



**DÜZCE  
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİM ve TEKNOLOJİ  
DERGİSİ**

Düzce University  
Journal of  
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

---

Cilt  
Volume

**9**

Sayı  
Issue

**2**

Nisan / April  
**2021**

---

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

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



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

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

**Sahibi**

*Owner*

Uğur GÜVENÇ

(D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü adına)

*(On behalf of D. U. Institute of Science and Technology)*

**Editör**

*Editor*

Uğur GÜVENÇ

Ahmet DEMİR

Pınar GÜLTEKİN

**Alan Editörleri**

*Assistant Editors*

Resul KARA

Müge KANUNİ ER

Turgay BİRTÜRK

Yusuf ALTUN

Uğur GÜVENÇ

Şerife Gülsün KIRANKAYA

Ümit ERGUN

Selman KULAÇ

Tarık GEDİK

Suat SARIDEMİR

Nuri ŞEN

Mecit AKSU

İrem DÜZDAR ARGUN

G. Alev ÖZKÖK

Ali Etem GÜREL

Ali ÇALHAN

Engin EROĞLU

Sercan SERİN

Fatih TAŞPINAR

Fatih YILMAZ

Pınar GÜLTEKİN

Arif ÖZKAN

Koray ŞARKAYA

Ahmet DEMİR

Mert YILDIRIM

Mehmet ŞİMŞEK

**Yardımcı Editörler**  
*Assistant Editors*

Murat GÜREL  
Keziban GEGİN  
Ufuk ÇİFCİ  
Vesile YALÇIN  
Gamze ÇOBAN  
Özlem ÖZKAN ÖNÜR

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

Uğur GÜVENÇ

**Yayın Kurulu**  
*Editorial Board*

Ercan ÖZGAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ernaz ALTUNDAĞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Halil İbrahim UĞRAŞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
İlyas UYGUR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Mehmet BUDAKÇI, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Oğuz KÖYSAL, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Osman UZUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Resul KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Başaran DÜLGER, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Nuri ŞEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Zeki SARIKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Pakize ERDOĞMUŞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ali ÖZTÜRK, Düzce Üniversitesi, Türkiye

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

Abdullah SÖNMEZ, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
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 Yüksek Teknoloji Enstitüsü,  
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*  
USA

Abdelilah SLAOUI, Universite de Strasbourg, France  
Clay S. GLOSTER, North Carolina A&T University,  
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*

**9**

**Sayı**  
*Issue*

**2**

**Nisan/ April**  
**2021**

## **Ürün Bilgisi**

### *Product Information*

**Yayıncı**

*Publisher*

Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

*Düzce University Institute of Science and Technology*

**Sahibi**

*Owner*

Uğur GÜVENÇ

(D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü adına)

*(On behalf of D. U. Institute of Science and Technology)*

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**

*Publishing Manager*

Uğur GÜVENÇ

**Web Sayfası**

*Web Page*

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

**Basım Tarihi**

*Date of Publication*

Nisan 2021

*April 2021*

**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 Fen Bilimleri Enstitüsü  
Rektörlük Binası 2. 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.gov.tr/dubited>  
adresinden dergiye ilişkin bilgilere ve  
makalelerin tam metnine ulaşılabilir.

**Correspondence Address**

*Düzce University Institute of Science  
and Technology*

*Rectorship Building 2nd 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.gov.tr/dubited>*

---

## **İÇİNDEKİLER**

**Sayfa****Makale*****BİYOLOJİ/BİYOKİMYA/MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK/SU ÜRÜNLERİ******Araştırma Makalesi/ Research Article***

- |         |  |
|---------|--|
| 591-595 | Antifungal Activity of Soil <i>Streptomyces</i> Isolates Against <i>Cryptococcus neoformans</i><br>Toprak <i>Streptomyces</i> İzolatlarının <i>Cryptococcus neoformans</i><br>Kültürlerine Karşı Antifungal Aktivitesi<br><b>Görkem DÜLGER, Başaran DÜLGER</b>                         |
| 607-615 | The First Record of the Red Cornetfish ( <i>Fistularia petimba</i> Lacepède, 1803) in the Aegean Sea<br>Ege Denizi'ndeki Kırmızı Külah Balığı ( <i>Fistularia petimba</i> Lacepède, 1803)'nın İlk Kaydı<br><b>Hasan CERİM, Sercan YAPICI, Anıl GÜLŞAHİN, Ozan SOYKAN, Gökçen BİLGE</b> |

- 812- 821 *Hipericum* spp. Bitki Ekstraktlarının *Rhizoctonia Solani* Üzerine Antifungal Etkisi  
Effect of Solvent and Plant Part on *Rhizoctonia solani* Fungus of *Hypericum* Extracts  
**Cennet YAMAN, Sevim ATMACA**

**Derleme Makale / Review Article**

- 864-877 Mikroplastikler ve Çevresel Etkileri  
Microplastics and Environmental Effects  
**Murat ARI, Serdal ÖĞÜT**

**BİLGİSAYAR / YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 555-567 Initial Seed Value Effectiveness on Performances of Data Mining Algorithms  
Veri Madenciliği Algoritmalarının Performanslarında İlk Tohum Değer Etkinliği  
**Tunahan TİMUÇİN, İrem DÜZDAR ARGUN**

- 636-645 Yeni Bir İç Mekân Konum Bulma Sistemi  
A New Indoor Positioning System  
**Şeyda YAMAN, Köksal GÜNDOĞDU, Ali ÇALHAN**

- 878-889 Normalizasyon Yöntemlerinin RNA- Seq Verileri Üzerinde Çıkarılan Gen Birlikte İfade Edilme Ağlarının Performansına Etkisi  
Effect of Normalization Methods on the Performance of Gene Co-expression Networks Inferred on RNA-Seq Data  
**Mustafa Özgür CİNGİZ**

- 890-898 CNN-based Gender Prediction in Uncontrolled Environments  
Kontrolsüz Ortamlarda CNN Tabanlı Cinsiyet Tahmini  
**Kazım YILDIZ, Engin GÜNEŞ, Anil BAS**

**ÇEVRE/JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 822-835 Yeşil Bir Villanın Tasarım Maliyetinin Klasik Villa Tasarım Maliyetiyle Karşılaştırılması  
Comparison of the Design Cost of a Green Villa with the Cost of a Classic Villa Design  
**Melike YALILI KILIÇ, Sümeyye ADALI**

**ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 568-580            Obtaining Maximum Electrical Energy with PV Panel Layout Optimization in Space Truss Roof Systems  
Uzay Kafes Çatı Sistemlerinde PV Panel Yerleşim Optimizasyonu ile Maksimum Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi  
**Okan BİNGÖL, Berkay KİRİŞ, Onur Mahmut PİŞİRİR**
- 712-722            Elektrikli Araçlarda Ultra Kapasitör Kullanımı ve Uygulanabilirlik Durumunun Değerlendirilmesi  
Use of Ultracapacitors in Electric Vehicles and Evaluation of Applicability  
**Çağatay TAŞDEMİRCİ, Arif ÖZKAN**
- 723-730            Sualtı Akustik Algılayıcı Ağlarda Onay Paketi (ACK) Sayısının Ağ Başarımına Etkileri  
The Impacts of the Number of Acknowledgment (ACK) Packets on Network Performance in Underwater Acoustic Sensor Networks  
**Nükhet SAZAK**
- 746-758            Benzetilmiş Tavlama Algoritması ile Fazör Ölçüm Birimlerinin Optimal Yerleşimi  
Optimal Placement of Phasor Measurement Units with Simulated Annealing Algorithm  
**Emre ŞIK, Salih TOSUN**
- 759-773            Samsun, Bayburt ve Mersin İllerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Modellenmesi  
Modelling of Solar Power Plants that can be Installed in Samsun, Bayburt and Mersin Provinces of Turkey  
**Sezai AKKAYA, Sibel AKKAYA OY**
- 915-928            Güç Sistemlerinde Sürekli ve Geçici Durum Gerilim Kararlılığının UPFC-Yakıt Hücresi ile İncelenmesi  
Investigation with UPFC-Fuel Cellof Steady and Transient Voltage Stability in Power Systems  
**M. Kenan DÖŞOĞLU, Tuba Emine BOZKURT** \_\_\_\_\_



**Derleme Makale / Review Article**

- 774-790 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Üretilen Elektrik Enerjisi Teşvik Yöntemlerinin İncelenmesi  
Investigation of Incentive Methods for Electricity Produced from Renewable Energy Sources  
**Uğur YÜCEL, Engin ÖZDEMİR, Murat AYZ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ / MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Araştırma Makalesi / Research Article**

- 511-520 Strength and Durability Performance of Clayey Soil Stabilized with Lime and Marble Powder  
Kireç ve Mermer Tozu ile Stabilize Edilmiş Killi Zeminlerin Dayanım ve Durabilite Performansı  
**Fatih YILMAZ, Ersin DEMİR**
- 616-624 Hydrophobic Modification of Glass Surface by Using Sol-Gel Synthesized Glass Powder as A Surface Roughness Promoter  
Yüzey Pürüzlülüğünü Arttırıcı Eleman Olarak Sol-Jel ile Sentezlenmiş Cam Tozu Kullanımıyla Cam Yüzeyinin Hidrofobik Modifikasyonu  
**Yiğitalp OKUMUŞ, Göktuğ GÜNKAYA**
- 661-671 Darıderesi II Göleti Dip Savak Yapısının Fluent ile Sayısal Modellenmesi  
Numerical Modeling of the Deep Sluice Structure of Darıderesi II Pond by Fluent  
**Tuba AYDIN, Dilek TAYLAN**
- 689-701 5 Katlı Yığma Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Önerileri  
Determination of Earthquake Performance of 5-Storey Masonry Building and Suggestions for Strengthening  
**Ömer CAN**
- 731-745 Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Kıyaslamalı Performans Analizi için Web Tabanlı Hesaplama Araçlarının Geliştirilmesi  
Development of Web Based Computing Tools for Comparative Performance Analysis in Water and Sewerage Administration  
**Mahmut FIRAT, Cansu BOZKURT, Selami KILIÇ, Salih YILMAZ**

## **KİMYA / FİZİK**

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

- 521-534 Preparation of a Clay Composite Containing Poly(o-toluidine) and Halloysite, and Examining of Its Performance as a Humidity Sensor  
Poli (o-toluidin) ve Halloysit İçeren Bir Kil Kompozitinin Hazırlanması ve Nem Sensörü Olarak Performansının İncelenmesi  
**Meryem KALKAN ERDOĞAN, Meral KARAKIŞLA**
- 545-554 Zeolite Used for Optimized Removal of Radioactive Cobalt with Response Surface Methodology  
Zeolit Kullanılarak Uzaklaştırılan Radyoaktif Kobaltın Cevap Yüzey Yöntemi ile Optimize Edilmesi  
**Ekrem ÇİÇEK**
- 672-678 Effects of Metal Carbonyls on The Formation of Hexagonal Boron Nitride  
Metal Karbonil Erin Hekzagonal Bor Nitrür Sentezi Üzerindeki Etkileri  
**Gökhan UZUN**
- 679-688 Magnezyotermik İndirgeme ile PrB<sub>6</sub> Sentezi  
PrB<sub>6</sub> Synthesis by Magnesiothermic Reduction  
**Cansu BABUZ, Mecit AKSU**

## **MAKİNE / MEKATRONİK /MALZEME / İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

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

- 535-544 Solidity Optimization for an H-Darrieus Wind Turbine  
Bir H-Darrieus Rüzgar Türbini için Solidite Optimizasyonu  
**M. Özgün KORUKÇU**
- 581-590 Recovery of Iron from High-Iron Hot Rolled Mill Scales by Direct Reduction Technique Doğrudan İndirgeme Tekniğiyle Yüksek Demirli Sıcak Haddehane Tufalinden Demirin Geri Kazanımı  
**Engin ÇEVİK**
- 596-606 Assessment of UV Protection Factor of Flax, Polyester and Nylon Fabrics Treated with Zinc oxide Nanoparticles  
Çinko oksit Nanopartiküllerle İşlem Görmüş Keten, Polyester ve Naylon Kumaşların Ultraviyole Koruma Faktörünün Değerlendirilmesi  
**Nurettin ELTUĞRAL**

- 625-635 Influence of Particle Size on the Structure and Properties of 316L Hollow Fiber Membranes Sintered Under Argon Atmosphere  
Partikül Boyutunun Argon Atmosferi Altında Sinterlenen 316L İçi Boş Fiber Membranların Yapısına ve Özelliklerine Tane Etkisi  
**Ezgi ŞAHİN, Onur ERTUĞRUL, Özgün YÜCEL**
- 646-660 Taguchi Metodu ve Gri İlişkisel Analizi Kullanılarak 1,2316 Paslanmaz Çeliğin (R65) Mikro-Elektro Erozyon Delme Kabiliyetinin Değerlendirilmesi  
Evaluation of Micro-Electro Erosion Drilling Capability of 1.2316 Stainless Steel (R65) Using Taguchi Method and Gray Relational Analysis  
**Sıtkı AKINCIOĞLU**
- 702-711 AHSS Sacların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu  
Optimization of Welding Parameters of AHSS Sheet Metals in Electric Resistance Spot Welding by Taguchi Method  
**Melike KEKİK, Salim ASLANLAR, Serkan APAY**
- 791-801 Bir Dizel Motoruna Etanol Fumigasyonunun Enerji Dağılımına Etkisi  
Investigation of The Effect of Ethanol Fumigation on Energy Distribution in a Diesel Engine  
**Ömer Faruk YILDIZ, Yusuf ÇAY, Vezir AYHAN, İdris CESUR**
- 802-811 TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Mikroyapı, Sertlik ve Asidik Ortamdaki Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi  
Investigation of Microstructure, Hardness and Acidic Corrosion Properties of TIG Welded Ti6Al4V Titanium Alloy  
**Kubilay KARACİF**
- 929-942 AISI 2507 Süper Dupleks Paslanmaz Çeliğinin Hibrit Soğutma/Yağlama Yöntemleri Altında Tornalanmasında Yüzey Kalitesinin İncelenmesi  
Investigation of Surface Quality in Turning of AISI 2507 Super Duplex Stainless Steel under Hybrid Cooling/Lubrication Methods  
**Emre ÇELİK, Şenol ŞİRİN, Turgay KIVAK**

- 971-986 Kalıp Şartlandırıcı Serpantinde Oluşan Korozyonun İnhibitör Kullanımıyla Engellenmesi  
Preventing Corrosion In The Mold Conditioner Serpentine By Using An İnhibitör  
**İbrahim SARIOĞLU, Mine KURTAY, Mesut YILDIZ, Mustafa KETREZ, Hüsnu GERENGİ**

**Derleme Makale / Review Article**

- 987-996 Yapıştırıcı Birleştirmelerde Bağlantı Mukavemetini Etkileyen Faktörler: Yüzey Morfolojisi ve Yüzey Enerjisi  
Factors Affecting Bond Strength in Adhesive Joints: Surface Morphology and Surface Energy  
**Ali GÜRSEL, Salih YILDIZ**

**MİMARLIK / PEYZAJ MİMARLIĞI / ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA**

**Araştırma Makalesi / Research Article**

- 836-863 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'a Göre Kırklareli İçin Deprem Yüklerinin Değerlendirilmesi  
Evaluation of Seismic Loads for Kırklareli According to Turkish Earthquake Code 2019 (TEC2019)  
**Burak ÖZŞAHİN**
- 957- 970 Otellerde İç Mekân Bitki Tercihlerinin Bitkisel Tasarım İlkeleri Kapsamında Değerlendirilmesi ve Bakım Olanaklarının Belirlenmesi: Antalya Örneği  
Evaluation of Indoor Plant Preferences in Hotels within the Scope of Planting Design Principles and Determination of Maintenance Possibilities: The Case of Antalya  
**Ceren SELİM**

**Derleme Makale / Review Article**

- 943-956 Mimarlıkta Bilgisayar Destekli Fabrikasyon Teknolojileri ve Kullanım Yaklaşımları  
Computer Aided Fabrication Technologies in Architecture and Usage Approaches  
**Meltem EZEL ÇIRPI, Dilan ÖNER**

**ORMAN MÜHENDİSLİĞİ**

**Araştırma Makalesi/ Research Article**

899-914

İstanbul Kent Ormanında Arazi Kullanım Yoğunluğuna Bağlı  
Toprak Özelliklerinin Değişimi

Changes of Soil Properties Due to Land Use Intensity in Istanbul  
Urban Forest



**Murat SARGINCI, Zeynep Bengisu YEŞİL, Abdullah Hüseyin DÖNMEZ,  
Oktay YILDIZ**



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Strength and Durability Performance of Clayey Soil Stabilized with Lime and Marble Powder

 Fatih YILMAZ<sup>a,\*</sup>,  Ersin DEMİR<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bayburt University, Bayburt, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: [fyilmaz@bayburt.edu.tr](mailto:fyilmaz@bayburt.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.710201

### ABSTRACT

This paper investigated the effect of freezing-thawing and wetting-drying cycles on the strength and durability of clay soil stabilized with lime and marble powder. The test samples were prepared by adding 5%, 10%, 15% and 20% of marble powder, without and with 6% lime to the soil which is a high plasticity clay (CH) according to the Unified Soil Classification System. Unconfined compressive strength tests were performed after 7 and 28 days of curing periods. The durability behavior of the samples was examined by applying freezing-thawing and wetting-drying cycles to the prepared samples. The results of this study show that the presence of marble powder in the soil mixture has an important role in the improvement of strength. An increase in the number of wetting-drying cycles does not decrease the volumetric stability of the samples stabilized with marble powder. The use of lime and marble powder together increased the strength values compared to the natural soil and the use of lime only. It was concluded that the co-use of lime and marble powder had a positive effect on the strength and durability behavior of high plasticity clayey soil.

**Keywords:** Soil stabilization, lime, marble powder, freezing-thawing, wetting-drying

## Kireç ve Mermer Tozu ile Stabilize Edilmiş Killi Zeminlerin Dayanım ve Durabilite Performansı

### ÖZET

Bu çalışma, donma-çözülme ve ıslanma-kuruma çevrimlerinin kireç ve mermer tozu ile stabilize edilmiş kil zeminin dayanım ve durabilitesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre yüksek plastisiteli bir kil (CH) olan zemine kirecsiz ve %6 kireçli olarak %5, %10, %15 ve %20 mermer tozu eklenerek test numuneleri hazırlanmıştır. 7 ve 28 günlük kür sürelerinden sonra serbest basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Numunelerin durabilite davranışı, hazırlanan numunelere donma-çözülme ve ıslanma-kuruma çevrimleri uygulanarak incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları zemin karışımında mermer tozunun varlığının, dayanım artışında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Islanma-kuruma çevrimlerindeki artış, mermer tozu ile stabilize edilen numunelerin hacimsel kararlılığını azaltmamıştır. Kireç ve mermer tozunun birlikte kullanılması, doğal zemine ve sadece kireç kullanımına kıyasla mukavemet değerlerini arttırmıştır. Kireç ve mermer tozunun birlikte kullanılmasının, yüksek plastisiteli killi zeminin dayanım ve durabilite davranışı üzerinde olumlu bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin stabilizasyonu, kireç, mermer tozu, donma-çözülme, ıslanma-kuruma

# **I. INTRODUCTION**

Chemical stabilization is one of the cheapest technique for the stabilization of soils. It is familiar to use lime as an additive in soil stabilization. The use of lime improves the engineering properties of soils, especially clayey soils. Lime stabilization is one of the most applied methods in airport and highway pavement [1]. In the light of literature studies, it was found that lime reduces the plasticity index of the soil when applied to clayey soils [2]. As the ratio of lime increases, the liquid limit value decreases and the plastic limit value increases [3]. In the literature, it was determined that the addition of more than 10% lime to the soil had no significant effect on strength values [4]. In the study conducted by Bell (1996), the optimum lime ratio was found to be between 4-6% [5].

The method of improving clay soils with lime has been widely used for many years and is preferred primarily in railway, road, parking and building constructions in many countries [6-10]. Lime stabilization increases the permeability of the clay while swelling parameters decrease [11,12].

Marble is a rock with a high amount of  $\text{CaCO}_3$  in its structure. The marble, which is a pure calcium carbonate composition, is white and translucent [13]. Due to the very small structure of marble powder particles and similarity with lime, it can be preferred instead of lime for the stabilization of fine-grained soils. [14]. In this study, the usability of marble powder and lime under freezing-thawing and wetting-drying cycles in soil stabilization was investigated.

# **II. MATERIALS AND METHODS**

The materials used in the study are high plasticity clayey soil, lime and marble powder. In this study, the index, strength and durability properties of the soil with these additives were examined. The soil used in this study was taken from a research pit located in Demirözü District of Bayburt Province. Material taken from this region with an altitude of 1975 m was brought to Bayburt University Geotechnical Laboratory. The material was taken from a depth of approximately 2 m from the soil surface. Test samples were prepared by adding lime and marble powder to natural soil. In all experiments, samples were prepared after the natural soil was kept in the oven for 24 hours.

Within the scope of the study, the effects of marble powder on strength and durability were prepared separately with and without lime samples. The study started with the addition of marble powder directly to the soil. The data obtained required the presence of a primary binder and lime was chosen as the primary binder. Literature studies [15-18] were examined and it was found appropriate to add lime to the mixture at the rate of 6%. Samples were prepared by adding marble powder in 5%, 10%, 15% and 20% ratios with/without 6% of lime to the soil. The notation of test samples is given in Table 1. The properties of natural soil are presented in Table 2.

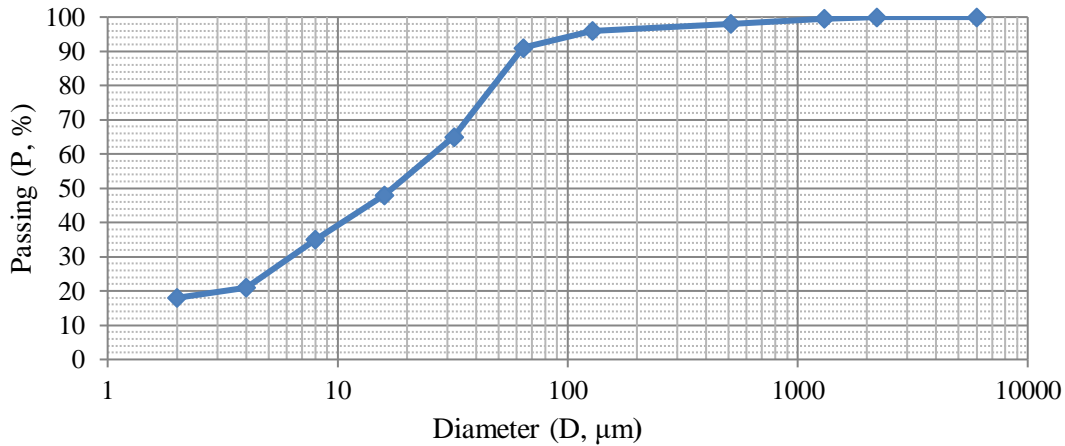
*Table 1. The notations of test specimens*

<b>Mixing ratios of test samples</b>	<b>Notation</b>
Natural soil	S
Natural soil and 5% marble powder	SM/5
Natural soil and 10% marble powder	SM/10
Natural soil and 15% marble powder	SM/15
Natural soil and 20% marble powder	SM/20
Natural soil and 6% lime	SL
Natural soil, 6% lime and 5% marble powder	SLM/5
Natural soil, 6% lime and 10% marble powder	SLM/10
Natural soil, 6% lime and 15% marble powder	SLM/15
Natural soil, 6% lime and 20% marble powder	SLM/20

**Table 2.** Natural soil properties

Liquid limit, LL (%)	60,81
Plastic limit, PL (%)	30
Plasticity index, PI (%)	30,81
Specific gravity, $G_s$	2,6
Optimum water content, $w_{opt}$ (%)	22,5
Maximum dry density, $\rho_{kmax}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1,63
Color	Flavescent

Sieve analysis has shown that the soil class is high plasticity clay (CH) according to USCS. The granulometry curve of the fine-grained soil is shown in Figure 1. Atterberg limit tests were conducted in the scope of this study. Atterberg limits are mainly liquid limit and plastic limit [19]. Cone penetrometer method was used for the liquid limit test. In addition to sieve analysis and Atterberg limit tests, other experiments performed in this study were compaction, unconfined compressive strength, freezing-thawing, and wetting-drying tests. The dimensions of the samples used in the experiments were 50 mm in diameter and 100 mm in height. The standards taken as reference in the conduct of the experiments are presented in Table 3.



**Figure 1.** Grain size distribution of the soil

**Table 3.** Reference standards in experiments

Experiment	Reference Standard
Specific gravity test	ASTM D 854 [20]
Sieve analysis	ASTM D 422 [21]
Consistency limits	ASTM D 4318 [22]
Compaction test	ASTM D 698 [23]
Unconfined compressive strength test	ASTM D 2166 [24]
Freezing-thawing test	ASTM D 560 [25]
Wetting-drying test	ASTM D 559 [26]

### **III. RESULTS**

The consistency limits values obtained in the study are presented in Table 4. The lowest liquid limit value was determined in SLM/20 sample and the highest plastic limit value was observed in the SLM/10 sample as a result of liquid limit tests. When marble powder was added to SL samples, a decrease in



liquid limit values was detected and an increase in plastic limit values was observed. While liquid limit values of SM samples are higher than SLM samples, plastic limit values are lower.

*Table 4. Consistency limits*

<b>Specimen</b>	<b>Liquid limit (%)</b>	<b>Plastic limit (%)</b>	<b>Plasticity index (%)</b>
S	60,8	30	30,8
SM/5	57,4	32,1	25,3
SM/10	58,6	32,8	25,8
SM/15	58,1	31,6	26,5
SM/20	57,8	30,9	26,9
SL	54,9	34,5	20,4
SLM/5	54,1	34,9	19,2
SLM/10	53,9	35,7	18,2
SLM/15	53,0	34,8	18,2
SLM/20	51,6	34,5	17,1

The results of the compaction tests in which the maximum dry densities and optimum water contents of the test specimens are determined within the scope of the study are given in Table 5. Considering the compaction results of the SL sample, the optimum water content increased and the maximum dry density decreased. While the maximum dry density of SM samples in general compared to the natural soil increased, there was a slight decrease in the optimum water contents. In this study, the highest maximum dry density and lowest optimum water content values were determined in SLM samples. In the light of compaction test results, the highest maximum dry density was determined in the SLM/20 sample.

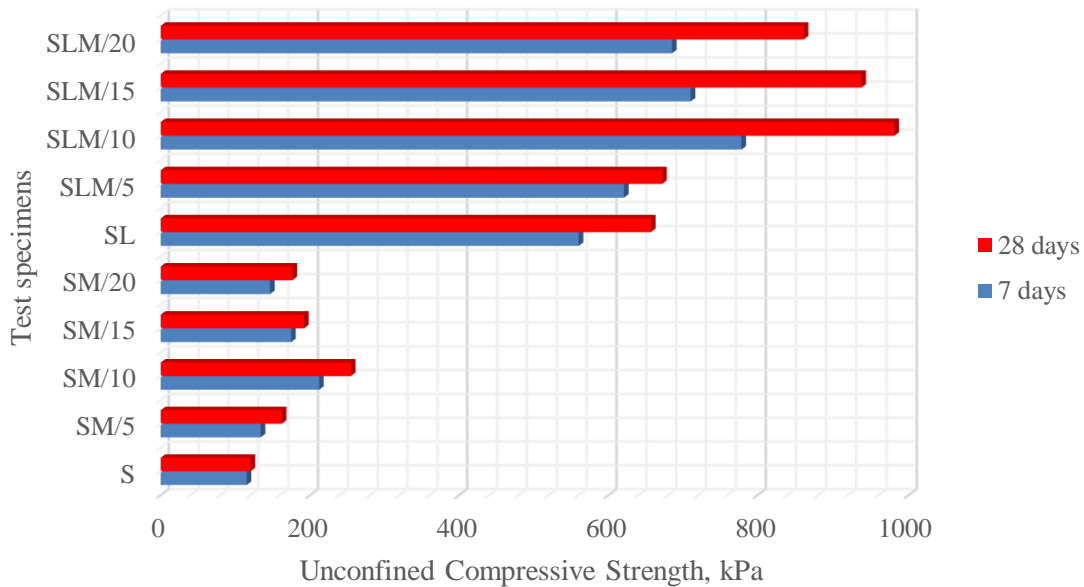
*Table 5. Proctor test results*

<b>Specimen</b>	<b>Maximum dry density (Mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Optimum water content (%)</b>
S	1,63	22,5
SM/5	1,62	22,3
SM/10	1,66	22,8
SM/15	1,65	22,4
SM/20	1,65	22,3
SL	1,50	26,0
SLM/5	1,62	19,0
SLM/10	1,59	20,0
SLM/15	1,64	20,0
SLM/20	1,68	19,0

Table 6 shows the results of the unconfined compressive strength test applied after 7 and 28 days curing of samples. When Table 6 was examined, it was found that the addition of lime to the natural soil increased the unconfined compressive strength approximately 5 times. It was observed that limeless samples show ductile mechanical behavior while limy samples break brittle. Maximum strength in SM mixtures that occurred in the SM/10 sample. In SLM mixtures, the SLM/10 sample gave maximum strength. The SM/10 sample showed 2 times in strength compared to natural soil. While the SL sample showed 5 times increase in strength compared to natural soil, the SLM/10 sample increased 8 times. These results clearly demonstrate the positive effect of marble powder on strength. It is thought that the marble powder combines with the active CaO in the lime to increase the strength. The strength data of the test samples are presented in Figure 2.

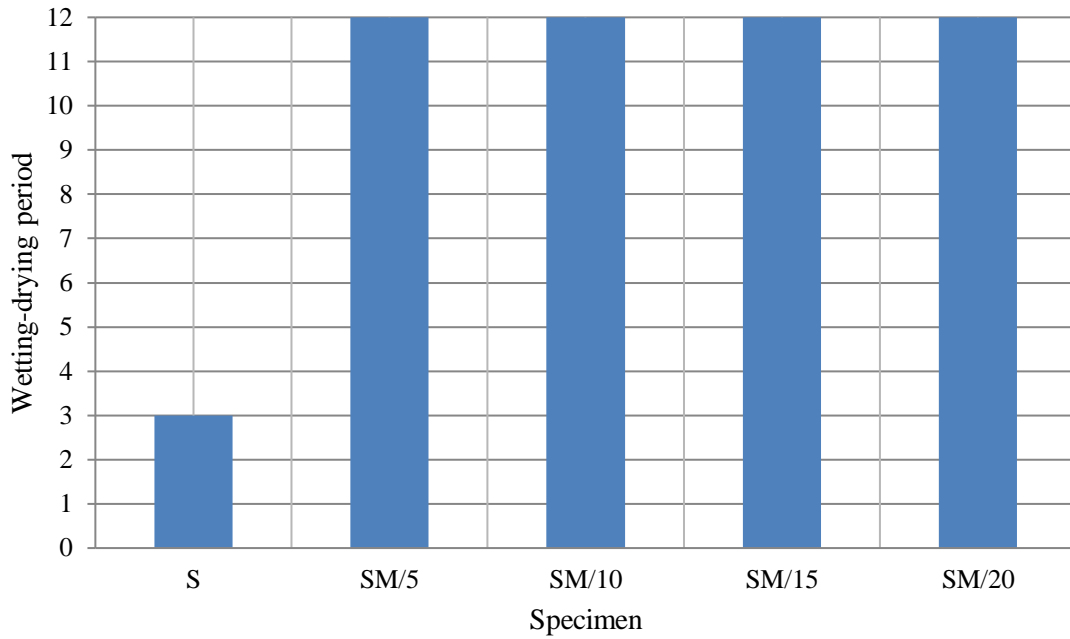
**Table 6.** Unconfined compressive strength test results

Specimen	Strength (kPa)	
	Curing period	
	7 days	28 days
S	115,2	120,3
SM/5	134,0	162,1
SM/10	212,2	254,8
SM/15	174,8	192,0
SM/20	146,5	176,5
SL	560,2	657,0
SLM/5	621,0	672,0
SLM/10	778,3	981,2
SLM/15	710,4	937,5
SLM/20	685,3	861,2

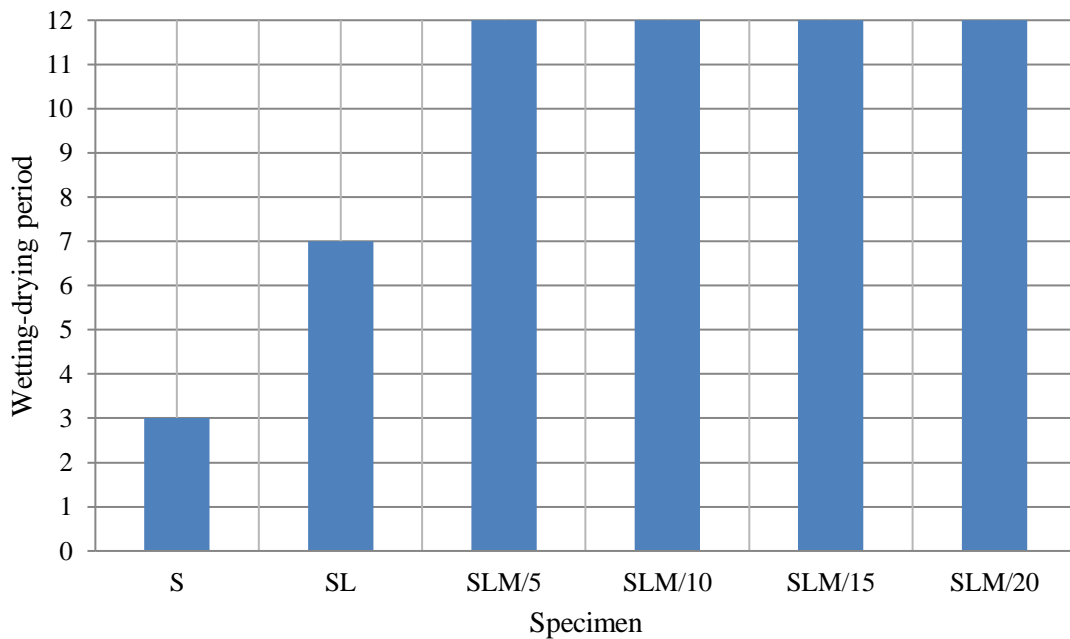


**Figure 2.** Strength test results

18 test specimens with 50 mm diameter and 100 mm height were prepared for the wetting-drying tests. After the curing period for 28 days, 12 wetting-drying periods were performed. Wetting and drying results of S and SM samples and S, SL and SLM samples are presented in Figure 3 and Figure 4, respectively. As can be seen from the figures, the natural soil has completely lost its volumetric integrity at the end of the third cycle. SL sample lost its volumetric integrity after 7 cycles of wetting-drying. Samples containing marble dust have preserved their structural integrity against the wetting-drying period.

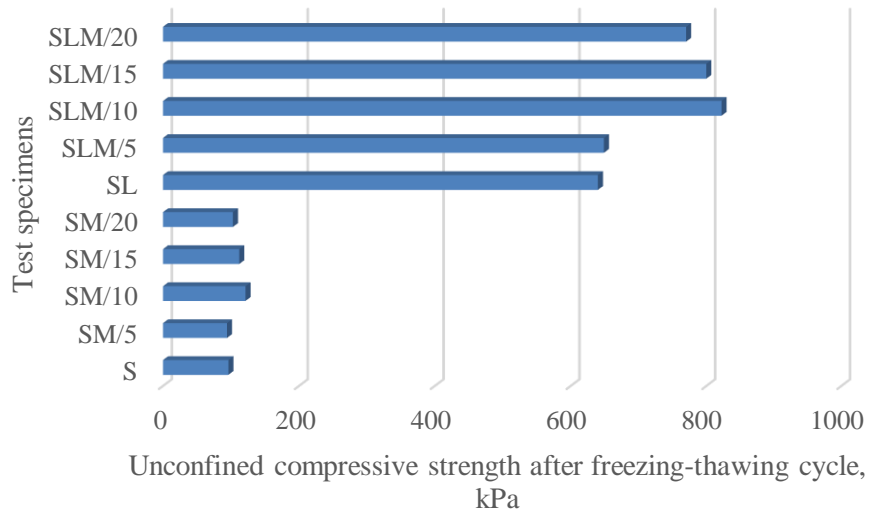


**Figure 3.** Wetting and drying cycle time of S and SM samples

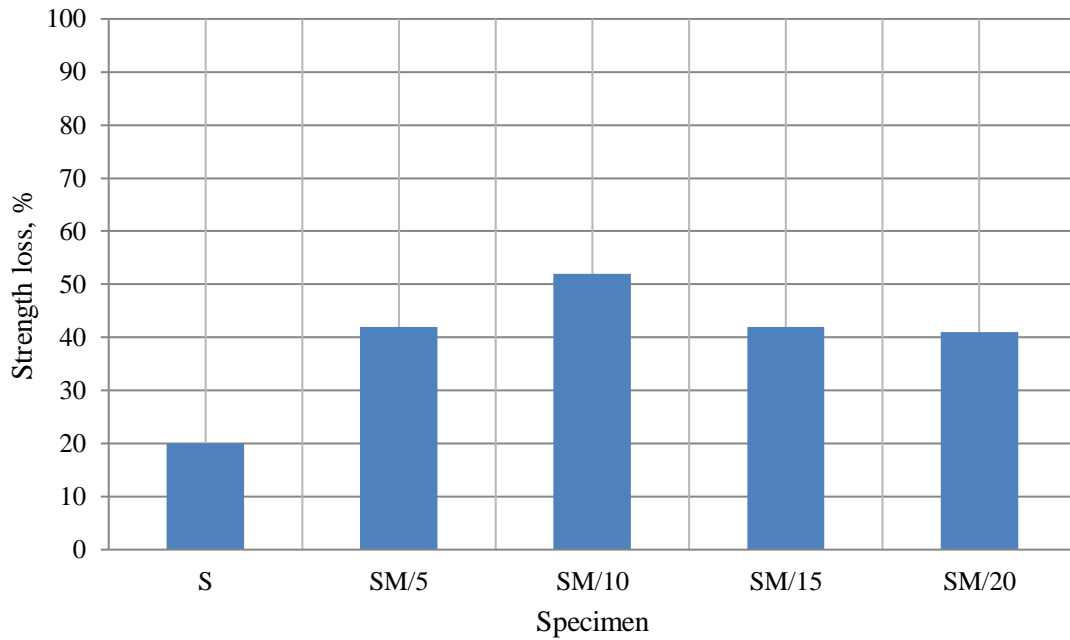


**Figure 4.** Wetting and drying cycle time of S, SL and SLM samples

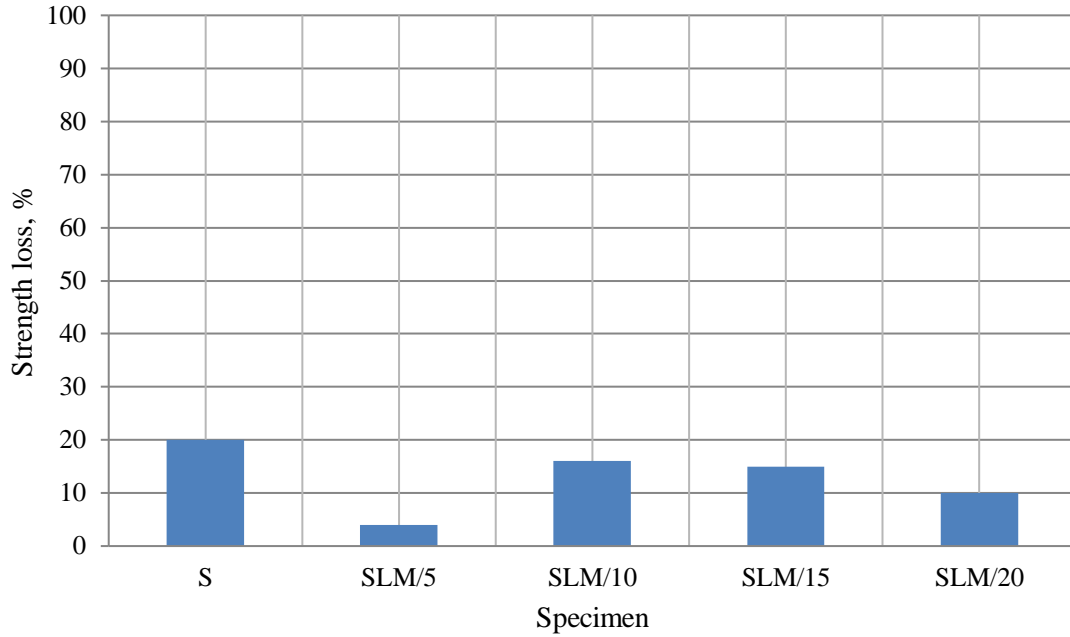
For the freezing-thawing experiment 54 test specimens were prepared and after being cured for 28 days, they were subjected to 12 freezing-thawing cycles. Unconfined compressive strength results after freezing-thawing cycles are given in Figure 5. The strength loss of SM and SLM specimens after the freezing-thawing cycle are presented in Figure 6 and Figure 7, separately. When the unconfined compressive strength test values after freezing-thawing were examined, it was observed that there was a decrease in the strength of all mixtures in general. It was observed that the unconfined compressive strength values were higher in SLM mixtures compared to SL mixtures. Similar to the results of unconfined compressive strength test after 28 days of curing, maximum strength was obtained from SL/10 and SLM/10 samples. It was determined that SLM samples are more effective in freeze-thaw than SM samples.



