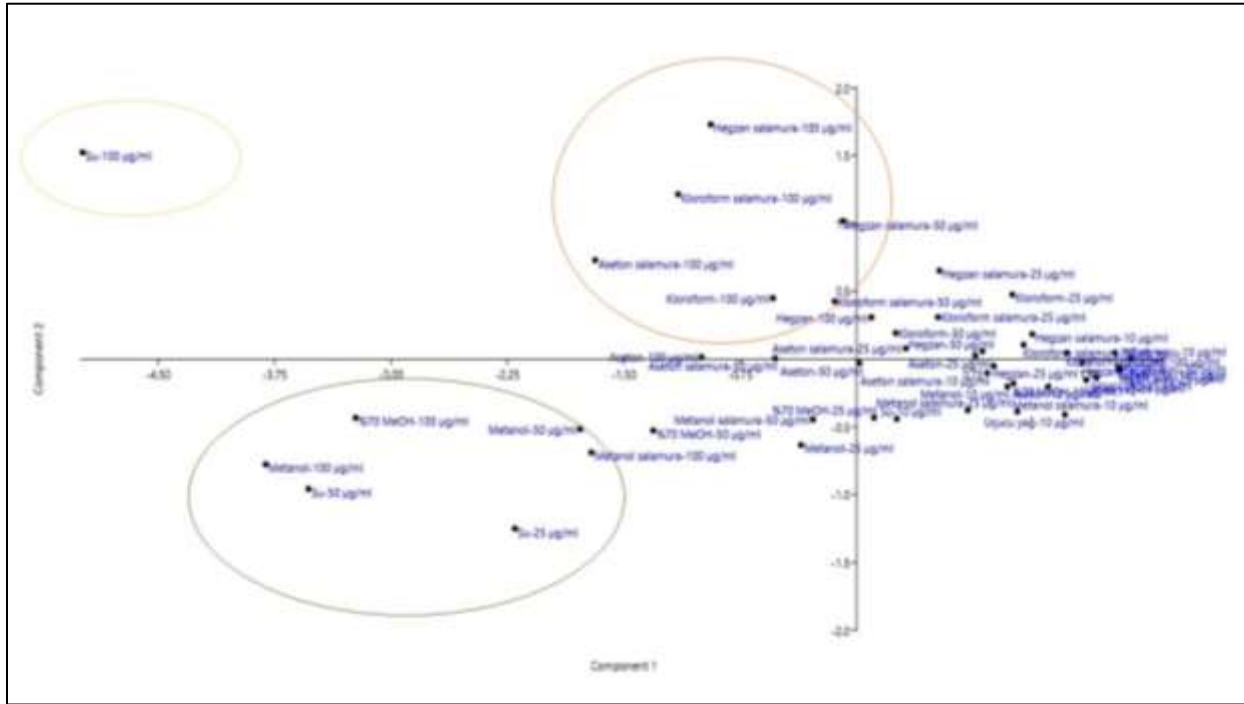
*P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun, CUPRAC yöntemi ile bakır iyonu indirgeme kapasitesi incelendiğinde, su ekstresi 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  konsantrasyonunda 1,86 absorbans değeri ile en yüksek bakır iyonu indirgeme gücüne sahip ekstre olmuştur. Kuru bitki metanol ve salamura hekzan ekstreleri 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  konsantrasyonunda 1 absorbans değerinden daha yüksek etki göstermiştir. Kalan ekstrelerin de bakır iyonlarını tutma kapasitesine sahip oldukları görülmüştür. Fakat en yüksek etkiyi gösterenler sırasıyla, su, metanol ve hekzan salamura ekstreleri olmuştur (Şekil 8).



Şekil 8. *P. ferulacea* yapraklarından ve salamurasından hazırlanan ekstrelerin, uçucu yağının ve yağ altı suyunun "CUPRAC" Bakır iyonu indirgeme kapasitesi.

### C. İSTATİSTİK ANALİZ BULGULARI

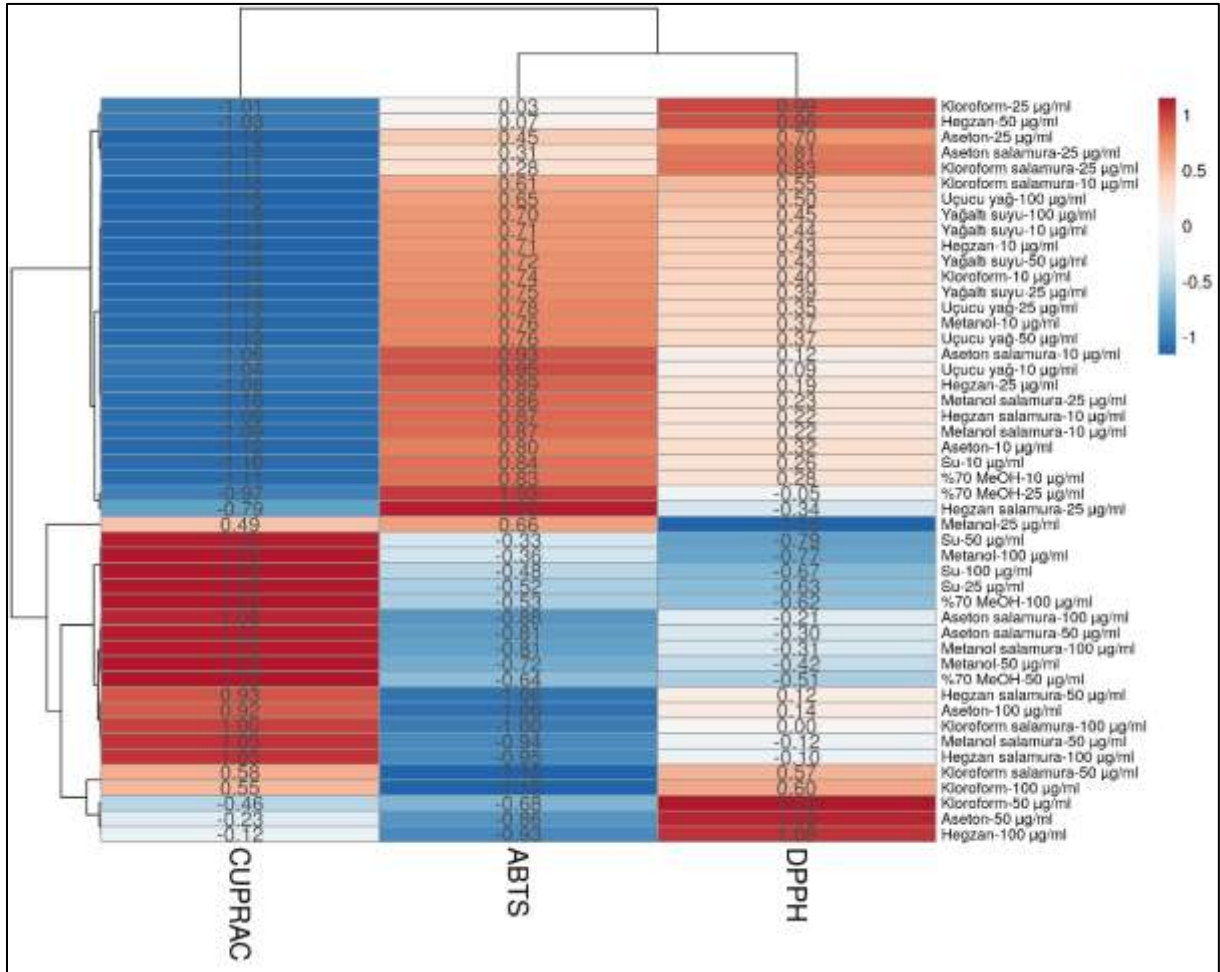
Elde edilen bulgulara; PCA sonuçlarına göre, analize alınan 3 değişkenin (ABTS, DPHH, CUPRAC) öz değeri 1'den yüksek olan bir faktör altında toplandığı görülmüştür ( $PC_1:2,52$ ;  $PC_2:0,33$ ;  $PC_3:0,14$ ). Önemli olarak belirlenen faktörlerden birincisi ( $PC_1:2,52$ ) antioksidan aktivitelerine ilişkin toplam değişimin yaklaşık %84,17'sini açıkladığı belirlenmiştir (Şekil 9). Genel olarak, deney gruplarından su-100m µg/mL; su-25 ve su-50 µg/mL ile metanol 50 ve 100 µg/mL ve %70 metanol-100 µg/mL; hekzan, aseton ve kloroform salamura ile kloroform ekstraktlarının 100 µg/mL konsantrasyonu benzer düzeyde aktivite göstermişlerdir.



Şekil 9. Temel bileşen analizi (Principal component analysis, PCA).