**Figure 5.** Freezing-thawing test results



**Figure 6.** Strength loss of SM specimens after freezing-thawing cycle



*Figure 7. Strength loss of SLM specimens after freezing-thawing cycle*

## **IV. CONCLUSION**

In the light of this experimental study which investigated the effect of lime and marble powder on soil stabilization under freezing-thawing and wetting-drying effects, it was determined that the use of lime and marble powder as additives increase the strength data compared with specimens containing only lime. Similar behavior was observed as a result of the freezing-thawing test. Marble powder has enabled the soil to show a stable behavior against wetting-drying cycles. It is concluded that marble powder can be used in combination with lime in the stabilization of high plasticity clay and improves the strength and durability values of the natural soil.

## **V. REFERENCES**

- [1] A. Tunç, *Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları*. İstanbul, Turkey: Atlas Yayın Dağıtım, 2002, pp. 253-563.
- [2] B. A. Uzuner, *Temel Mühendisliğine Giriş*, Trabzon, Turkey: Derya Kitapevi, 2013, pp. 342-359.
- [3] M. Aytekin, *DeneySEL Zemin Mekaniği*. Ankara, Turkey: Teknik Yayınevi, 2004.
- [4] S. A. Ola, "The Geology and Geotechnical Properties of The Black Cotton Soils of Northeastern Nigeria," *Engineering Geology*, vol. 12, pp. 375-391, 1978.
- [5] F. G. Bell, "Lime Stabilization of Clay Minerals and Soils," *Engineering Geology*, vol. 42, no. 4, pp. 223-237, 1996.
- [6] I. Goldberg, and A. Klein., "Some effects of treating expansive clays with calcium hydroxide," *ASTM Special Publication 142, Symp. on Exchange Phenomenon in Soils*, pp. 112-128, 1952.

- [7] K. E. Clare, and A. E. Crunchley, "Laboratory experiments in the stabilization of clays with hydrated lime", *Geotechnique*, vol. 5, pp. 97-111, 1957.
- [8] R. L. Terrel, A. Epps, J. E. Barenberg, J. K. Mitchell, and M. R. Thompson, "Soil Stabilization", *FHWA, U.S. Department of Transportation*, 1979.
- [9] F. Yılmaz, and S. Kocabey, "Effect of fineness on lime stabilization of low plasticity clays", *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 29, no. 7, pp. 5449-5458, 2020.
- [10] F. Yılmaz, and D. Fidan, "Influence of freeze-thaw on strength of clayey soil stabilized with lime and perlite", *Geomechanics and Engineering*, vol. 14, no. 3, pp. 301-306, 2018.
- [11] G. L. Evans, and D. H. Bell, "Chemical Stabilization Odloes", *New Zealand 10th ICSMFE, Stockholm*, vol. 3, pp. 649-658, 1981.
- [12] Y. Guney, D. Sari, M. Cetin, and M. Tuncan, "Impact of cyclic wetting-drying on swelling behavior of lime-stabilized soil," *Building and Environment*, vol. 42, pp. 681-688, 2007.
- [13] A. Yorulmaz, "Evaluation of the Strength of Clay Soil Stabilized By Marble Dust Wastes with Freeze-Thaw Effect and Time-Dependent Change By Means of CBR (California bearing ratio) Tests," M.S. Thesis, Dept. Civil Eng., Niğde Ömer Halisdemir University, Institute of Science, Niğde, Turkey, 2018.
- [14] İ. Zorluer and M. Usta, "Zeminlerin Atık Mermer Tozu ile İyileştirilmesi," *Turkey IV. Marble Symposium, Afyonkarahisar*, 2003.
- [15] A. A. Al-Rawas, R. Taha, J. D. Nelson, T. B. Al-Shab, H. Al-Siyabi, "A comparative evaluation of various additives used in the stabilization of expansive soils," *Geotechnical Testing Journal*, vol. 25, no. 2, pp. 199-209, 2002.
- [16] S. Yıldırım, *Zeminlerin İncelenmesi ve Temel Tasarımı*, İstanbul, Turkey: Birsen Yayınevi, 2002, pp. 438-453.
- [17] F. Yılmaz, "Zemin stabilizasyonunda puzolanik katkı inceliğinin dayanıma etkisi," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 17, pp. 1048-1054, 2017.
- [18] F. Yılmaz, and D. Fidan, "Effect of wetting-drying cycles on volumetric stability of clayey soil stabilized with lime and perlite," *European Journal of Technique*, vol. 2, no. 7, pp. 207-218, 2017.
- [19] A. Atterberg, "The behaviour of clays with water, their limits of plasticity and their degrees of plasticity," *Kungliga Lantbruksakademiens Handlingar Och Tidskrift*, vol. 50, no. 2, pp.132-158, 1911.
- [20] *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*, ASTM D854-10, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010. [Online]. Available: [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [21] *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*, ASTM D422-63(1998), ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998. [Online]. Available: [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [22] *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*, ASTM D4318-10, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010. [Online]. Available: [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [23] *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))*, ASTM D698-12e2, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012. [Online]. Available: [www.astm.org](http://www.astm.org).

[24] *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*, ASTM D2166 / D2166M-16, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016. [Online]. Available: [www.astm.org](http://www.astm.org).

[25] *Standard Test Methods for Freezing and Thawing Compacted Soil-Cement Mixtures*, ASTM D560 / D560M-16, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016. [Online]. Available: [www.astm.org](http://www.astm.org).

[26] *Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures*, ASTM D559 / D559M-15, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015. [Online]. Available: [www.astm.org](http://www.astm.org).



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Preparation of a Clay Composite Containing Poly(*o*-toluidine) and Halloysite, and Examining of Its Performance as a Humidity Sensor

 Meryem KALKAN ERDOĞAN<sup>a</sup>,  Meral KARAKIŞLA<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Chemistry, Faculty of Science, Ankara University, Ankara, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: meral.karakisla@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.836431

### ABSTRACT

This study outlines the production of an electrically conductive clay-based composite containing the halloysite as clay mineral and poly(*o*-toluidine) (POT) as a conductive filler. In the study, conductive POT/halloysite composite was obtained by in situ oxidative polymerization of *o*-toluidine using ammonium persulphate (APS) as an oxidant between the halloysite layers. By changing the polymerization conditions such as polymerization time, *o*-toluidine concentration, APS, and the concentration of HCl solution used as the reaction medium, the composite with the highest conductivity ( $7.5 \times 10^{-5} \text{ S.cm}^{-1}$ ) was obtained. Structural and morphological changes and thermal behaviors that occurred after the composite formation was revealed using various characterization techniques such as FTIR, XRD, TGA, and SEM. The usability of the prepared POT/halloysite composite as humidity sensing material was tested in comparison with the pure POT component of the composite at a relative humidity (% RH) varied between 41-94 (%). Accordingly, it was found that the composite exhibited a fairly regular resistance change to varying relative humidity compared to pure POT polymer.

**Keywords:** conductive clay-composite, poly(*o*-toluidine), halloysite, humidity sensing

## Poli (*o*-toluidin) ve Halloysit İçeren Bir Kil Kompozitinin Hazırlanması ve Nem Sensörü Olarak Performansının İncelenmesi

### ÖZET

Bu çalışma, kil minerali olarak halloysit ve iletken bir dolgu maddesi olarak poli (*o*-toluidin) (POT) içeren elektriksel olarak iletken kil bazlı bir kompozitin üretimini özetlemektedir. Çalışmada, iletken POT / halloysit kompoziti, *o*-toluidinin, halloysit tabakaları arasında oksidant olarak amonyum persülfat (APS) kullanılarak in-situ oksidatif polimerizasyon yöntemi ile elde edildi. Polimerizasyon süresi, *o*-toluidin derişimi, APS ve reaksiyon ortamı olarak kullanılan HCl çözeltisi derişimi gibi polimerizasyon koşulları değiştirilerek en yüksek iletkenliğe sahip kompozit ( $7.5 \times 10^{-5} \text{ Scm}^{-1}$ ) elde edildi. Kompozit oluşumundan sonra meydana gelen yapısal ve morfolojik değişiklikler ve termal davranışlar FTIR, XRD, TGA ve SEM gibi çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanılarak ortaya konuldu. Hazırlanan POT / halloysit kompozitin nem algılama malzemesi olarak kullanılabilirliği, 41-94 arasında değişen bir bağıl nemde (% RH) kompozitin saf POT bileşeni ile karşılaştırılarak test edilmiştir. Buna göre kompozitin, saf POT polimere kıyasla değişen bağıl neme karşı oldukça düzenli bir direnç değişikliği sergilediği bulundu.

**Keywords:** iletken kil kompozit, poli(*o*-toluidin), halloysit, nem sensörü



## **I. INTRODUCTION**

Due to possessing excellent chemical and physical properties of its components, the electrically-conductive clay composites that are fabricated by the combination of conjugated conductive polymers with the clay minerals have participated in different application fields, such as humidity and temperature sensing [1-3], drug delivery [4], biosensor material development [5], anticorrosion application[6], electrode modification [7], filling agent for the conductivity applications [8], supercapacitor fabrication [9]and electrochemistry [10, 11]. For that reason, many attempts have been made for the fabrication of conductive clay-based composites using different chemical and electrochemical methods [5, 12, 13]. Among them, thanks to enabling one-step and facile modification of clay minerals with the conjugated polymers through coating or intercalation, the in-situ oxidative polymerization can be found promising by the researchers. In that method, the aqueous or non-aqueous dispersion of clay minerals can be simultaneously modified by the conductive polymers, using an oxidizing agent for the polymerization of a conjugated monomer, densely and homogeneously. Using this method, different conductive clay composites containing different conductive polymers, such as polyaniline and its derivatives/copolymers, polypyrrole, and polythiophene have been prepared in the literature [2-4, 14-17]. In this study, we preferred the synthesis of one of the most conductive polyaniline derivatives, POT, as the conductive polymer component of the composite by in-situ oxidative polymerization.

The matrix of the composite, halloysite, is a super-fine clay of kaolin group, with a formula of 1:1 layer of  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , and has a hollow tubular structure with multi layers [18]. Due to its versatile properties, such as high surface area, high hydrophilicity, tunable structure by the chemical modification, economic tubular raw material compared to its alternatives, it has been an attractive material to employ in various researches [13, 19]. Although there have been a lot of studies regarding the conductive polymer/halloysite composites in the form of nanotubular structure [6, 9, 12, 13, 20-27], to our knowledge, no study has been published for the fabrication of POT/halloysite composite in the literature. Most of these articles contain only the preparation of polyaniline/halloysite composites without investigating the imparted properties of the components. A few reports have issued the application of developed-composite as supercapacitors, adsorption, and gas separation [21, 25-27].

Different from these reports, in this work, we aimed to fabricate a conductive POT/halloysite composite for revealing its potential in the use of humidity sensing between 41% -94 % RH range. For that purpose, we focused on the preparation of relatively the highest electrically conductive composite, by alteration the experimental conditions in detail. We also investigated the imparted characteristics of the components by different techniques.

## **II. MATERIALS&METHODS**

### **A. MATERIALS**

Halloysite (Esan, Eczacıbaşı Industrial Raw Materials Company, Turkey) was used in the experiments after subjecting to a drying process in the vacuum oven at 75 °C for 24 hours. *o*-toluidine (98%) (Aldrich, Turkey) was distilled under reduced pressure (8 mmHg/60°C) before using in the polymerization. The other chemicals that are presented in the appearance order of the experiments, including, APS, HCl (37%), ethyl alcohol, and the desiccant phosphorous pentoxide ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) were all received from Merck (Turkey) and used without purification.

## B. METHODS

### B. 1. Fabrication of POT/Halloysite Clay Composite

0.30±0.0005 g weighed-halloysite was taken to a 50 mL 3-necked round bottom flask and dispersed into 15 mL certain amounts of *o*-toluidine (0.025 M-0.6 M) containing aqueous HCl solution, whose acid concentration was varied between 0.025 M-1.0 M. After gently shaking of the dispersion for a while, the oxidative polymerization was started by the dropwise introduction of 5 mL certain concentration of APS solution (0.0125-0.30 M) prepared in the same HCl solution at 20 °C. After conduction of the polymerization for a specific time (0.3-6.5 h), the product, POT/halloysite composite, was isolated from the medium through centrifuging at 4000 rpm for 30 min. The composite was then subjected to several washing processes using distilled water and ethyl alcohol, respectively, to separate the residual oxidant and monomer impurities. Finally, it was dried in a vacuum oven at 70°C until reaching a constant weight. The POT content (%) of the composite was determined gravimetrically, considering the initial and final weights of the halloysite samples.

To evidence, the structural change of the composite, pure POT polymer was also prepared similarly to the composite, except for the use of halloysite clay in the procedure.

### B. 2. Humidity Sensing Investigation

The humidity sensing performance of the composite in comparison with its components was tested according to the previous works [15, 28]. Accordingly, the samples that were made into pellets were placed into a glass-cell with three necks containing an ice-salt-water mixture. To the one neck of the cell, a thermometer was placed in the same alignment as the sample. Another thermometer was fixed in the ice-bath. When it is started with 0°C, the mixture temperature increased scarcely; namely, the temperatures of the ice-bath and above medium were also measured. The process involves the monitoring of resistivity values of the sample that was changed by the humidity of the medium. When the isolated-system was saturated with the relative humidity, the sample was taken to another chamber containing P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as a desiccant. The drying process preceded until the resistivity of the sample remained unchanged. The relative humidity (RH,%) of the medium was calculated according to Equation (1):

$$\text{Relative Humidity (RH, \%)} = [P_w(T_1)/P_w(T_2)] * 100 \quad (1)$$

$P_w(T_1)$  and  $P_w(T_2)$  are the saturated vapor pressure of water in the glass cell at  $T_1$  and saturated vapor pressure of water at  $T_2$  temperature in the medium, where the sample is placed, respectively.

### B. 3. Characterization

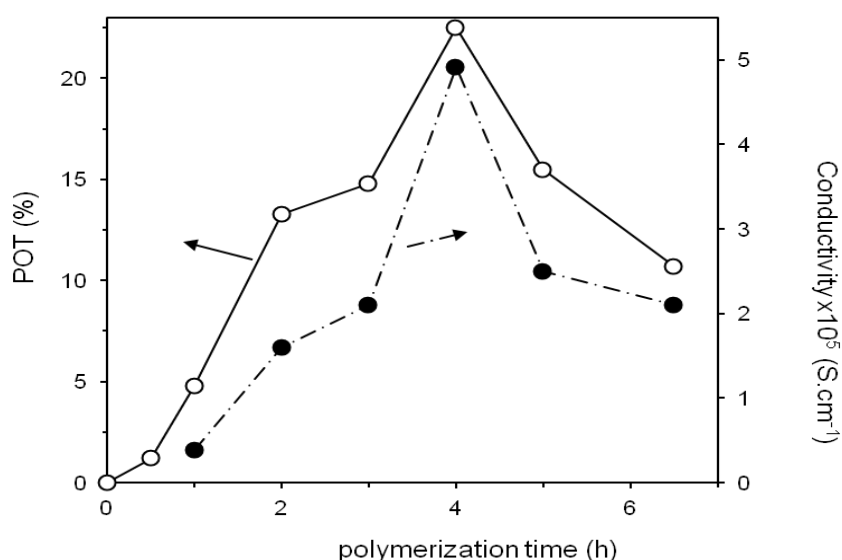
The FTIR spectra were recorded using MATTSON-1000 model FTIR spectrometer after the preparation of pellets from the samples using KBr. The XRD patterns were taken with the Rigaku DMAX IIIC instrument with Cu K $\alpha$  radiation that is operated at 35 kV and 15 mA ( $\lambda = 1.541871 \text{ \AA}$ ). The TGA curves were obtained from the Shimadzu TA50 Thermal Analyzer at a 10 °Cmin<sup>-1</sup> heating rate under the N<sub>2</sub> atmosphere. The SEM micrographs were monitored by QUANTA 400F Field Emission SEM Instrument, after the application of the Au-Pd coating process.

The electrical conductivity values were calculated by the resistivity measurement of a sample with Thurlby 1503 Digital multimeter, after the preparation of pellets from the samples. The contact angle measurements were performed with an Attension Theta Lite Optical Contact Angle Measurement Instrument using the Sessile Drop method.

### III. RESULTS and DISCUSSION

#### **A.1. Effects of Polymerization Time**

To determine the polymerization duration for obtaining the highest POT content (%) and conductivity of the composite, first, the polymerization duration was investigated. For that purpose, the polymerization reactions were varied between 0.30 – 6.5 h at 20 °C, and the results are presented in Figure 1. Accordingly, with the increase of the polymerization time, as a possible result of an increase in the POT polymer chain that is contributed to the composite, the POT content (%), as well as the conductivity of the composite, steadily raised to 4 h. The highest POT content (%) and conductivity of the composite took the highest values, including 22.5 (%) and  $4.92 \times 10^{-5} \text{ S.cm}^{-1}$ , respectively. With the further increment of the time, the values showed a decreasing trend. Similar observations were also present in the literature reporting the polyaniline yield and conductivity decrease with increasing polymerization time from 8h to 12 h [29]. Rao et al. correlated the decrease in the conductivity of polyaniline with increasing polymerization time by the further oxidation of polyaniline, from the conducting emeraldine form to the nonconducting pernigraniline form [30]. The reason underlying the decrease in the polyaniline yield (%) was also explained by the excessive oxidation of polyaniline through the breaking of its polymer chain [31]. Consequently, further experiments were conducted for 4h, at which the highest values were provided.



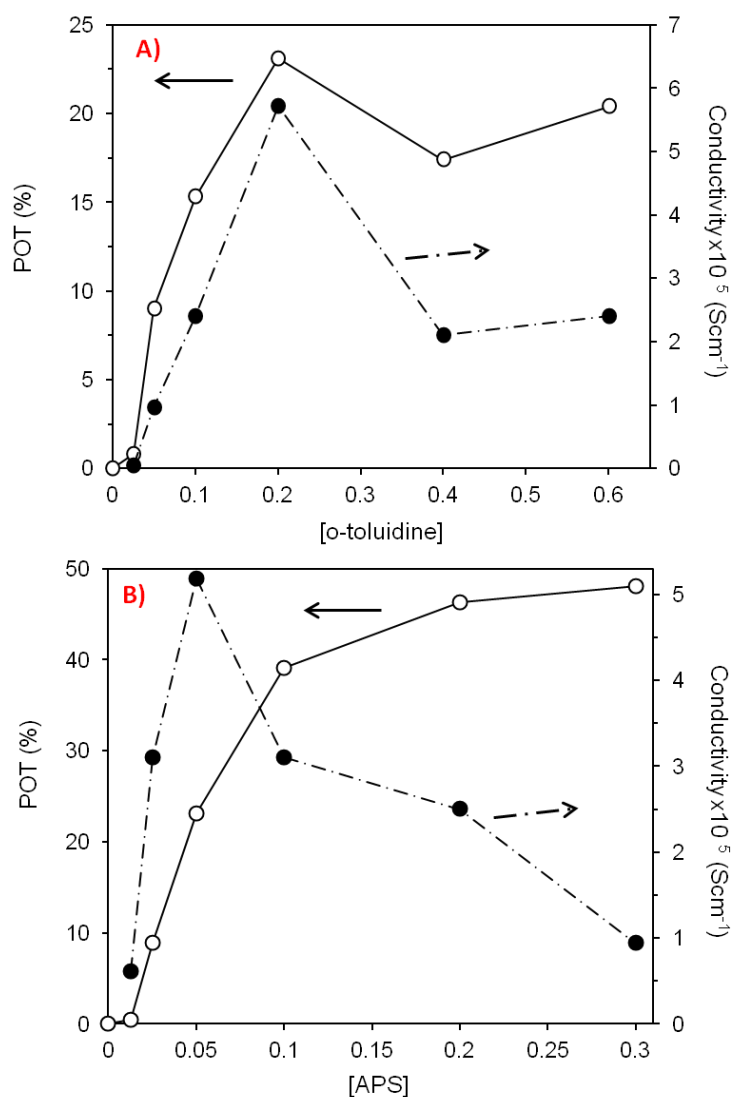
**Figure 1.** Changes in POT (%) content and conductivity of POT/halloysite composite with the polymerization time ([APS]: 0.05 M, [*o*-toluidine]: 0.20 M, medium: 0.40 M HCl)

#### **A.2. Effects of *o*-toluidine and APS Concentrations**

The changes in POT content (%) and conductivity of the POT/halloysite composites were monitored by changing *o*-toluidine and APS concentrations and keeping the other conditions constant, e.g polymerization time as 4h and polymerization medium as 0.40 M HCl. The results are provided in Figure 2. When the results of *o*-toluidine concentration are examined (Figure 2A), the POT content values showed an increasing trend up to the 0.2 M *o*-toluidine concentration and took the highest value as 23.1 % at this point. With the further increment of the concentration, the POT content (%) of the composite slightly decreased and stayed around 20 % (17.5 % at 0.4 M and 20.4 % at 0.6 M). The electrical conductivity values also followed a similar tendency to those of POT contents with a sharper way, including a progressive increase up to 0.2 M and then a decrease over 0.2 M. The increasing of POT content (%) and conductivity of the composite with *o*-toluidine concentration can be explained by the contribution of more amounts of POT chains, and thus, thickening of conductive POT coating on the

clay layers. The possible explanation for the decrease in the POT contents of the composite over a certain monomer concentration may have related to the increase in the viscosity of the polymerization medium [32]. This is generated from the presence of more amounts of the unreacted monomer concerning the amounts of oxidants required for the polymerization. Therefore, the amount of POT polymer that is contributed to the clay layers may have taken lower values compared to that of 0.2 M *o*-toluidine. Since a satisfactory conductive layer formation was not provided at the higher concentrations, the conductivity values also took relatively low values with a similar manner of POT contents of the composite. Consequently, further experiments were continued using 0.2 M *o*-toluidine concentration.

When the results of APS concentration are viewed (Figure 2B), it can be seen that the POT(%) contents of the composite increased with a relatively higher slope up to the APS concentration of 0.1 M, then continued increasing with a lower slope and reached saturation. With the gradual increment of oxidant molecules in the reaction medium, the possibility of the formation of more numbers of oxidized-oligomer derivatives may increase. The combination of these oligo chains may result in the formation of longer polymer chains, an increase in the POT yield, and thus, POT content (%) of the composite that is coated on the clay layers. When the APS concentration reaches a point that is far higher than the *o*-toluidine concentration, the formation of polymer chains with an over-oxidization may have occurred, and this would also increase the POT contents (%) with the lower conductivity values, as the over-oxidated pernigraniline form of polyaniline.



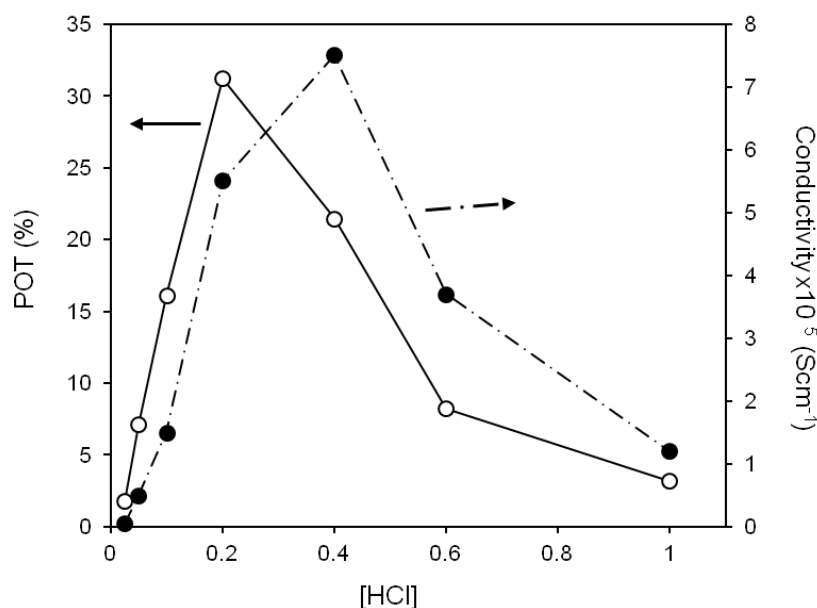
**Figure 2.** Changes in POT (%) content and conductivity of POT/halloysite composite with the concentrations change of *o*-toluidine and APS (polymerization time: 4 h, medium: 0.40 M HCl)

### A.3. Effect of HCl Concentration

The effect of HCl concentration used as the polymerization medium was monitored by running the polymerization reactions at the predetermined APS and *o*-toluidine concentrations for 4h with the changing HCl concentrations between 0.025-0.06 M, and the results are supplied in Figure 3.

Before the experiments, to monitor the possible structural changes that might be occurred to the halloysite in the HCl medium, a blank experiment was also performed, including the mixing of 0.3 g of untreated halloysite particles in the 1.0 M HCl solution. This preliminary test showed that the halloysite has lost 6.4 % of its weight in the acidic solution. This observation was attributed to the loss of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> from the halloysite structure [33, 34], as a possible result of leaching of Al ions from the octahedral layers of halloysite with hydrolysis [34]. Thus, the SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio of the halloysite was reported to be significantly increased after the acidic treatment of the halloysite [34].

As seen from Figure 3, the POT content (%), as well as conductivity of the composite, linearly increased with the increment of HCl concentration up to moderate concentration values around 0.5 M, and then remarkably dropped and became the lowest value at 1.0 M HCl concentration. With increasing HCl concentration, the protonation of the *o*-toluidine monomer, and ionic interaction of the monomer with the halloysite layers also increase, yielding the formation of highly doped conjugated POT polymer containing sufficient amounts of Cl<sup>-</sup> counter ions on the halloysite. The increase in the conductivity of polyanilines with acid concentration was also correlated with the increased crystallinity of polyaniline, which arose from the linear conformation of polyaniline in the crystalline structure [35]. At high HCl concentration values such as 1.0 M, the POT chains have been excessively protonated, and this may have transformed the linearly oriented-POT chains to the coiled conformation and decreased the crystallinity[2]. This case was explained by the screening effect in the literature [35, 36].



**Figure 3.** Changes in POT (%) content and conductivity of POT/halloysite composite with the HCl concentration ([APS]: 0.05 M, [*o*-toluidine]: 0.2 M polymerization time: 4 h)

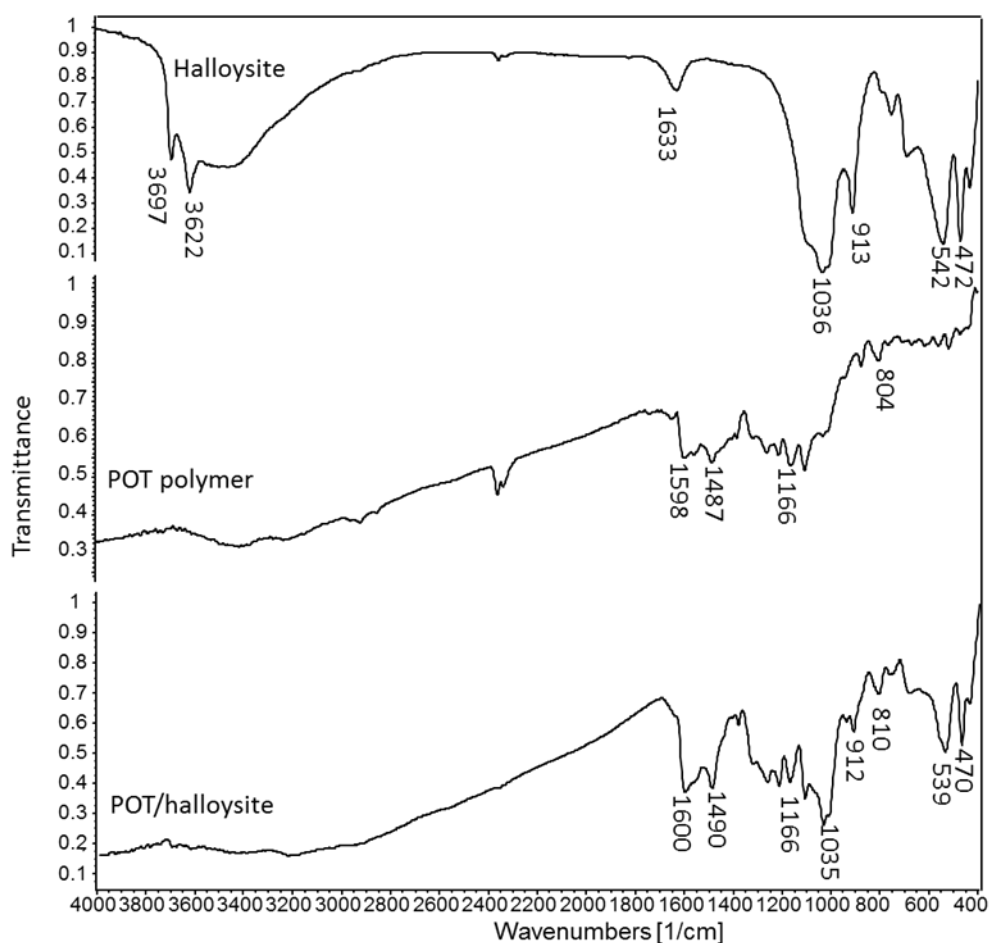
### A.4. FTIR Spectra

The FTIR spectra of halloysite, pure POT polymer, and POT/halloysite composite are plotted in Figure 4. As seen from the spectrum of halloysite, the bands at 3697 and 3622 cm<sup>-1</sup> are attributed to the O-H stretching of hydroxyl groups present in the inner surfaces and interlayers, respectively [37]. The band around 3450 and 1633 cm<sup>-1</sup> are reported to be correlated with the O-H stretching and bending of water molecules, respectively [38]. The rest of the bands, present at the fingerprint region of halloysite, including 1036 cm<sup>-1</sup>, 913 cm<sup>-1</sup>, 542 cm<sup>-1</sup>, and, 472 cm<sup>-1</sup>, corresponding to the perpendicular Si-O

stretching, Al-OH deformation of the inner hydroxyl groups, Al-O-Si stretching, and Si-O-Si stretching, respectively [20, 39, 40].

In the spectrum of the pure POT polymer, the bands at 1598 and 1487  $\text{cm}^{-1}$  correspond to the C=C stretching mode of quinoid rings and C=N antisymmetric stretching modes of benzenoid rings, respectively [41, 42]. The band around 1166  $\text{cm}^{-1}$  might have arisen from the stretching vibration of protonated-polyaniline units (quinoid=NH<sup>+</sup>-benzenoid or benzenoid-NH<sup>+</sup>-benzenoid), and ultimately, the band observed around 804  $\text{cm}^{-1}$  can be assigned to the out of plane deformation of 1,4-disubstituted benzenoid rings of POT [43, 44].

Compared to the spectra of the halloysite and pure POT components, it can be clearly seen that all the determinative bands of the components are present in the spectrum of the composite with the slight shifts, and no new band formation is noticed. This may imply that no chemical interaction was established between the clay and POT in the composite.

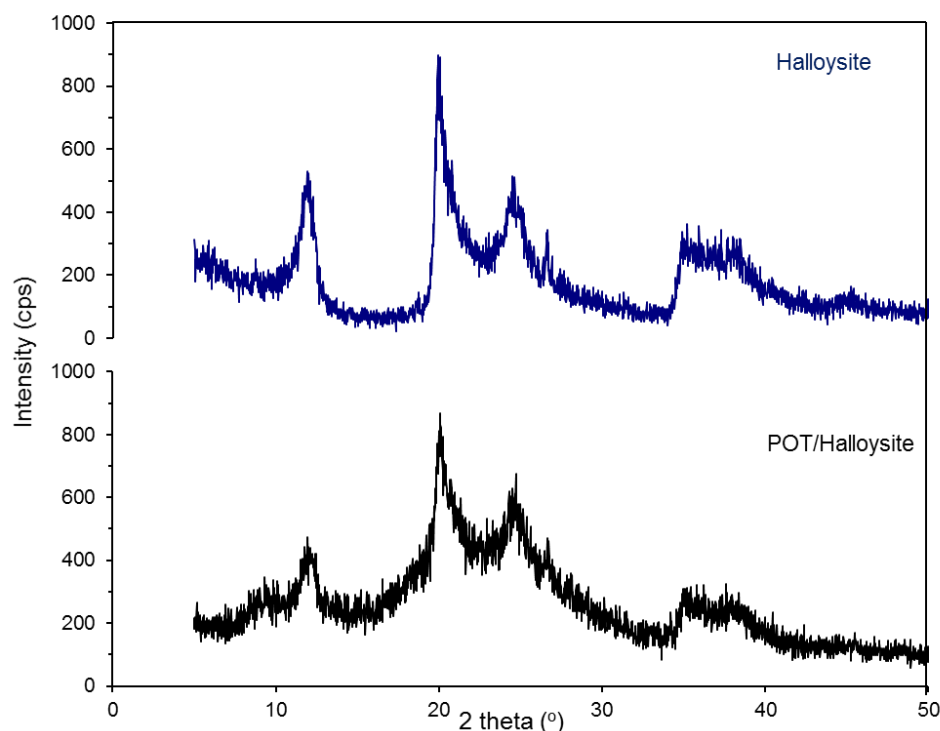


**Figure 4.** FTIR spectra of halloysite, pure POT polymer, and POT/halloysite composite.

## A.5. XRD patterns

The XRD patterns of pure halloysite and POT/halloysite composite are provided in Figure 5. As seen from the patterns of the composite and pure halloysite, the diffraction peak arose at  $2\theta = 12^\circ$  corresponds to the main reflection plane of (001) halloysite, and the other peaks at  $20.1^\circ$  and  $24.7^\circ$  are identical for the halloysite structure, which is compatible with the JCPDS (29-1487). After the composite fabrication, no significant change was detected in the basal reflection plane of the halloysite, and this may indicate that no significant alteration has occurred in the halloysite structure. Due to the dominance of halloysite

in the composite and possible superimpositions, POT diffraction bands could not be separately detected in the pattern of the composite.

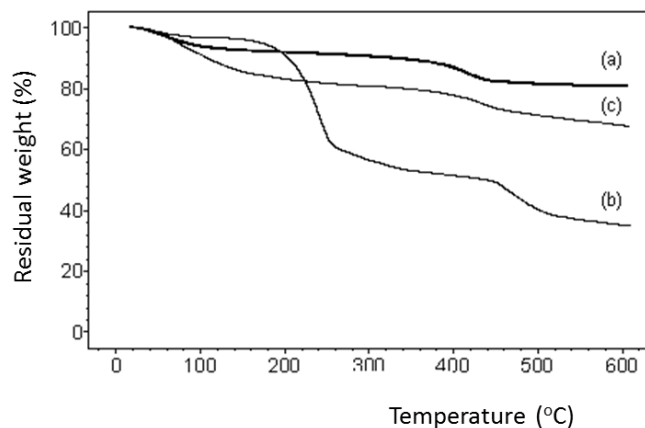


*Figure 5. XRD patterns of halloysite and POT/halloysite composite.*

## A.6. TGA Results

The thermal behaviors of the halloysite, pure POT polymer, and POT/halloysite composite containing 20.0 % of POT were monitored by their respective TGA curves, which are given in Figure 6. As gathered from the thermogram of the halloysite, the untreated halloysite shows two-steps of thermal decomposition between 30-100 °C and 350-450 °C (~388 °C), due to the removal of adsorbed water and other possible volatile materials. The total weight loss of halloysite was recorded as 19% between 30-600 °C. The pure POT polymer also shows three-steps of decomposition up to 600 °C (between 0-100 °C, 150-300 °C, and 450-600 °C), as a possible result of removal of moisture, volatile dopant anions contributed to the polymer structure and main chain degradation. The total loss observed in the pure POT polymer's weight was calculated as 65.9 %. When the TGA curve of the composite is viewed, it is seen that the composite demonstrated two-steps of decomposition between 30-200 °C and 350-450 °C (~404 °C), in a similar manner to the untreated halloysite but with relatively higher residual weights. The total residual weight was found as 32 % between 30-600 °C. If the weight loss of halloysite (19 %) up to 600 °C is considered for the composite, it can be seen that the actual weight loss arose from the removal of POT can be practically calculated as 13 %.

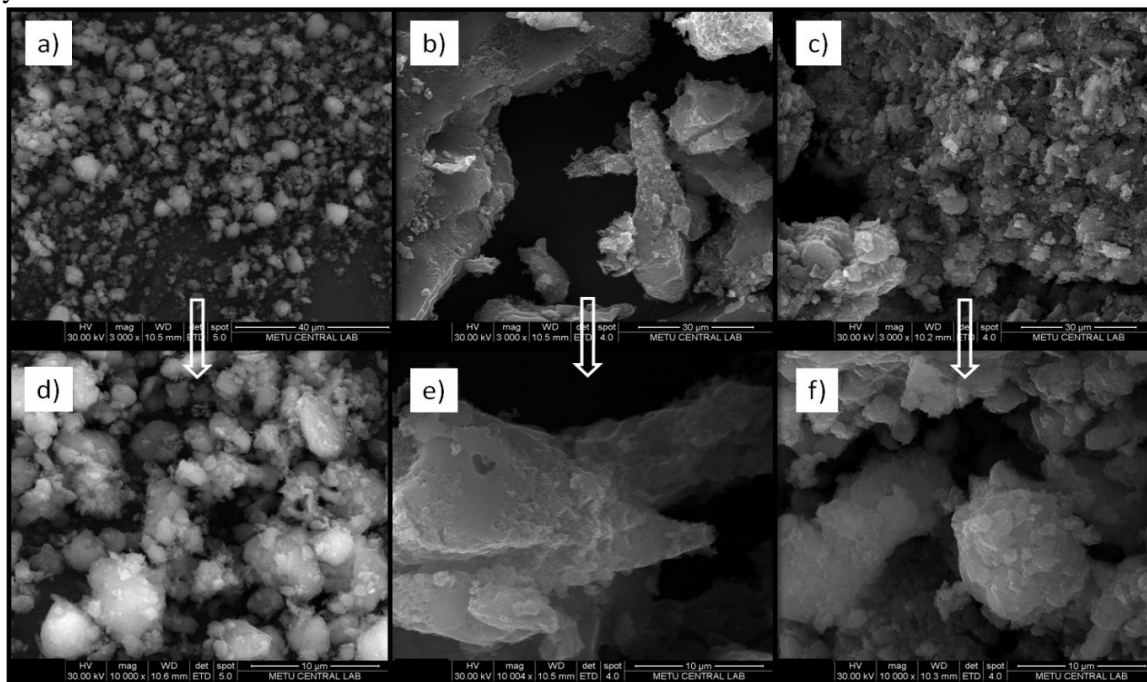
In conclusion, if the TGA curve of the POT/halloysite composite is evaluated in terms of its decomposition temperature and residual weight at 600 °C, it can be said that the thermal stability can be improved by the in-situ contribution of POT polymer to the halloysite layers.



**Figure 6.** TGA curves of *a)* halloysite, *b)* pure POT polymer, and *c)* POT/halloysite composite containing 20.0 % of POT.

### A.7. SEM Micrographs

Morphological properties of the untreated halloysite, pure POT polymer, and POT/halloysite composite were identified using the SEM micrographs of the samples that were taken at the different magnifications, and are comparatively presented in Figure 7. As seen from the micrographs of halloysite (Figure 7a and 7d), the halloysite particles comprise of different structures, such as tubes, globules, and layered structures, with different particle sizes ranging from 0.95  $\mu\text{m}$  to 5.5  $\mu\text{m}$ . It is noticed that the halloysite particles can separately be dispersed on the ground without any adhesion/agglomeration signs. It is understood from the micrographs of pure POT polymer that (Figure 7b and 7e) the POT particles have an adherent rock-like structure, and this appearance is more evident from their crumbled fragments. It is thought that the surfaces of the POT polymers get flattened. In the micrographs of POT/halloysite composite, it can be easily seen that the halloysite particles/layers are densely and continuously covered by the POT polymers, giving the impression of no naked/uncovered region is left between the halloysite layers.



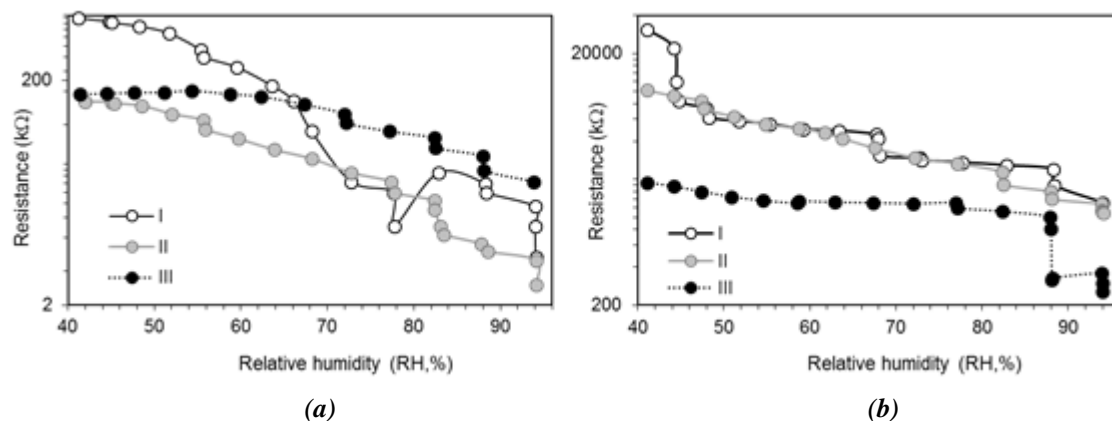
**Figure 7.** SEM micrographs of *a), d)* halloysite, *b), e)* pure POT polymer, and *c), f)* POT/halloysite composite.