Isı haritası kullanılarak yapılan kümeleme (heat map clustering) analizlerine göre; deneysel gruplar iki ana küme altında toplanmıştır. Buna göre; uygulanan konsantrasyon ve ekstraksiyon çeşidine bağlı olarak net bir ayırlama elde edilememiştir. İncelenen parametreler yönünden de iki ana küme oluşmuştur. DPPH ve ABTS verileri aynı kümede yoğunlaşırken CUPRAC'ın ise ayrı bir kümeye ayrıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 10). Bu tarz çok değişkenli istatistiksel analizler, veri setlerinin çok büyük olması durumunda sıklıkla başvurulan analiz yöntemlerindedir.

Bu çalışmamızda, bağımsız değişkenlerin (yani deneysel grupların) sayısı oldukça yüksek ancak bağımlı değişkenlerin (DPPH, ABTS, CUPRAC gibi incelenen parametrelerin) sayısı oldukça azdır. Bağımlı değişkenlerin sayısının az olması; ilgili grupların daha net kümelenebilirliğini kısmen sınırlamıştır.



Şekil 10. Isı haritası ile kümeleme (heat map clustering).

#### IV. TARTIŞMA ve SONUC

Yapılan bu çalışma ile *P. ferulacea* bitkisinin halk tarafından doğrudan kullanılan kısmı olan yaprakları ve bu yapraklardan hazırlanan salamurası üzerinde detaylı bir antioksidan aktivite ve toplam fenolik-flavonoid madde analizi yapılmıştır. Elde edilen antioksidan aktivite sonuçlarına göre metanol, su ve %70 metanol ekstraktları radikalik molekülleri ve bakır iyonlarını diğerlerinden daha yüksek oranda inhibe etmişlerdir. Yukarıda bahsedilen fenolik bileşik miktarları diğerlerine oranla



yüksek bulunmuştur. Bu bulgu, ekstrelerin toplam fenolik bileşik miktarlarına bakılarak açıklanabilirken toplam flavonoid miktarları incelendiğinde kısmi olarak açıklanabilmektedir.

Örneklerin DPPH radikaline karşı inhibisyon etkilerini incelediğimizde, metanol, su ve %70 MeOH ekstrelerinin standart antioksidanlar olan BHA ve  $\alpha$ -tokoferol kadar etkili oldukları görülmüştür. Bu üç ekstre arasında en yüksek antioksidan kapasiteyi metanol ardından su ve sonrasında %70 MeOH göstermiştir. Bizim sonuçlarımıza paralel olarak, Ahmed ve ark. *Prangos* türlerinin kök, toprak üstü kısım ve meyveleri ile ilgili yaptıkları bir çalışmada, DPPH radikaline karşı inhibisyon etkilerini incelediklerinde metanol ekstresinin su ekstresinden daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiğini bildirmiştir [1]. Dağdelen ve ark. yaptıkları çalışmada da pazardan satın alınan *P. ferulacea* örneklerinin DPPH radikaline karşı inhibisyon etkilerini incelediklerinde metanol ekstresinin su ekstresinden daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiğini bildirmiştir [21].

Cesur ve ark. yapmış oldukları bir çalışmada farklı zamanda (Mayıs ve Temmuz) *P. ferulacea* meyvelerini toplamış ve DPPH radikal süpürme aktivitesini incelemiştir. Çalışmaya göre, ekstrelerin antioksidan özellikleri, kullanılan çözücü ve konsantrasyondan ve meyvelerin toplanma süresinden etkilenmiştir. Çalışmaya göre, *P. ferulacea* meyvelerinin Mayıs ayında toplanması önerilmiştir [22].

Çalışmamızda incelenen örneklerin antioksidan aktivite sonuçlarından ABTS katyon radikalini giderme etkileri incelendiğinde, metanol, su ve %70 MeOH ekstrelerinin standart antioksidanlar olan BHA, BHT ve  $\alpha$ -tokoferol kadar etkili oldukları görülmüştür. Dağdelen ve ark. yaptıkları çalışmada da pazardan satın alınan bitki örneklerinin ABTS katyon radikalini giderme etkilerini incelediklerinde metanol ekstresinin su ekstresinden daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiğini bildirmiştir [21].