## A.8. Humidity Sensing Results

The humidity sensing performance of the POT/halloysite composite was evaluated by the resistance changes of the composite with changing the relative humidity (RH) of the medium, and the results are provided in Figure 8, in comparison with a pure POT polymer. After the application of three humidifying-drying processes, the repeatable responses of the resistance were followed. In the first view to the graphs of both samples, the resistance values of pure POT polymer and the composite show a decreasing response with the increment of the RH (%) values from 41% to 94%, and this decrease is more significant for the POT/halloysite composite (Figure 8b). In the first humidifying process, while the POT polymer gave more irregular resistance drops as the response to the RH increase, this trend was more steady and remarkably at the certain RH increase points for the composite, indicating that the POT/halloysite composite has a better performance as a humidity sensor. After the removal of both samples from the first humid medium, and drying on P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, it was observed that the sensing responses of both of the samples followed relatively regular drops with the RH increase, and this observation became more pronounced at the end of the third humidifying-drying process, which may imply that the samples have reached to an equilibrium.

This observed resistance drop with the increment of RH (%) was explained by the adsorption of water molecules into two steps, including irreversible chemisorption of water molecules onto the hydrophilic surfaces (i.e. -OH groups containing edges of the clay minerals), and reversible physisorption of water (Sears 2008). It is also known that the affinity of a water molecule can also be correlated with the surface properties of the materials, such as hydrophilicity and porosity, namely if the surface of the material has a porous and hydrophilic nature, then the resistance drop would be inevitable. Accordingly, considering the nature of the composite components, it can be concluded that the increase in the hydrophilic nature of the POT polymer by the contribution of halloysite may have improved the electrical response of the material. This statement can also be understood from the net resistance drop values of the samples. For example in the first humidifying process, with the increase of the RH values from 41%-94%, the net resistance change ( $\Delta R$ ) of POT polymer was measured as 705 k $\Omega$ , but this change was calculated as 29600 k $\Omega$  for the composite. This finding reveals that the presence of halloysite in the composite remarkably improved the responding ability of the POT, thanks to the water adsorption ability of the halloysite.



**Figure 8.** Humidity sensing results of **a)** pure POT polymer and **b)** POT/halloysite composite for three humidifying processes.

## IV. CONCLUSIONS

With this work, it was demonstrated that one of the most conductive polyaniline derivatives of POT was homogeneously and densely incorporated into halloysite clay, for the fabrication of a humidity sensing material. By alteration the various experimental conditions, the POT/halloysite composite with the highest conductivity could be obtained when the polymerization was conducted for 4h using 0.2 M *o*-

toluidine, and 0.05 M APS in 0.4 M aqueous HCl solution. The XRD results confirmed the preserved structure of halloysite even the usage of acidic solutions. SEM micrographs revealed the homogenous deposition of POT onto the halloysite layers. TGA results revealed the improved thermal stability of the composites in comparison to the components. One of the most promoting findings of the study was the humidity sensing responses of the composite, implying that the developed composite may be a successful candidate to be used as the humidity sensor material.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This work is supported by Ankara University Scientific Project (Project no: 12B4240005).

## **V. REFERENCES**

- [1] L. F. B. L. Pontes, J. E. G. de Souza, A. Galembeck, and C. P. de Melo, "Gas sensor based on montmorillonite/polypyrrole composites prepared by in situ polymerization in aqueous medium," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 177, pp. 1115-1121, 2013.
- [2] N. G. Duran, M. Karakışla, L. Aksu, and M. Saçak, "Conducting polyaniline/kaolinite composite: Synthesis, characterization and temperature sensing properties," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 118, no. 1, pp. 93-98, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2009.07.009>.
- [3] F. Boran, S. Çetinkaya, M. Karakışla, and M. Saçak, "Synthesis and characterization of poly(o-toluidine)/kaolinite conductive composites for humidity and temperature sensing," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 24, no. 7, pp.1283-1278, 2018.
- [4] A. Verma and U. Riaz, "Sonolytically intercalated poly(anisidine-co-toluidine)/bentonite nanocomposites: pH responsive drug release characteristics," *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, vol. 48, pp.49-58, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2018.08.024>.
- [5] H. Zheng, M. Liu, Z. Yan, and J. Chen, "Highly selective and stable glucose biosensor based on incorporation of platinum nanoparticles into polyaniline-montmorillonite hybrid composites," *Microchemical Journal*, vol. 152, pp. 104266, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104266>.
- [6] P. Karthikeyan, S. Sathishkumar, K. Pandian, L. Mitu, and R. Rajavel, "Novel copper doped Halloysite Nano Tube/silver-poly(pyrrole-co-3,4-ethylenedioxythiophene) dual layer coatings on low nickel stainless steel for anti-corrosion applications," *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, vol. 3, no. 1, pp.59-67, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2017.12.003>.
- [7] F. J. Anaissi, G. J. F. Demets, R. A. Timm, and H. E. Toma, "Hybrid polyaniline/bentonite–vanadium(V) oxide nanocomposites," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 347, no. 1, pp.374-381, 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00618-4](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00618-4).
- [8] M. Špírková, P. Bober, J. Kotek, and J. Stejskal, "Bi-hybrid coatings: polyaniline-montmorillonite filler in organic-inorganic polymer matrix," *Chemical Papers*, vol. 67, no. 8, pp.1020-1027, 2013, doi: [10.2478/s11696-012-0299-z](https://doi.org/10.2478/s11696-012-0299-z).
- [9] H. Huang, J. Yao, H. Chen, X. Zeng, C. Chen, X. She, and L. Li, "Facile preparation of halloysite/polyaniline nanocomposites via in situ polymerization and layer-by-layer assembly with good supercapacitor performance," *Journal of materials science*, vol. 51, no. 8, pp.4047-4054, 2016.
- [10] P. W. Faguy, W. Ma, J. A. Lowe, W.-P. Pan, and T. Brown, "Conducting polymer–clay composites for electrochemical applications," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 4, no. 5, pp.771-772, 1994, doi: [10.1039/JM9940400771](https://doi.org/10.1039/JM9940400771).

- [11] Q. Sheng, D. Zhang, Q. Wu, J. Zheng, and H. Tang, "Electrodeposition of Prussian blue nanoparticles on polyaniline coated halloysite nanotubes for nonenzymatic hydrogen peroxide sensing," *Analytical Methods*, vol. 7, no. 16, pp.6896-6903, 2015, doi: 10.1039/C5AY01329A.
- [12] L. Zhang, T. Wang, and P. Liu, "Polyaniline-coated halloysite nanotubes via in-situ chemical polymerization," *Applied Surface Science*, vol. 255, no. 5, pp. 2091-2097, 2008.
- [13] X. Sun, Y. Long, P. Wang, J. Sun, and J. Ma, "Preparation of conducting halloysite/polyaniline coaxial tubular nanocomposites in the presence of decorating halloysite as in situ dopant," *Reactive and Functional Polymers*, vol. 72, no. 5, pp.323-328, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2012.03.002>.
- [14] H. Acar, M. Karakışla, and M. Saçak, "Preparation and characterization of conductive polypyrrole/kaolinite composites," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 16, no. 3, pp.845-850, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2013.01.009>.
- [15] M. Günay, M. K. Erdoğan, M. Karakışla, and M. Saçak, "Hydrophobic modification of kaolinite by coating with the conductive polythiophene and investigation of the usability as the environmental-based sensors," *Chemical Papers*, 2020, doi: 10.1007/s11696-020-01268-1.
- [16] A. S. Al-Hussaini, "New crystalline poly(aniline-co-benzidine)/bentonite microcomposites: synthesis and characterization," *Polymer Bulletin*, vol. 76, no. 1, pp.323-337, 2019, doi: 10.1007/s00289-018-2386-y.
- [17] D. Anaklı and S. Çetinkaya, "Preparation of poly(2-ethyl aniline)/kaolinite composite materials and investigation of their properties," *Current Applied Physics*, vol. 10, no. 2, pp.401-406, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cap.2009.06.037>.
- [18] E. Joussein, S. Petit, J. Churchman, B. Theng, D. Righi, and B. Delvaux, "Halloysite clay minerals - A review," *Clay Minerals*, vol. 40, no. 4, pp.383-426, 2005, doi: 10.1180/0009855054040180.
- [19] S. Deng, J. Zhang, L. Ye, and J. Wu, "Toughening epoxies with halloysite nanotubes," *Polymer*, vol. 49, no. 23, pp.5119-5127, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2008.09.027>.
- [20] E. Tierrablanca, J. Romero-García, P. Roman, and R. Cruz-Silva, "Biomimetic polymerization of aniline using hematin supported on halloysite nanotubes," *Applied Catalysis A: General*, vol. 381, no. 1-2, pp.267-273, 2010.
- [21] T. Zhou, C. Li, H. Jin, Y. Lian, and W. Han, "Effective Adsorption/Reduction of Cr(VI) Oxyanion by Halloysite@Polyaniline Hybrid Nanotubes," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 9, no. 7, pp.6030-6043, 2017, doi: 10.1021/acsami.6b14079.
- [22] F. Hu, J. Xu, S. Zhang, J. Jiang, B. Yan, Y. Gu, M. Jiang, S. Lin, and S. Chen, "Core/shell structured halloysite/polyaniline nanotubes with enhanced electrochromic properties," *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 6, no. 21, pp.5707-5715, 2018.
- [23] S. Zuo, W. Liu, C. Yao, X. Li, Y. Kong, X. Liu, H. Mao, and Y. Li, "Preparation of polyaniline-polypyrrole binary composite nanotube using halloysite as hard-template and its characterization," *Chemical engineering journal*, vol. 228, pp.1092-1097, 2013.
- [24] S. I. A. Razak, N. F. A. Sharif, and I. I. Muhamad, "Polyaniline-coated halloysite nanotubes: effect of para-hydroxybenzene sulfonic acid doping," *Composite Interfaces*, vol. 21, no. 8, pp.715-722, 2014, doi: 10.1080/15685543.2014.932551.

- [25] H. Parab, K. Chauhan, J. Ramkumar, R. D. P.S, N. S. Shenoy, and S. D. Kumar, "In-situ synthesised polyaniline - halloysite nanoclay composite sorbent for effective decontamination of nitrate from aqueous streams," *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, pp.1-16, 2020, doi: 10.1080/03067319.2020.1828390.
- [26] M. M. Abolghasemi, N. Arsalani, V. Yousefi, M. Arsalani, and M. Piryaei, "Fabrication of polyaniline-coated halloysite nanotubes by in situ chemical polymerization as a solid-phase microextraction coating for the analysis of volatile organic compounds in aqueous solutions," *Journal of Separation Science*, vol. 39, no. 5, pp.956-963, 2016, doi: <https://doi.org/10.1002/jssc.201500839>.
- [27] R. Surya Murali, M. Padaki, T. Matsuura, M. S. Abdullah, and A. F. Ismail, "Polyaniline in situ modified halloysite nanotubes incorporated asymmetric mixed matrix membrane for gas separation," *Separation and Purification Technology*, vol. 132, pp.187-194, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.05.020>.
- [28] M. V. Kulkarni, A. K. Viswanath, and P. K. Khanna, "Synthesis and humidity sensing properties of conducting poly(N-methyl aniline) doped with different acids," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 115, no. 1, pp.140-149, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2005.08.031>.
- [29] C. Saravanan, S. Palaniappan, and F. Chandezon, "Synthesis of nanoporous conducting polyaniline using ternary surfactant," *Materials Letters*, vol. 62, no. 6, pp.882-885, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.07.003>.
- [30] P. S. Rao, D. N. Sathyanarayana, and S. Palaniappan, "Polymerization of Aniline in an Organic Peroxide System by the Inverted Emulsion Process," *Macromolecules*, vol. 35, no. 13, pp.4988-4996, 2002, doi: 10.1021/ma0114638.
- [31] M. A. C. Mazzeu, L. K. Faria, M. R. Baldan, M. C. Rezende, and E. S. Gonçalves, "Influence of reaction time on the structure of polyaniline synthesized on a pre-pilot scale," *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 35, no. 1, pp.123-130, 2018.
- [32] R. Gangopadhyay, A. De, and G. Ghosh, "Polyaniline-poly(vinyl alcohol) conducting composite: material with easy processability and novel application potential," *Synthetic Metals*, vol. 123, no. 1, pp.21-31, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(00\)00573-7](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(00)00573-7).
- [33] V. M. Abbasov, H. C. Ibrahimov, G. S. Mukhtarova, and E. Abdullayev, "Acid treated halloysite clay nanotubes as catalyst supports for fuel production by catalytic hydrocracking of heavy crude oil," *Fuel*, vol. 184, pp.555-558, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.07.054>.
- [34] K. Belkassa, F. Bessaha, K. Marouf-Khelifa, I. Batonneau-Gener, J.-d. Comparot, and A. Khelifa, "Physicochemical and adsorptive properties of a heat-treated and acid-leached Algerian halloysite," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 421, pp. 26-33, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2012.12.048>.
- [35] A. G. MacDiarmid and A. J. Epstein, "Secondary doping in polyaniline," *Synthetic Metals*, vol. 69, no. 1, pp.85-92, 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0379-6779\(94\)02374-8](https://doi.org/10.1016/0379-6779(94)02374-8).
- [36] M. M. Ayad and M. A. Sheneshin, "Effect of acids on in situ polyaniline film formation," *Polymer International*, vol. 53, no. 8, pp. 1180-1184, 2004, doi: 10.1002/pi.1532.
- [37] S. S. Zargarian, V. Haddadi-Asl, and H. Hematpour, "Carboxylic acid functionalization of halloysite nanotubes for sustained release of diphenhydramine hydrochloride," *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 17, no. 5, pp. 218, 2015, doi: 10.1007/s11051-015-3032-3.

- [38] P. Yuan, P. D. Southon, Z. Liu, M. E. Green, J. M. Hook, S. J. Antill, and C. J. Kepert, "Functionalization of halloysite clay nanotubes by grafting with  $\gamma$ -aminopropyltriethoxysilane," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 112, no. 40, pp.15742-15751, 2008.
- [39] Q. He, D. Yang, X. Deng, Q. Wu, R. Li, Y. Zhai, and L. Zhang, "Preparation, characterization and application of N-2-Pyridylsuccinamic acid-functionalized halloysite nanotubes for solid-phase extraction of Pb (II)," *Water Research*, vol. 47, no. 12, pp. 3976-3983, 2013.
- [40] P. R. Chang, Y. Xie, D. Wu, and X. Ma, "Amylose wrapped halloysite nanotubes," *Carbohydrate Polymers*, vol. 84, no. 4, pp.1426-1429, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.01.038>.
- [41] M. Arora, V. Luthra, R. Singh, and S. K. Gupta, "Study of vibrational spectra of polyaniline doped with sulfuric acid and phosphoric acid," *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 96, no. 1, pp. 173-181, 2001, doi: 10.1385/ABAB:96:1-3:173.
- [42] M. Trchová and J. Stejskal, "Polyaniline: The infrared spectroscopy of conducting polymer nanotubes (IUPAC Technical Report)," in *Pure and Applied Chemistry*, 2011. pp. 1803.
- [43] E. T. Kang, K. G. Neoh, and K. L. Tan, "Polyaniline: A polymer with many interesting intrinsic redox states," *Progress in Polymer Science*, vol. 23, no. 2, pp.277-324, 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(97\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(97)00030-0).
- [44] M. I. Boyer, S. Quillard, E. Rebourt, G. Louarn, J. P. Buisson, A. Monkman, and S. Lefrant, "Vibrational Analysis of Polyaniline: A Model Compound Approach," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 102, no. 38, pp. 7382-7392, 1998, doi: 10.1021/jp972652o.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Solidity Optimization for an H-Darrieus Wind Turbine

 M. Özgün KORUKÇU<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Bursa Uludağ University, Bursa, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: ozkorukcu@uludag.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.813917

### ABSTRACT

Solidity is one of the main factors that influence the performance of a wind turbine. The solidity of an H-Darrieus wind turbine is optimized in terms of blade number, chord length, and rotor radius to get the maximum power coefficient using Taguchi L16 ( $4^3$ ) array. Power coefficient values are calculated by the Double Multiple Stream Tube model by in house built MATLAB code according to Taguchi orthogonal array. The maximum power coefficient is found as 0.4728 for the two-bladed rotor with a chord length of 0.2 m and a radius of 2 m. Relation of maximum power coefficient respect to blade number, chord length, and rotor radius is derived. Predicted mean values of the maximum power coefficient are in agreement with calculated values. Furthermore, an equation for the maximum power coefficient is obtained for rotor solidity. Derived equations can be useful to estimate the maximum power coefficient values of H-Darrieus wind turbines.

**Keywords:** Vertical Axis Wind Turbine, DMST model, Solidity, Optimization.

## Bir H-Darrieus Rüzgar Türbini için Solidite Optimizasyonu

### ÖZET

Solidite bir rüzgar türbini performansını etkileyen ana faktörler arasında yer almaktadır. Bir H-Darrieus rüzgar türbininin maksimum güç katsayısını veren soliditesi kanat sayısı, kord uzunluğu ve rotor yarıçapı cinsinden Taguchi L16 ( $4^3$ ) dizisi kullanılarak optimize edilmiştir. Güç katsayısı değerlerinin hesaplamasında Taguchi ortogonal dizisine göre MATLAB yardımıyla Çift Çoklu Akım Tüpü modeli için geliştirilmiş kod kullanılmıştır. En yüksek güç katsayısı 0.4728 değeri iki-kanatlı, 0.2 m kord uzunluğunda ve yarıçapı 2 m olan rotor için bulunmuştur. En yüksek güç katsayısı değeri için kanat sayısı, kord uzunluğu ve rotor yarıçapı cinsinden bir bağıntı elde edilmiştir. Tahmini ortalama en yüksek güç katsayısı değerleri ile hesaplanan değerler uyum içerisinde bulunmuştur. Ayrıca, en yüksek güç katsayısı için rotor soliditesi cinsinden bir denklem elde edilmiştir. Elde edilen denklemler H-Darrieus rüzgar türbinlerinin en yüksek güç katsayılarını tahmin etmekte kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Dikey Eksenli Rüzgar Türbini, DMST Modeli, Solidite, Optimizasyon

## **I. INTRODUCTION**

After the great oil crisis in the 1970s, countries started to search for alternative energy sources for fossil fuels. These alternative energy sources should be sustainable and renewable. Wind energy is one of these renewable energy sources [1]. Although Horizontal Axis Wind Turbines (HAWT) lead the wind energy market in the last few years, researches for improving the aerodynamic performance of Vertical Axis Wind Turbines (VAWT) are becoming popular [2]. The main parameters that are affecting the aerodynamic performance of VAWT's are; blade profile and rotor geometry, solidity, aspect ratio, tip speed ratio. Aerodynamic performances of wind turbines can be investigated by conducting wind tunnel experiments, CFD calculations, momentum models, and stream-tube models. Wind tunnel experiments give real results, but they are expensive. CFD models try to solve unsteady Navier-Stokes equations, and they are sensitive to grid size, time step, turbulence model, and computer processor capacity. Momentum models use lookup tables of airfoil lift and drag coefficient values for different Reynolds numbers and then calculate forces acting on turbine blades. Stream-tube models are high-speed and convenient to investigate the performance of VAWT [3–6]. Stream tube models are derived from the single-stream tube model [7] and then improved to a multiple stream tube model by Strickland [8]. The double Multiple Stream Tube model (DMST) was enhanced by Paraschivoiu [9].

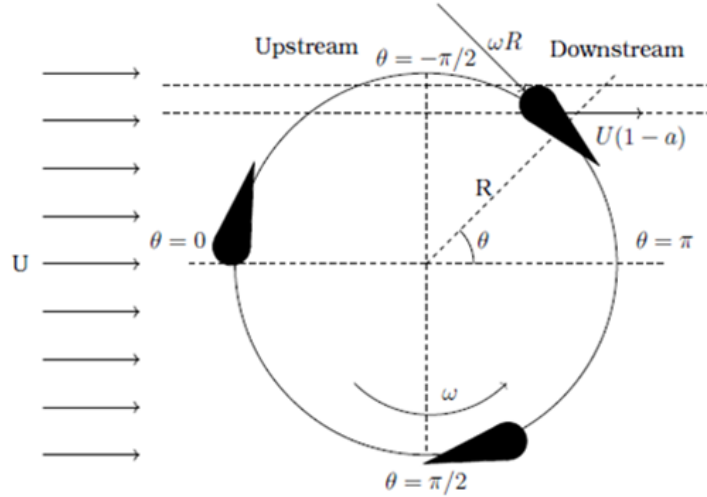
There are several studies for the optimization of geometrical parameters of H-Darrieus wind turbines. Brusca et al. [10] investigated the effect of aspect ratio (ratio of blade height to rotor radius) on aerodynamic performance for a symmetrical straight bladed wind turbine by using the Multiple Stream Tube Model. According to their study, as the aspect ratio decreases power coefficient increases. Carrigan et al. [11] used a differential evolution algorithm after conducting unsteady CFD calculations to obtain an optimized design for maximum turbine performance. They fixed the tip speed ratio and then changed the airfoil type and solidity to get maximum torque from the rotor. Du et al. [12] made experimental studies to investigate the effect of turbine solidity, blade profile, surface roughness, and aspect ratio on an H-Darrieus wind turbine. Their main focus was on the self-start of the turbine. Their study showed that high turbine solidity, a thick symmetrical blade with a negative low pitch ( $-2^\circ$ ), is more advantageous than a cambered blade for self-starting. Li et al. [13] used the panel method to investigate the effect of rotor aspect ratio and solidity on a straight-bladed vertical axis wind turbine. First, the solidity is kept at a constant value of 0.0064, and the aspect ratio is changed. Then by keeping the aspect ratio, they changed the solidity. They stated that solidity has more effect on turbine performance than that of the rotor aspect ratio. Miller et al. [14] did experiments for understanding the solidity and Reynolds number effects on straight-bladed vertical axis wind turbines. Two different turbines were used with a solidity of 0.67 for the three-bladed turbine and solidity of 1.12 for a five-bladed turbine. They concluded that turbine performance is affected by Reynolds number not directly on solidity. Nguyen and Metzger [15] examined thirteen vertical axis wind turbine geometries to find optimum power coefficient for urban areas. Aspect ratio, airfoil type, solidity, and moment of inertia parameters are changed. From all thirteen geometrical combinations, the best power coefficient was obtained for a turbine with an aspect ratio of 1.2, the solidity of 0.12, and a blade with NACA0015 airfoil. Parra et al. [16] investigated the effect of solidity on vertical axis wind turbines by using CFD. Two different turbines with a solidity of 1 and 1.5 were examined. As a result, they showed that the turbine, with a solidity of 1, has a better power coefficient. Rezaeiha [17] studied the impact of solidity and blade number on vertical axis wind turbine performance. The effect of the blade number and solidity were investigated.

In the present study, the optimum solidity value for a straight-bladed H-Darrieus wind turbine is investigated by using Taguchi method. The blade profile is chosen as NACA0012, blade number, chord length, and rotor radius are changed. The effects of each parameter on the performance of the turbine are presented. The relation of maximum  $C_p$  means of blade number, chord length, and rotor radius is derived.

## II. METHOD

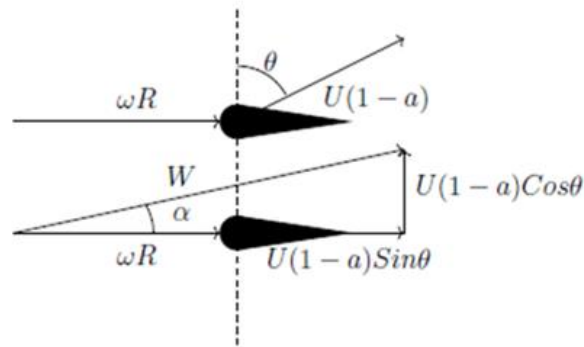
### A. DOUBLE MULTIPLE STREAM TUBE MODEL

In Double Multiple Stream Tube (DMST) model, the rotor consists of stream tubes. Every stream tube receives free stream ( $U$ ) and, this free stream is divided into upstream ( $U_u$ ) and downstream ( $U_d$ ) components. Momentum conservation is applied to the stream tubes. Figure 1 depicts a three-bladed H-Darrieus rotor.



*Figure 1. Rotor geometry.*

Velocity components on a blade are shown in Figure 2.



*Figure 2. Velocity components.*

The rotor solidity is:

$$\sigma = \frac{Nc}{2R} \tag{1}$$

The blade number is  $N$ , chord length is  $c$ , and the rotor radius is  $R$ .  
The tip speed ratio is:

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \tag{2}$$



Angular velocity is  $\omega$

Upstream ( $W_u$ ) and downstream ( $W_d$ ) relative velocities

$$W_u = (\omega R + U_u(1 - a_u)\sin\theta)^2 + (U_u(1 - a_u)\cos\theta)^2 \quad (3)$$

$$W_d = (\omega R + U_d(1 - a_d)\sin\theta)^2 + (U_d(1 - a_d)\cos\theta)^2 \quad (4)$$

Upstream ( $a_u$ ) and downstream ( $a_d$ ) are axial induction factors.

Upstream ( $\alpha_u$ ) and downstream ( $\alpha_d$ ) are angles of attack.

$$\alpha_u = \frac{(U_u(1 - a_u)\cos\theta)}{(\omega R + U_u(1 - a_u)\sin\theta)} \quad (5)$$

$$\alpha_d = \frac{(U_d(1 - a_d)\cos\theta)}{(\omega R + U_d(1 - a_d)\sin\theta)} \quad (6)$$

Thrust forces can be calculated as

$$F_u = \frac{Nc}{8\pi R} \frac{W_u^2}{U_u^2} \sec\theta (C_{n_u} \cos\theta - C_{t_u} \sin\theta) \quad (7)$$

$$F_d = \frac{Nc}{8\pi R} \frac{W_d^2}{U_d^2} \sec\theta (C_{n_d} \cos\theta - C_{t_d} \sin\theta) \quad (8)$$

Normal, tangential, lift, and drag coefficients are  $C_n$ ,  $C_t$ ,  $C_l$ ,  $C_d$ , respectively.  $C_l$ ,  $C_d$  coefficients are computed by XFOIL software for the angle of attack values. Tangential and normal coefficients can be calculated by using lift and drag coefficients:

$$C_n = C_l \cos\alpha + C_d \sin\alpha \quad (9)$$

$$C_t = C_l \sin\alpha - C_d \cos\alpha \quad (10)$$

The upstream and downstream tangential forces are calculated as:

$$F_{t_u} = C_{t_u} \left( \frac{W_u}{U} \right)^2 \quad (11)$$

$$F_{t_d} = C_{t_d} \left( \frac{W_d}{U} \right)^2 \quad (12)$$

The torque of every single stream-tube ( $Q_i$ ) is calculated for a unit length of the blade and then used to obtain the total torque ( $Q_T$ ) of the rotor.

$$Q_i = \frac{1}{2} \frac{Nc\rho}{2\pi(U_u + U_d)} \left[ W_u^2 U_d \left( C_{t_u} R + C_{n_u} \frac{c}{4} \right) + W_d^2 U_u \left( C_{t_d} R + C_{n_d} \frac{c}{4} \right) \right] \quad (13)$$

$$Q_T = L \sum_{\theta=-\pi/2}^{\theta=\pi/2} Q_i \quad (14)$$

Where L is the length of the rotor, and  $\rho$  is the density.

Generated power ( $P$ ) and the power coefficient ( $C_p$ ) of the rotor defined as:

$$P = Q_T \omega \quad (15)$$

$$C_p = \frac{P}{1/2 \rho A U^3} \quad (16)$$

Free stream velocity ( $U$ ) and air density ( $\rho$ ) are taken as 10 m/s and 1.225 kg/m<sup>3</sup>, respectively. Power coefficient values are calculated with MATLAB by using the DMST model.

## B. TAGUCHI DESIGN

In the optimization of the solidity, the Taguchi method is used. Solidity parameters are defined as blade number  $N$ , chord length  $c$ , and rotor radius  $R$ . For each parameter; four levels are chosen. Parameters and levels are given in Table 1. For the design of experiments, Taguchi L16 (4<sup>3</sup>) orthogonal array is used. Taguchi L16 (4<sup>3</sup>) orthogonal array is represented in Table 2.  $C_p$  values from DMST results are converted to signal to noise ratio (S/N). In order to get the maximum  $C_p$  value, the larger-the-better criterion is chosen. The maximum criterion for S/N ratio is defined as [18]

$$S/N_{max} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (17)$$

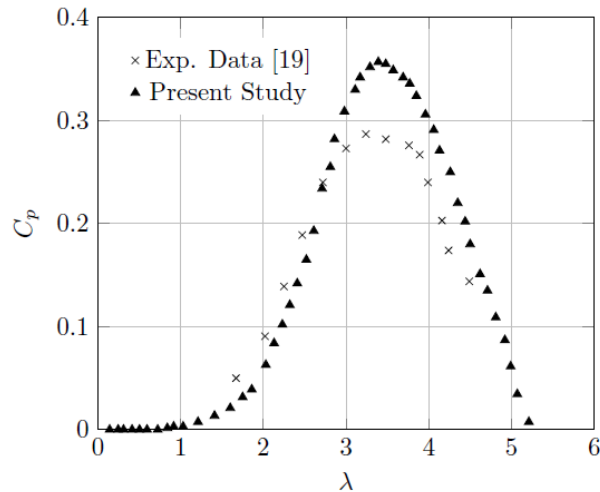
Here  $n$  is the test number, and  $y_i$  is the simulation result number for performance characteristics.

*Table 1. Solidity parameters and levels used in the study.*

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Blade Number	2	3	4	5
Chord Length (m)	0.2	0.3	0.4	0.5
Rotor Radius (m)	0.5	1	1.5	2

## III. RESULTS

Validation of the DMST model is made by comparison of experimental data from Kjellin et al. [19] in which a rotor has three blades, airfoil type of NACA0021, chord length of 0.25 m, blade height of 5 m and rotor radius of 3 m was used. As seen from Figure 3, up to  $\lambda=3$  there is a good agreement with experimental data but after that value, the DMST model overestimates the results and this is due to the two-dimensional approach of the model.



**Figure 3.** Validation of the DMST model.

The maximum power coefficient values obtained from 16 DMST calculations are processed with Minitab18 software, ANOVA, and regression analyses are calculated.

Table 3 shows the calculated maximum power coefficient values by using Taguchi L16 ( $4^3$ ) orthogonal array and  $S/N$  ratios. The maximum  $S/N$  ratio represents the maximum power coefficient value. According to the mean  $S/N$  ratio analysis given in Figure 4, the maximum power coefficient value can be obtained by using the maximum  $S/N$  ratio value of each parameter. As seen from Figure 4, the two-bladed rotor with a chord length of 0.2 m and a radius of 2 m will give the maximum power coefficient. When these parameters are used in the DMST model power coefficient is found as 0.4728. Increasing the blade number and chord length have adverse effects on the power coefficient but increasing the rotor radius has a positive impact on the power coefficient.

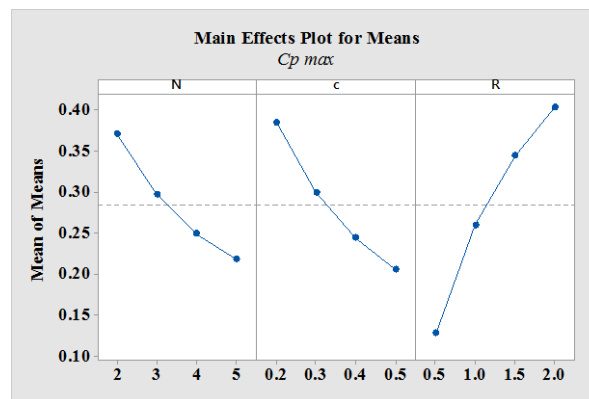
ANOVA method reveals the importance of all factors and interactions of parameters within each other. ANOVA method also defines the influence ratios of parameters on the results. Table 4 represents the ANOVA results of factors, their contributions, and probability values. According to Table 4, all factors are significantly important ( $p < 0.05$ ). The contributions of parameters on the power coefficient are given in Figure 5. As seen from Figure 5, the most influential parameter on the power coefficient is the rotor radius, with 56.85%, following chord length with 24%, and the number of blades with 17%.

**Table 2.** Taguchi L16 ( $4^3$ ) orthogonal array.

$N$	$c$ (m)	$R$ (m)
2	0.2	0.5
2	0.3	1.0
2	0.4	1.5
2	0.5	2.0
3	0.2	1.0
3	0.3	0.5
3	0.4	2.0
3	0.5	1.5
4	0.2	1.5
4	0.3	2.0
4	0.4	0.5
4	0.5	1.0
5	0.2	2.0
5	0.3	1.5
5	0.4	1.0
5	0.5	0.5

**Table 3.** The maximum power coefficient values and calculated S/N ratios.

Orthogonal Array	$C_p$ Max	S/N Ratio
111	0.306486	-10.2718
122	0.376253	-8.4904
133	0.398384	-7.9940
144	0.397600	-8.0111
212	0.392760	-8.1175
221	0.131797	-17.6019
234	0.392760	-8.1175
243	0.269332	-11.3942
313	0.419750	-7.5402
324	0.401013	-7.9368
331	0.045692	-26.8032
342	0.129043	-17.7853
414	0.418369	-7.5688
423	0.288216	-10.8056
432	0.139275	-17.1225
441	0.027337	-31.2651

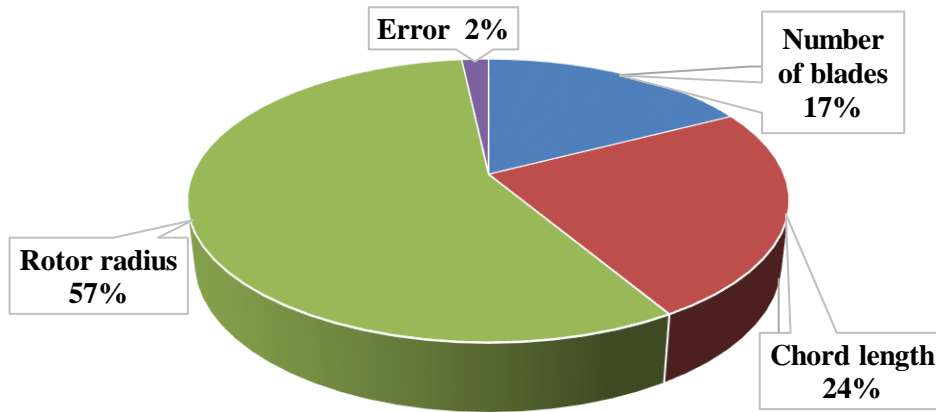


**Figure 4.** S/N ratios for different solidity parameters.

**Table 4.** ANOVA table for S/N ratios of maximum power coefficient values.

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
N	3	0.052201	17.41%	0.052201	0.017400	20.25	0.001534
c	3	0.072041	24.03%	0.072041	0.024014	27.95	0.000635
R	3	0.170457	56.85%	0.170457	0.056819	66.13	0.000055
Error	6	0.005155	1.72%	0.005155	0.000859		
Total	15	0.299854	100.00%				

DF: Degree of Freedom Seq SS: Sequential Sum of Squares Adj SS: Adjusted Sum of Squares Adj MS: Adjusted Mean of Squares F: Statistical Value P: Probability Value

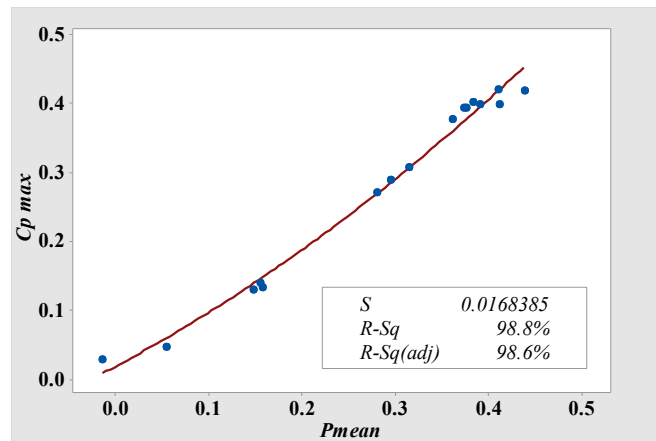


**Figure 5.** Percentage of contributions of the solidity parameters on the power coefficient.

The relation for maximum power coefficient in terms of blade number, chord length, and rotor radius is derived by using the linear regression method. As seen in Equation 18 regression coefficient of the derived relation is  $r^2=0.9513$ . This result states that the derived equation is reliable.

$$C_{p \max} = 0.4387 - 0.05019 N - 0.5908 c + 0.1817 R \quad (r^2 = 0.9513) \quad (18)$$

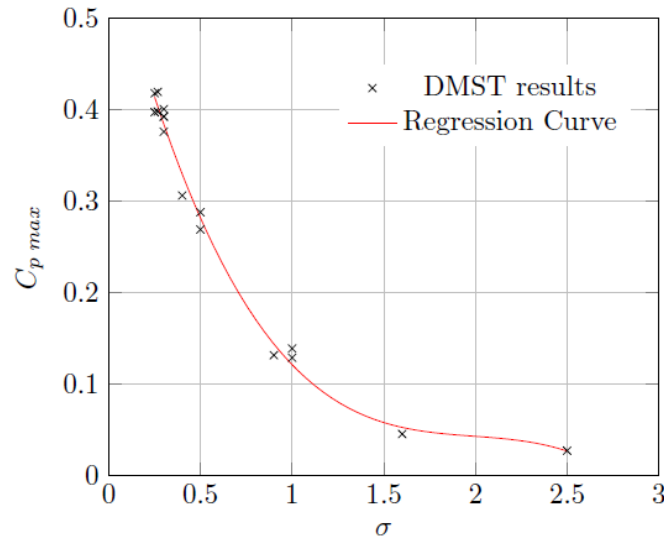
Calculated maximum power coefficient values are compared with predicted mean values by using the quadratic regression model. Figure 6 shows the comparison of computed power coefficient values and predicted mean values. Quadratic equation for maximum power coefficient respect to predicted mean values are derived in Equation 19, and it is found that there is a good correlation ( $r^2=0.988$ ) between them.



**Figure 6.** Quadratic regression analysis for predicted mean and calculated maximum power coefficient results.

$$C_{p \max} = 0.01841 + 0.7218 P_{\text{mean}} + 0.6121 P_{\text{mean}}^2 \quad (r^2 = 0.988) \quad (19)$$

The variation of calculated maximum power coefficient values with solidity is presented in Figure 7. As seen in Figure 7, maximum power coefficient values decrease with increasing rotor solidity. Equation 19 represents the relationship between the maximum power coefficient and rotor solidity. The regression coefficient of Equation 19 is found as  $r^2=0.992$ .



**Figure 7.** Variation of calculated maximum power coefficient with solidity.

$$C_{p \max} = -0.0656 \sigma^3 + 0.3915 \sigma^2 - 0.7936 \sigma + 0.5891 \quad (r^2 = 0.992) \quad (19)$$

## **IV. CONCLUSION**

The solidity of a straight-bladed H-Darrieus wind turbine with the NACA0012 blade profile is optimized. Blade number, chord length, rotor radius factors with four levels, and Taguchi L16 (4<sup>3</sup>) orthogonal array are used for optimization. The maximum power coefficient values are calculated with the Double-Multiple-Stream-Tube model (DMST) by using MATLAB code. Obtained results are processed with Minitab18 software for optimization, ANOVA, and regression analyses. Optimization results showed that the maximum power coefficient value of 0.4728 could be obtained for a turbine of a two-bladed rotor with a chord length of 0.2 m and a radius of 2 m. ANOVA results revealed that the most influential factor in solidity is rotor radius with 57%, following chord length with 24% and blade number with 17%. Equation of the maximum power coefficient for rotor radius, chord length, and blade number is derived with a good regression coefficient of  $r^2=0.9513$ . Another maximum power coefficient equation is obtained for solidity value with a regression coefficient of  $r^2=0.992$ .

This study can be a guide for the designers and producers of H-Darrieus wind turbines. DMST model is fast, useful, but it should be remembered that the model does not take 3D, wake interactions among the blades, and turbulence effects. In order to get more accurate results, DMST calculations should be supported by wind turbine experiments.

## **V. REFERENCES**

- [1] E. K. Akpınar, "A statistical investigation of wind energy potential," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 28, no. 9, pp. 807–820, 2006.
- [2] S. Mathew, *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Berlin Heidelberg, Netherlands: Springer-Verlag 2006.
- [3] G. Bedon, U. S. Paulsen, H. A. Madsen, F. Belloni, M. R. Castelli, and E. Benini, "Aerodynamic Benchmarking of the Deepwind Design," *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 677–682, 2015.


- [4] J. Chen, L. Chen, H. Xu, H. Yang, C. Ye, and D. Liu, "Performance improvement of a vertical axis wind turbine by comprehensive assessment of an airfoil family," *Energy*, vol. 114, pp. 318–331, 2016.
- [5] G. Bedon, S. De Betta, and E. Benini, "Performance-optimized airfoil for Darrieus wind turbines," *Renew. Energy*, vol. 94, pp. 328–340, 2016.
- [6] M. Abdul Akbar and V. Mustafa, "A new approach for optimization of Vertical Axis Wind Turbines," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 153, pp. 34–45, 2016.
- [7] R. J. Templin, "Aerodynamic performance theory for the NRC vertical-axis wind turbine," *Natl. Res. Counc. Canada*, 1974.
- [8] J. Strickland, "The Darrieus Turbine: A Performance Prediction Model Using Multiple Stream Tubes," Technical Report SAND75-041, Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1975.
- [9] I. Paraschivoiu, "Double-Multiple Streamtube Model for Darrieus Wind Turbines," Tech. Rep., Institute de recherché d'Hydro-Québec, Canada, 1983.
- [10] S. Brusca, R. Lanzafame, and M. Messina, "Design of a vertical-axis wind turbine: how the aspect ratio affects the turbine's performance," *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 5, no. 4, pp. 333–340, 2014.
- [11] T. J. Carrigan, B. H. Dennis, Z. X. Han, and B. P. Wang, "Aerodynamic Shape Optimization of a Vertical-Axis Wind Turbine Using Differential Evolution," *ISRN Renew. Energy*, vol. 2012, pp. 1–16, 2012.
- [12] L. Du, G. Ingram, and R. G. Dominy, "Experimental study of the effects of turbine solidity, blade profile, pitch angle, surface roughness, and aspect ratio on the H-Darrieus wind turbine self-starting and overall performance," *Energy Sci. Eng.*, vol. 7, no. 6, pp. 2421–2436, 2019.
- [13] H. Zhu, W. Hao, C. Li, and Q. Ding, "Numerical study of effect of solidity on vertical axis wind turbine with Gurney flap," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 186, pp. 17–31, 2019.
- [14] M. A. Miller, S. Duvvuri, W. D. Kelly, and M. Hultmark, "Rotor solidity effects on the performance of vertical-axis wind turbines at high Reynolds numbers," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1037, no. 5, 2018.
- [15] L. Nguyen and M. Metzger, "Optimization of a vertical axis wind turbine for application in an urban/suburban area," *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 9, no. 4, 2017.
- [16] M. T. Parra-Santos, C. N. Uzarraga, A. Gallegos, and F. Castro, "Influence of Solidity on Vertical Axis Wind Turbines," *Int. J. Appl. Math. Electron. Comput.*, vol. 3, no. 3, p. 215, 2015.
- [17] A. Rezaeiha, H. Montazeri, and B. Blocken, "Towards optimal aerodynamic design of vertical axis wind turbines: Impact of solidity and number of blades," *Energy*, vol. 165, pp. 1129–1148, 2018.
- [18] G. Taguchi, S. Chowdhury, and Y. Wu, *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, Wiley&Sons, 2004.
- [19] J. Kjellin, F. Bülow, S. Eriksson, P. Deglaire, M. Leijon, and H. Bernhoff, "Power coefficient measurement on a 12 kW straight bladed vertical axis wind turbine", *Renew. Energy*, vol. 36, pp. 3050–3053, 2011.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Zeolite Used for Optimized Removal of Radioactive Cobalt with Response Surface Methodology

 Ekrem ÇİÇEK<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Physics, Faculty of Art and Science, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, TURKEY

\* Corresponding author's email address: ekrcicek@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.807860

### ABSTRACT

Radioactive cobalt is one of the most abundant radionuclides in radioactive waste. This study investigated the removal of radioactive cobalt (<sup>60</sup>Co) by adsorption with zeolite 3A and 5A from aqua solution. The response surface methodology was employed to constitute the predictive regression model to guess the decontamination factor for radioactive cobalt removal. The experimental maximum decontamination factor 30.37 and 15.9 were obtained for zeolite 3A and zeolite 5A, respectively. The calculated model was significant for both zeolite 3A and 5A ( $p < 0.05$ ). The predicted maximum decontamination factor was 30.05 and 15.19 in optimum conditions for zeolite 3A and zeolite 5A, respectively. Zeolite 3A has a higher adsorbent capacity than zeolite 5A for the removal of radioactive cobalt from aqueous solution.

**Keywords:** Radioactive cobalt, Adsorption, Response surface methodology, Zeolite 3A, Zeolite 5A

## Zeolit Kullanılarak Uzaklaştırılan Radyoaktif Kobaltın Cevap Yüzey Yöntemi ile Optimize Edilmesi

### ÖZET

Radyoaktif kobalt, radyoaktif atıktaki en bol bulunan radyonüklidlerden biridir. Bu çalışmada, radyoaktif kobaltın (<sup>60</sup>Co) su çözeltisinden zeolit 3A ve 5A ile adsorpsiyon yoluyla uzaklaştırılması araştırılmıştır. Cevap yüzey yöntemi, radyoaktif kobaltın uzaklaştırılmasında dekontaminasyon faktörünü tahmin etmek için öngörücü regresyon modelini oluşturmada kullanılmıştır. Deneysel maksimum dekontaminasyon faktörü zeolit 3A ve zeolit 5A için sırasıyla 30.37 ve 15.9 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan model zeolit 3A ve 5A için anlamlıydı ( $p < 0.05$ ). Zeolit 3A ve zeolit 5A için tahmin edilen maksimum dekontaminasyon faktörü, optimum koşullarda sırasıyla 30.05 ve 15.19'dur. Sulu çözeltiden radyoaktif kobaltın uzaklaştırılmasında zeolit 3A, zeolit 5A'dan daha yüksek adsorban kapasitesine sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Radyoaktif kobalt, Adsorpsiyon, Cevap yüzey yöntemi, Zeolit 3A, Zeolit 5A



## **I. INTRODUCTION**

The radioisotopes are delivered into the environment through the release of nuclear waste sewage [1]. A large number of nuclear wastes was produced by nuclear facilities. These wastes are substantial risks to the environment [2]. Many radioactive elements have a long time of half-life. They are not going to be neutralized easily [3]. Reduction of radioactive waste is necessary owing to human health problems accompanied by the aggregation of radioactive elements [4].

$^{60}\text{Co}$  has many beneficial applications such as materials check and sterilization. It is used to treat cancer and to sterilize medical equipment in medicine. The half-life of  $^{60}\text{Co}$  is 5.27 years. It is the longest-lived isotope of cobalt. Owing to its long half-life, the removal of radioactive cobalt is getting more attention from researchers [5]. Elimination of  $^{60}\text{Co}$  from aqueous media has received great interest recently. There are many techniques to dispose of radionuclides from wastewaters [6].

One of the most effective strategies to minimize nuclear waste volumes is the selective separation of radioisotope from nuclear wastes [2]. Adsorption is favorable amid the methods owing to its easiness, thermal resistance, specific cation selectivity, and low cost [1]. Adsorbents such as zeolite have become interesting for radioactive waste management recently [7].

Zeolites are hydrated aluminosilicate minerals with crystalline microporous. Zeolite contains enormous alkaline metal ions. They have microporous and their frameworks are charged. Their anionic tetrahedral framework structures made them extremely hydrophilic sorbents. Their cavities are occupied by water molecules and charge balancing cations [2, 8].

Response surface methodology (RSM) is a famous experimental design method for optimization. It is a mathematical system for statistical modeling of problems [9]. It is utilized to examine the interaction between the independent variable and the dependent variable [10]. It is used for the optimization of each input variable for optimal conditions. RSM is convenient to optimize the adsorption experiments [10-12].

The ever-increasing pressure to diminish the amount of radioactivity in the environment requires constant improvement of processes for the treatment of radioactive waste. The toxic nature of radioactive cobalt has been a public health problem for many years. Thence, the studies of the removal of radioactive cobalt from wastewater are important [13]. A systematic understanding of how the amount of sorbent and radioactivity participate in the adsorption process of zeolite in radioactive wastewater is still lacking [14]. The non-radioactive cobalt adsorption on zeolite 3A and 5A were studied previously [15]. This study aims to show how effectively zeolite can absorb  $^{60}\text{Co}$  with different concentrations of solids and radioactivity. This research is focused on the thermally activated zeolite applied for effective disposal of radioactive cobalt ions from aqua solution. The adsorption process of radioactive cobalt by zeolite 3A and 5A adsorbents were exploited under experimental conditions. RSM was used to examine the relationships between input variables and response. The input variables are the amount of adsorbent and the initial activity of a solution.

## **II. MATERIALS AND METHOD**

3A and 5A zeolites were obtained from Sigma-Aldrich. Both of them (3A and 5A) were powder. The molecular formula of zeolite 3A and 5A are shown as a fellow (respectively):



Zeolites were activated with temperature for two hours at 873 K to remove water from them. Thereafter, samples were added to the radioactive cobalt and suspensions were mixed for 4 h. Afterward, the mixtures were filtered with a syringe filter. The activities of radioactive cobalt were measured with Polon Warszawa Analyzer (A-22p HT Power supply ZW N-21M HT Control 0/2000V). A volume of 10 mL solution was used for all liquid radioactive cobalt reading. The radioactive measurements were repeated 10 times. The experimental decontamination factor was presented as:

$$DF = A_0 / A_f \quad (3)$$

where  $A_0$  was the initial activity of radioactive cobalt feed solution (Bq/L) and  $A_f$  was the final activity of radioactive cobalt (Bq/L).

More information related to the experiment can be seen in previous studies [16, 17].

RSM was employed for analysis and modeling. RSM is a helpful statistical and mathematical technique as indicated by previous studies in detail [16-19].

In the RSM model, response (radioactive decontamination factor) can be described which is influenced by controllable various input factors.

The general form of RSM can be shown as:

$$\hat{DF} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (4)$$

$$\beta = [\beta_0 \beta_1 \beta_2 \beta_{11} \beta_{22} \beta_{12}]^T \quad (5)$$

$$\beta = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot DF \quad (6)$$

where:  $\beta$  – present regression coefficients;  
 $X$  – input variables;  
 $DF$  – decontamination factor (response).

Adsorption of radioactive cobalt onto zeolite 3A;

- regression model with coded variables:

$$\hat{DF}_{3A} = 12.36 + 6.86x_1 - 2.20x_2 + 6.74x_1^2 - 1.51x_2^2 - 3.40x_1x_2 \quad (7)$$

subjected to:  $-1 \leq x_i \leq +1, \quad \forall i=1,2$

- regression model with actual variables:

$$\hat{DF}_{3A} = -1.8 - 198SD + 0.00360A_0 + 2696SD^2 - 0.01792SDA_0 \quad (8)$$

valid for the range:  $0.05 \leq SD \leq 0.15$  (%w/v);  $7600 \leq A_0 \leq 15200$  (Bq/L)

Adsorption of radioactive cobalt onto zeolite 5A;

- regression model with coded variables:

$$\hat{DF}_{5A} = 7.995 + 4.280x_1 + 1.090x_2 + 0.599x_1^2 + 0.630x_2^2 + 0.368x_1x_2 \quad (9)$$

subjected to:  $-1 \leq x_i \leq +1, \quad \forall i=1,2$

- regression model with actual variables:

$$\hat{DF}_{5A} = 6.44 + 15.6SD - 0.00090A_0 + 240SD^2 + 0.00194SDA_0 \quad (10)$$

valid for the range:  $0.05 \leq SD \leq 0.15$  (%w/v);  $7600 \leq A_0 \leq 15200$  (Bq/L)

The modeling details can be found in previous studies [16-20]. Minitab 19 software was utilized for all calculations.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

The ANOVA was used to examine the accuracy of the calculated model. According to the results, the model was compatible where the p-value was 0.034 ( $p < 0.05$ ) for zeolite 3A. This means that the calculated model is significant for zeolite 3A. F value was 7.87, it was shown that the experimental decontamination factor obtained by changing the factor levels were statistically meaningful at the 91% confidence limit.  $R^2$  value should be close to 1 for a good statistical model. The mathematical model is adequate for the prediction radioactive cobalt removal by zeolite 3A sorption since  $R^2 = 0.91 > (0.75)$ . Lack of fit F and p values are 6.93 and 0.271 ( $p > 0.05$ ), respectively.

For zeolite 5A calculated model p-value was 0.015 ( $p < 0.05$ ) means that the model is significant. The model F value was 12.67, it was shown that the experimental decontamination factor obtained by changing the factor levels were statistically meaningful at the 94% confidence limit. The mathematical model is adequate for the prediction radioactive cobalt removal by zeolite 5A since  $R^2 = 0.94 > (0.75)$ . Lack of fit F and p values are 37.39 and 0.120 ( $p > 0.05$ ), respectively. Lack of fit was not significant and this means that the model is good [20, 21].

*Table 1. Radioactive cobalt experimental design for zeolite 3A*

Run number (N)	Factors (input values)				Response		
	Amount of sorbent (g/100ml)	Initial activity of radioactive cobalt Bq/L		Final activity Bq/L	Decontamination Factor (DF)		
		Experimental	Predicted				
	<b>Sorbent Dosage (% w/v)</b>	<b>level<sup>a</sup> x<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>0</sub> (Bq/L)</b>	<b>level<sup>a</sup> x<sub>2</sub></b>		<b>DF</b>	<b>DF</b>
1	0.15	1	15200	1	952.98	15.95	18.83
2	0.05	-1	15200	1	1374.32	11.06	11.93
3	0.15	1	7600	-1	250.25	30.37	30.05
4	0.05	-1	7600	-1	640.81	11.86	9.53
5	0.15	1	11400	0	399.86	28.51	25.95
6	0.05	-1	11400	0	1057.51	10.78	12.24
7	0.1	0	15200	1	1226.80	12.39	8.64
8	0.1	0	7600	-1	731.47	10.39	13.05
9	0.1	0	11400	0	887.16	12.85	12.36
10	0.1	0	11400	0	1058.50	10.77	12.36

<sup>a</sup> -1 = low. 0 = center. +1 = high.

**Table 2.** Radioactive cobalt experimental design for zeolite 5A

Run number (N)	Factors (input values)				Response		
	Amount of sorbent (g/100ml)	Initial activity of radioactive cobalt Bq/L		Final activity Bq/L	Decontamination Factor (DF)		
		Sorbent Dosage (% w/v)	level <sup>a</sup> x <sub>1</sub>		A <sub>0</sub> (Bq/L)	level <sup>a</sup> x <sub>2</sub>	Experimental DF
1	0.15	1	15200	1	1000.55	15.19	14.96
2	0.05	-1	15200	1	3188.35	4.77	5.67
3	0.15	1	7600	-1	572.85	13.27	12.05
4	0.05	-1	7600	-1	1761.01	4.32	4.22
5	0.15	1	11400	0	997.81	11.42	12.87
6	0.05	-1	11400	0	2227.51	5.12	4.31
7	0.1	0	15200	1	1463.86	10.38	9.71
8	0.1	0	7600	-1	1221.93	6.22	7.53
9	0.1	0	11400	0	1401.32	8.14	7.99
10	0.1	0	11400	0	1341.07	8.50	7.99

<sup>a</sup> -1 = low. 0 = center. +1 = high.

**Table 3.** Analysis of variance (ANOVA) for the response for zeolite 3A

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	463.84	5	92.77	7.87	0.0339	significant
A-Sorbent Dosage	10.55	1	10.55	0.8950	0.3977	
B-Initial Activity	11.30	1	11.30	0.9581	0.3831	
AB	46.38	1	46.38	3.93	0.1184	
A <sup>2</sup>	106.02	1	106.02	8.99	0.0400	
B <sup>2</sup>	5.35	1	5.35	0.4538	0.5375	
<b>Residual</b>	47.16	4	11.79			
Lack of Fit	45.00	3	15.00	6.93	0.2706	not significant
Pure Error	2.16	1	2.16			

The model F-value of 7.87 implies the model is significant for zeolite 3A. There is just a 3.39% chance that an F-value this large could occur due to noise. The lack of fit F-value of 6.93 implies the lack of fit is not significant relative to the pure error. There is a 27.06% chance that a lack of fit F-value this large could occur due to noise (Table 3).

**Table 4.** Analysis of variance (ANOVA) for the response for zeolite 5A

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	119.59	5	23.92	12.63	0.0146	significant
A-Sorbent Dosage	0.0649	1	0.0649	0.0343	0.8621	
B-Initial Activity	0.7076	1	0.7076	0.3737	0.5740	
AB	0.5402	1	0.5402	0.2853	0.6215	
A <sup>2</sup>	0.8400	1	0.8400	0.4436	0.5418	
B <sup>2</sup>	0.9261	1	0.9261	0.4891	0.5229	
<b>Residual</b>	7.57	4	1.89			
Lack of Fit	7.51	3	2.50	38.63	0.1176	not significant
Pure Error	0.0648	1	0.0648			

The model F-value of 12.63 indicates the model is significant for zeolite 5A. There is just a 1.46% chance that an F-value this large could occur due to noise. The lack of fit F-value of 38.63 implicates the lack of fit is not significant relative to the pure error. There is an 11.76% chance that a lack of fit F-value this large could occur due to noise (Table 4).

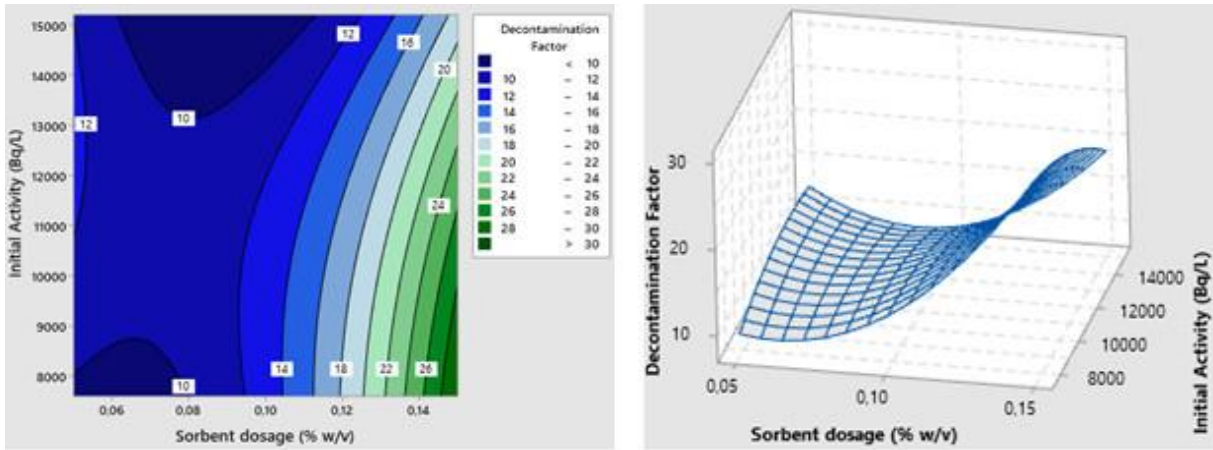


Figure 1. Zeolit 3A - radioactive cobalt contour plot and response surface plot for decontamination factor.

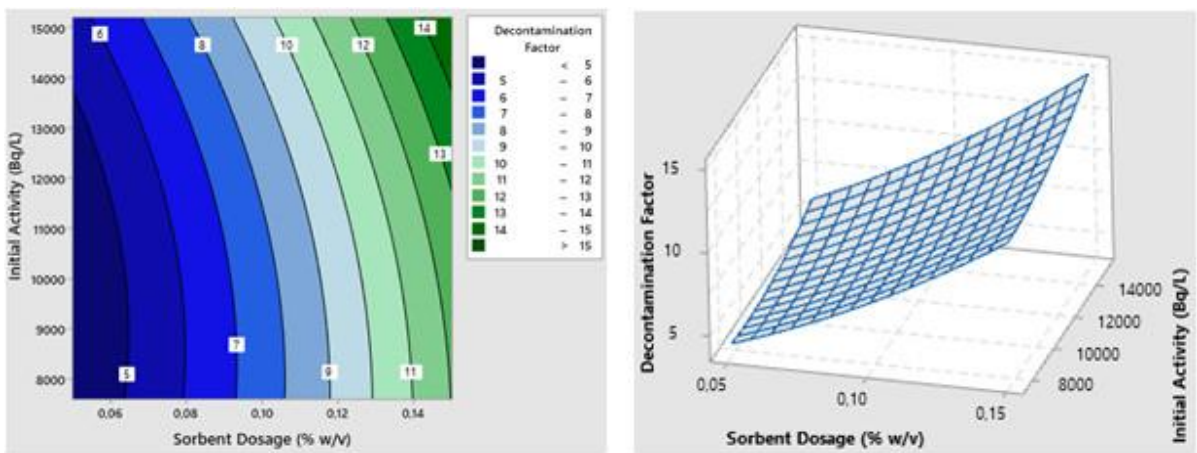


Figure 2. Zeolit 5A - radioactive cobalt contour plot and response surface plot for decontamination factor.

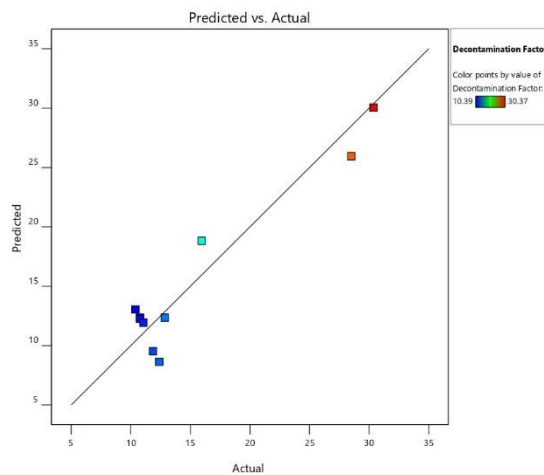
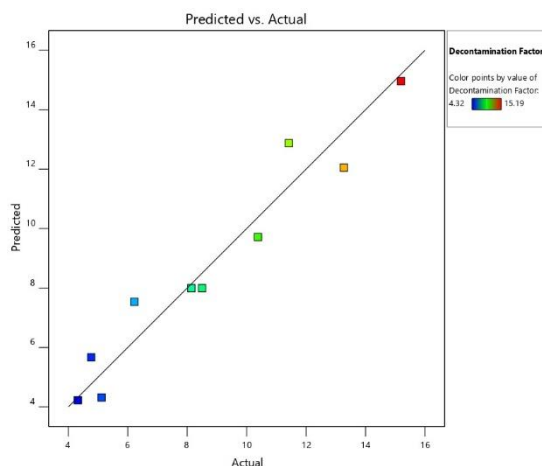


Figure 3. Predicted and actual decontamination factor for zeolite 3A



**Figure 4.** Predicted and actual decontamination factor for zeolite 5A

Figure 1 shows the radioactive cobalt contour plot and response surface plot for the decontamination factor for zeolite 3A. The counter map demonstrates the decontamination factor interconnection amid the sorbent quantity and initial radioactive cobalt concentration. The increasing of sorbent dosage will give enhanced values of the decontamination factor. However, increasing of initial cobalt concentration will diminish the decontamination factor for zeolite 3A. Decontamination factor is growing for higher sorbent dosage (i.e.  $SD > 0.1\%$  w/v). The interaction among the input variables and response (decontamination factor) can be seen in the three-dimensional response surface plot for radioactive cobalt adsorption in figure 1.

The optimal condition was observed to be  $A_0 = 7600$  Bq/L and  $SD = 0.15$  w/v for radioactive cobalt adsorption on zeolite 3A. The maximum computed decontamination factor was 30.05 in optimal condition. The experimental corresponding value (decontamination factor) was 30.37 for the same condition (Table 1).

Figure 2 shows the radioactive cobalt contour plot and response surface plot for the decontamination factor for zeolite 5A. The decontamination factor is increasing while sorbent dosage is rising. The decontamination factor is growing while the initial cobalt concentration is increasing for higher sorbent dosage (i.e.  $SD > 0.1\%$  w/v).

For the 5A sorbent, the optimal condition was determined to be  $A_0 = 15200$  Bq/L and  $SD = 0.15$  w/v. The maximum decontamination factor was predicted as 14.96 in this condition. The experimental decontamination factor corresponds to 15.19 for the same condition (Table 2).

The experimental minimum decontamination factor was 10.39 for 0.1 % w/v sorbent dosage and 7600 Bq/L initial cobalt activity for zeolite 3A. The predicted value in the same input variables corresponds to 13.05. In the case of zeolite 5A, the experimental minimum decontamination factor was 4.32 for 0.05 g sorbent dosage and 7600 Bq/L initial cobalt activity.

Figures 3 and 4 demonstrate the predicted and actual decontamination factor for zeolite 3A and 5A, respectively. As seen from the figures predicted values are very close to actual values (Figures 3 and 4).

The calculated value is 4.22 (predicted) in the same condition for zeolite 5A. The sorbent dosage has a certain effect on response (decontamination factor) for both sorbents (zeolite 3A and zeolite 5A). According to our experimental result, decontamination capacity of zeolite 3A is higher than the zeolite 5A.

Due to their high radiation stability and extreme selectivity, zeolites are useful for the removal of radioisotopes from nuclear wastewater. The more the adsorbent dosage will result the better the

decontamination factor. Determination of the optimum quantity of adsorbent is a key parameter and affects the whole adsorption process [2, 3]. The main adsorption mechanism is that cations in the zeolite structure can exchange with cations in the radioactive solutions freely through the cavities [14]. RSM is an effective mathematical tool to assess the effect of the input variables and their interactions on the dependent variable (response) [12].

## **IV. CONCLUSIONS**

In this study, we investigated the ability of removal of the radioactive cobalt by zeolite 3A and 5A in aqua solution. The maximum experimental decontamination factor was 30.37 and 15.9 for zeolite 3A and zeolite 5A, respectively. Zeolite 3A demonstrates stronger adsorption than zeolite 5A because the network-like structure contains small pores. RSM was used to describe input variables (Sorbent dosage and initial activity) relationship with the response (Decontamination factor). Our results denoted that molecular sieves lead to a large amount of removal of radioactive cobalt ions from aqua solution. We presented that both zeolite 3A and 5A might be used as an adsorbent for the removal of radioactive cobalt in radioactive wastewater. It was found that zeolite showed much better performance for cobalt removal from aqua solution as compared to other adsorbents such as pumice. Response surface methodology is high accuracy and great prediction performance.

## **V. REFERENCES**

- [1] M.W. Munthali, E. Johan, H. Aono and N. Matsue, "Cs<sup>+</sup> and Sr<sup>2+</sup> Adsorption selectivity of zeolites in relation to radioactive decontamination," *Journal of Asian Ceramic Societies*, vol. 3, no. 3, pp. 245-250, 2015.
- [2] H.Y. Lee, H.S. Kim, H.K. Jeong, M. Park, D.Y. Chung, K.Y. Lee, E.H. Lee and W.T. Lim, "Selective removal of radioactive cesium from nuclear waste by zeolites: On the origin of cesium selectivity revealed by systematic crystallographic studies," *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 121, no. 19, pp. 10594–10608, 2017.
- [3] M. Sadeghi, S. Yekta, H. Ghaedi and E. Babanezhad, "Effective removal of radioactive <sup>90</sup>Sr by CuO NPs/Agclinoptilolite zeolite composite adsorbent from water sample: Isotherm, kinetic and thermodynamic reactions study," *The International Journal of Industrial Chemistry*, vol. 7, pp. 315–331, 2016.
- [4] H.M. Saleh, H.R. Moussa, H.H. Mahmoud, F.A. El-Saied, M. Dawoud and R.S.A. Wahed, "Potential of the submerged plant *myriophyllum spicatum* for treatment of aquatic environments contaminated with stable or radioactive cobalt and cesium," *Progress in Nuclear Energy*, vol. 118, pp. 103147, 2020.
- [5] E. Hernfindez-Barrales and F. Granados-Correa, "Sorption of radioactive cobalt in natural mexican clinoptilolite," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 242, no. 1, pp. 111–114, 1999.
- [6] Q.Q. Zhong, Y.Q. Zhao, L. Shen, B. Hao, X. Xu, B.Y. Gao, Y.N. Shang, K.Z. Chu, X.H. Zhang and Q.Y. Yue, "Single and binary competitive adsorption of cobalt and nickel onto novel magnetic composites derived from green macroalgae," *Environmental Engineering Science*, vol. 37, no. 3, pp. 188-200, 2020.

- [7] S. Hasan, A.R.M. Iasir, T.K. Ghosh, B.S. Gupta and M.A. Prelas, "Characterization and adsorption behavior of strontium from aqueous solutions onto chitosan-fuller's earth beads," *Healthcare*, vol. 7, pp. 52-70, 2019.
- [8] S. Ovhall, I.S. Butler and S. Xu, "The potential of zeolites to block the uptake of radioactive strontium-90 in organisms," *Contemporary Chemistry*, vol. 1, no. 1, pp. 1-13, 2018.
- [9] N. Manmai, Y. Unpaprom and R. Ramaraj, "Bioethanol production from sunflower stalk: Application of chemical and biological pretreatments by response surface methodology (RSM)," *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2020. doi: 10.1007/s13399-020-00602-7
- [10] Y. Yang, Z. Zheng, D. Zhang and X. Zhang, "Response surface methodology directed adsorption of chlorate and chlorite onto miex resin and study of chemical properties," *Environmental Science Water Research & Technology*, vol. 6, pp. 2454-2464, 2020.
- [11] J. Lin, B. Su, M. Sun, B. Chen and Z. Chen. "Biosynthesized iron oxide nanoparticles used for optimized removal of cadmium with response surface methodology," *Science of the Total Environment*, vol. 627, pp. 314-321, 2018.
- [12] J.C. Martínez-Patiño, B. Gullón, I. Romero, E. Ruiz, M. Brnčić, J.S. Žlabur and E. Castro, "Optimization of ultrasound-assisted extraction of biomass from olive trees using response surface methodology," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 51, pp. 487-495, 2019.
- [13] H.S. Hassan, S.H. Kenawy, G.T. El-Bassyouni, E.M.A. Hamzawy and R.S. Hassan, "Sorption behavior of cesium and europium radionuclides onto nano-sized calcium silicate," *Particulate Science and Technology*, vol. 38, no. 1, pp. 105-112, 2020.
- [14] X.H. Fang, F. Fang, C.H. Lu and L. Zheng, "Removal of Cs<sup>+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, and Co<sup>2+</sup> ions from the mixture of organics and suspended solids aqueous solutions by zeolites," *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 49, no. 3, pp. 556-561, 2017.
- [15] E. Cicek, E. Aras, I. Bayrakli, B. Dede and A. Kilic, "The determination and modeling of the removal efficiencies of cobalt on zeolite 3A and 5A," *4th International Conference on Radiation Interaction with Material and Its Use in Technologies*, Kaunas, Lithuania, 2012, pp. 77-80
- [16] E. Cicek, C. Cojocar, G. Zakrzewska-Trznadel, M. Harasimowicz and A. Miskiewicz, "Response surface methodology for the modeling of 85 Sr adsorption on zeolite 3A and pumice," *Environmental Technology*, vol. 33, no. 1, pp. 51-59, 2012.
- [17] E. Cicek, C. Cojocar, G. Zakrzewska-Trznadel, A. Jaworska and M. Harasimowicz, "Response surface methodology for cobalt removal from aqua solutions using Isparta pumice and zeolite 4A adsorbents," *Nukleonika*, vol. 53, no. 2, pp. 121-128, 2008.
- [18] C. Cojocar and M. Macoveanu, "Modeling and optimization of diesel oil spill removal from water surface using shredded strips of polypropylene as the sorbent," *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 145-154, 2003.
- [19] M. Khayet, C. Cojocar and G. Zakrzewska-Trznadel, "Response surface modelling and optimization in pervaporation," *Journal of Membrane Science*, vol. 321, pp. 272-283, 2008.
- [20] B. Chauhan and R. Gupta, "Application of statistical experimental design for optimization of alkaline protease production from bacillus sp. RGR-14". *Process Biochemistry*, vol. 39, no. 12, pp. 2115-2122, 2004.



[21] M.H. Le, S.K. Behera and H.S. Park, "Optimization of operational parameters for ethanol production from Korean food waste leachate," *International Journal of Environmental Science & Technology*, vol. 7, 157–164, 2010.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Initial Seed Value Effectiveness on Performances of Data Mining Algorithms

 Tunahan TİMUÇİN<sup>a,\*</sup>,  İrem DÜZDAR ARGUN<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Düzce University, Düzce, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Düzce University, Düzce, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: tunahantimucin@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.813101

### ABSTRACT

After 2000s, Computer capacities and features are increased and access to data made easy. However, the produced and recorded data should be meaningful. Transformation of unprocessed data into meaningful information can be done with the help of data mining. In this study, classification methods from data mining applications are studied. First, the parameters that make the results of the same data set different were investigated on 4 different data mining tools (Weka, Rapid Miner, Knime, Orange), It has been tested with 3 different algorithms (K nearest neighborhood, Naive Bayes, Random Forest). In order to evaluate the performance of the data set while creating the classification models, the data set was divided into training data and test data as 80% -20%, 70% -30% and 60-40%. The accuracy, roc and precision values was used to test the performance of the classifying data. While classifying, the effect of algorithm parameters on the results is observed. The most important of these parameters is the initial seed value. The initial seed is a value using especially in classification algorithms that determines the initial placement of the data and directly affects the result. In this respect, it is very important to determine the initial seed value correctly. In this study, initial seed values between 0 and 100 were evaluated and it was shown that the classification could change the accuracy value approximately by 5%.

**Keywords:** Data mining, Classification, Credit approval, Seed value.

## Veri Madenciliği Algoritmalarının Performanslarında İlk Tohum Değer Etkinliği

### ÖZET

2000'li yıllardan sonra, Bilgisayar kapasiteleri ve özellikleri artmış ve verilere erişim kolaylaşmıştır. Ancak üretilen ve kaydedilen veriler anlamlı olmalıdır. İşlenmemiş verilerin anlamlı bilgilere dönüştürülmesi, veri madenciliği yardımı ile yapılabilir. Bu çalışmada, veri madenciliği uygulamalarından sınıflandırma yöntemleri incelenmiştir. Öncelikle aynı veri setinin sonuçlarını farklı kılan parametreler 4 farklı veri madenciliği aracında (Weka, Rapid Miner, Knime, Orange) araştırılmış, 3 farklı algoritma ile test edilmiştir (K nearest neighborhood, Naive Bayes, Random Forest). Sınıflandırma modelleri oluşturulurken veri setinin performansını değerlendirmek için veri seti eğitim verileri ve test verileri olarak % 80-% 20, % 70-% 30 ve % 60-40 olarak ayrılmıştır. Accuracy, roc and precision değerleri, sınıflandırma verilerinin performansını test etmek için kullanılmıştır. Sınıflandırma yapılırken algoritma parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Bu parametrelerden en önemlisi ilk tohum değeridir. İlk tohum, özellikle verilerin ilk yerleşimini belirleyen ve sonucu doğrudan etkileyen sınıflandırma algoritmalarında kullanılan bir değerdir. Bu açıdan ilk tohum değerinin doğru belirlenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada 0 ile 100 arasındaki başlangıç tohum

değerleri değerlendirilmiş ve sınıflandırmanın doğruluk değerini yaklaşık %5 değiştirebileceği gösterilmiştir.

*Anahtar Kelimeler:* Veri madenciliği, Sınıflandırma, Kredi onayı, Tohum değeri.

## **I. INTRODUCTION**

Nowadays, the big databases, also known as Big-Data, are made up of huge dimensions that reach the level of Petabyte or even the Exabyte. However, the data within these databases, which are produced and recorded with the growing technology, are not fully usable. The desired situation is to process and convert this data into a knowledge for a specific purpose. This conversion process is called data analysis [1]. Data analysis methods that constitute the technical part of data mining; classification, clustering, association rule can be defined as.

Clustering; this is the grouping process, which is the result of similarities between the data [2,3]. In other words, clustering refers to the distributions of the data group obtained through observations or data elements to the groups that they create without any training process [4-6].

Association Rules; is one of the first techniques used in data mining [7,8,9]. Today, the Association Rules [10] Analysis is known as the "Recommended Engine".

Classification is the assignment of a data set to one of the different and predetermined classes. Classification algorithms learn which data to assign to which class from the given training set. It then tries to assign test data to the correct classes. Values that indicate the classes of data are called labels. It is one of the most used fields of data mining [11-13]. This type of analysis is also known as supervised analysis. A certain part of the data obtained from the database is used to help the system learn how to behave against possible new situations. The remaining part is used as an experimental set after the training process and the success of the system training is checked.

In this study, the study structure of the classification method, one of the data analysis methods, was examined by various algorithms and the values obtained from the applied data set were compared [14-16].

## **II. OPEN SOURCE DATA MINING TOOLS**

There are many tools developed in Data Mining. While some of these tools are commercial, some are open source. For this reason, data mining tools are divided into two groups as commercial and open source. For example, MATLAB, SAS, DataMelt, SPSS and Oracle's modules are developed for this purpose. Open source tools are Orange, RapidMiner, WEKA, Keel, Knime and Tanagra can be given as an example [17, 18, 19]. This section provides an overview of the open source and free available Knime, Orange, RapidMiner and Weka tools.

### **A. WEKA**

Weka is the name of the tool developed in the University of Waikato for the purpose of machine learning and consists of the initials of the "Waikato Environment for Knowledge Analysis". Today, most of the widely used machine learning algorithms and methods are included. Thanks to the fact that it was developed in Java and its libraries are in the form of jar files, the ability to integrate easily into projects written in Java has further expanded its use [20].

Weka [21] is a Java-based open source data mining tool that is currently under development. It provides access to SQL databases using JDC. It includes machine learning algorithms. The tool is able

to read file structures with the extension \* .arff (Attribute Relationship File Format). The following operations, which are basically data mining methods in data mining, can be performed [22];

- Classification
- Clustering
- Association

## **B. KNIME**

The name KNIME consists of the abbreviation Konstanz Information Miner. KNIME is an open source and cross-platform integration, data analysis, reporting platform. KNIME includes different components for data mining through the data line concept, and these tools are called "nodes". For visualization, modeling and data analysis (ETL), basic data preprocessing nodes can be used without writing any code in a user graphical interface.

For 12 years, KNIME has been used in pharmaceutical research [23] in CRM analyzes, business intelligence and financial applications.

KNIME [24] had been begun development in January 2004 by a software team at the University of Konstanz. Michael Berthold, a member of the original developer team, came from a company that provided the pharmaceutical industry software in the valley of silicon. Their first objectives were to create a modular highly graphical and measurable and open data processing tool that was allowed for easy integration of different conversion analysis, data processing and visual research modules that did not focus on any area. The tool was designed as a collaboration and research tool to serve integration analysis and other data processing projects.

Eclipse is a software developed on the Rich Client Platform. Besides the file types that Weka and RapidMiner can read, KNIME can also read data directly from \* .txt files. It also supports data reading in XML based language called PMML (Predictive Model Markup Language), which allows data transfer between statistical applications [25].

## **C. ORANGE**

In addition to being an open source data mining program, Orange [26] draws attention with its easy-to-use interface that it provides to users. With the help of Orange program, users are user-friendly with many features such as data preparation, data modeling, exploration. In addition, it contributes to python and visual programming issues as well as features designed for data mining. In addition, it is an advanced program with components in many different areas such as machine learning, text mining, bioinformatics. Orange, which has advanced data analysis features, is a machine learning-enabled software package that contains books on coding, data analysis and visualization thanks to its powerful and flexible structure.

Graphical end-user interface, which is built on a cross platform, Orange can also be used with various programming languages (Python, C ++). The program, which can be obtained free of charge with the General Public License, includes many components such as modeling, evaluating the obtained models, and discovering. Supported by many operating systems such as different versions of Windows, Apple, Linux, Orange was developed by the University of Ljubljana.

Because of its data analysis workflow, Orange comes to the forefront with its tabular features such as frame features, comparison and visualization of many learning algorithms. The program that supports \* .tab, \* .tsv, \* .arff, \* .csv, \* .txt files is missing at the point of visualization of these files.

## **D. RAPID MINER**

It is written using Java programming language. It is preferred by users because it reduces the need to write code to almost zero. The reduced need for coding reduces the risk of errors to a minimum. RapidMiner features data mining and deep learning, including data conversion, data preprocessing and visualization, statistical modeling and predictive analytical and evaluation.

RapidMiner is a software platform developed by the company with the same name as the software for machine learning and data mining needs. Can use client / server architecture and work on a cloud structure as Software as a Service (SaaS). It focuses on research and education in general. In this sense, it is possible to characterize RapidMiner as a community software. It can be widely used commercially as it can be used for purposes such as rapid prototyping and application development. RapidMiner Studio, which meets the needs with RapidMiner Studio, RapidMiner Server, RapidMiner Radoop and RapidMiner Cloud products, is free to use for academic research and for academic research.

RapidMiner [27] is Java-based data mining tool developed by Ralf Klinkenberg, Ingo Mierswa and Simon Fischer. They work in Artificial Intelligence Unit of the Dortmund University of Technology. Unlike other data mining tool, it can read and process data in 22 file formats. Similar to Weka tool, it has many algorithms. It supports PostgreSQL, MS SQL, MySQL, Oracle, Access databases assoc. On the other hand, Office is able to connect with excel files and visualization is one of the rich tool with graphical interface [28].