Örneklerin CUPRAC Bakır iyonu indirgeme kapasitesini incelediğimizde, su ekstresi 1,86 absorbans değeri ile en yüksek bakır iyonu indirgeme kapasitesine sahip ekstre olmuştur. Metanol ve hekzan salamura ekstresi 1 absorbans değerinden daha yüksek etki göstermiştir. Bu metot ekstrelerin bakır iyonunu yani bir metal iyonunu ne düzeyde indirgeyebildiğini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Radikallere karşı yapılan inhibisyon yöntemleri ile kıyaslandığında farklılıklar görülmüştür. Bunun sebebi, ekstrelerin içerdiği fenolik bileşiklerin radikallere karşı yüksek seviyede inhibe edici etkiye sahip olabileceği, fakat aynı bileşiklerin metal iyonlarını yeterli düzeyde indirgeme gücüne sahip olmadığı şeklinde açıklanabilmektedir. *P. ferulacea* türü ile ilgili CUPRAC metodu ile yapılmış başka herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Mottaghipisheh ve ark. yaptıkları derlemede İran geleneksel tıbbında *Prangos* türlerinin sıklıkla kullanıldığını belirtmiştir. Ayrıca derlemelerinde *Prangos* türlerinin etnomedikal ve gıda uygulamalarını özetleyerek bu cins hakkında fitokimyasal ve farmakolojik veriler paylaşmışlardır. Cins ile ilgili yapılan araştırmalarda *P. ferulacea* metanol ekstresinin yüksek antioksidan aktivite gösterdiğini belirtmişlerdir [23].

Dağdelen ve ark. yapmış oldukları çalışmada da belirttiği gibi [21], non polar çözücüler ile elde edilen ekstreler en düşük antioksidan aktiviteyi göstermiştir. Ayrıca bitkiden elde edilen uçucu yağ ve yağ altı suyu her 3 yöntemde de en düşük antioksidan aktiviteyi göstermiştir. Bazdar ve ark. yaptıkları çalışmada da *P. ferulacea* uçucu yağının en düşük aktiviteye sahip olduğunu belirtmiştir [24]. Bruno ve ark. yaptıkları çalışmada, *P. ferulacea* türünün fitokimyası ve farmakolojisine yeni bakış açıları sağlamak amacıyla Sicilya'da yetişen bitkiyi araştırmışlardır. Bitkinin uçucu yağının kimyasal bileşimi ve antioksidan, anti asetilkolinesteraz (AChE) ve sitotoksik aktivitelerini incelemişlerdir. *P. ferulacea* uçucu yağının, Trolox'unkinden yaklaşık 65 kat daha düşük bir antioksidan kapasiteye karşılık gelen 89.5  $\mu\text{g/mL}$  IC50 değeri ile aktivite gösterdiğini ortaya koymuştur [25].

Örneklerin Folin-Ciocalteu reaktifi kullanılarak toplam fenolik madde analizi sonucunu incelediğimizde, su ekstresinin en yüksek fenolik madde içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bunu metanol ekstresi ve aseton ekstresi izlemektedir (Tablo 1). Ahmed ve ark. yaptıkları çalışmalarında metanol ekstresinin su ekstresinden daha yüksek aktivite gösterdiğini ve en yüksek aktiviteyi meyvelerin metanol ekstresinin gösterdiğini bildirmiştir [1]. Çoruh ve ark. yaptıkları çalışmalarında,

bizim sonuçlarımıza paralel olarak bitkinin metanol ekstresinin yüksek fenolik içeriğe sahip olduğunu bildirmişlerdir [11].

Örneklerin toplam flavonoid madde analizi sonucunu incelediğimizde, kloroform ekstresinin toplam flavonoid madde içeriği en yüksek bitki ekstresi olduğu ve onu metanol salamura ekstresi, su ekstresi ve aseton salamura ekstresinin takip ettiği belirlenmiştir (Tablo 1). Yapılan bazı çalışmalarda toplam fenol ve flavonoid içeriğinin *P. ferulacea* bitkisinin farklı organları arasında önemli ölçüde değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir [1, 24]. Ahmed ve ark. yaptıkları çalışmalarında hidroalkolik ekstrahelerin sulu ekstrahelere göre daha fazla toplam flavonoid ve fenolik madde içerdiğini bildirmiştir [1].

Zengin ve ark. çalışmalarında, Apiaceae familyasına ait yedi türün metanol ekstraktlarının antioksidan, enzim inhibitörü, antimikrobiyal ve sitotoksik özelliklerini incelemiştir. *Prangos* cinsine ait *P. peucedanifolia* ve *P. ferulacea* türleri, sırasıyla 47,90 ve 44,44 mg gallik asit eşdeğeri/g ekstrakt değerleri ile en yüksek toplam fenolik içeriği göstermişlerdir [26]. Ayrıca *P. ferulacea* toprak üstü kısımlarının antioksidan flavonoidler ve furanokumarinler içerdiği ve bitkinin biyoaktivitesinin ve tıbbi potansiyelinin bu bileşiklerin varlığına bağlanabileceğini belirtilmektedir [27].

Sonuç olarak *P. ferulacea* yaprakları gıda olarak kullanıldığı için antioksidan aktivite değerlendirmesi açısından su ekstresinin her 3 yöntemde de iyi sonuçlar vermesi, toplam fenolik-flavonoid madde içeriğinin yüksek değerleri bitkinin bu kullanım şeklini desteklemektedir. Ekstraksiyon yöntemi toplam fenolik ve flavonoid içeriğinin yanı sıra antioksidan aktiviteyi de etkileyebilmektedir.

*Prangos* cinsinin başlıca kumarinler ve uçucu yağ taşıdığı bilinmektedir [1] fakat flavonoid varlığı fazla belirtilmemiştir [28]. Ülkemizde *P. ferulacea* türü geniş bir yayılım göstermesine rağmen bitkiyle ilgili yapılan araştırmalar az sayıdadır [5]. Ayrıca antioksidan aktiviteden sadece *P. ferulacea* bitkisinin flavonoid içeriğinin sorumlu olmadığı ve antioksidan aktiviteden sorumlu bileşiklerin tespiti konusunda yeterli çalışma olmadığı belirtilmiştir [1]. Yapılacak güncel çalışmalarla bitkide antioksidan aktiviteden sorumlu bileşiklerin belirlenmesi ve karakterizasyon çalışmalarının yapılmasıyla ülkemizde halk arasında önemli bir kullanım alanına sahip olan bitkinin değeri daha çok anlaşılacaktır.

**TEŞEKKÜR:** Makalenin uçucu yağ çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı Dr. Betül Büyükkılıç-Altınbaşak'a teşekkür ederiz.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] J. Ahmed, A. Güvenci, N. Küçükboyacı, A. Baldemir, and M. Coşkun, "Total phenolic contents and antioxidant activities of *Prangos* Lindl. (Umbelliferae) species growing in Konya province (Turkey)," *Turkish Journal of Biology*, vol. 35, pp. 353-360, 2011.
- [2] Y. Menemen, "Prangos," *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. İstanbul, Türkiye: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, 2012, ss. 75-77.
- [3] TÜBİVES. (2021, 8 Haziran). *Taxon page* [Çevrimiçi]. Erişim: [http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=1&tax\\_id=4243](http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=1&tax_id=4243).
- [4] E. Tuzlacı, *Türkiye Bitkileri Sözlüğü*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: Alfa Yayınları, 2011.
- [5] E. Bozkurt ve Y. Bayır, "Prangos ferulacea (L.) Lindl. bitkisinin botanik özellikleri, geleneksel kullanımı ve biyolojik aktivitesinin incelenmesi: Sistemik derleme," *Literatür Eczacılık Bilimleri Dergisi*, c. 10, s. 3, ss. 372-84, 2020.
- [6] N. Kafash-Farkhad, M. Asadi-Samani and M. Rafieian-Kopaei, "A review on phytochemistry

and pharmacological effects of *Prangos ferulacea* (L.) Lindl.,” *Life Science Journal*, vol. 10, pp. 360-367, 2013.

[7] A. Doğan, G. Bulut, E. Tuzlacı and İ. Şenkardeş, “A review of edible plants on the Turkish Apiaceae species,” *İstanbul Journal of Pharmacy*, vol. 44, no. 2, pp. 251-262, 2014.

[8] E. Tuzlacı, *Türkiye'nin Yabani Besin Bitkileri ve Ot Yemekleri*, 1. baskı, İstanbul: Alfa Yayınları, 2011.

[9] B. Coşkun, N. Gülşen and H.D. Umucalılar, “The nutritive value of *Prangos ferulacea*,” *Grass and Forage Science*, vol. 59, no. 1, pp. 15-19, 2004.

[10] O.I. Aruoma, “Methodological considerations for characterizing potential antioxidant actions of bioactive components in plant foods,” *Mutation Research*, pp. 523-524, 2003.