## **III. DATA MINING CLASSIFICATION ALGORITHMS**

In this section, information about algorithms of data mining, KNN (K nearest neighborhood), Naive Bayes and Random Forest algorithms are provided to make big data into meaningful strings.

### **A. KNN**

KNN algorithm; is an algorithm that determines that when a space that class quality is not specified, is added to the elements whose class quality is specified, this example must be included in the closest class. It uses a k variable to determine the closest class. This variable k specified the number of k elements that are the closest to the sample. The following 3 distance functions are commonly used when calculating the distance between the sample and the elements. These are the Euclidean, Minkovski and Manhattan.

Summarizing the algorithm with a few items;

1. Add a new instance to a space of elements of a class.
2. Determine the K number.
3. Calculate the distance between the new sample and the elements (using one of the distance functions)
4. Examine the class quality of the nearest k elements.
5. Include the sample from the nearest k-element in the class whose number is more than the others.

### **B. NAÏVE BAYES**

The basis of the Naive Bayes classifier [29] is based on Bayes' theorem. Lazy (lazy) is a learning algorithm, it can also work on unstable datasets. The way the algorithm works calculates the probability of each state for an element and classifies it based on the highest probability value. It can do very successful works with a little training data. If a value in the test set has an unobservable value in the training set, it returns 0 as a probability value, that is, it cannot estimate. This is commonly

known as the Zero Frequency. Correction techniques can be used to resolve this situation. One of the simplest correction techniques is known as Laplace prediction. Examples of usage areas are real-time forecasting, multi-class forecasting, text classification, spam filtering, sensitivity analysis and suggestion systems. As with any classification problem, the aim of the algorithm is to create an education from the information given by using a vector with multiple characteristics and to classify the new data correctly as a result of this training. The higher the number of data taught, the more precise it is to determine the actual category of the test data.

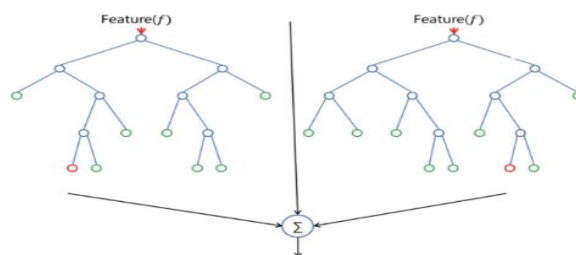
The Bayes' theorem allows the calculation of  $P(a | y)$  from  $P(a)$ ,  $P(y)$  and  $P(y | a)$  as posterior probability. The Naive Bayes classifier specified that the value of an estimator ( $y$ ) on a given class ( $a$ ) is independent of the values of other estimators. This situation is called class conditional independence. In Equality given 1,  $P(a | y)$  is the posterior probability of the (class) given class,  $P(y | a)$  is the probability of being the likelihood of the given class,  $P(y)$  is the previous probability of the estimator and  $P(a)$  is the primary probability of the class.

$$P(a|y) = \frac{P(y|a)P(a)}{P(y)} \quad (1)$$

### C. RANDOM FOREST

Random Forest [30] is easy-to-use and a flexible machine learning algorithm. Collective classification methods are learning algorithms that produce multiple classifiers instead of a classifier and then classify new data with votes from their predictions. The most commonly used batch classifiers are Bagging, Acceleration and RandomForest. RandomForest can be defined as a collection of tree-type classifiers. It is an improved version of the Bagging method with the addition of randomness feature. Rather than dividing each node into branches using the best branch among all variables, RandomForest branches each node using the best among the randomly selected variables in each node. Each data set is produced interchangeably from the original data set. Then trees are developed using random feature selection. Developed trees are not pruned. This strategy makes the accuracy of RandomForest unique.

RandomForest is also very fast, resistant to over-sleeping, and the more trees you work with, the more you want. An important advantage of random forest is that it can be used for both regression and classification problems, which make up the majority of available machine learning systems. Figure 1. shows a Classic Random Forest Model.



**Figure 1.** Classic Random Forest Model [31]

### D. DATA SETS

In this article, 2 data set are used.

The first of these datasets is Quinlan and Mason et al. [32,33] the Credit Approval data set used in the UCI Machine learning repository [34]. This data set is related to credit card applications. Data set; It includes features such as employment status, gender, age, marital status, place of residence, monthly payment, and payment opportunity. All property names and values have been replaced with

meaningless symbols to protect the privacy of the data. It consists of 15 input features and 1 result. These 15 properties are classified and aimed to identify those who are eligible for the loan. This dataset is so appropriate for classification because there is a good mix of attributes; continuous data, nominal with larger numbers of values and nominal with small numbers of values. There are also a few missing values.

The second data set consists of data recorded by 12 users in a motion capture environment by wearing gloves with sensors attached for 5 types of hand postures. Although there is missing data due to resolution, most of the data is preprocessed. Data Uci is the "MoCap Hand Postures" data set on the Machine Learning data set. It consists of 37 attributes and 1 class [35].

## IV. APPLICATION AND RESULTS

Credit Approval data set on Weka, RapidMiner, Knime and Orange tools, Naive Bayes, K-nn and Random Forest Algorithms 80% -20%, 70% -30% and 60% -40% (Training data - Test data) rates has been applied.

Table 1, shows the results obtained from 4 different tools where the Credit Statement data set is allocated as 80% -20% (Training data-Test data). In this partitioning, similar results are obtained in RapidMiner and Orange. This situation can show that RapidMiner and Orange have same coding structure and use same features. Compared to all tools, the best result was always obtained by the random forest algorithm. The random forest algorithm is an algorithm suitable for this data set and for many data sets thanks to the creation of forests according to all properties. Random Forest, showed an average success rate of over 85% in the case of this partitioning.

*Table 1. Results obtained (% 80 Training-% 20 Test)*

#	Weka (%)	Rapid Miner (%)	Knime (%)	Orange (%)
<b>Naive Bayes</b>	76.33	79.39	84.70	78.64
<b>Knn (IBk)</b>	77.86	70.23	58.77	70.48
<b>Random Forest</b>	<b>83.96</b>	<b>89.31</b>	<b>87.78</b>	<b>89.54</b>

Table 2, shows the results obtained from 4 different tools platforms where the Credit Statement data set is allocated as 70% -30% (Training data-Test Data). The very unstable results in the K-nn algorithm show that the K-nn algorithm is not an appropriate algorithm for this data set. Different results are caused by various effects in different tools for K-nn Algorithm. Some of these reasons; the re-coding of the algorithm in open-source tools (also understood from the change of the name of the algorithm. For example, in Weka =IBK, others=K-nn), in Weka, the search algorithm can also be selected in the Ibk or Knn algorithm (eg Linear NN search), it can't in other platforms. These cases indicate that better results are obtained by applying the re-encoded algorithm with IBK name. The results show that the success increased by around 10%.

*Table 2. Results obtained (% 70 Training-% 30 Test)*

#	Weka (%)	Rapid Miner (%)	Knime (%)	Orange (%)
<b>Naive Bayes</b>	78.06	78.57	84.18	77.46
<b>K-nn (IBk)</b>	79.08	70.41	61.73	71.02
<b>Random Forest</b>	<b>81.63</b>	<b>89.80</b>	<b>87.75</b>	<b>88.41</b>

Table 3, shows the results obtained from 4 different tools platforms where the Credit Statement data set is allocated as 60% -40% (Training data-Test Data). The number of Seed is the feature that affects

all tools in every situation. The Seed number is set default to 10 in the Weka tool, while the other tools can only be activated with the "use random seed number" feature. Rapid Miner has a Laplace transform by default for the Naive Bayes algorithm. Because Naive Bayes Algorithm does not have many different parameters, the results are obtained in close values in all tools.

*Table 3. Results obtained (% 60 Training-% 40 Test)*

#	Weka (%)	Rapid Miner (%)	Knime (%)	Orange (%)
Naive Bayes	77.01	78.93	82.82	79.21
K-nn (IBk)	79.69	66.67	64.50	74.62
Random Forest	<b>82.75</b>	<b>89.27</b>	<b>85.87</b>	<b>87.38</b>

**A. COMPARISON OF SOFTWARES**

Data mining software are computer programs that can have different algorithm parameters, different coding infrastructure, and enable us to search for correlations that can make predictions about the future from large data heaps [36].

In this study, by using the same algorithms on the sample data set, the reasons for the difference of the results were investigated. Table 4 shows the reasons arising from the different dynamics of the software and which may affect the results.

*Table 4. Conditions effecting results in data mining softwares*

<b>Weka</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ The Knn algorithm is referred to as the Ibk algorithm under the Lazy methodology in Weka. This indicates that the algorithm is re-encoded and affects the result obtained.</li> <li>➤ In Weka, the search algorithm can also be selected in the Ibk or Knn algorithm (e.g. Linear NN search), it can't in other platforms.</li> </ul>
<b>Orange</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Distance calculation method can be selected in Knn algorithm in Orange platform. But, it comes by default on other platforms.</li> </ul>
<b>Rapid Miner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Unlike other tools, RapidMiner offers conversion for the Naive Bayes algorithm (e.g. Laplace).</li> <li>❖ In addition, because of the forced type conversion (e.g. numeric to nominal) in RapidMiner, decreases the number of instances and it changes the results.</li> <li>❖ Finally, in RapidMiner, the random forest algorithm provides the option of selecting one of the best split methods (Gini_index, information gain, gain_ratio) when applying to the data set.</li> </ul>
<b>Knime</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Knime is a free model-based data mining software. The value conversions that need to be made in the established models may cause a decrease in the data set and affect the results.</li> </ul>

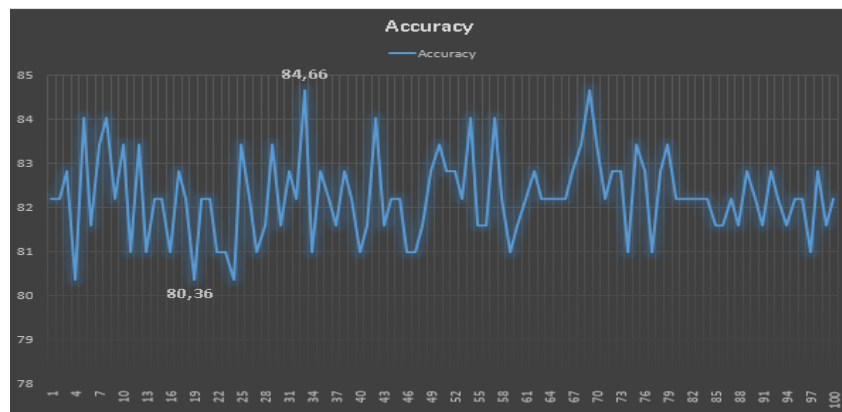


## A. EFFECT OF SEED NUMBER

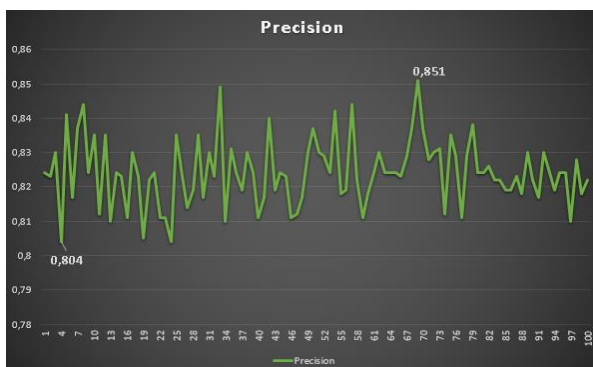
The initial seed number is critical for knowledge discovery. The Seed number determines the starting sequence for dataset. In general, the initial seed value is used in classification algorithms. There are several methods to find seeds. Two of the most known methods are Random and Partial [37]. Adrian et al., have graphically demonstrated the importance of seeding in the fuzzy-c means algorithm [38]. Rahman and Islam have demonstrated the effect of the initial seed value on the biomedical dataset [39]. Mahdi et al., showed the change in clustering status by applying different initial seed values on multiple sets of data [40].

This study shows that the initial seed value is an important factor in the success of the classification algorithms. Random forest algorithm was applied to 2 different data sets. While running the algorithm, in order to observe the effectiveness of the initial seed value, only the seed value has been changed while all other parameters are constant. The number of seeds thought to change the results was tried by assigning all integers from 1 to 100 and the following results were obtained.

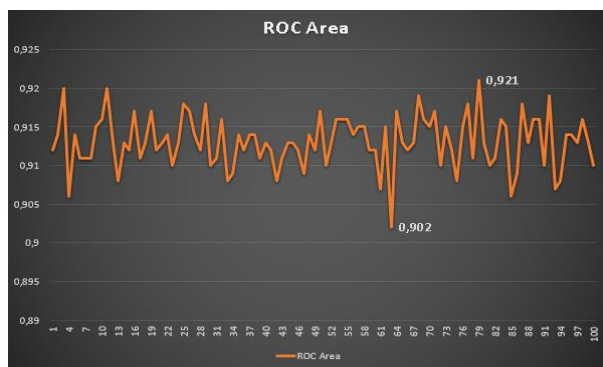
Accuracy, Roc Area and Precision values were used for comparison. The results obtained revealed the importance of determining the initial seed value correctly.



**Figure 2.** Changes in accuracy value according to the number of Initial seeds.



**Figure 3.** Changes in precision value according to the number of Initial seeds.



**Figure 4.** Changes in Roc Area Value according to the number of Initial seeds.

The values in figure 2, figure 3 and figure 4 show that determining the initial seed value correctly can provide approximately 5% better classification in the "Credit Approval" dataset, which is the first dataset.

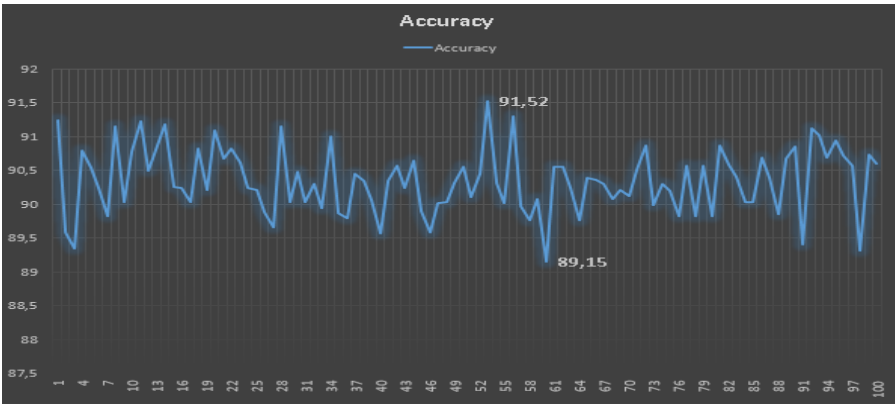


Figure 5. Changes in accuracy value according to the number of Initial seeds.

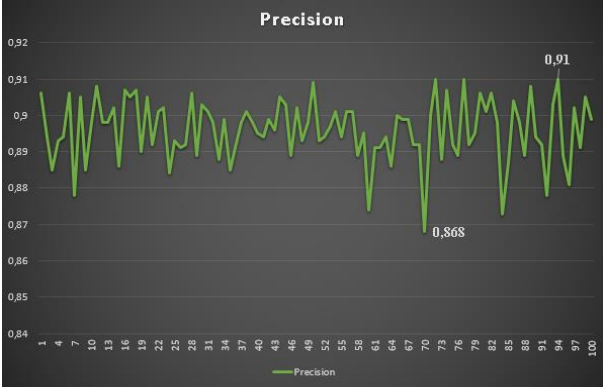


Figure 6. Changes in precision value according to the number of Initial seeds.

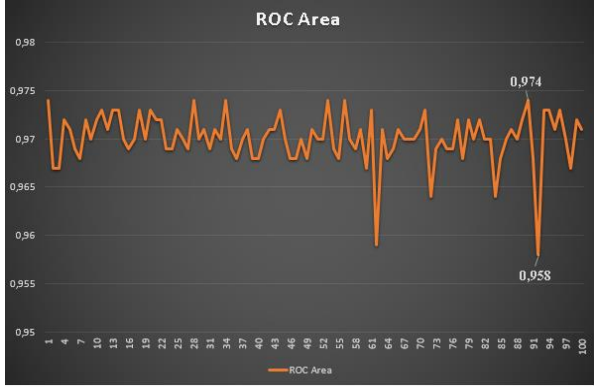


Figure 7. Changes in Roc Area Value according to the number of Initial seeds.

The values in figure 5, figure 6 and figure 7 show that determining the initial seed value correctly can provide approximately 3% better classification in the "MoCap Hand Postures" dataset, which is the second dataset.

These results revealed the importance of determining the initial seed value correctly. Correct determination of this parameter, which is evaluated on 2 datasets and shows that classification can be made up to 5% better, is an important area that needs to be investigated. In these 2 data sets, initial seed values between 0 and 100 were evaluated. If the initial seed value is evaluated with a larger number of integers, there may be a greater improvement in the results. It is a promising new field of study, such as determining the number of seeds with the best success from all results according to each data set to further the study.

## V. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, 3 different data mining algorithms were applied to 2 randomly selected data sets in the UCI Machine learning pool and the results were obtained. At the same time, algorithms were evaluated with 4 different free data mining tools and the results obtained were compared. According to these results, the Random Forest Algorithm works best in all situations. However, it is also a subject of research that leads to different results in different tools.

There are parameters that cause different results in different mining software and can improve success results up to 5%. These parameters can be considered in 2 categories as the less effecting parameters and the more effecting parameters. The less effecting parameters (providing 1-2% change at most) are as follows; Best Partition feature (gini\_index, information\_gain, gain\_ratio), sample type (mixed sampling, stratified sampling, linear sampling), sample reduction during decomposition (numerical to nominal, etc.), distance calculation techniques (Euclidean distance, Manhattan distance, Minkowski distance, etc.), transformation state (for Naive Bayes -> Laplace), maximum depth and number of trees (for random forest).

The more effective parameter is the initial seed value. Since the initial seed value can provide up to 5% improvement, this study was conducted on this value.

All other substances, except the number of Seed, can change the accuracy of the classification in the range of 1% to 3% when applied to this data set. On the other hand, the seed number can increase the accuracy of classification by approximately 5% in this data set. Therefore, this study focused on the effect of initial seed number and the results showed the importance of choosing the correct initial seed number.

There are several methods of assigning the initial seed number. Two of the most common methods are Random and Partial. The seed number determines the starting order of the data set. If the same algorithm and the same data set are used and the result is desired to be the same, the seed number should be selected the same. In clustering too, changing the number of cores allows the algorithm to start with different random cluster centers. In this case, the random number generator must be of good quality to get good results. The core number is also used in the field of computer security. Therefore, it is very important to choose the correct seed number. In the next study, it is planned to work on the program that enables the selection of the most suitable seed value for the data set to be mined.

## **VI. REFERENCES**

- [1] M. S. Durmuş, “Veri kümeleme algoritmalarının performansları üzerine karşılaştırmalı bir çalışma,” Yüksek Lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2005.
- [2] Y. Farhang, “Face extraction from image based on K-Means Clustering Algorithms,” *International Journal Of Advanced Computer Science And Applications*, vol. 8, no. 9, pp. 96-107, 2017.
- [3] H. Kaya and K. Köymen, “Veri madenciliği kavramı ve uygulama alanları,” *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, vol. 6, no. 2, pp. 159-164, 2008.
- [4] Q. Chen, Y. Wan, X. Zhang, Y. Lei, J. Zobel and K. Verspoor, “Comparative analysis of sequence clustering methods for deduplication of biological databases,” *Journal of Data and Information Quality (JDIQ)*, vol. 9, no. 3, pp. 1-27, 2018.
- [5] M. A. Alan, “Veri madenciliği ve lisansüstü öğrenci verileri üzerine bir uygulama,” *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 33, pp. 165-174, 2012.
- [6] S. Özşen and R. Ceylan, “Comparison of AIS and fuzzy c-means clustering methods on the classification of breast cancer and diabetes datasets,” *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 22, no. 5, pp. 1241-1254, 2014.

- [7] G. Kayakutlu, I. Duzdar, E. Mercier-Laurent and B. Sennaroglu, "Intelligent association rules for innovative SME collaboration," *International Federation for Information Processing (IFIP) International Workshop on Artificial Intelligence for Knowledge Management*, Springer, Cham, 2014, pp.150-164.
- [8] A. M. Moawad, A. M. Gadallah and M. H. Kholief, "Fuzzy ontology based approach for flexible association rules mining," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 8, no. 5, pp. 328-337, 2017.
- [9] T. Pala, I. Yücedağ and H. Biberoglu, "Association rule for classification of breast cancer patients," *Sigma*, vol. 8, no. 2, pp. 155-160, 2017.
- [10] R. A. Shah and S. Asghar, "Privacy preserving in association rules using a genetic algorithm," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 22, no. 2, pp. 434-450, 2014.
- [11] I. C. Yeh and C. H. Lien, "The comparisons of data mining techniques for the predictive accuracy of probability of default of credit card clients," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 2, pp. 2473-2480, 2009.
- [12] A. Dhall, G. Sharma, R. Bhatt, and G. M. Khan, "Adaptive digital makeup," in *International Symposium on Visual Computing*, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 728-736.
- [13] E. J. Lauría, A. D. March, "Combining bayesian text classification and shrinkage to automate healthcare coding: A Data Quality Analysis," *Journal of Data and Information Quality (JDIQ)*, vol. 2, no. 3, pp. 13, 2011.
- [14] K. Rangra and K. L. Bansal, "Comparative study of data mining tools," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 4, no. 6, pp. 216-223, 2014.
- [15] F. Bulut and I. O. Bucak, "An urgent precaution system to detect students at risk of substance abuse through classification algorithms," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 22, no. 3, pp. 690-707, 2014.
- [16] A. H. Wahbeh, Q. A. Al-Radaideh, M. N. Al-Kabi and E. M. Al-Shawakfa, "A comparison study between data mining tools over some classification methods," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 8, no. 2, pp. 18-26, 2011.
- [17] A. Tekerek, "Veri madenciliği süreçleri ve açık kaynak kodlu veri madenciliği araçları," *Akademik Bilişim*, vol.11, pp. 2-4, 2011.
- [18] M. Dener, M. Dörterler and A. Orman, "Açık kaynak kodlu veri madenciliği programları: WEKA'da örnek uygulama," *Akademik Bilişim*, vol. 9, pp. 11-13, 2009.
- [19] E. Atagün and İ. D. Argun, "A comparison of data mining tools and classification algorithms: Content producers on the video sharing platform," in *The International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering*, 2019, pp. 526-538.
- [20] Ş. E. Şeker, *İş Zekası ve Veri Madenciliği*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Cinius Yayınları, 2013.
- [21] WEKA. (2020, April 1). *Weka* [Online]. Available: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.
- [22] M. Kaya and S. A. Özel, "Açık kaynak kodlu veri madenciliği yazılımlarının karşılaştırılması," *14. Akademik Bilişim Konferansı*, Mersin, Türkiye, 2014, pp.5-7.

- [23] M. Turanlı, U. H. Özden and S. Türedi. (2020, October 21). *Avrupa Birliği'ne aday ve üye ülkelerin ekonomik benzerliklerinin kümeleme analiziyle incelenmesi*. [Online]. Available: <http://acikerisim.ticaret.edu.tr/xmlui/handle/11467/891#sthash.tFw7f06H.dpbs>.
- [24] A. Tiwari and A. K. Sekhar, "Workflow based framework for life science informatics," *Computational Biology and Chemistry*, vol.31, no.5-6, pp.305-319, 2007.
- [25] KNIME.(2020, April 1).*KNIME*. [Online]. Available: <http://www.knime.org/>.
- [26] ORANGE.(2020, April 1).*ORANGE*. [Online]. Available: <http://orange.biolab.si/>.
- [27] RAPIDMINER. (2020, April 1). *RAPIDMINER*. [Online]. Available: <http://www.rapidminer.com/>.
- [28] S. Kırıçoğlu and A. Yakupoğlu , "Veri madenciliği ile üniversite bilişim teknik servis hizmetleri analizi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp. 326-333, 2020.
- [29] Wikipedia. (2020, April 1). *NaiveBayesClassifier*. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Naive\\_Bayes\\_classifier](http://en.wikipedia.org/wiki/Naive_Bayes_classifier).
- [30] Wikipedia. (2020, April 1). *RandomForest*. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Randomforest>.
- [31] Towards Data Science. (2020, April 1).*RandomForestAlgorithm*. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/the-random-forest-algorithm-d457d499ffcd>
- [32] J. R. Quinlan, "Simplifying decision trees," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 27, no. 3, pp. 221-234, 1987.
- [33] L. Mason, P. L. Bartlett and J. Baxter, "Direct optimization of margins improves generalization in combined classifiers," in *Proceedings of the 1998 Conference On Advances In Neural Information Processing Systems*, 1999, pp. 288-294.
- [34] D. Dua and E. Karra Taniskidou.(2017, December 30).*UCI Machine Learning Repository* [Online]. Available: <http://archive.ics.uci.edu/ml>.
- [35] A. Gardner, R. R. Selmic, J. Kanno and C. A. Duncan. (2016, November 22). *UCI Machine Learning Repository* [Online]. Available: <http://archive.ics.uci.edu/ml>.
- [36] E. Atagün and I. Duzdar Argun, "Performance analysis of data mining software with parametric changes," *International Journal of Forensic Software Engineering*, vol. 1, no. 2-3, pp. 115-143, 2020.
- [37] M. A. Mahdi, S. E. Abdelrahman and R. Bahgat, "A high-performing similarity measure for categorical dataset with SF-tree clustering algorithm," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 9, no. 5, pp. 496-509, 2018.
- [38] A. Stetco, X. J. Zeng and J. Keane, "Fuzzy C-means++: Fuzzy C-means with effective seeding initialization," *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 21, pp. 7541-7548, 2015.
- [39] M. A. Rahman and M. Z. Islam, "Application of a density based clustering technique on biomedical datasets," *Applied Soft Computing*, vol. 73, pp. 623-634, 2018.

[40] P. Eliasson and N. Rosen. (2020, December 21). *Efficient K-means clustering and the importance of seeding*. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Efficient-K-means-clustering-and-the-importanceof-Eliasson-Ros-%C3%A9n/460178da1a4a7403a0a2db4cf52962ea7b4de29b>.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Obtaining Maximum Electrical Energy with PV Panel Layout Optimization in Space Truss Roof Systems

 Okan BİNGÖL <sup>a,\*</sup>,  Berkay KİRİŞ <sup>b</sup>,  Onur Mahmut PİŞİRİR <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Technology, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Electronics & Computer Education, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Suleyman Demirel University, Isparta, TURKEY

<sup>c</sup> Department of Department of Computer Technologies, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: okanbingol@isparta.edu.tr  
DOI: 10.29130/dubited.832198

### ABSTRACT

Solar panel is mostly applied in many roof types on buildings. That the angle of solar radiation is different in curved space truss system affects the amount of voltage and current of the solar panels and overall system efficiency. In this study, meteorological information of Isparta city, technical data of various solar panels, intra-year random shadow effect calculations are analyzed. The technic of genetic algorithm is applied, and the process of computerized simulation is performed in order to find the optimal solar panel combination. Based on the simulation results, the highest efficiency will be obtained from the PV panels if PV panels application is made on the curved space truss roof system.

**Keywords:** Photovoltaic panels (PV), Solar array, Space truss roof, Genetic Algorithm

## Uzay Kafes Çatı Sistemlerinde PV Panel Yerleşim Optimizasyonu ile Maksimum Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi

### ÖZET

Güneş paneli uygulaması genellikle çalışmalarda teras çatı, eğik çatı, cephe üzerine yapılmıştır. Eğimli uzay kafes sistemlerinde güneş ışınım açısının farklı olması, güneş panelleri üzerinde oluşan gerilim ve akım miktarını, toplam sistem verimini daha fazla etkilemektedir. Bu çalışmada; Isparta ilinin meteorolojik bilgileri, çeşitli güneş panellerinin teknik verileri, yıl içi rastlantısal gölge etkisi hesapları kullanılarak en uygun güneş paneli diziliminin bulunabilmesi için genetik algoritma tekniği uygulanmış bilgisayar ortamında simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak, eğimli uzay kafes çatı sistemlerine PV panel uygulaması yapılırsa en yüksek verim elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik Paneller(PV), Solar dizi, Uzay Kafes Sistemleri, Genetik Algoritma

# **I. INTRODUCTION**

Today, the rapid increase of the population and the depletion of traditional energy sources increase the demand for renewable energy sources. Among renewable energy sources, solar or photovoltaic (PV) energy is preferred because of its low cost, low operating and maintenance costs and its universal availability. Electricity from solar energy is obtained directly by PV cells. The power obtained from a PV cell is low. Depending on the energy requirement, the module or panel is connected by connecting PV cells in series-parallel configuration, and arrays are formed by connecting modules in various configurations. [1], [2]. Solar energy systems can operate standalone or connected to the grid. [3]-[5]. PV modules are combined with system components; e.g., inverters, batteries, electrical components and installation systems [6], [7].

The most of space truss roof structures are used for large span buildings, particularly gas stations, stadiums and railway stations. The main elements of these building systems are nodes and pipes. Space truss systems give the buildings modern identity with their visuality, though they are perceived and used as roof coverings to a large extent. It is a light roof type due to its ability to work statically in three dimensions. In the space truss systems, the integration points of the pipes are spherical and hot forged shaped steel materials. [8], [9].

Yeşilata and Fıratoğlu [10], investigated the optimum design and operating conditions of the PV system. In this study, they aimed to provide the required power by using minimum number of PV panels. Karatepe et al. [11], in their work, they studied the change of the parameters of the solar cell single diode equivalent circuit for different temperature and radiation conditions and developed a new model based on artificial neural networks. In her work, Mutlu [12], aimed to develop a model proposal that will enable roof systems and roofing material manufacturers and contractors to evaluate all of the alternatives together in the work of renewing existing roof systems as photovoltaic roof system and in the design of photovoltaic roof system in new buildings. Wang and Hsu [13], In their studies, they performed analytical modeling of PV modules with segmented shadow effect and different orientation. Deline et al. [14], presented a simplified analytical model for large PV lattices with constant shading effect. Considered the ratio of shaded PV panels under serial and parallel connections over all PV panels. Balato et al. [15], In their study, they investigated serial and parallel connection states of PV arrays with an algorithm. They tried to solve the mismatches in the different connections with the Monte Carlo algorithm which consists of 24 PV panels.

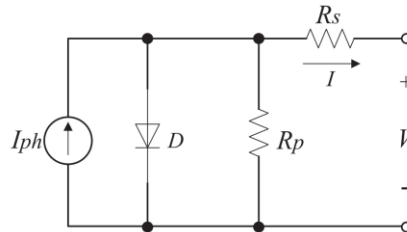
In this study, the most suitable connection design is obtained and simulated by placing the PV panels on the roofs of vault shaped space truss roof system. For this purpose, firstly the solar radiation was examined and analyzed, then the mathematical model was determined by investigating the factors affecting the working of the solar cells together with the technical characteristics. In the other step of the study, the use of PV panels on building surfaces and roofs was examined and the geometric structure of the space truss systems was analyzed. When the vault shaped space truss roof system was examined, it was determined that different angles would form on the surface of each PV panel. This will result in loss of power and efficiency in the system due to different current or voltage mismatches between PV panels in PV array to be formed by serial or parallel connection. Depending on the type of inverter applied to the input, different serial and parallel connection types would occur. The amount of power to be obtained varies with the connection sequence of the PV panels. Optimization is needed to keep the power at its highest value. By using genetic algorithms as the optimization technique, the application to obtain the most suitable PV array connection has been developed.

The paper is structured as follows; in the second chapter, PV is explained. In the third chapter, space truss roof systems are explained. Chapter four describes the genetic algorithm. In the fifth chapter, the developed simulation software is explained. In the sixth chapter, the data obtained with the software is explained. In the last chapter, the results of the study are summarized.



## II. PV SYSTEM DESCRIPTION

In the literature, there are various electrical equivalents of the PV cell. A diode model is one of the most popular models. Single diode models' equivalent circuit is shown in Figure 1. The circuit has a photocurrent ( $I_{ph}$ ), a diode ( $D$ ), a parallel resistor ( $R_p$ ) a series resistance ( $R_s$ ) referring to an internal resistance of the PV cell. [13], [16].



**Figure 1.** A photovoltaic array's equivalent circuit [16]

A PV cell's voltage-current characteristic equation is written as in the following

$$I = I_{ph} - I_0 * \left[ \exp \frac{q}{kTA} (V + IR_s) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

where  $I_{ph}$  is light generated current,  $I_0$  is saturation current of first diode,  $T$  is the cell's operating temperature in Kelvin (K),  $k$  is the Boltzmann constant ( $1.381 \times 10^{-23}$  J/K),  $q$  is the electron charge ( $1.602 \times 10^{-19}$  C) [2], [17].

The power, which a solar cell generates, is between 1-1.5 W. Thus, the solar cells must be connected in series or parallel to obtain the desired power. PV cells must be connected in series parallel configuration on the module to increase the amount of output power and voltage. A PV module consists of a NP parallel cell and a NS series cell. The output current of the PV module is written in the equation 2 [18].

$$I = N_p N_{ph} - N_p I_0 \left( e^{\frac{q \left( \frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right)}{kTAN_h}} - 1 \right) - \frac{N_p V + IR_s}{R_p} \quad (2)$$

$I_0$  is cell reverse saturation current,  $A$  is an ideality factor of diode;  $NP$  is the number of PV cells connected in parallel;  $NS$  is the number of PV cells connected in series.

The power-voltage (P-V) and voltage-current (V-I) characteristic curves of the PV panel must be determined. While solar irradiation and PV panel power change in direct proportion, the increase in temperature decreases PV panel power. Under variable temperature, the characteristic curves of P-V and I-V and radiation are shown in Figure 2 (a, b, c, d) [2], [19], [20].

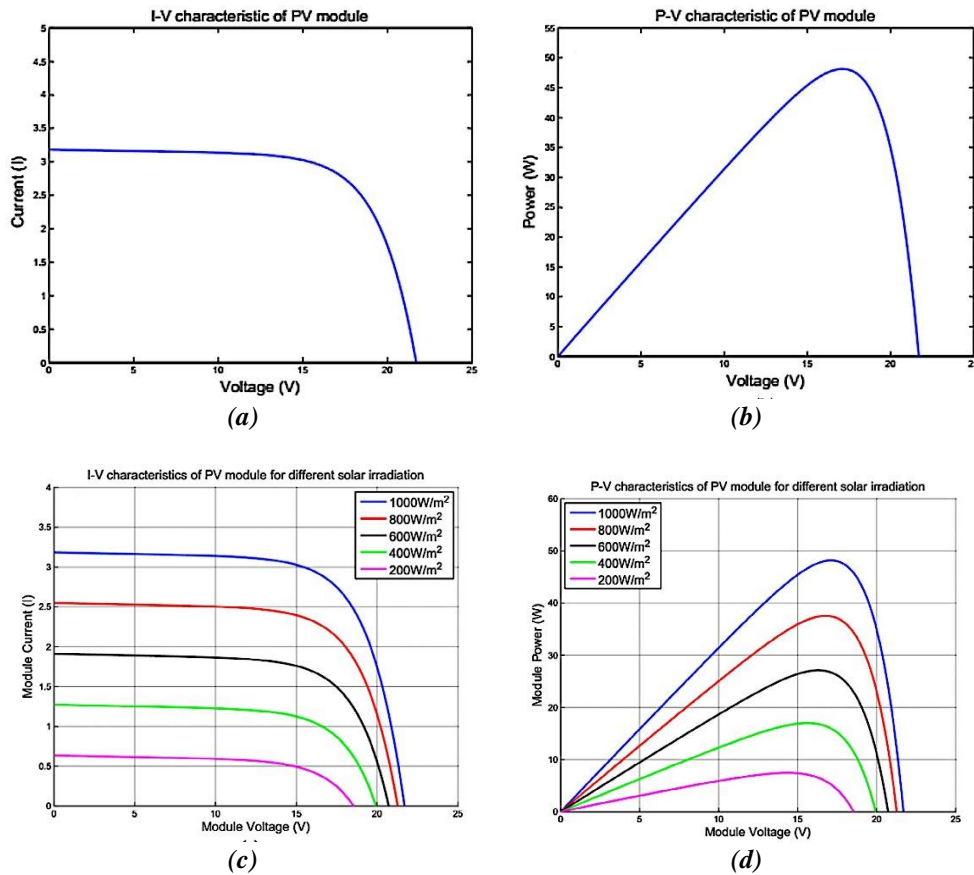


Figure 2. (a) I-V, (b) P-V characteristic of PV module, (c) I-V and (d) P-V characteristic of PV module for different solar irradiation [3]

### III. SPACE TRUSS ROOF SYSTEMS

Space Truss systems are very suitable for covering roofs having large spans without using columns or using a small number of columns. The carrier system has two main components: pipes and nodes. In vault-shaped space truss systems, all the factors that change the geometry of the system, change the system weight. It is possible to collect the main factors that change the geometry under three main headings. These Factors: Span of the arc that gives curvature to the system(L), geometric height of the system (H), are the geometry of the arc that gives the system its curvature. Figure 3 shows an example space truss roof system [21].

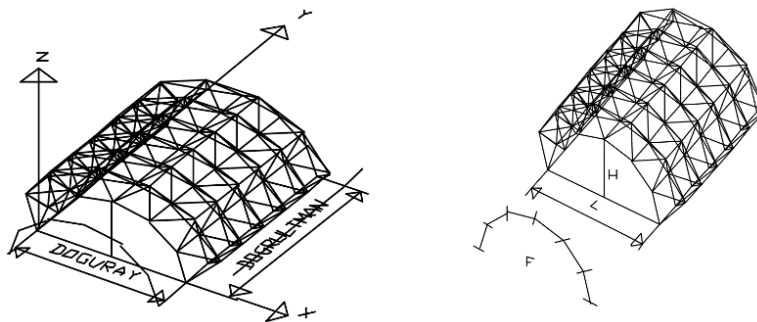
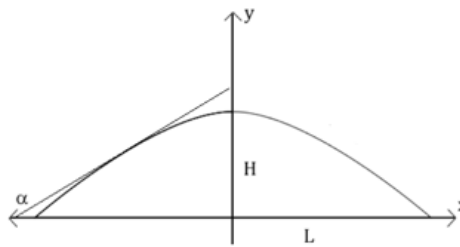


Figure 3. Space Truss Roof System [21]

For additions such as integrated systems or PV modules on this surface, the length of the parabola must be calculated. Arc length equation;

$$\text{arc length} = \frac{1}{2}\sqrt{L^2 + 16H^2} + \frac{L^2}{8H} \ln\left(\frac{4H + \sqrt{L^2 + 16H^2}}{L}\right) \quad (3)$$

Figure 4 shows the curve between the point on the parabola and the surface. This angle must be found to find out the angle of PV module which is placed on the surface of parabola. When the angle is found, a vertical line is drawn. The equilibrium of the straight line can be calculated using the point on the parabola. When the line is extended until it intersects the x axis, the angle in between is equal to the angle  $\alpha$ . The angle  $\alpha$  can be calculated by taking the arctangent of the slope value after finding the slope of the correct balance [22].



*Figure 4. The curve between the point on the parabola and the surface [22]*

## IV. GENETIC ALGORITHM

In order to obtain an optimum solution of a problem, Genetic algorithm (GA) is a useful optimization technique repeating at different stages such as selection, crossover and mutation. The natural selection process is simulated by Genetic Algorithm by using bio-inspired operators such as crossover and mutation. This theory is based on the survival of the fittest. According to genetic algorithm, solution population is significant. A fitness function against each solution is evaluated and the fitness of each solution is calculated. In the next iteration, the individual's survival relates to the fitness value of the individual. If the individuals have the lowest eligibility value, they will be removed from the population [23]. Genetic algorithms are random search algorithms. The fitness value of a population may remain constant for a certain period of time until the fittest individual appears. Evolution is continued by replacing the new population of offspring produced by natural selection, crossing and mutation with the existing population. The genetic algorithm terminates when the specified number of generations evolves, or when a reasonable solution is achieved at the desired level and the individual with the highest conformity value is considered the most appropriate solution and the transaction is concluded. [24]. Before a genetic algorithm can be run, an appropriate coding for the problem must be designed. A fitness function is also required, which assigns a value to each encoded solution [25].

A standard genetic algorithm pseudo code is [26]:

```

InitPopulation(P)
Fitness(P)
while MaxGenerationNotReached do
  for i = 0 to xfactor do
    p1 = Selection(P)
    p2 = Selection(P)
    (o1, o2) = crossover(p1, p2)
    crowding(p1, p2, o1, o2)
  end for
  for i = 0 to dfactor do

```

```

p = Selection(P)
Dropping(p)
end for
for i = 0 to mfactor do
    p = Selection(P)
    Mutation(p) end
end for
Fitness(P)
end while
SelectBestIndividual(P)

```

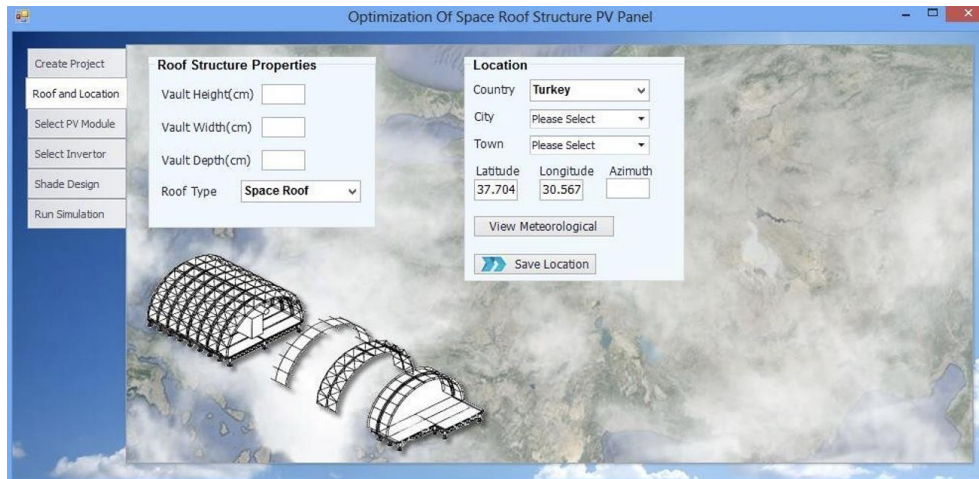
## **V. SOFTWARE DESIGN**

By the developed software, PV array design which can generate annual maximum energy to roofs with vault shaped space truss system is simulated with genetic algorithm. For this process, each PV module is treated as a gene and the initial population is obtained from these genes by resembling different PV array designs according to the roof size and characteristics. Then new individuals are formed from the population and a new population is established. In order to perform simulation process; PV module, meteorological information, roof system, location information of the region must be saved and read from the system. A database is used in the software to process all this data. The start-up form allows the creation of a new simulation process or shows previously created simulations. Before the simulation process is performed, the main form is opened to add the information about the software to the system and to display the supporting data presented by the system in the application. In order to model the work on the roof of the vault-shaped space truss system, the geometric features data of the structure must be entered to the project. The performance of PV modules is directly related to the climatic and geographical characteristics of the region where it is applied. Therefore, the location data of the simulation must be entered to the project. In the study, real measurement of Isparta province's meteorological information was used and simulated. The software consists of many functions, methods and classes. There are classes in which the optimization process is carried out with the genetic algorithm. One of the methods in these classes is created for the fitness function of the genetic algorithm. Since the annual time interval is considered, it is aimed to find the maximum value by summing the amount of power generated in all hours during the year. Here, the voltage and current values of the PV modules in the PV mesh are calculated according to the connection type on the circuit. Fitness function is written in the equation 4.

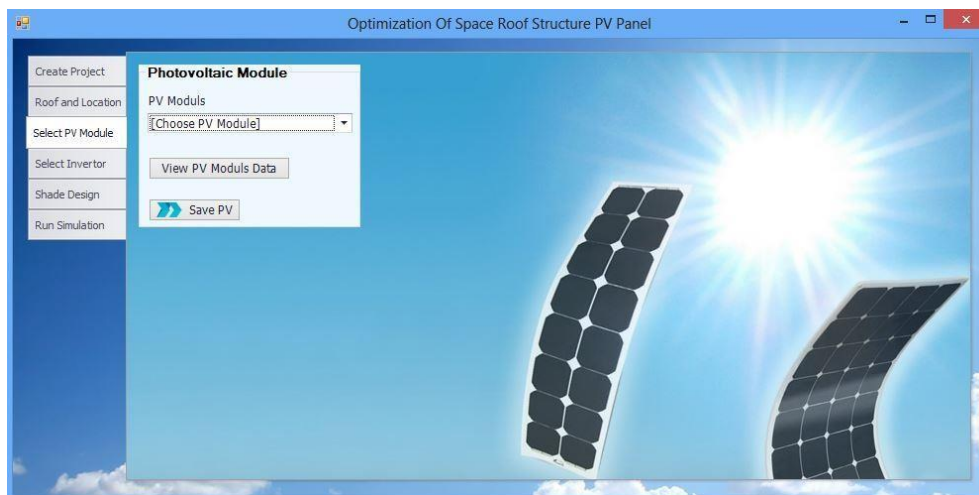
$$PT = \sum_{t=0}^{t=365*24} V_{eqt} I_{eqt} \quad (4)$$

$V_{eq}$  represents the equivalent voltage and  $I_{eq}$  represents the equivalent current. The total power can be calculated at all times from hour  $t = 0$  to  $t = 365 * 24$  hours. Our aim in the study is to find the connection type with the highest power value.

Another step in the simulation process is the selection of the PV module which will be used. PV modules can be selected from the software, as well as PV modules can be selected from a different form which shows detailed information. Figure 5(a) shows the form for entering the geographic information and Figure 5(b) shows PV Selection Form.



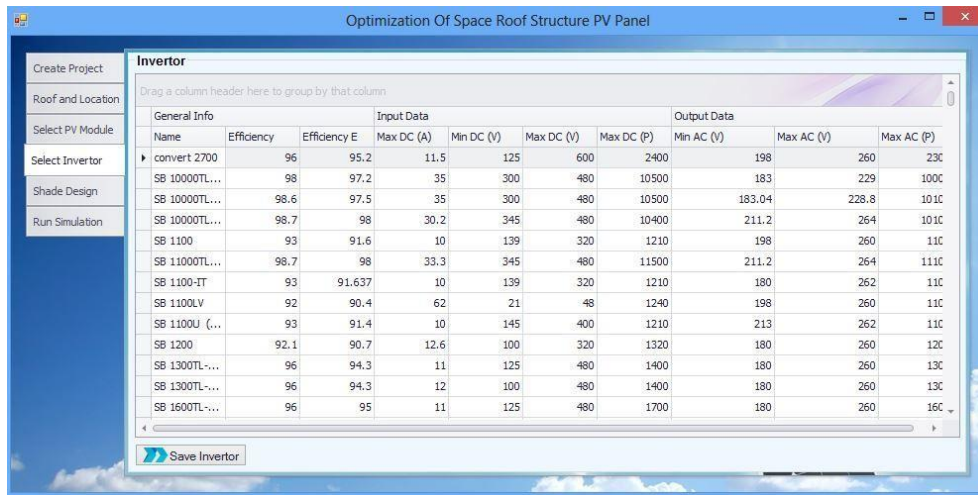
(a)



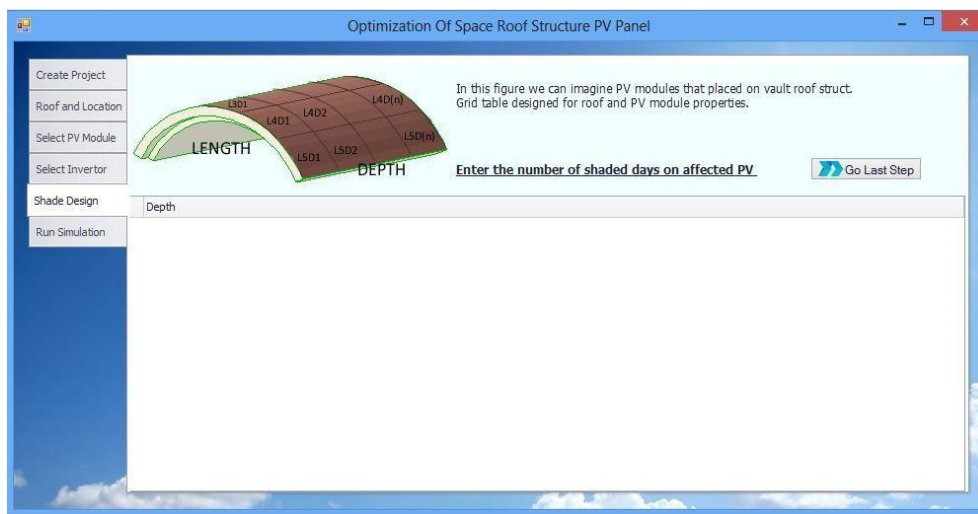
(b)

**Figure 5. (a) Geographical information Form (b) PV Selection Form.**

The selected inverter model determines the number of PV panels that can be connected in series and in parallel in the PV panel system. This number varies according to the input current and voltage information of the inverter. In order to design the system, the inverter type must be specified. The form shown in Figure 6(a) helps to make the selection according to the inverter specifications. The last step is the addition of the number of days that the PV modules are shaded. Figure 6(b) shows shading information form. Depending on the length and depth of the roof, the PV module matching the relevant grid cell should be written on average for how many days it will stay in the shadow effect.



(a)



(b)

Figure 6. (a) Inverter selection (b) Shading Information Form

Once all these operations are performed, the optimization can be started via the Run Simulation tab. In Run Simulation tab, first of all, a form is designed to enter values such as elitism criterion, number of iterations, mutation probability related to genetic algorithm. Once all values are entered, the calculations are started, and the results are obtained. Genetic algorithm results can be checked from other tabs in the same section. Detailed information of each PV module can be seen on the different tab. Clicking on PV modules opens the details and shows in detail the angle where the PV module is located. A calendar shows the power the PV module will generate at any time of the year. Figure 7 shows the details of PV panels.

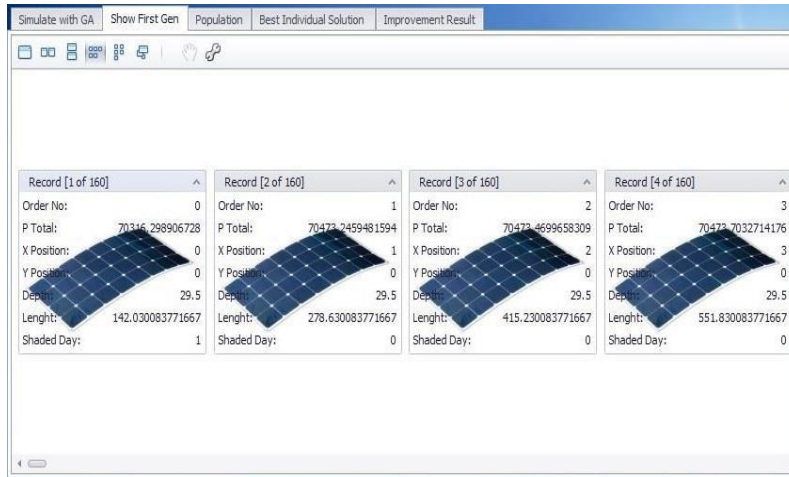
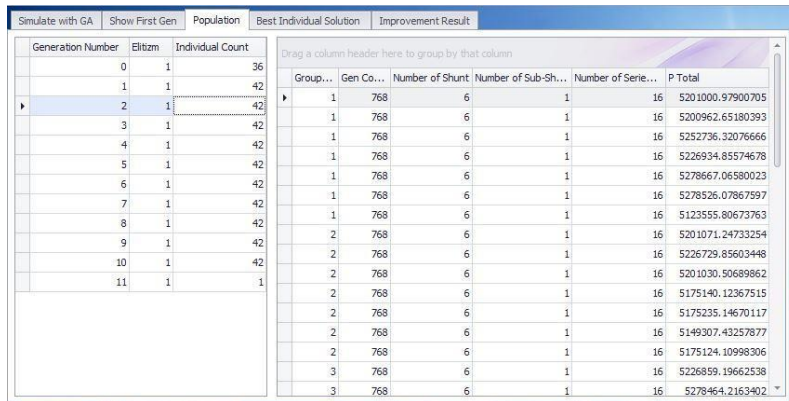
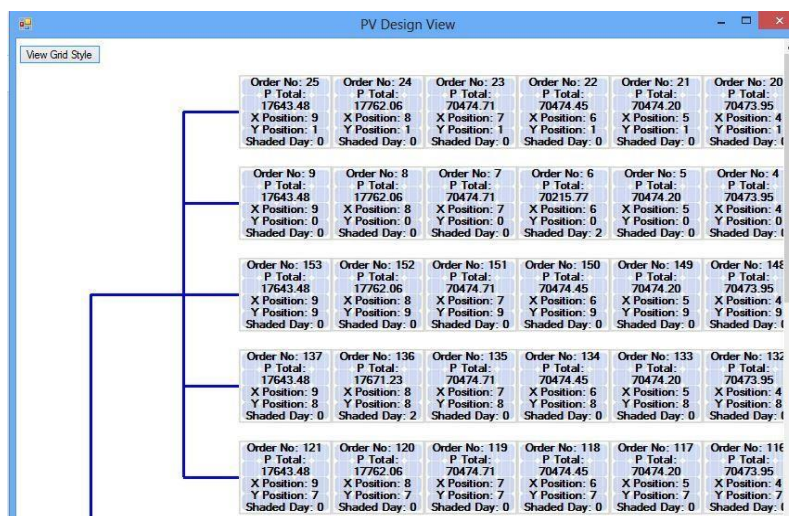


Figure 7. PV Simulation Details.

In the Population tab, information of all individuals created during the simulation process can be seen. PV array design, circuit diagram and PV module can be seen with general information by clicking on individuals. PV grid design can be viewed as grid list on this form. Figure 8 (a) shows population tab, Figure 8 (b) shows the details of the PV modules.



(a)



(b)

Figure 8. (a) Population Tab (b) PV Modules Details

As a result of the simulation, the most appropriate solution can be seen. The individual in the list is created PV mesh design that produces the highest power and efficiency. The tab shown in Figure 9 is arranged to compare the best result with other results and to see how much the system has been improved. The ratio of the highest power generating design to the least power generating design and the success rate of the optimization process can be easily seen and examined.

GenerationInfo	n0	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10
SumRatio		1.00645...	1.00200...	1.00069...	1.00729...	1.00001...	1.00303...	1.00009...	1.00236...	1.01230...	1.0006073407...
MaxRatio											
GenerationSum	3318199...	3339629...	3346315...	3348628...	3373050...	3373111...	3383365...	3383700...	3391703...	3433432...	343551814.81...
GenerationMax	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	11275912.526...
GroupNo1	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165.3616...
GroupNo2	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731.3608...
GroupNo3	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522.7212...
GroupNo4	2699875...	2699875...	2699875...	2699875...	2699875...	2699875...	2699875...	2700012...	2700012...	2700012...	2700012.3840...
GroupNo5	2699699...	2699699...	2699699...	2699699...	2699699...	2699699...	2699699...	2700580...	2700580...	2700580...	2700580.5190...
GroupNo6	2703612...	2703612...	2703612...	2703612...	2703612...	2709286...	2709286...	2709286...	2709286...	2709286...	2709286.5107...
GroupNo7	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	6988114...	6988114.3139...
GroupNo8	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	11236239.674...

Figure 9. Improvement Result Tab

## A. PV MODULE FORM

The most important factor determining the power of the system in the simulation process is the PV modules where PV array is formed. There are thousands of PV panels produced by many companies on the market. The user must see the PV panel data provided by the manufacturer when making the selection. In the study, the data of PV panels were provided from manufacturers' datasheet, Photon magazine and other PV panel applications. Only the flexible PV panels are shown to the user. Other type of PV panels cannot be used in vault-shaped space truss roofs. In applications where the roof type can be changed, all PV panels can be shown to the user. Manufacturers, models, electrical and mechanical information of PV panels, current-voltage graph, current-voltage graph under different temperature and radiation can be seen on the form. Comparison with other PV panels can be made. The user can select the desired PV panel from this form and add it to project. Figure 10 (a, b) shows the PV module form interface.

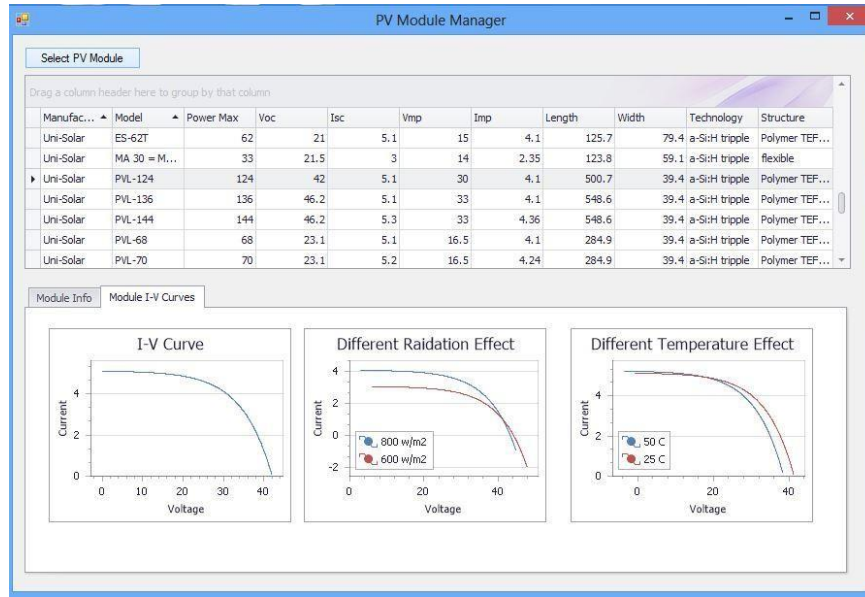
Manufac...	Model	Power Max	Voc	Isc	Vmp	Imp	Length	Width	Technology	Structure
GB-Sol	GB-Sol Flexi...	35	22	2.05	18.4	1.85	80	40	Si-mono	Flexible
GB-Sol	GB-Sol Flexi...	70	22	4.1	18.4	3.75	80	70	Si-mono	Flexible
Generic	a-Si:H, tripl...	136	46.2	5.1	33	4.1	548.6	39.4	a-Si:H tripple	Polymer TEF...
GrantSystem	Solar Frees...	64	23.8	4.8	16.5	3.9	285	40	a-Si:H tripple	Polymer TEF...
GrantSystem	Solar Frees...	128	47.6	4.8	33	3.9	285	79	a-Si:H tripple	Polymer TEF...
GrantSystem	Solar Frees...	256	95.2	4.8	66	3.9	550	80	a-Si:H tripple	Polymer TEF...
GrantSystem	Solar Frees...	64	23.8	4.8	16.5	3.9	285	40	a-Si:H tripple	Polymer TEF...

Module Info		Module I-V Curves	
Manufacturer	GB-Sol	Manufacturer Web	www.gb-sol.co.uk
		Data Source	Photon Mag. 2008
Model	GB-Sol Flexi-35		
Mechanical Data		Electrical Data	
Technology	Si-mono	Connection	Cable MC new
Structure	Flexible	Max Power	35
Frame Material	Frameless	Power Tolerance	5
NCell	36	NSeriesCell	36
Length	80	NParallelCell	1
Width	40	Optimum Operating Voltage(Vmp)	18.4
Depth	14	Open Circuit Voltage(Voc)	22
Module Area		Optimum Operating Current(Imp)	1.85
Module Weight	2	Short Circuit Current(Isc)	2.05
		Temperature Coefficient Voltage(Beta)	1
		R Series	5500000
		Temperature Coefficient Current(AI/a)	0.03
		R SHunt	450

(a)





(b)

Figure 10. PV Module Form and Module List

## VI. RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION

In this study, the placement of PV modules on the space truss roof system is calculated according to inverter selection, the amount of power that PV modules will produce in different connections by using genetic algorithm and a PV array is obtained to calculate maximum energy. The evaluation of the Genetic Algorithm process and its results according to two different simulation procedures, the comparison of the connection patterns of PV array was analyzed and interpreted. The climatic characteristics of the region to be simulated are very important. In this study, solar radiation information of Isparta province is used from data provided from TÜMAŞ data access center of General Directorate of Meteorology. Radiation, temperature and sunshine data are available hourly over a period of one year. The US-32 model of the Uni-Solar manufacturer was chosen for the PV module to be installed on the roof surface. The maximum power of this PV module is 32 W, open circuit voltage is 23.8 V, short circuit current is 2.4 A. In addition, there are 22 PV cells in the PV module, 11 series and 2 parallel connections. In the first simulation, the inverter, which determines the PV module connection type, was selected as SB3000 (3.2 kW) with a 95% efficiency value. This inverter supports 12 A current, 268 V-480 V voltage range according to input specifications.

### **A. EVALUATION OF CONNECTION TYPES IN PV ARRAYS ACCORDING TO INVERTER SELECTION**

PV modules used in PV braids can be connected with each other while serial or parallel connection methods are used. The characteristic that determines the connection type is the inverter that applied to the input. It was calculated that 768 PV modules should be used in both simulations. The connection types of these PV modules and the obtained power values are shown in Table 2.

Table 2. Connection types and associated power ratings

Inverter Type	Invertor Count	Parallel Line	Serial PV Module Count	Total Power with GA Optimization (W)	Total Power without GA Optimization (W)
<b>SB3000 (3.2kW)</b>	8	6	16	5382297.52	5019983.15
<b>SB 6000US 11-277VAC (6.5kW)</b>	4	12	16	5389954.0	4914342

In two different simulations realized according to 768 PV modules, connection methods are designed in 2 different combinations. It was observed that the obtained power value increased when the number of parallel connections between PV modules increased. In the case of the SB3000 inverter type, an improvement of 7.2% was obtained when the genetic algorithm was applied, and in the case of the SB 6000US 11-277VAC inverter type, an improvement of 9.678% was obtained when the genetic algorithm was applied.

## **VII. CONCLUSION**

In this study, genetic algorithm technology applied computerized simulation process was performed in order to find the optimal solar panel combination with using the meteorological information of Isparta, technical data of various solar panels, and intra-year random shadow effect calculations. Depending on simulation results, if PV panels application is made on the curved space truss roof system, the highest efficiency will be obtained from the PV panels. By using genetic algorithms as the optimization technique, the application to obtain the most suitable PV array connection has been developed. The highest amount of power and efficiency to be produced throughout the year is calculated using the genetic algorithm. For the future works different algorithms and optimization technics can be applied.

## **VIII. REFERENCES**

- [1] O. M. Pisirir and O. Bingol, "Industrial PC based heliostat control for solar power towers," *Acta Physica Polonica A*, vol. 130, no. 1, pp. 36–40, 2016.
- [2] O. Bingol and B. Ozkaya, "Analysis and comparison of different PV array configurations under partial shading conditions," *Solar Energy*, vol. 160, no. 15, pp. 336–343, 2018.
- [3] S. K. Sahoo, "Renewable and sustainable energy reviews solar photovoltaic energy progress in India: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 927–939, 2016.
- [4] V. Khare, S. Nema, and P. Baredar, "Solar-wind hybrid renewable energy system: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 23–33, 2016.
- [5] L. Tripathi, A. K. Mishra, A. K. Dubey, C. B. Tripathi, and P. Baredar, "Renewable energy: An overview on its contribution in current energy scenario of India," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 60, pp. 226–233, 2016.
- [6] O. Ellabban, H. Abu-Rub, and F. Blaabjerg, "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 748–764, 2014.
- [7] N. Kannan and D. Vakeesan, "Solar energy for future world: - A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 1092–1105, 2016.
- [8] Y. Wu and Y. Xiao, "Steel and glulam hybrid space truss," *Eng. Struct.*, vol. 171, no. February, pp. 140–153, 2018.
- [9] B. Gül, G. Uzunboz, Z. Duran, Ş. Kaya, M. F. Çelik ve U. Aydar, "Çatı kafes sistemlerinin lazer tarayıcı yardımı ile modellenmesi," *5.Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2014. [Çevrimiçi]. Erişim: [http://uzalcbs.org/wp-content/uploads/2016/11/2014\\_015.pdf](http://uzalcbs.org/wp-content/uploads/2016/11/2014_015.pdf)
- [10] A. Firatoglu and B. Yesilata, "Investigation of optimum design and operation conditions of

photovoltaic systems with MPPT,” *DEU Journal of Science and Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 147–158, 2003.

[11] E. Karatepe, M. Boztepe, and M. Colak, “Development of a suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded solar cells,” *Solar Energy*, vol. 81, no. 8, pp. 977–992, 2007.

[12] A. Mutlu, “Fotovoltaik çatı sistemlerinin tasarımı için bir model önerisi,” Yüksek Lisans tezi, Mimarlık Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.

[13] Y. J. Wang and P. C. Hsu, “Analytical modelling of partial shading and different orientation of photovoltaic modules,” *IET Renew. Power Gener.*, vol. 4, no. 3, pp. 272–282, 2010.

[14] C. Deline, A. Dobos, S. Janzou, J. Meydbray, and M. Donovan, “A simplified model of uniform shading in large photovoltaic arrays,” *Solar Energy*, vol. 96, pp. 274–282, 2013.

[15] M. Balato, L. Costanzo, and M. Vitelli, “Series-Parallel PV array re-configuration: Maximization of the extraction of energy and much more,” *Appl. Energy*, vol. 159, pp. 145–160, 2015.

[16] M. Seyedmahmoudian, S. Mekhilef, R. Rahmani, R. Yusof, and E. T. Renani, “Analytical modeling of partially shaded photovoltaic systems,” *Energies*, vol. 6, no. 1, pp. 128–144, 2013.

[17] A. M. Eltamaly, “Performance of smart maximum power point tracker under partial shading conditions of photovoltaic systems,” *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 7, no. 4, 2015.

[18] O. Bingol, B. Ozkaya, and S. Pacaci, “Comparison of fuzzy logic and perturb&observe control in maximum power point tracing for photovoltaic system using buck converter,” *Mugla J. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 51–51, 2017.

[19] R. Rajesh and M. Carolin Mabel, “A comprehensive review of photovoltaic systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 231–248, 2015.

[20] U. Yilmaz, A. Kircay, and S. Borekci, “PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. April 2016, pp. 994–1001, 2018.

[21] A. Orbay and K. Savasir, “A search for the effectiveness comparison-by various criteria-of vault shaped double layered space trusses,” *DEU Journal of Science and Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 39–49, 2015.

[22] B. Kiriş, “Uzay kafes çatı sistemlerinde fotovoltaik panellerden genetik algoritma ile maksimum elektrik enerjisi elde edilmesi,” Yüksek Lisans tezi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2016.

[23] D. Thomas and B. C. Kooor, “A genetic algorithm approach to autonomous smart vehicle parking system,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 125, pp. 68–76, 2018.

[24] U. Erkut, “Genetik algoritmalar ile portföy performans eniyilemesi için teknik analiz göstergesi seçimi,” Yüksek Lisans tezi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.

[25] J. F. Gonçaves, J. J. De Magalhães Mendes, and M. G. C. Resende, “A hybrid genetic algorithm for the job shop scheduling problem,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 167, no. 1, pp. 77–95, 2005.


[26] V. Bapuji, R. Naveen Kumar, A. Govardhan, S. S. V. N. Sarma, “Soft computing and artificial intelligence techniques for intrusion detection system,” *Netw. Complex Syst.*, vol. 2, no. 4, pp. 24–32, 2012.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Recovery of Iron from High-Iron Hot Rolled Mill Scales by Direct Reduction Technique

 Engin ÇEVİK<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Metallurgy And Materials Engineering, Engineering Faculty, Karabük University, Karabük, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: engincevik@karabuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.841486

### ABSTRACT

In this study, the integrated iron and steel plant mill scales were prepared to concentrate in different ratios by blending with hematite character ore. Carboxymethyl cellulose (CMC) was used as a binder and coke will be used as a reductant. The calcite was added in such a way that the basicity ratio is 0.7. The pelletizing machine was pellet the blends containing the mill scales at different ratios and then drying at a temperature of 150 °C. 28 kg/pellet compressive strength was obtained in the pellets prepared from 100% mill scales. As the amount of ore increased to 75%, 45 kg/pellet was reached with a 50% increase in compressive strength. After compression tests, dried pellets were subjected to reduction at 3 different temperatures (1200, 1300, and 1400 °C), and their reduction degrees were calculated based on oxygen loss. The highest reduction degree (82%) was obtained at 1400 °C from the completely prepared with mill scales.

**Keywords:** Mill Scales, Direct reduction, Hematite

## Doğrudan İndirgeme Tekniğiyle Yüksek Demirli Sıcak Haddehane Tufalinden Demirin Geri Kazanımı

### ÖZET

Bu çalışmada, hematit karakterli demir cevheri ile entegre demir çelik fabrikası haddehane tufali farklı oranlarda harmanlanarak hazırlanmıştır. Bağlayıcı olarak CMC ve indirgeyici olarak ise kok kullanılmıştır. Bazı oranları 0.7 olacak şekilde kalsit ilave edilmiştir. Peletleme makinesi ile farklı oranlarda haddehane tufali içeren karışımlar pelet haline getirilmiş ve ardından 150 °C'de kurutulmuştur. % 100 haddehane tufalinden hazırlanan peletlerde 28 kg / pelet basma dayanımı elde edilmiştir. Cevher miktarı arttıkça basma dayanımında % 50 artışla 45 kg / pelet'e ulaşılmıştır. Basma testlerinden sonra, kurutulmuş peletler 3 farklı sıcaklıkta (1200, 1300 ve 1400 °C) indirgenmeye tabi tutulmuş ve oksijen kaybına göre indirgenme dereceleri hesaplanmıştır. En yüksek indirgenme derecesine (% 82) 1400 °C 'de tamamen haddehane tufali ile hazırlanan peletlerde ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Haddehane tufali, Doğrudan indirgenme, Hematit

## **I. INTRODUCTION**

Raw steel production assessed as the development indicator of the countries has started to be conducted at great dimensions together with the industrial revolution. According to Brussels centered World Steel Association (Worldsteel) 2018 raw steel production data, global raw steel production was realized as 1 billion 808,6 million tons by increasing 4,6% when compared to the previous year in 2018. All these developments bring together various environmental problems. When today's iron and steel production technologies are taken into consideration; a solid waste amount of 400 kg per ton of steel occurs. Almost 80% of these occurring wastes consist of slags and these are used as raw materials in some sectors such as cement [1]. Other wastes (mill scale, blast furnace flue dust, etc.) are stored within the waste areas and cause secondary emissions within the plant.

Mill scale wastes qualified as nonhazardous are one of the important problems of the companies conducting activities in the iron and steel sector. Mill scale wastes are among the wastes with high economic value due to their high iron content. The valuable compounds within the mill scale are reused and could be gained to the economy after using the mill scale wastes again. Also; the reuse of the mill scale wastes could help the protection of nature in the production of the products whose raw material is obtained from nature. Re-use of the mill scale with a sustainable production understanding is very important both in terms of the environment and human health and gaining a waste occurring in the iron and steel sector back to the economy.

In this context, the direct reduction method comes to the forefront in the assessment of the mill scale and similar wastes. Products with high iron content produced with this method are assessed as an alternative to scrap both in their EAF and BOFs. As an alternative ironmaking route; such as FASTMET rotary hearth processes; the use of composite pellets has become a popular subject for studies conducted in recent years [2-9]. In the production of composite pellets; silica-free organic binders, such as CMC, starch, and dextrin are alternative binders to bentonite [4,10,11].

Period, basicity ratio, and temperature are also very important in the failure of the provision of optimum reduction in the prepared pellets [12,13,14,1]. In the study conducted by Birol in 2007, it has been specified that the thesis of Roodsari F.M. and Conochie, D.S. as the fact that "the separation of slag and metal becomes easier as basicity ratio increases" needs optimization and the best results have been attained from the pellets with the basicity ratio of 0.70 [13]. It has also been reported by Birol that 1350 °C is not sufficient for reduction, the separation of the desired metal and slag could only be attained at 1400 °C and 15 minutes is sufficient for the reduction and preheating [13]. In the study conducted by Kawatra and Anameric, the reduction behavior of magnetite ore has been examined at high temperatures (1450 °C-1475 °C) and the results have been compared to blast furnace pig iron. They have reached a metallization degree of 94% as a result of their study [12].

In the conducted examinations, the studies of only a few researchers have been encountered on the recycling of the mill scale. In this study; both the direct recyclability of mill scale and its joined assessability with hematite character ore have been examined by keeping the reduction period and basicity ratio stable.

## **II. EXPERIMENTAL**

The following materials were used for preparing the green pellets: mill scales, iron ore, CMC, coke coal, limestone. Mill scales, coke coal, limestone, and iron ore were ground separately in a laboratory ball mill to get the required fineness for pelletizing. The chemistry of all materials is given in Table 1. The used mill scale has very high iron content and contains too low impurity. Hematite ore is an ore rich in iron tenor and its high SiO<sub>2</sub> content causes gang formation in high ratios. Green pellets were prepared

using a laboratory balling disc with a diameter of 600 mm and a tilting angle of 45° at 30 rpm. The amount of ingredients added for preparing green pellets with varying mill scales and hematite is shown in Table 2.

**Table 1.** Chemical composition of materials (a) Mill scales and hematite ore (b) Coke coal (c) Calcite used for pelletizing.

	Mill Scale (%)	Hematite Ore (%)	Coke	
			Moisture (%)	4.07
			Ash (%)	14.16
			Volatile Matter (%)	0.59
			Fixed Carbon (%)	85.25
			Sulfur (%)	0.57
			Calorie (kcal/kg)	6789
			(b)	
			Calcite	
			CaCO <sub>3</sub>	99.07
			MgO	0.43
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03
			SiO <sub>2</sub>	0.02
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03
			CO <sub>2</sub>	42.4
			Glow Loss	43.23
			(c)	

**Table 2.** Ingredients of green pellets with varying amounts of components.

Sample	Fe/C	Mill Scales		Hematite		Coke		CaCO <sub>3</sub>		Basicity	CMC	Weight of Blend (g)
		(%)	Weight (g)	(%)	Weight (g)	(%)	Weight (g)	(%)	Weight (g)			
S1	3	77.41	600	0	0	20.9	162.0	1.68	13.03	0.7	38.8	775.0
S2	3	56.84	450	18.9	150	19.64	155.4	4.56	36.13	0.7	39.6	791.6
S3	3	37.12	300	37.1	300	18.42	148.9	7.33	59.24	0.7	40.4	808.1
S4	3	18.19	150	54.6	450	17.25	142.3	9.98	82.34	0.7	41.2	824.6

In the drop tests ; the produced pellets have been left to free fall on a steel plate from a height of 50 cm have been applied to 10 ea. samples to determine their strengths and they have been repeated until the moment of their breakage. Afterward, the pellets have been subjected to a drying process of 2 hours and after that, a compression test at a speed of 5 mm/min has been applied to 10 ea. samples using Zwick branded 50 kN tension/compression test device. Attention has been paid for the samples subjecting to the test to be in the same dimensions.

Reductibility experiments have been conducted in the argon gas atmosphere using a high-temperature tube furnace at three different temperatures (1200-1300-1400 °C). Reduction degrees have been calculated by taking the oxygen loss as the basis and taking formula 1 into consideration. The XRD

analyses belonging to the iron grains occurring after the reduction have been conducted with the Rigaku Ultimate IV model XRD device.

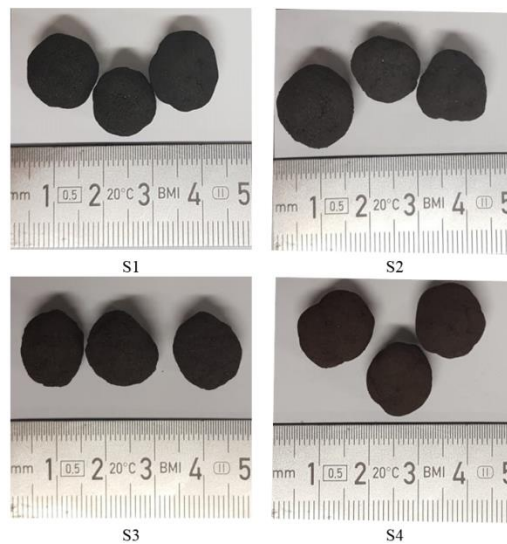
$$R(\%) = \frac{[(\text{Initial oxygen content} - \text{Final oxygen content}) / (\text{Total oxygen content})] \times 100}{(1)}$$

After the metallographic preparation of the reduced pellets, their microstructure analyses have been conducted by using the Zeiss Ultra Plus model SEM device. EDX analyses and mapping processes have been conducted from certain zones during the SEM analyses.

### **III. RESULT AND DISCUSSION**

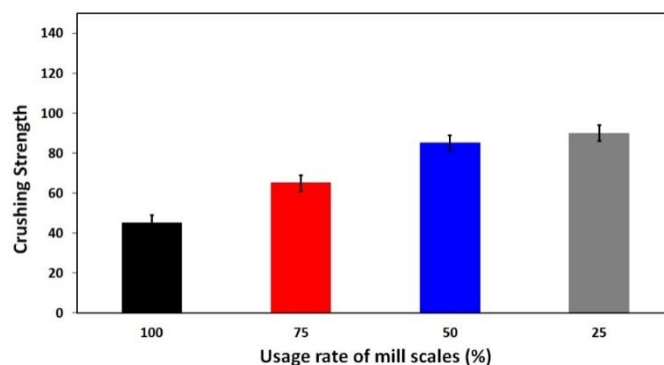
#### **A. PELLETIZING BEHAVIOR AND MECHANICAL PROPERTIES**

The pellets to have uniform grain dimension has a great importance in terms of being able to ensure the gas permeability during the reduction [1]. No negative result has been seen in the pelletizing behavior of the pellets prepared using the blends whose compounds are given in detail in Table 2 and pellets with convenient pelletization have been produced from all blends. The macro photos belonging to the produced pellets are given in Figure 1. As seen in the Figure, attention has been paid to the requirement that the grain dimension of the pellets to be subjected to the reduction process should be between 9-16 mm [3,14].



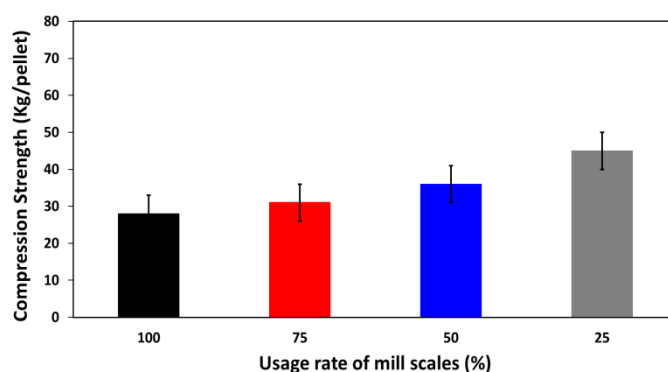
**Figure 1.** Macro photos of green pellets.

The pellets to be used in the iron production should have a certain strength both during carrying and charge to the furnace as well as ensuring convenient grain dimension. This strength is specified as 25-30 kg/pellet in the literature for the direct iron production furnaces [15]. The desired strengths have been reached in all produced pellets and the attained values are given as column charts in Figure 2 and Figure 3.



*Figure 2. Crushing strength of green pellets.*

Fe/C ratio and basicity ratio are the main ones of parameters affecting reduction. Because it has been aimed to determine the impact of mill scale amount on reduction in this study, Fe/C ratio of 3 and basicity ratio of 0,7 have been kept as stable in all compounds. While the total Fe amount decreases together with the increase in the added ore amount,  $Al_2O_3$  and  $SiO_2$  amounts increase. For this reason; while the coke coal amount necessary to be added for the purpose of ensuring convenient Fe/C ratio decreases, more  $CaCO_3$  should be added to be able to ensure the basicity ratio. It is known that coal showing hydrophobic properties negatively affects wettability.



*Figure 3. The compression strength of dried pellets. (kg/pellet).*

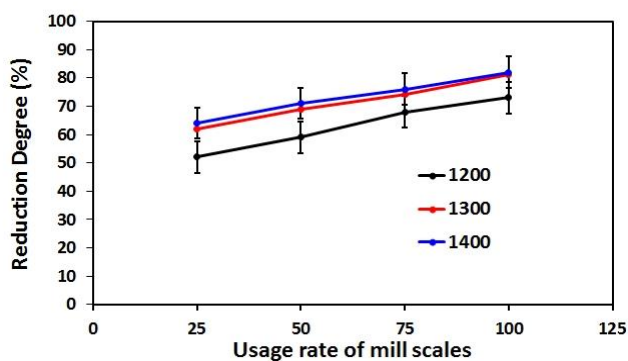
Negative affection of wettability causes to decrease in compression strength. In this way, the decrease in the added coke amount has positively affected the compression strength and as the hematite ore has increased in the total blend, compression strength has also shown an increase in parallel to this (Figure 3). The results attained from the drop and compression tests were conducted to determine the strengths of the pellets support each other.