[11] N. Çoruh, C. Sağdıçoğlu and F. Özgökce, “Antioxidant properties of *Prangos ferulacea* (L.) Lindl., *Chaerophyllum macropodium* Boiss. and *Heracleum persicum* Desf. from Apiaceae family used as food in Eastern Anatolia and their inhibitory effects on glutathione-S-transferase,” *Food Chemistry*, vol. 100, pp. 1237-1242, 2007.

[12] I.I. Koleva, T.A. Van Beek, J.P.H. Linssen, A. de Groot and L.N. Evstatieva, “Screening of plant extracts for antioxidant activity: A comparative study on three testing methods,” *Phytochemical Analysis*, vol. 13, pp. 8-17, 2002.

[13] M. Majid, H.A. Zamani, H. Akhlaghi and M. Nekoei, “Hydrodistilled volatile oil constituents of the aerial parts of *Prangos serpentinica* (Rech.f., Aell. Esfand.) Herznstadt and Heyn from Iran and quantitative structure-retention,” *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, vol. 14, pp. 559-573, 2013.

[14] H.F. Linskens and J. F. Jackson, *Modern Methods of Plant Analysis, Vol. 12: Essential Oils and Waxes*, Germany: Springer, 1997.

[15] Ö. Arslandere, “Yağ altı sularının kimyasal bileşimi,” Yüksek Lisans tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Farmakognozi Ana Bilim Dalı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2002.

[16] K. Slinkard and V. L. Singleton, “Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods,” *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 28, pp. 49-55, 1977.

[17] M.I. Nieva Moreno, M. I. Isla, R.A. Sampietro and M.A. Vattuone, “Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina,” *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 71, no. 1-2, pp. 109-114, 2000.

[18] M. S. Blois, “Antioxidant determinations by the use of a stable free radical,” *Nature*, vol. 181, pp. 1199-1200, 1958.

[19] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans, “Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay.” *Free Radical Biology & Medicine*, vol. 26, pp. 1231-1237, 1999.

[20] R. Apak, K. Güçlü, M. Özyürek and S.E. Karademir, “Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of Neocuproine: CUPRAC Method,” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 52, pp. 7970-7981, 2004.

[21] Ş. Dağdelen, T. Bilenler, G. Durmaz, I. Gökbulut, A.A. Hayaloglu and A. Karabulut, “Volatile composition, antioxidant and antimicrobial activities of herbal plants used in the manufacture of Van

herby (otlu) cheese,” *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 38, pp. 1716-1725, 2013.

[22] C. Cesur, B. Coşge Şenkal, C. Yaman, T. Uskutoğlu and M. Koç, “Antioxidant activity of fruit extracts of *Prangos ferulacea* (L.) Lindl. from Turkey,” *Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology*, pp. 249-256, 2017.

[23] J. Mottaghipisheh, T. Kiss, B. To’th and D. Csupor, “The *Prangos* genus: A comprehensive review on traditional use, phytochemistry, and pharmacological activities,” *Phytochemistry Reviews*, vol. 9, pp. 1449-1470, 2020.

[24] M. Bazdar, H. Sadeghi and S. Hosseini, “Evaluation of oil profiles, total phenols and phenolic compounds in *Prangos ferulacea* leaves and flowers and their effects on antioxidant activities,” *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 14, pp. 418-423, 2018.

[25] M. Bruno, V. Iardi, G. Lupidi, L. Quassinti, M. Bramucci, D. Fiorini, A. Venditti and F. Maggi, “Composition and biological activities of the essential oil from a Sicilian accession of *Prangos ferulacea* (L.) Lindl,” *Natural Product Research*, vol. 35, no. 5, pp. 733-743, 2019.

[26] G. Zengin, K.I. Sinan, G. Aka, M.F. Mahomoodally, M.Y. Paksoy, C. Picot-Allain, J. Glamocilja, M. Sokovic, J. Jekőg, Z. Cziáky, M.J. Rodriguesh, C.G. Pereirah and L. Custodio, “Chemical profile, antioxidant, antimicrobial, enzyme inhibitory, and cytotoxicity of seven Apiaceae species from Turkey: A comparative study,” *Industrial Crops and Products*, vol. 153, pp. 112572, 2020.

[27] S.M. Razavi, “Phenolic compounds from the aerial parts of *Prangos ferulacea*, with antioxidant activity,” *EurAsian Journal of BioSciences*, vol. 6, pp. 91-96, 2012.

[28] J.B. Harborne and C.A. Williams, “Flavonoid patterns in the fruits of the Umbelliferae,” *Phytochemistry*, vol. 11, pp. 1741-1750, 1972.