## **B. REDUCTIBILITY**

The reduction degree graph belonging to the pellets reduced for 30 minutes at three different temperatures is given in Figure 4. When the graph is examined, it is seen that the reduction degree increases together with the increasing temperature. When the results attained at 1200 °C and the results attained at 1300 °C are compared; while an increase has been observed in the reduction degrees up to 20% in a way that it will be valid in all blends, increases in very low ratios have been recorded in the reduction degrees when the temperature has increased to 1400 °C. The increasing mill scale ratio has been seen to have positively affected the reductibility and the highest reduction degree has been reached with the blend containing 100% mill scale. The increase in the added hematite ore has been seen to have caused to decreases in the reduction degree. As seen from XRF (Table 1a) analyses; this situation is foreseen to have been caused by  $SiO_2$  content by the ratio of 12,62% in the ore. The fayalite layer that may stem from Dogantepe gang minerals has been detected to have prevented reduction [1]. Such that;

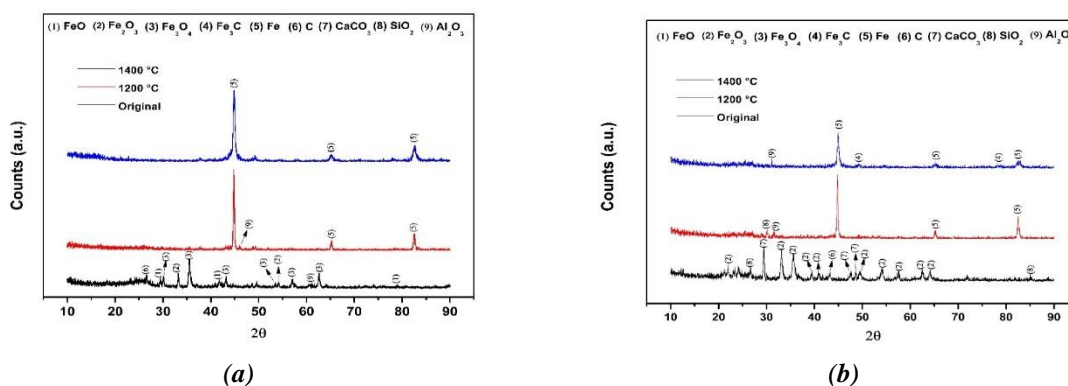


it is considered that the occurring fayalite ( $\text{FeSiO}_4$ ) phase covers the iron oxide surface and slows down reduction [16-17].



**Figure 4.** Reduction degree of pellets at different temperatures.

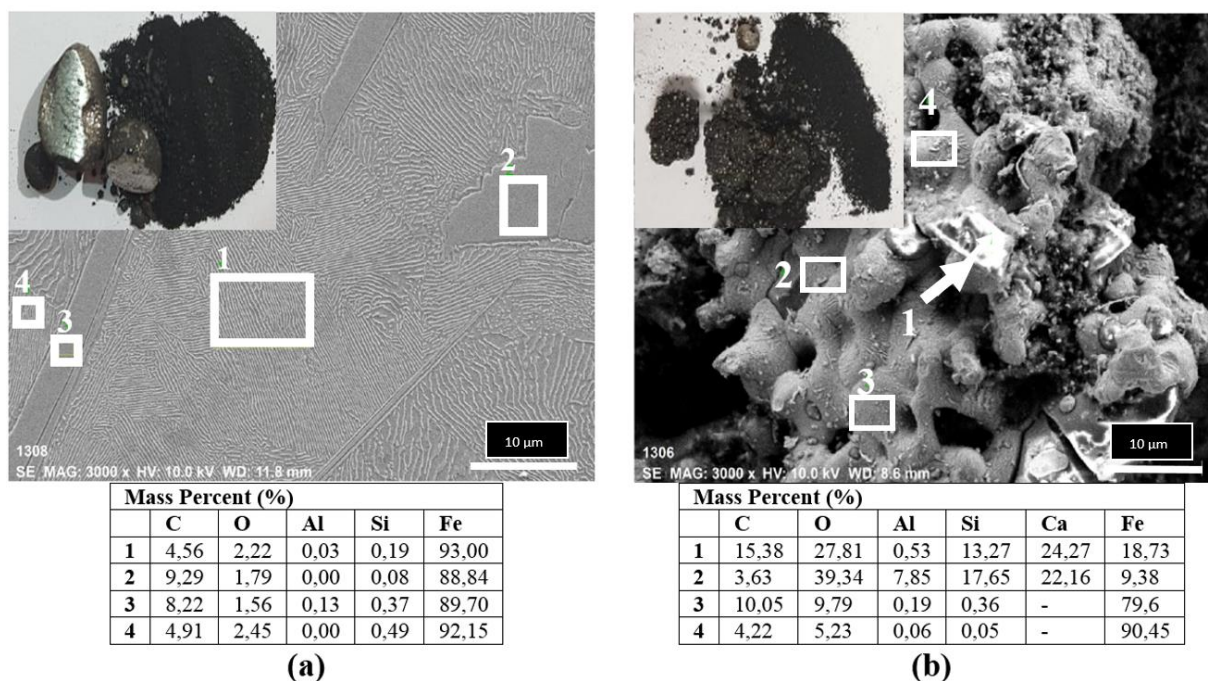
XRD graphs also support the reduction results. When XRD graphs in Figure 5a are considered, it is seen that the oxide iron minerals observed in blend no. 1 before reduction become free after reduction at 1200 and 1400 °C.



**Figure 5.** XRD analysis of (a) S1 and (b) S4 before and after the reduction tests.

When Figure 5b is considered; XRD analyses of the blend no. 4 conducted before the reduction and after the application of the reduction process at the temperature of 1200-1400 °C temperature are seen. It is seen that reduction has been ensured again in great ratios in iron minerals at 1200 °C, but alumina silicate structures have also been observed in the composition.  $\text{SiO}_2$  content has not been observed at 1400 °C, but it has been proven that  $\text{Al}_2\text{O}_3$  structures still protect their existence.

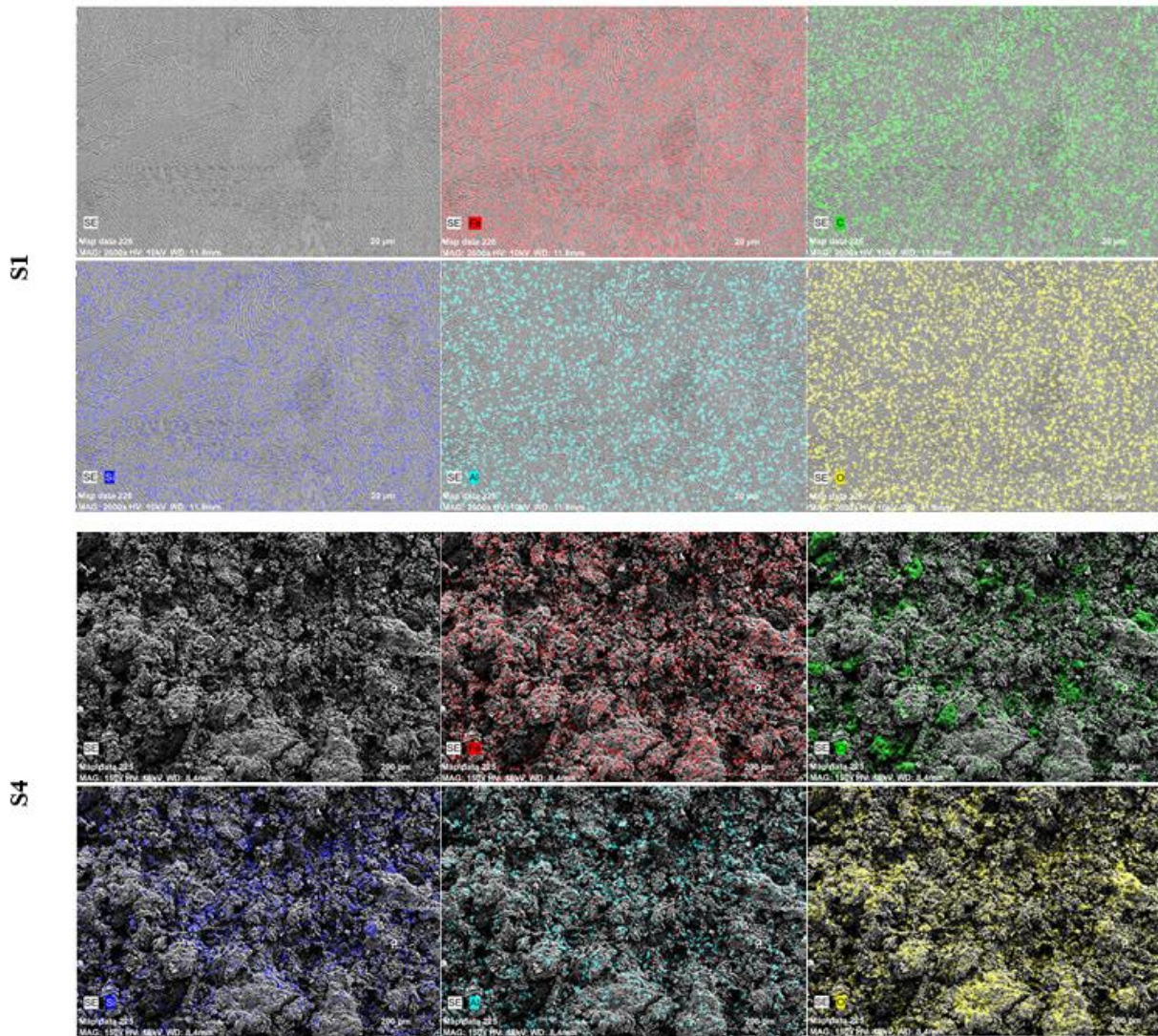
The macro photos taken after reduction and the conducted SEM and EDX analyses are given in Figure 6.



**Figure 6.** SEM and EDX analysis of (a)S1 (b)S4 samples after reduction.

As seen from the macro photos; it has been seen that the iron grain production has been completely realized in the sample with S1 code and the slag and metal separation has been completely resulted in. It has been determined that the microstructure of the sample no. S1 has been dominated by iron at high ratios and this result has been supported with EDX analyses. SEM analyses conducted on this sample have shown that a structure similar to that of pig iron has been attained. It has been seen in the examinations conducted on the sample no. S4 that complete reduction has not been ensured. It has been detected in the conducted EDX analyses that there are some slag residues in some parts of the structure. Although the formation of small iron grains has been provided in both macro photos and SEM analyses, the metal-slag separation could not be completed despite the reduction temperature of 1400 °C.

Finally, in the conducted mapping analyses; while Fe is dominant at a great ratio in the sample with S1 code, Si and O are dominant in the sample with S4 code. This result supports our hypothesis at the beginning and it has shown that the production of iron grain is more efficient without making any blend with any ore from mill scale (Figure 7).



*Figure 7. Mapping analysis of pellets after reduction tests.*

## **IV. CONCLUSION**

In this study, pellets from blends containing mill scale at 4 different ratios (100-75-50-25%) have been successfully produced. While the highest compression strength has been attained from the pellets produced from the blend with S4 code containing 25% mill scale, the minimum compression strength specified in the literature has been provided in the pellets produced from all blends. While the reduction tests have shown that the hematite ore added to the mill scale negatively affects the reduction, the highest reduction degree has been observed in the pellets with S1 code containing 100% mill scale.

**ACKNOWLEDGMENT:** This research was financially supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Karabük University grant no. KBUBAP-17-YL-270.

## V. REFERENCES

- [1] G. Doğanıepe, “Investigation of hematite iron ores and blast furnace dusts's availability in the sponge iron production,” Master thesis, Institute of Science, Karabuk University, Karabuk, Turkey, 2013.
- [2] L. Yi, Z. Huang, T. Jiang, R. Zhong, and Z. Liang, “Iron ore pellet disintegration mechanism in simulated shaft furnace conditions,” *Powder Technol.*, vol. 317, pp. 89-94, 2017.
- [3] E. Cevik, H. Ahlatci, and Y. Sun “Characterization and reduction behavior of cold-bonded composite pellets for direct reduction using an organic binder,” *Metallurgist*, vol. 57, no 5-6, pp. 468-477, 2013.
- [4] S. Devasahayam, “A novel iron ore pelletization for increased strength under ambient conditions,” *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 17, pp. 1-7, 2018.
- [5] H. M. Ahmed, N. Viswanathan, and B. Bjorkman, “Composite pellets- A potential raw material for iron making,” *Steel Research Int.*, vol. 85, no 3, pp. 293-306, 2014.
- [6] C. Rubach, “World steel recycling in figures 2006 – 2010 steel scrap – a raw material for steelmaking,” *Bureau of International Recycling*, pp. 1-20, 2011.
- [7] T. C. Eisele and S. K. Kawatra, “A review of binders in iron ore pelletization,” *Mineral Processing & Extractive Metallurgy Review*, vol. 24, no 1, pp. 1-89, 2010.
- [8] I. Kaboyashi, Y. Tanigaki, and A. Uragami, “A new process to produce iron directly from fine ore and coal,” *Ironmaking Conference Proceedings*, Osaka, Japan, 2001, pp.649-657.
- [9] I. F. Kurunov, “The direct production of iron and alternatives to the blast furnace in iron metallurgy for the 21st century” *Metallurgist*, vol. 54, no 5-6, pp. 335-342, 2010.
- [10] K. S. Singh and T. Krishnan, “Reduction kinetics of iron ore pellets and the effect of binders,” Master thesis, Department of Metallurgical and Materials Engineering National Institute of Technology, Rourkela, India, 2008.
- [11] R. Robinson, “High temperature properties of by-product cold bonded pellets containing blast furnace flue dust,” *Thermochimica Acta*, vol. 432, no 1, pp. 112-123, 2005.
- [12] B. Anameric and S. K. Kawatra, “The microstructure of the pig iron nuggets”, *ISIJ International*, vol. 47, no 1, pp. 53-61, 2007.
- [13] B. Birol, “The production of composite pellets and iron nuggets from Divrigi pellet concentrate” Master Thesis, Institute of Science, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, 2007.
- [14] G. Önkibar, “Pig iron production by direct reduction method from integrated iron and steel plant’s mill scales,” Master thesis, Institute of Science, Sakarya University, Sakarya, Turkey, 2006.
- [15] B. B. Agrawal, K. K. Prasad, S. B. Sarkar, and H. S. Ray, “Cold bonded ore–coal composite pellets for sponge ironmaking Part 1 Laboratory scale development,” *Ironmaking Steelmaking*, vol. 27 no 6, pp. 421-425, 2000.
- [16] R. Robinson, “High temperature properties of iron and steel making by-product cold bonded pellets,” *Nordic Recycling Day*, Mimer Ciru Centre, Sweden, 2005, pp. 1-15.



[17] E. Mousa, D. Senk, and A. Babich, "Reduction of pellets-nut coke mixture under simulating blast furnace conditions," *Steel Research Int.*, vol. 81, no 9, pp. 706-715, 2010.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Antifungal Activity of Soil *Streptomyces* Isolates Against *Cryptococcus neoformans*

 Gorkem DULGER<sup>a,\*</sup>,  Basaran DULGER<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Medical Biology, Faculty of Medicine, Düzce University, Düzce, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Biology, Faculty of Arts and Science, Düzce University, Düzce, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: gorkemdulger@yandex.com

DOI: 10.29130/dubited.862551

### ABSTRACT

In this study, 26.5% of 128 different isolates of *Streptomyces* recovered from soils in Duzce province, Turkey showed antifungal activity against *Cryptococcus neoformans* ATCC 90112. Considering the diameter of the inhibition zone formed on the agar plate, isolates were divided into four sections: section 1 (5-10 mm, slightly-active); section 2 (11-15 mm, moderately-active), section 3 (16-25 mm, highly-active) and section 4 (26-35 mm, ultra-active). It is determined that 3 isolates in section 4 may be a source of novel antibiotic against Cryptococcosis.

**Keywords:** *Streptomyces*, Antifungal Activity, *Cryptococcus neoformans*

## Toprak *Streptomyces* İzolatlarının *Cryptococcus neoformans* Kültürlerine Karşı Antifungal Aktivitesi

### ÖZET

Bu çalışmada, Düzce ili topraklardan elde edilen 128 farklı *Streptomyces* izolatlarının % 26,5'inin *Cryptococcus neoformans* ATCC 90112 mayasına karşı antifungal aktivite gösterdiği saptanmıştır. Agar plağında oluşan inhibisyon bölgesinin çapı dikkate alınarak izolatlar dört bölüme ayrılmıştır. Buna göre, bölüm 1 (5-10 mm, hafif aktif); bölüm 2 (11-15 mm, orta derecede aktif), bölüm 3 (16-25 mm, yüksek derecede aktif) ve bölüm 4 (26-35 mm, ultra aktif) olarak belirlenmiştir. Bölüm 4'teki 3 izolatın ise kriptokokkoz hastalığına karşı yeni bir antibiyotik kaynağı olabileceği saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Streptomyces*, Antifungal Aktivite, *Cryptococcus neoformans*

## **I. INTRODUCTION**

Antimicrobial compounds are produced by quite a lot of organisms (bacteria, fungi and plants), the Actinomycetes are the most capable of these groups of organisms [1]. Approximately 23,000 bioactive secondary metabolites manufacturing by microorganisms have been reported, and more than 10,000 of these compounds are produced by Actinomycetes, representing 45% of all bioactive microbial metabolites discovered [2].

Many scientists today are looking for new antibiotics from different habitats. In addition, the investigations on Actinomycetes are quite insufficient in Turkey. Quite a few studies have so far been done to isolate and evaluate Actinomycetes. The purpose of this study is to isolate, characterize and screen antibiotic-manufacturing *Streptomyces* species from the soil samples. Besides, the purpose was to determine the antifungal effects of the isolates against *Cryptococcus neoformans* ATCC 90112.

## **II. MATERIALS AND METHODS**

### **A. SAMPLING, ISOLATION AND CHARACTERIZATION**

Soil sampling, collection, isolation and characterization of *Streptomyces* were done according to the procedure described by Saadoun and Al-Momani [3].

### **B. ANTIFUNGAL ACTIVITY**

Antifungal activity was performed by Bauer-Kirby method [4] against *Cryptococcus neoformans* ATCC 90112. Isolates were developed on Oatmeal Agar (Oxoid) for fourteen days, then three discs (6 mm in diameter) were transplanted to Nutrient Agar (Oxoid) previously inoculated with the test microorganism and incubated at  $27\pm 0.1$  °C. Inhibition zones were visually detected after 48 h. The extend of the inhibitory effect of the active isolates was divided into 4 sections according to the diameter of the inhibition zone on the agar and as follows: section 1 (5-10 mm, slightly-active); section 2 (11-15 mm, moderately-active), section 3 (16-25 mm, highly-active) and section 4 (26-35 mm, ultra-active).

## **III. RESULTS AND DISCUSSION**

Actinomycetes are the top antimicrobial compound manufacturers [5]. The primary antibiotic manufacturing microorganisms used by the pharmaceutical industry are species belonging to the *Streptomyces* genus. In addition, these strains are responsible for over 60% of known antibiotics. In addition, 15% of it consists of species related to other Actinomycetes genera [6], [7].

The importance of antibiotics in antifungal therapy prompted us to determine the activity of these isolates against *Cryptococcus neoformans* ATCC 90112. As shown in Table 1, the antifungal activity against *Cryptococcus neoformans* ATCC 90112 was shown by 26.5% of the *Streptomyces* isolates. Those isolates that shown high activity (16-35 mm inhibition zones) were distributed into 4 sections and were further characterized culturally and morphologically (Table 2). Test results revealed that most of the isolates (16 isolates, 47%) were belonged to section 1 (5-10 mm), followed by section 2 (12 isolates), (11-15 mm, %32), section 3 (4 isolates), (16-25 mm, 11.7%) and section 4 (3 isolates), (26-35 mm, 8.8%), respectively.

Although various studies have been reported on screening and identification of *Streptomyces* from all around Turkey and the other countries, reviewing provided data has demonstrated that not yet

comprehensive survey on this issue has been conducted. In the literature scanning, Eighteen percent of 116 *Streptomyces* isolates obtained from lands in the north of Jordan were found to have activity against *Candida albicans*. *Streptomyces* isolates were divided into 3 groups according to the diameter of the inhibition zone on the agar plate, and it was revealed that the group 3 ( $16 \pm 35$  mm) was quite active [3]. In previous study, 356 *Streptomyces* isolates were obtained from soil samples in the Aegean and East Black Sea regions of Turkey. 36% of these isolates were determined to be effective against *S. aureus* (20.78%), *E. coli* (2.52%), *M. luteus* (18.25%), *M. smegmatis* (22.47%) and *B. subtilis* (12.07%) [8]. In another study, 74 *Streptomyces* were isolated from the soil samples of Mugla province, Turkey. Antagonistic effect in 45.9% of the isolates was observed. 15 isolates showed potential antibacterial effects against coagulase-negative *Staphylococcus* (CoNS). In addition, it was determined that 5 isolates were found to have a strong antimicrobial effect against coagulase negative *Staphylococcus* (CoNS) and the yeast cultures (forming an inhibition zone at  $< 20$  mm) [9]. In another study on the subject, 44 Actinomycetes isolates from sediments of Caspian Sea were isolated and their antimicrobial studies was revealed by the cross streak method against two Gram positive bacteria and four Gram negative bacteria. While MN38 isolate had shown a strong antimicrobial effect against *S. aureus* ( $20.0 \pm 0.5$  mm), *B. subtilis* ( $27.0 \pm 0.2$  mm), and *E. coli* ( $20.0 \pm 0.3$  mm). MN39 isolate showed highly efficient activity against *E. coli* ( $23.0 \pm 0.4$  mm), *B. subtilis* ( $23.0 \pm 0.2$  mm), *K. pneumonia* ( $24 \pm 0.1$  mm), MN3 isolate was active against *P. aeruginosa* ( $20.0 \pm 0.2$  mm) [10]. With references to the findings obtained in this research are similar to those reported in the mentioned studies. More detailed characterization researches were carried out on the section 4 isolates belonging to potential antimicrobial effect in order to determine their secondary metabolites.

**Table 1.** Activity of different *Streptomyces* isolated against *Cryptococcus neoformans* ATCC 90112

Colour series	Number of isolates <sup>a</sup>	<i>Cryptococcus neoformans</i>
Grey	38 (29.6%)	12 (31.5%)
White	19 (14.8%)	5 (14.7%)
Yellow	21 (16.4%)	7 (20.5%)
Green	17 (13.2%)	3 (8.8%)
Red	5 (3.9%)	4 (11.7%)
Blue	2 (1.5%)	0 (0)
Variable <sup>b</sup>	15 (11.7%)	0 (0)
NAM <sup>c</sup>	11 (8.5%)	3 (8.8%)
TOTAL	128 (100%)	34 (26.5%)

<sup>a</sup> Numbers in parenthesis represent the percentage out of the total

<sup>b</sup> Variable colour: Pink, orange or violet

<sup>c</sup> NAM: No aerial mycelium

*Cryptococcus neoformans* is the agent in cryptococcal infections. It is an encapsulated yeast fungus that is common in nature. It enters the human body through the respiratory tract and causes cryptococcosis. It creates an infection in the lungs in healthy individuals that progresses with symptoms and signs similar to flu and passes spontaneously. The agent that multiplies in the lungs of immunocompromised people mixes with the blood and creates widespread infections. Although fungi can settle in all systems, it tends to settle mostly in the central nervous system (CNS). The most common clinical form is meningoencephalitis. Cryptococcosis is fatal if not treated properly. The classic drug in treatment is amphotericin B [11], [12]. The results obtained from this study indicated



that *Streptomyces* isolates especially the section 4 strains possessed significant antifungal effect against *C. neoformans* ATCC 90112. Our findings clearly indicate that the section 4 strains have strong effects against *C. neoformans* ATCC 90112.

**Table 2.** Characteristics of sections 1, 2, 3 and 4 of *Streptomyces* isolates

Strain no	Cultural characters <sup>a</sup>				Spore chain	Antibiosis <sup>b</sup> <i>Cryptococcus neoformans</i>
	AM	ME	RP	SP		
A1	Gray	+	+	+	Spiral	+ (1)
A2	Gray	+	+	-	Spiral	+ (1)
A3	Gray	-	+	+	Flexous	+ (2)
A4	Gray	-	+	+	Flexous	+ (1)
A5	Gray	+	+	+	Flexous	+ (1)
A6	Gray	+	+	-	Spiral	+ (4)
A7	Gray	+	+	-	Flexous	+ (1)
A8	Gray	-	+	+	Spiral	+ (2)
A9	Gray	-	+	+	Spiral	+ (1)
A10	Gray	-	+	-	Spiral	+ (1)
A11	Gray	+	+	-	Spiral	+ (2)
A12	Gray	+	+	-	Spiral	+ (4)
B1	White	-	-	-	Flexous	+ (1)
B2	White	-	+	-	Retinaculum apertum	+ (1)
B3	White	-	-	-	Rectus	+ (1)
B4	White	-	+	-	Flexous	+ (2)
B5	White	-	-	-	Flexous	+ (1)
C1	Yellow	-	-	-	Rectus	+ (2)
C2	Yellow	+	+	-	Flexous	+ (2)
C3	Yellow	+	+	+	Spiral	+ (3)
C4	Yellow	+	+	-	Spiral	+ (1)
C5	Yellow	-	-	-	Rectus	+ (4)
C6	Yellow	-	+	-	Spiral	+ (2)
C7	Yellow	-	+	-	Flexous	+ (1)
D1	Green	-	-	-	Retinaculum apertum	+ (1)
D2	Green	-	+	-	Flexous	+ (2)
D3	Green	-	-	-	Retinaculum apertum	+ (2)
E1	Red	-	+	-	Flexous	+ (1)
E2	Red	-	+	+	Flexous	+ (3)
E3	Red	-	-	-	Spiral	+ (2)
E4	Red	-	+	-	Flexous	+ (1)
E5	Red	-	+	-	Spiral	+ (2)
F1	NAM <sup>c</sup>	-	-	-	NAM <sup>c</sup>	+ (3)
F2	NAM <sup>c</sup>	-	+	+	NAM <sup>c</sup>	+ (3)
F3	NAM <sup>c</sup>	-	+	+	NAM <sup>c</sup>	+ (2)

<sup>a</sup> AM: Aerial mycelium colour; ME: Melanin pigment; RP: Reverse pigment; SP: Soluble pigment

<sup>b</sup> Numbers in parenthesis represent the group activity to the diameter of inhibition zone, section 1 (5-10 mm); section 2 (11-15 mm), section 3 (16-25 mm) and section 4 (26-35 mm).

<sup>c</sup> NAM: No aerial mycelium

## **IV. CONCLUSION**

As can be understood from recent literature reviews, secondary metabolites obtained from Actinomycetes are in the center of attention due to their various biological effects such as antioxidant, antitumor, antifungal, antibacterial and antiviral. In this context, three isolates of section 4 (26-35 mm) may be a source of novel antibiotics. Further studies on group 4 are needed in order to determine for secondary metabolites.

## **V. REFERENCES**

- [1] G. Gebreselema, M. Feleke, S. Samuel, R. Nagappan, "Isolation and characterization of potential antibiotic producing Actinomycetes from water and sediments of Lake Tana Ethiopia," *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, vol. 3, pp. 426-35, 2013.
- [2] J. Berdy, "Bioactive microbial metabolites: a personal view," *The Journal of Antibiotics*, vol. 58, no.1, pp. 1-26, 2005.
- [3] I. Saadoun, F. Al-Momani, "*Streptomyces* from Jordan soils active against *Agrobacterium tumefaciens*," *Actinomycetes*, vol. 8, pp. 29-36, 1997.
- [4] A.W. Bauer, W.M. Kirby, J.C. Sherris, M. Turk, "Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method," *American Journal of Clinical Pathology*, vol. 45, pp. 493-496, 1966.
- [5] H.M. Atta, "Production, purification, physico-chemical characteristics and biological activities of antifungal antibiotic produced by *Streptomyces antibioticus*, AZ-Z710," *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, vol. 5, no.1, pp. 39-49, 2010.
- [6] S. Ramesh, N. Mathivanan, "Screening of marine *Actinomycetes* isolated from the Bay of Bengal, India for antimicrobial activity and industrial enzymes," *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 25, pp. 2103-2111, 2009.
- [7] P. R. Jensen, P.G. Williams, D.C. Oh, L. Zeigler, W. Fenical, "Species-specific secondary metabolite production in marine Actinomycetes of the genus *Salinispora*," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 73, pp. 1146-1152, 2007.
- [8] A. A. Denizci, "Ege ve Doğu Karadeniz bölgesi topraklarından izole edilen aktinomisetlerden antibakteriyal antibiyotiklerin aranması ve üretimi üzerine bir araştırma", Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.
- [9] N. Sahin, A. Ugur, "Investigation of the antimicrobial activity of some *Streptomyces* isolates," *Turkish Journal of Biology*, vol. 27, pp. 79-84, 2003.
- [10] M. Mohseni, H. Norouzi, J. Hamed, A. Roohi, "Screening of antibacterial producing actinomycetes from sediments of the Caspian Sea," *International Journal of Molecular and Cellular Medicine*, vol. 2, no.2, pp. 65-71, 2013.
- [11] C. Coelho, A.L. Bocca, A. Casadevall, "The tools for virulence of *Cryptococcus neoformans*," *Advances in Applied Microbiology*, vol. 87, pp. 1-41, 2014.
- [12] R. Inci, "Kriptokok infeksiyonları," *Flora*, vol. 13, no. 2, pp. 61-71, 2008.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Assessment of UV Protection Factor of Flax, Polyester and Nylon Fabrics Treated with Zinc oxide Nanoparticles

 Nurettin ELTUĞRAL<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Metallurgical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Karabük University, Karabük, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: nurettineltugral@karabuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.876999

### ABSTRACT

In this study, influence of nano-zinc oxide treatment on the UV protection properties of the widely used apparel fabrics including flax, polyester, and nylon, were investigated by means of ultraviolet protection factor (UPF) assessment. Nanoparticle content of the flax, polyester, and nylon fabrics were determined to be 1.2, 0.9, and 1.5 wt%, respectively. The UPFs of non-treated fabrics were in the range of 1.5 to 2.2 in the entire UV region. An improvement in UPF was obtained after introducing the nanoparticles into the fabrics. Approximately a sixfold-increase in UPF ( $11.02 \pm 1.57$ ) against UV-B was recorded for nylon. Flax and polyester fabrics had nearly the same UPF values around 2.8 against UV-B, while they were close to each other ( $2.71 \pm 0.22$  and  $2.61 \pm 0.28$  for flax and polyester, respectively) against UV-A. SEM micrographs showed that nanoparticles agglomerated on flax and polyester in high extent, whereas they existed as dispersed particles at micro scale together with some slight agglomeration inside nylon.

**Keywords:** Zinc oxide nanoparticle, Textile fabrics, Ultraviolet protection factor

## Çinko oksit Nanopartiküllerle İşlem Görmüş Keten, Polyester ve Naylon Kumaşların Ultraviyole Koruma Faktörünün Değerlendirilmesi

### ÖZET

Bu çalışmada, nano-çinko oksit ile işlem görmüş keten, polyester ve naylon gibi, yaygın olarak kullanılan giyim kumaşlarının UV koruma özelliklerine etkisi ultraviyole koruma faktörü (UPF) değerlendirmesi ile araştırılmıştır. Keten, polyester ve naylon kumaşların nanopartikül içeriği sırasıyla ağırlıkça %1,2, 0,9 ve 1,5 olarak belirlenmiştir. İşlem görmemiş kumaşların UPF'leri, UV bölgesinde 1,5 ila 2,2 hesaplanmıştır. Nanopartiküllerin kumaşlara daldırılmasından sonra UPF değerinde artış yakalanmıştır. Naylon için UV-B'ye karşı UPF'de yaklaşık altı kat artış ( $11,02 \pm 1,57$ ) bulunmuştur. Keten ve polyester kumaşlar UV-B'ye karşı 2,8 civarında, hemen hemen aynı UPF değerlerine sahipken; UV-A'ya karşı birbirlerine yakın (keten ve polyester için sırasıyla  $2,71 \pm 0,22$  ve  $2,61 \pm 0,28$ ) UPF değerleri çıkmıştır. SEM mikrografları, nanopartiküllerin keten ve polyester üzerinde yüksek oranda aglomere olduğunu, ancak naylon içinde yer yer aglomerasyonla birlikte genel olarak mikro seviyede partikül halinde dağıldığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çinko oksit nanopartikül, Tekstil kumaşları, Ultraviyole koruma faktörü

Received: 08./02/2021, Revised: 05/03/2021, Accepted: 12/03/2021

## **I. INTRODUCTION**

UV protection has been an important issue for the human health as well as the textile fabrics against the hazardous radiation of UV considering the depletion of ozone layer in the earth's atmosphere. There are basically two types of ultraviolet radiation (UVR) which are UV-A (400–315 nm) and UV-B (315–290 nm) that can pass through the ozone layer and reach to the earth's surface. Having a considerably higher energy than the visible light, UVR can cause significant damage in skin and deteriorate the fibers of the textile fabrics [1], [2]. Skin cancer is considered to be the most serious long-term health effect of the UVR [3]. UV-proof textiles for apparels in the marketplace has been a growing demand in the society.

There are various factors that play important role in determining the UV-blocking properties of textile fabrics such as fabric composition (made by synthetic and natural fibers or their combinations), construction (weave or knitting which determine the porosity), thickness, dyeing, color, etc. In general, lower porosity, higher thickness, increased weight per unit area regardless of the fabric composition, dyeing, and dark color provide better protection from UVR [4]–[7]. Hence, treating textile fabrics with some chemical formulations to reduce the risk of UVR exposure has been an important task.

In recent years, advances in nanotechnology have opened new frontiers in many fields including textile finishing. Nanoparticles, which offer high durability, biocompatibility, transparency, non-toxicity, have been incorporated into consumer products, such as sunscreens, cosmetics, packagings, as well as textiles finishing including medical fabrics [8]–[11]. Zinc oxide possess a wide direct band gap (3.37 eV), absorb in the UV range, show no degradation under UVR, are inexpensive, transparent, rather stable and considered to be non-toxic and thus they are of paramount importance to study the UV-blocking properties in textile fabrics for apparels [8], [12]–[16].

Zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs), as a class of inorganic UV absorber, are superior to commercially available organic UV absorbers, which do not have enough resistance to degradation under UVR exposure, due to the aforementioned advantages [15], [17], [18]. Their UVR protection primarily depends on absorption of UV light and ability to transform it into harmless thermal energy via a photophysical process [16], [19]. Furthermore, UV-blocking ability of ZnO NPs is significantly altered by their size and morphology since unique physico-chemical properties arise at nanoscale due to large surface area-to-volume ratio. Apparently, morphology, size distribution and aggregation behavior of these nanoparticles on the treated textile fabrics influence the overall UV-blocking property [8], [20], [21]. With these unique characteristics, ZnO NPs still have the popularity in UV protection strategies.

There has been several studies in the literature with regard to improve UV protection of textile fabrics such as cotton, polyester/cotton, bleached cotton with or without some extra modifications in the presence of ZnO NPs which are prepared through wet chemical synthesis, sol gel technique or received as powders from commercial sources. Consequently, improved UV-blocking properties are pointed out with different efficiencies of ultraviolet protection factor (UPF) for fabrics treated with ZnO NPs [8], [11]–[14]. UPF is a key parameter, like the sun protection factor for sunscreens, to evaluate the degree of UV-blocking properties of textiles and clothing from UV radiation. UPF value increases as the fabrics' UV-blocking property is improved [2]. UPF ratings can be found on a special label for textiles finishing and seasonal fabrics.

In this study, it is aimed to assess the degree of UVR protection provided by ZnO NPs impregnated into the three textile fabrics: flax, polyester, and nylon. The chosen apparel fabrics are widely used worldwide in clothing in the marketplace. UPFs of flax, polyester, and nylon fabrics with variable

ZnO NP content were determined using spectrophotometric method. Absorbance data were recorded for both treated fabrics and non-treated ones for control. UPF was determined using the transmittance values of the samples. Morphology, structural details of the synthesized nanoparticles impregnated into the fabrics were investigated through scanning electron microscopy (SEM). Improvements in UVR protection were determined by comparing the results with that of control fabrics which were not treated with any ZnO NPs.

## **II. MATERIALS AND METHODS**

### **A. SYNTHESIS OF ZnO NPs**

In this study, wet chemical method was employed to synthesize ZnO NPs following a procedure reported in the literature [8], [22]. Accordingly, 5.5 g ZnCl<sub>2</sub> (> 98%, sigma-aldrich) was dissolved in 200 mL of deionized water at 90 °C placed in an oil bath. Then, 16 mL 5 M NaOH (ACS reagent, > 97%, pellets from sigma-aldrich) was added dropwise to the zinc chloride solution for 3.5 min under continuous stirring. The mixture was then left to stir for 10 min. Next, the white particles were separated by discarding the supernatant. The remaining concentrated suspension was washed with excess amount of deionized water (1:10 ratio) five times, and the supernatant was discarded each time after washing. The presence of formed NaCl in the product was checked by adding AgNO<sub>3</sub> to ensure all NaCl has been removed from the product. Then, the obtained precipitate was dispersed in 2-propanol (from isolab) and ultrasonicated for 20 min in order to get readily dispersed particles. This was done to disrupt aggregates which particles tend to form at nanoscale. The particles were then collected in the precipitate form by centrifugation at 4000 rpm for 5 min. This step is repeated for three times to get a pure product. Then, the precipitate was heat treated at 250 °C for 5 h to obtain ZnO NPs. FTIR spectroscopy (NICOLET iS5, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) was used to characterize the chemical structure of the ZnO NPs. The spectra were recorded in the range of 4000–500 cm<sup>-1</sup> with a resolution of 4 cm<sup>-1</sup> and 16 scans. Morphology and structural properties of the as prepared nanoparticles were characterized by scanning electron microscopy (SEM). SEM measurements were conducted on a Carl Zeiss Ultra Plus Gemini FESEM scanning electron microscope, at accelerating voltage in the range of 5–10 kV, equipped with an energy dispersive X-ray (EDX) spectrometer. EDX spectroscopy was conducted to identify the elemental composition of the nanoparticles. All tested samples were coated with a thin layer of gold prior to analysis to avoid charging during the interaction of irradiated electrons with the investigated sample.

### **B. TREATING FABRICS WITH ZnO NPs**

Three types of fabrics, namely flax, polyester, and nylon with woven structures were used to study UV protection behavior with ZnO NPs. The fabrics were provided from a local clothing store and they were washed and dried prior to use. Firstly, fabrics were cut into 5×5 cm pieces and weighed. Secondly, ZnO NP dispersion (5 wt%) in 2-propanol was prepared for each tested fabric. Each fabric was immersed in nanoparticle dispersion so that they got wet, and gently shaken for 10 min. at room temperature. Thirdly, ZnO NP-treated fabrics were dried at 130 °C for 15 min.

### **C. DETERMINING THE UPFs OF THE TESTED FABRICS**

UV-blocking property of the tested fabrics was estimated by means of UPF. It is defined as the ratio of the average effective UVR irradiance for unprotected skin ( $E_{eff}$ ) to the average effective UVR

irradiance for the skin when it is protected by the test fabric ( $E'$ ) [23] as shown in the following equation.

$$UPF = \frac{\sum_{290}^{400} E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta_{\lambda}}{\sum_{290}^{400} E_{\lambda} S_{\lambda} T_{\lambda} \Delta_{\lambda}} \quad (1)$$

Where,  $E_{\lambda}$  is relative erythemal spectral effectiveness,  $S_{\lambda}$  is the solar spectral irradiance,  $T_{\lambda}$  is the spectral transmittance of each tested fabrics, and  $\Delta_{\lambda}$  is the wavelength step [24]. A classification category of UPF for fabrics was established by the Australian/New Zealand Standard which is accepted as the most widely adopted one for the evaluation and classification of fabrics according to their sun protective properties as given in Table 1 [24].

**Table 1.** UPF classification with effective UVR transmission and protection category.

UPF range	UVR Protection category	Effective UVR transmission, %
15 to 24	Good protection	6.7 to 4.2
25 to 39	Very Good protection	4.1 to 2.6
40 to 50, 50 +	Excellent protection	$\geq 2.5$

To calculate the UPF value of the fabrics, UV protection measurement of both ZnO NP-treated and non-treated fabrics was performed using a double beam spectrophotometer (Agilent Cary 60 UV-vis spectrophotometer equipped with an integrated sphere to measure both direct and diffuse transmitted light). Each fabric sample was scanned three times by placing at right angle to the incident beam. The spectra were recorded from 290 to 400 nm by means of absorbance and transmission followed by logging the transmittance data for every 5 nm. UPF value was calculated according to the eq. 1. The average UV-B and UV-A transmittance were calculated using the eq. 2 (adopted from [24]) as shown below.

$$\text{Average UV transmittance} = \frac{T_{\lambda_1} + T_{\lambda_2} + T_{\lambda_3} + T_{\lambda_4} + \dots + T_{\lambda_n}}{n} \quad (2)$$

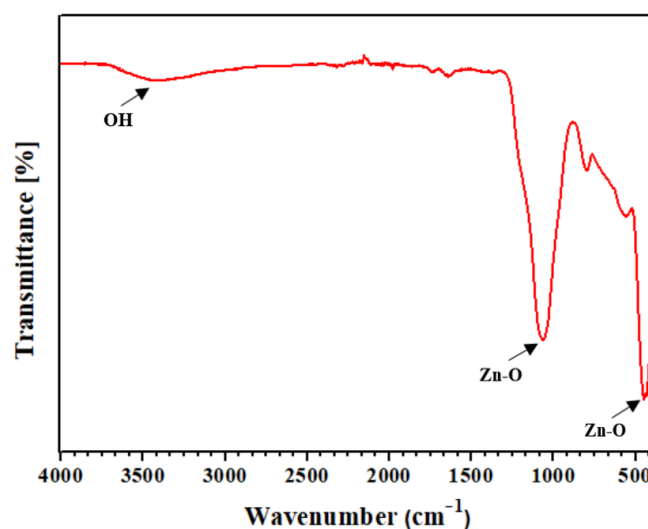
Where,  $T_{\lambda}$  is the transmittance at for every 5 nm (i.e.,  $\lambda_1 = 290$  nm,  $\lambda_2 = 295$  nm,  $\lambda_3 = 300$  nm etc.) for a given range of wavelength (UV-B: 290 to 315 nm; UV-A: 315 to 400 nm; UVR: 290 to 400 nm).

ZnO NP-treated fabrics were also investigated by SEM to observe the structure, morphology, and dispersion of the bound-nanoparticles to the fabrics.

### **III. RESULTS AND DISCUSSION**

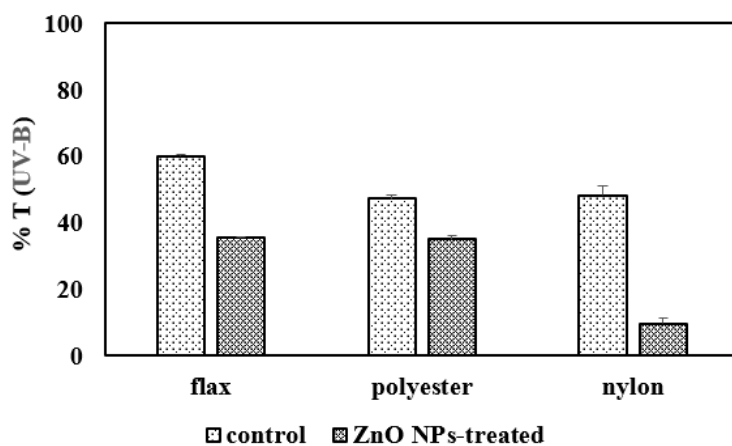
The ZnO NPs required for the treatment of the selected fabrics to improve the UV protection properties were synthesized successfully. It is reported in the literature that the method employed in this study to synthesize ZnO NPs yields nanoparticles with sizes less than 30 nm [8]. The FTIR study was carried out to reveal the purity and nature of the synthesized ZnO NPs. Figure 1 shows the FTIR spectrum of the synthesized ZnO NPs. The broad peak observed at around  $3390 \text{ cm}^{-1}$  corresponds to the OH stretching vibration that might be due to the hydroxyl groups of physically adsorbed water molecules. The peaks at  $1065$  and  $450 \text{ cm}^{-1}$  could be assigned to the characteristic absorption peaks of

Zn–O stretching vibration. These findings are similar to the results reported in the literature [25], [26]. Besides, the SEM-EDX survey (Fig. 3b) shows that ZnO NPs are elementally composed of zinc and oxygen, and this revealed that no other elements were detected.

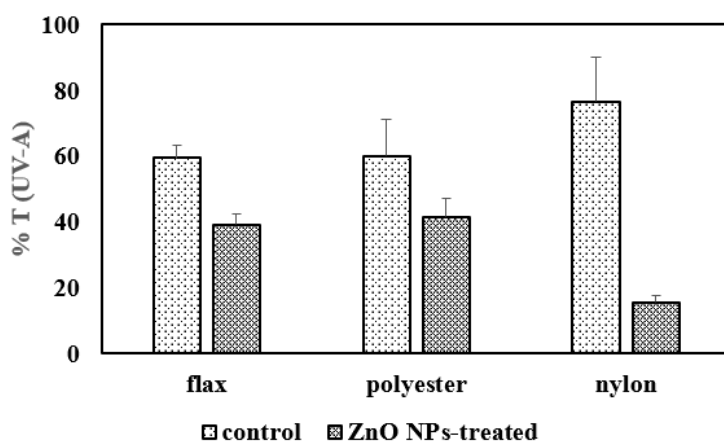


*Figure 1. FTIR spectrum of the synthesized ZnO NPs.*

ZnO NPs are considered as UV absorbers since they reflect and absorb UV light. Solar UV radiation can be categorized into UV-A (400–315 nm), UV-B (315–290 nm), and UV-C (290–200 nm). Although sunlight consists all these types of radiation, almost 98% of this radiation, which is UV-A, is passing through the atmosphere and reaching to the earth's surface. The remaining UV-B (more than 98%) and UV-C are filtered by the ozone layer [27]. In this study, UV protection provided by ZnO NPs was investigated by recording the UV spectra of the nanoparticle-treated fabrics between 400–290 nm. Same procedure was applied for control fabrics as well to avoid other factors which could be of great importance for UPF. By doing so, changes in the UV protection behavior are directly linked to the effect on nanoparticle-treating. UPF-A, UPF-B, and UV transmission values of the tested fabrics were calculated using eq.1 and 2, respectively. The UV transmittance results are shown in Figure 2. All the non-treated fabrics (control ones) showed higher UV transmittance than the ZnO NPs-treated ones between 400 and 290 nm. This indicates that ZnO NPs absorb UV light and reduces UV transmission. Between 315–290 nm, UV transmittance of nylon fabric decreased almost 80%, while that of flax decreased by nearly 20%. A slight decrease in the UV transmittance was observed for polyester fabric (Fig. 2a). Similarly, in the UV-A region shown in Figure 2b, the highest difference in UV transmittance was observed for nylon. This reveals that UV-blocking property of nylon fabric is significantly improved by the ZnO NPs. Additionally, polyester and flax fabrics showed improved UV-protection with respect to the control. Numerical values of % Transmission is provided in Table 2 for clear understanding.



(a)



(b)

**Figure 2.** Comparison of calculated UV transmittance values of the ZnO NPs-treated fabrics with the control (non-treated fabrics), between (315–290 nm) (a), and (400–315 nm) (b).

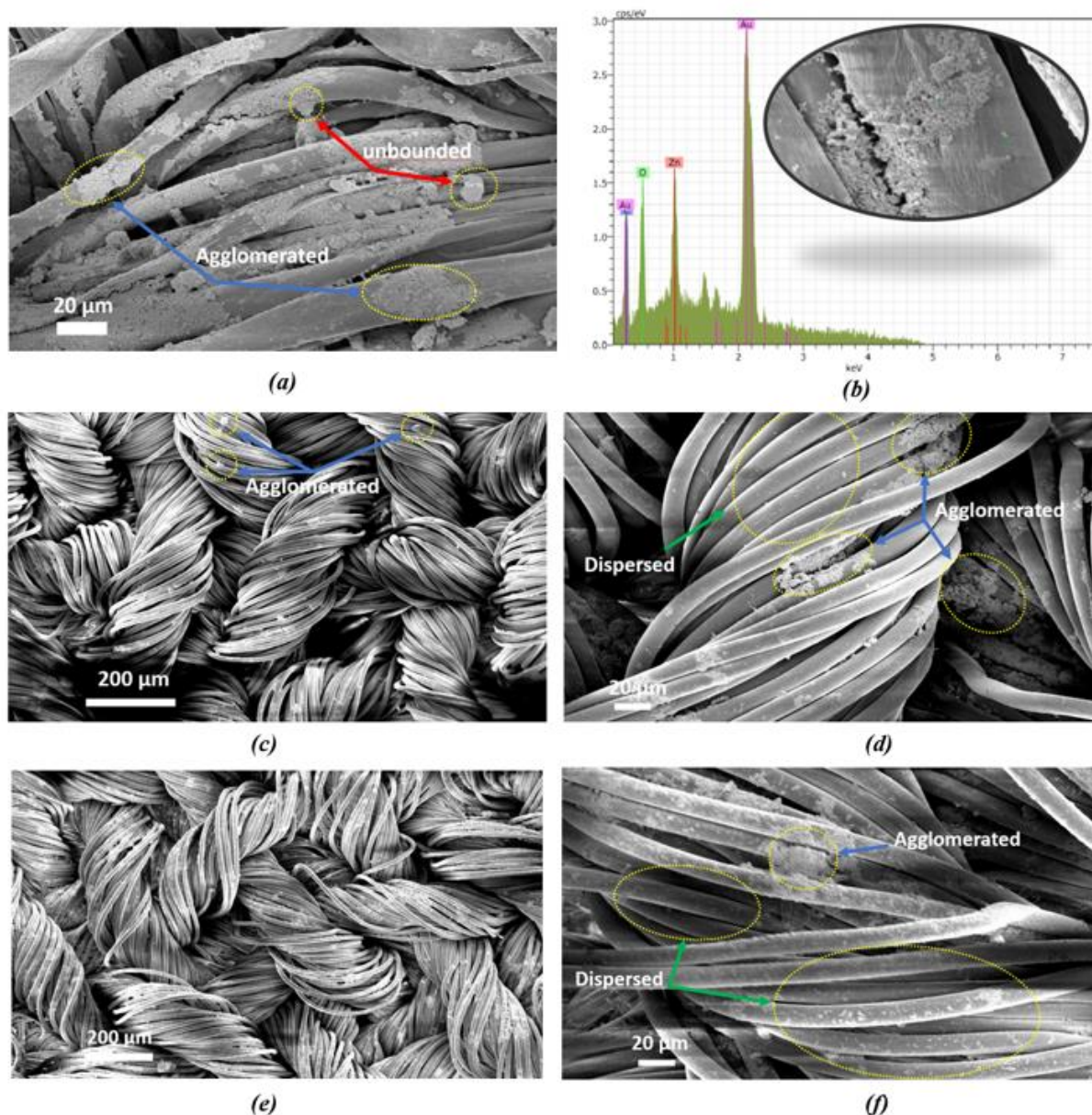
Table 2. shows the calculated UPF factors and % Transmission data of the fabrics which enabled to verify the correlation between % Transmission and UPF. The results revealed that higher UV protection can be attained by treating the fabrics with ZnO NPs, especially for nylon for which UPF increased to 11.02 from 2.12 against UV-B radiation. Although the UPF values for control fabrics (non-treated fabrics) were calculated to be rather low, the obtained data reflect comparable improvements in UV-blocking properties of flax and polyester, and confer very similar UPF values after treating with ZnO NPs. However, the calculated UPFs for the ZnO NPs-treated fabrics were out of the range of the UPF ratings listed in Table 1. Of course, UPF is strongly depended on many factors including fabric composition (made by synthetic and natural fibers or their combinations), construction (woven or knitted which are of significant importance for porosity), thickness, dyeing, color, etc., which influence the overall UPF of fabrics [4]–[7]. Textile fabrics can be manufactured with high UPFs considering the various fabrics' parameters abovesaid as a separate research study. This study instead focused on the modification of manufactured textile fabrics with ZnO NPs to further increase the UPF to end up with improved UV-blocking behavior.



**Table 2.** Calculated UPF and % Transmission values of the studied fabrics for UV-B and UV-A radiation.

Sample	UPF		% Transmission	
	UV-B	UV-A	UV-B	UV-A
Flax (control)	1.69 ± 0.02	1.72 ± 0.10	60.00 ± 0.62	59.55 ± 3.69
Flax (treated with ZnO NPs)	2.84 ± 0.03	2.71 ± 0.22	35.42 ± 0.34	39.06 ± 3.56
Polyester (control)	2.12 ± 0.06	1.87 ± 0.33	47.16 ± 1.27	59.90 ± 11.13
Polyester (treated with ZnO NPs)	2.84 ± 0.08	2.61 ± 0.28	35.03 ± 0.97	41.61 ± 5.51
Nylon (control)	2.12 ± 0.11	1.56 ± 0.25	48.28 ± 2.83	76.57 ± 13.52
Nylon (treated with ZnO NPs)	11.02 ± 1.57	7.40 ± 0.83	9.73 ± 1.76	15.53 ± 0.97

The ability of the ZnO NPs to protect the fabric against UVR is directly related to particle content, size and morphology on the treated fabric [20], [21]. Therefore, ZnO NPs-treated fabrics were both visually and morphologically characterized by SEM. Figure 3 shows the micrographs taken from the ZnO NPs-treated fabrics. As can be seen in Figure 3a, ZnO NPs can be clearly defined in the form of large aggregates (shown with blue arrows) of a few tens of micrometers. Some of them are just stacked in the fabric as unbounded flakes (shown with red arrows). Furthermore, not all the fibers were fully covered by the nanoparticles. Besides, the EDX survey (Fig. 3b) confirmed the existence of ZnO in the fabrics. Notably, similar morphology can be seen for ZnO NPs-treated polyester fabric in Figure 3c and d. However, it was noticed that the degree of agglomeration was not as high as observed in treated flax fabric. Besides, nanoparticles were also observed to disperse to some extent along the fibers. In the case of nylon, nanoparticles agglomerate to some extent but they are rather well dispersed throughout the fibers (Fig. 3e and f).



**Figure 3.** SEM micrographs of ZnO NPs-treated fabrics: flax (a) and (b); polyester (c) and (d); nylon (e) and (f).

When nanoparticles exhibit dispersion on the fibers, the extent of nanoparticles' agglomeration was confirmed to reduce. It can be concluded that the largest aggregation was seen in flax and polyester whereas it was the least in the case of nylon. These results imply that morphology of the ZnO NPs was seriously affected by the fabric type. Furthermore, the coarse particles scatter the light causing a slight absorption which means lower UV protection [15]. Therefore, SEM results suggest that UV protection improvement will be the highest for ZnO NPs-treated nylon since particles better dispersed compared to flax and polyester. It can be concluded that our findings from SEM micrographs are in good agreement with the UPF values obtained through UV spectroscopy.

Another reason that may reflect the change in UV protection behavior could be attributed to the nanoparticle content inside the treated fabrics. Interestingly, the nanoparticle contents, which were determined by calculating the difference in weight before and after nanoparticle treatment, are 1.2, 0.9, and 1.5 wt% for flax, polyester and nylon, respectively. The slight increase in the UPF of nanoparticle-treated polyester could be referred also to low nanoparticle loadings onto the flax fabric. It is noteworthy to mention that, although nanoparticle loading onto the flax was comparable to polyester

and nylon, a large amount of agglomeration could not be ascribed only to the nanoparticle loading. This implies that, nanoparticle bounding and agglomeration phenomena can be linked to the fabric's structure and composition which may possess a selective affinity towards the ZnO NPs. Nylon fabric showed the highest affinity towards ZnO NPs by means of calculated nanoparticle content (1.5 wt%) and it was observed that majority of the particles dispersed at the surface along with only partial agglomeration.

## **IV. CONCLUSION**

In this study, influence of nano-zinc oxide nanoparticle treatment on the UV protection properties for the widely used apparel fabrics, which are flax, polyester, and nylon, was investigated by means of UPF calculations. The primary conclusions are as follows: (1) all the tested fabrics treated with ZnO NPs showed improved UV absorption thus increased UPF values are obtained, (2) the highest UPF value was obtained for nylon fabric treated with the nanoparticles. UPF increased by almost sixfold, (3) Although the UPF values for the control flax and polyester were around 1.7 and 2, they had nearly the same UPFs after nanoparticle treatment. Compared to nylon, flax and polyester contained large aggregates of ZnO NPs which is presumed to limit the improvement in the UV protection property thus yielding a low UPF, (4) the higher the nanoparticle content does not signify the formation of agglomeration as a sole effect. Besides, the affinity of the fabrics towards nanoparticles is also another issue that must be considered. Although, nylon fabric had the highest nanoparticle content among the others, interestingly, SEM micrographs displayed reduced agglomeration and increased dispersion behavior which is ascribed to higher affinity of nylon towards ZnO NPs when compared to flax and polyester.

## **V. REFERENCES**

- [1] R. P. Gallagher and T. K. Lee, "Adverse effects of ultraviolet radiation: A brief review," *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, vol. 92, no. 1, pp. 119–131, 2006.
- [2] D. Grifoni, L. Bacci, G. Zipoli, G. Carreras, S. Baronti, and F. Sabatini, "Laboratory and outdoor assessment of UV protection offered by flax and hemp fabrics dyed with natural dyes," *Photochem. Photobiol.*, vol. 85, no. 1, pp. 313–320, 2009.
- [3] K. P. Lawrence, T. Douki, R. P. E. Sarkany, S. Acker, B. Herzog, and A. R. Young, "The UV/Visible Radiation Boundary Region (385–405 nm) Damages Skin Cells and Induces 'dark' Cyclobutane Pyrimidine Dimers in Human Skin in vivo," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2018.
- [4] K. Hoffmann, J. Laperre, A. Avermaete, P. Altmeyer, and T. Gambichler, "Defined UV protection by apparel textiles," *Archives of Dermatology*, vol. 137, no. 8, pp. 1089–1094, 2001.
- [5] P. C. Crews, S. Kachman, and A. G. Beyer, "Influences on UVR transmission of undyed woven fabrics," *Text. Chem. Color*, vol. 31, no. 6, pp. 17–26, 1999.
- [6] A. K. Sarkar, "An evaluation of UV protection imparted by cotton fabrics dyed with natural colorants," *BMC Dermatol*, vol. 4, no.15, pp. 1–8 , 2004.
- [7] A. K. Sarkar, "On the relationship between fabric processing and ultraviolet radiation

- transmission,” *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.*, vol. 23, no. 5, pp. 191–196, 2007.
- [8] A. Becheri, M. Dürr, P. Lo Nostro, and P. Baglioni, “Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles: Application to textiles as UV-absorbers,” *J. Nanoparticle Res.*, vol. 10, no. 4, pp. 679–689, 2008.
- [9] J. Sawai, “Quantitative evaluation of antibacterial activities of metallic oxide powders (ZnO, MgO and CaO) by conductimetric assay,” *J. Microbiol. Methods*, vol. 54, no. 2, pp. 177–182, 2003.
- [10] Y. Q. Li, S. Y. Fu, and Y. W. Mai, “Preparation and characterization of transparent ZnO/epoxy nanocomposites with high-UV shielding efficiency,” *Polymer (Guildf.)*, vol. 47, no. 6, pp. 2127–2132, 2006.
- [11] A. Fouda, S. EL-Din Hassan, S. S. Salem, and T. I. Shaheen, “In-Vitro cytotoxicity, antibacterial, and UV protection properties of the biosynthesized Zinc oxide nanoparticles for medical textile applications,” *Microbial Pathogenesis*, vol.125, pp. 252–261, 2018.
- [12] S. Vihodceva and S. Kukle, “Improvement of UV protection properties of the textile from natural fibres by the sol-gel method,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Estonia, vol. 49, no. 1, 2013.
- [13] A. Yadav *et al.*, “Functional finishing in cotton fabrics using zinc oxide nanoparticles,” *Bull. Mater. Sci.*, vol. 29, no. 6, pp. 641–645, 2006.
- [14] T. I. Shaheen, M. E. El-Naggar, A. M. Abdelgawad, and A. Hebeish, “Durable antibacterial and UV protections of in situ synthesized zinc oxide nanoparticles onto cotton fabrics,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 83, pp. 426–432, 2016.
- [15] T. Textor, “Modification of textile surfaces using the sol-gel technique,” *Surface Modification of Textiles*, Germany: Elsevier Inc., ch.9, pp. 185–213, 2009.
- [16] M. Sasani Ghamsari, S. Alamdari, W. Han, and H.-H. Park, “Impact of nanostructured thin ZnO film in ultraviolet protection,” *Int. J. Nanomedicine*, vol.12, pp. 207–216, 2016.
- [17] S. N. Nikolaeva , V. V. Ivanov, and A. A. Shubin, “The chemical precipitation and thermal decomposition as the way for producing ultrafine zinc oxide forms” *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, vol:3, no.2, pp. 153–173, 2010.
- [18] D. Hanigan *et al.*, “Trade-offs in ecosystem impacts from nanomaterial versus organic chemical ultraviolet filters in sunscreens,” *Water Res.*, vol. 139, pp. 281–290, 2018.
- [19] J. Pospíšil and S. Nešpurek, “Photostabilization of coatings. Mechanisms and performance,” *Progress in Polymer Science*, vol. 25, no. 9, pp. 1261–1335, 2000.
- [20] S. L. Schneider and H. W. Lim, “A review of inorganic UV filters zinc oxide and titanium dioxide,” *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.*, vol. 35, no. 6, pp. 442–446, 2019.
- [21] Y. J. Lee, D. S. Ruby, D. W. Peters, B. B. McKenzie, and J. W. P. Hsu, “ZnO nanostructures as efficient antireflection layers in solar cells,” *Nano Lett.*, vol. 8, no. 5, pp. 1501–1505, 2008.
- [22] M. Moroni, D. Borrini, L. Calamai, and L. Dei, “Ceramic nanomaterials from aqueous and 1,2-ethanediol supersaturated solutions at high temperature,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 286, no. 2, pp. 543–550, 2005.

- [23] C. Welsh and B. Diffey, "The protection against solar actinic radiation afforded by common clothing fabrics," *Clin. Exp. Dermatol.*, vol. 6, no. 6, pp. 577–582, 1981.
- [24] *Australian / New Zealand Standard AS: Sun protective clothing — Evaluation and classification*, NZS 4399, 1996.
- [25] P. P. Mahamuni, P. M. Patil, M. J. Dhanavade, M. V. Badiger, P. G. Shadija, A. C. Lokhande, and R. A. Bohara, "Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles by using polyol chemistry for their antimicrobial and antibiofilm activity," *Biochem. Biophys. Reports*, vol. 17, pp. 71–80, 2019.
- [26] N. S. Rao, M. V. B. Rao, "Structural and Optical Investigation of ZnO Nanopowders Synthesized from Zinc Chloride and Zinc Nitrate," *American Journal of Materials Science*, vol. 5, no. 3, pp. 66–68, 2015.
- [27] Z. Bilimis, "Measuring Light Transmittance and UVA and UVB of Transparent Materials using the PerkinElmer LAMBDA 35," Agilent Technologies Inc., Mulgrave, Australia, Rep. SI-A-1148, 2011.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## The First Record of the Red Cornetfish (*Fistularia petimba* Lacepède, 1803) in the Aegean Sea

 Hasan CERİM <sup>a,\*</sup>,  Sercan YAPICI <sup>a</sup>,  Anıl GÜLŞAHİN <sup>a</sup>,  Ozan SOYKAN <sup>b</sup>,  Gökçen BİLGE <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Su Ürünleri Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Su Ürünleri Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [gbilge@mu.edu.tr](mailto:gbilge@mu.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.756372

### ABSTRACT

An occurrence of a red cornetfish *Fistularia petimba* here reported for the first time from the Aegean Sea. On 19 October 2019 four specimens from the Gökova Bay and on 17 November 2019 one specimen from the Güllük Bay, were collected using different fishing gears in the Aegean Sea. This finding shows that *F. petimba* is rapidly expanding northwards, from the Levantine Sea to the Aegean Sea.

**Keywords:** Range expansion, Bioinvasion, Anatolian coast

## Ege Denizi'ndeki Kırmızı Kûlah Balığı (*Fistularia petimba* Lacepède, 1803)'nın İlk Kaydı

### ÖZET

Bu çalışmada, kırmızı kûlah balığı (*Fistularia petimba*)'nın Ege Denizi'ndeki ilk kaydı rapor edilmiştir. 19 Ekim 2019 tarihinde Gökova Körfezinden dört adet ve 17 Kasım 2019 tarihinde Güllük Körfezi'nden bir adet birey, farklı balık ağları ile elde edilmiştir. Bu bulgular, *F. petimba*'nın Levantin Denizi'nden Ege Denizi'ne, yani Kuzey'e doğru hızlı bir şekilde yayılmaya başladığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dağılım genişlemesi, Biyo-istila, Anadolu kıyıları

## **I. INTRODUCTION**

The family Fistulariidae consists of only one genus with four valid species, two of which have been reported in the Mediterranean: *Fistularia petimba* Lacepède, 1803 [1] and *Fistularia commersonii* Rüppell, 1838 [2].



*Figure 1. Observations of Fistularia petimba in the Mediterranean: 1 [1], 2 [5], 3 [8], 4 [9], 5 [6], 6 [7], PS: Present study.*

The red cornetfish, *Fistularia petimba*, is distributed in the Atlantic (southeastern Florida to Galicia, Spain), and the Indo-Pacific coasts (Red Sea, north to southern Japan and the Ogasawara Islands, south to Victoria, Australia) [3]. It is a benthopelagic species and inhabits coastal areas over soft bottoms, usually at depths greater than 10 m [3]. The maximum length reported of *Fistularia petimba* was 200 cm in total length [4], however, observed specimens are usually not longer than 100 cm. This species has been reported from the western and eastern Mediterranean coasts (Figure 1): Spain [1], Israel [5], Syria [6], Cyprus [7] and Turkey [8, 9]. The present study represents the first record of *F. petimba* for the Aegean Sea and decreases the distributional gap between the western and eastern Mediterranean.

## **II. MATERIALS AND METHODS**

A total of five *F. petimba* specimens were captured during the commercial fishing operations along the southern Aegean coasts of Turkey (Figure 2a, 2b). On 17 November 2019, the one specimen of red cornetfish was collected in Güllük Bay via bottom trawl at about 65 m depth while the latter four specimens were obtained from Gökova Bay at a depth of 15–20 m via longline on 19 October 2019 (Figure 1). Morphological identification procedures described by [10] were followed.



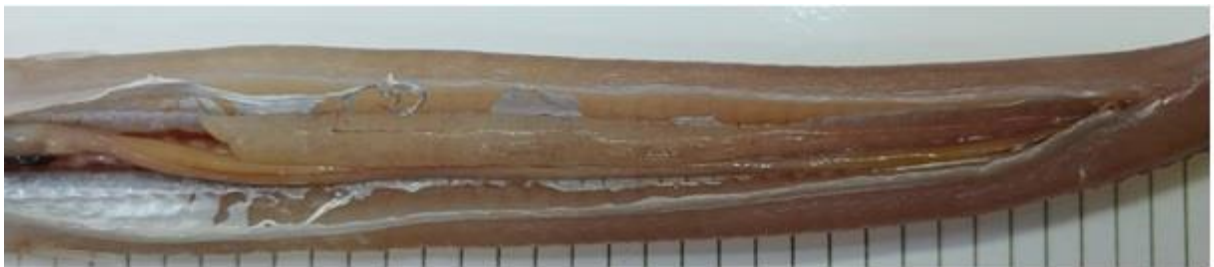
(a)



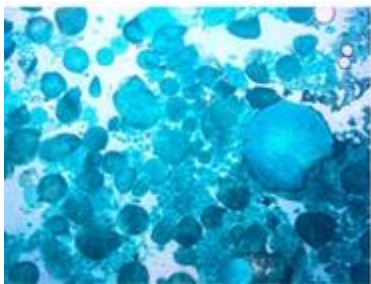
(b)

**Figure 2.** (a) *Gökova Bay specimens*, (b) *Güllük Bay specimen*

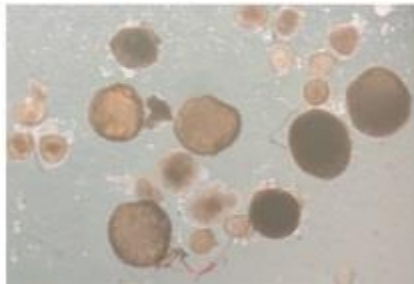
Following identification, morphological features were measured to the nearest mm and total body weight (to the nearest 0.01 g) was determined. Sex and maturity stage were assessed by visual examination of the gonads (Figure 3a, 3b). Oocytes were examined as both stained and non-stained. Gonads were stained with fast green.



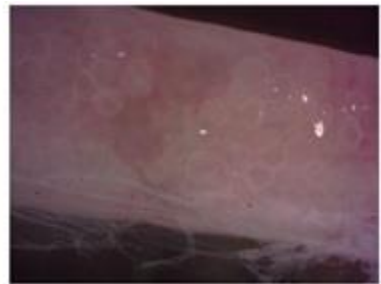
(a)



(b)



(c)



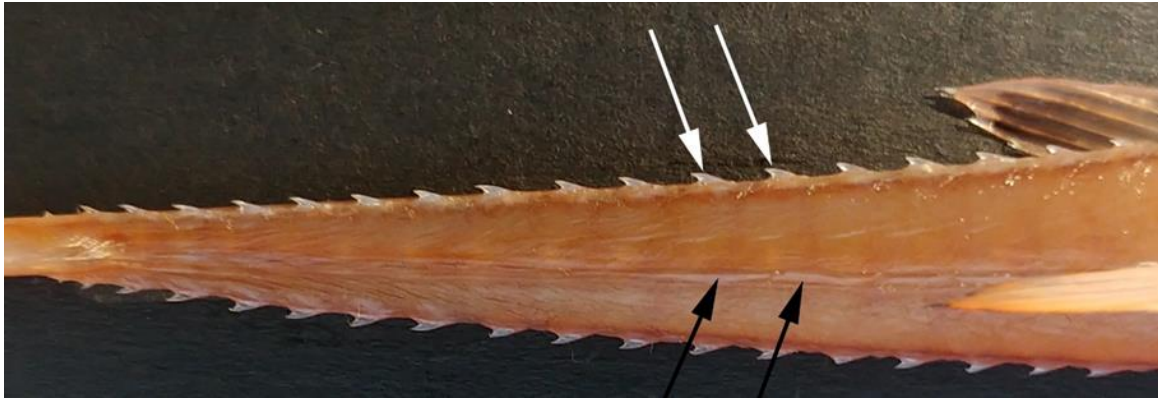
(d)

**Figure 3.** (a) *General view of gonad*, (b) *stained oocytes with fast green*, (c) *non-stained oocytes*, (d) *different-sized oocytes in the ovary*



### III. RESULTS

The specimens of *Fistularia petimba* collected from Aegean Sea ranged from 337 to 504 mm in total length (TL) without filament. According to [10], a brief description of the all fresh specimens as follows: the body shape of *Fistularia* extremely is elongated and depressed. Strong and sharp serrations on the snout, and also on the pre-orbital and post-orbital ridges. Elongate bony plates present and imbedded in skin along midline of back, posterior lateral line ossifications ending in a retrorse spine (Figure 4). Body colorations is red to orange-brown above, silvery below [10]. A comparison of morphometric values with the previous records is given in Table 1.



**Figure 4.** Distinguished features of *F. petimba* (dorsal view): posterior lateral line ossifications, sharp spines (white arrows) and embedded plates (black arrows)

### IV. DISCUSSION

The red cornetfish *Fistularia petimba* spreads throughout the tropical Atlantic and the Indo-West Pacific Ocean, including the Red Sea [3]. Its first Mediterranean record given from Cadiz, Spain in 1996 and the single collected specimen was assumed to originate from the West African coast populations of the species [1]. During 20 years, no sightings were reported until 2016 and then several sightings were recorded from the Levant Sea [5, 7, 8, 9]. Considering the lengthy time passed between the first and the second records of this species, this situation may be explained as evidence of a failed introduction. Although *F. petimba* is distinguished from its three congeneric species by sharp retrorse spines along the posterior lateral line ossifications and elongated bony plates embedded in the skin along the midline of its back [5], the cornetfishes, genus *Fistularia*, have similar morphological properties such as extremely elongated and depressed body, sharp serrations on the snout as well as on the pre-orbital and post-orbital ridges. In addition, unique red coloration of *F. petimba* is seen only in its adult form. In juvenile stage, *F. petimba* exhibits similar body color pattern (brown to grey above its mid body and bright grey to silvery-white below) with its congeneric, *F. commersonii*. Consequently, it may be claimed that there is a detection lag arising from these morphological similarities within this taxon. The similarity between *F. petimba* and *F. commersonii* is not limited to morphological features. Considering biological and ecological similarities between *Fistularia* species in the Mediterranean, [5] stated that *F. petimba*, as in its congeneric *F. commersonii*, has the same capability to quickly spread throughout the Mediterranean waters. *F. commersonii*, gained the title of Lessepsian sprinter [11] by colonizing the entire Mediterranean in less than a decade, covering 1000 km per year [12]. Except for the first record, considering the locations where *F. petimba* is reported in the Mediterranean, an average invasiveness momentum of the red cornetfish is approximately 700 km per year (Figure 1).

Total length (with filament) of reported east-Mediterranean individuals including the present study varies between 443-685 mm (Table 1). *Fistularia petimba* has a tropical Atlantic origin, however, it

extends in the Indo-West Pacific region to eastern Australia [10]. [5] revealed the genetic similarity between collected species in his study and published Indian samples. This finding may be indication that *F. petimba* invaded the Mediterranean Sea through the Suez Canal rather than Gibraltar Strait. If indeed pioneer/founder individuals of *F. petimba* in the Mediterranean derived from Atlantic population, east-Mediterranean individuals will be smaller than their conspecifics in the western Mediterranean and in the Atlantic due to well-known “Levantine nanism” phenomenon [13, 14]. [5] pointed out that a revisionary study would be necessary to solve the confusion created by the cryptic diversity in this taxon.

**Table 1.** Comparison of the meristic and morphometric data of *Fistularia petimba* specimens in the Mediterranean Sea.

	Present study (2020)					[8]	[1]	[5]	[9]	[6]	[7]				
	Güllük Bay (Turkey)	Gökova Bay (Turkey)		Antalya Bay (Turkey)	İskenderun Bay (Turkey)	Cadiz (Spain)	Ashdod (Israel)	Mersin Bay (Turkey)	Lattakia (Syria)	Cyprus					
<b>Meristic counts</b>															
Dorsal rays	16	16	15	15	16	16	16	16	15	15	-	-	-	-	13
Anal rays	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	-	-	-	-	14
Pectoral rays	15	15	16	15	15	15	16	15	16	15	15	-	-	-	15
Pelvic rays	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	-	-	-	6
<b>Metric measurements (mm)</b>															
Total length (with filament)	642	-	457	470	443	-	460	505	633	1240	415	685	633	642	602
Total length (no filament)	504	352	369	357	337	398	351	435	474	-	295	513	465	-	491
Fork length	431	340	359	347	324	389	342	424	460	-	-	495	455	-	-
Standart length	483	336	353	341	320	383	335	419	453	1040	280	459	442	448	401
Head length	181	134.9	134.5	131.1	123	142.5	127.53	154.29	166.00	365.00	-	193	165	157	177
Pre-orbital length	139	102.5	106.6	102.9	96.6	112.06	104.63	120.18	131.61	264.00	85.50	137	120	-	138
Post-orbital length	25.28	18	18.6	17.5	16.4	21.27	19.78	23.54	24.98	-	14.6	280	230	-	25
Horizontal eye diameter	12.7	8.3	9.1	9.7	8.9	12.25	9.81	12.42	13.09	26	8.7	14.0	12.0	-	14
Inter-orbital length	6.21	4.9	5.2	5.1	4.3	4.78	4.06	5.44	5.35	20	-	14.0	12.0	-	-
Vertical eye diameter	8.5	4.0	5.8	6.2	5.3	7.17	5.46	6.75	7.42	16	-	-	-	-	6
Pre-dorsal length	399	281	294	284	265	315	272	350	372	851	235.0	407	370	372	389
Dorsal base length	18.8	12.8	12.7	12.1	11.7	13.78	13.3	18.06	20.95	36	-	23.0	17.5	17.0	-
Pre-anal length	399	279	291	281	263	314	270	350	372	849	-	407	370	372	377
Anal base length	13.3	13.2	12.2	12.7	12.6	13.76	14.36	15.52	17.58	37	-	20.0	15.5	17.0	-
Upper jaw length	22.4	10.6	11.4	11.3	10.8	12.64	12.44	12.76	15.03	39	-	9.5	7.5	-	-
Lower jaw length	25.9	12.7	13.1	12.7	12.2	8.72	13.02	14.55	16.54	46	-	15.0	12.5	-	-
Pectoral fin length	19.8	14.5	11.7	12.8	12.5	15.94	17.83	19.45	23.37	54	-	23.0	18.5	9.0	-
Pelvic fin length	11.5	6	6.2	6.1	5.9	8.14	7.71	8.42	11.51	-	-	10.0	8.5	4.0	-
Body depth	12.3	9.4	9.3	9.2	8.4	9.74	9.88	11.56	16.28	41	-	13.0	12.0	13	-
Body width	20.9	12.1	15.4	13.7	14.3	15.08	14.75	18.32	21.77	45	-	22.5	18.5	-	-
Head depth	13.2	8.5	9.0	8.9	8.7	10.06	10.03	11.8	14.30	36	8.8	-	-	-	-
Inter-nostril length	6.7	4.9	5.2	5.1	4.8	6.62	6.06	6.84	7.17	-	-	-	-	-	-
Mouth opening	5.7	3.0	3.4	3.2	3.0	3.95	3.45	5.01	5.36	-	-	-	-	-	-
Height of upper caudal	26.2	18.0	18.3	18.1	17.8	20.5	18.38	21.87	26.00	57	-	-	-	-	-
Height of lower caudal	25.4	17.9	18.2	18.0	17.6	-	18.06	20.74	25.23	-	-	-	-	-	-

Considering abiotic (particularly temperature) or biotic features in the Mediterranean Sea, once an introduced species in the Mediterranean from the Indo-Pacific regions established a self-sustaining population, it could be suggested that no physical barriers prevented its dispersal westward. Atlantic-based literature on *F. petimba*, indicated that the length of mature red cornetfish adults is greater than 1,000 mm then there is no valid known data on the first maturity length of *F. petimba* in the Mediterranean Sea. For congeneric *F. commersonii*, these values are found as 65.4 (females) and 54.7 cm (males) in TL (snout to caudal fin upper lobe) by [15]. It is known that invasive species tend to become dominant in the environment by reaching sexual maturity in the early stages of their lives [16]. In the present study, an ovigerous female red cornetfish specimen with 50.4 TL cm was collected from Güllük Bay (Figure 3). [15] also determined female reproductive season of *F. commersonii* in the Mediterranean is from May to October. Our ovigerous *F. petimba* female was collected in November. [15] asserted that some individuals undergo a late maturity within the annual cycle or even a second spawning period if conditions are favourable. The critical threshold of the spawning activity for *F. commersonii* was reported as above 22°C [15]. The seawater temperature, where the mature female was collected in the present study, was reported as 23°C. On the other hand, [17] declared that *F. commersonii* has demonstrated a great capacity to adapt to local hydro-climatic conditions.

Therefore, it may be possible that tropical-Atlantic origin *F. petimba* is able to reproduce under more extreme conditions. In terms of invasive species, the presence of an ovigerous female may indicate the existence of an established population [18]. Additionally, asynchronous ovarian development indicates partial spawning, and this strategy is applied to increase recruitment success under unsuitable environmental conditions and used by invasive fish species to increase settlement success in the new environment [19].

Oocyte maturation of collected females in the present study was determined as an ‘asynchronous’ ovarian development in which oocytes in different stages are present at the same time (Figure 3a,b,c). A similar situation was reported for *F. commersonii* by [15]. Asynchronous development of oocytes is a common feature in marine fishes of low latitudes [20] and as well as the congeneric *F. commersonii* [15], *F. petimba* has been maintained this situation in the Mediterranean.

[17] stated that the occurrence of small groups of adults of uniform size may be indicative of an incoming establishment of a new self-generating population while [9] stated that the presence of different sized individuals of invaders in the migrated regions indicates settlement success. In the present study, a small group of uniform size was collected from Gökova Bay. Based on the findings of the present study and the aforementioned assertions the results of the present study provide new elements to evaluate a possible establishment success of *F. petimba* in the southern Aegean Sea.

## **V. CONCLUSION**

In conclusion, the present record confirms the first occurrence of red cornetfish in the Aegean Sea, representing a northwestward georeferenced record and increasing the number of species of the Aegean ichthyofauna.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** Authors would like to thank Mr. İsa Özdemir and Mr. Hamza Yentüz for providing a specimen.

## **V. REFERENCES**

[1] S. Cárdenas, D. A. Berastegui and J. M. Ortiz, “First record of *Fistularia petimba* Lacepède, 1803 (Pisces, Fistulariidae) off the coast of Cadiz (southern Iberian Peninsula),” *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, vol. 13, no. 1, pp. 83-86, 1997.

- [2] D. Golani, "First record of the bluespotted cornetfish from the Mediterranean Sea," *J. Fish. Biol.*, vol. 56, pp. 1545-1547, 2000.
- [3] R. Froese, and D. Pauly. (2019, December 1). *FishBase* [Online]. Available: <http://www.fishbase.org>
- [4] J. G. Sanches, "Catálogo dos principais peixesmarinhos da República de Guiné-Bissau," *Publ. Avuls. Inst. Nac. Invest. Pescas.*, vol. 16, pp. 429, 1991.
- [5] N. Stern, G. Paz, Y. Yudkovsky, H. Lubinevsky and B. Rinkevich, "The arrival of a second 'Lessepsian sprinter'? the first record of the redcornetfish *Fistularia petimba* in the eastern Mediterranean," *Medit. Mar. Sci.*, vol. 18, no. 3, pp. 524-528, 2017.
- [6] C. Hussein, A. Ibrahim and F. Alshawy, "First record of red cornetfish, *Fistularia petimba* Lacepède, 1803 (Actinopterygii: Fistulariidae) from the Syrian coast," *Int. J. Aquat. Biol.*, vol. 7, no. 3, pp. 175-179, 2019.
- [7] B. Dragičević, *et al.*, "New Mediterranean biodiversity records (December 2019)," *Medit. Mar. Sci.*, vol. 20, no. 3, pp. 645-656, 2019.
- [8] A. Ünlüoğlu, S. Akalın, İ. Dal, E. M. Tıraşın and C. M. Aydın, "First record of red cornetfish *Fistularia petimba* (Syngnathiformes: Fistulariidae) from Antalya and Iskenderun bays along Turkish coasts of the Mediterranean sea," *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 34, pp. 978-980, 2018.
- [9] N. Çiftçi, D. Ayas and M. Doğançün, "New locality record for *Fistularia petimba* Lacepède, 1803 from the northeastern Mediterranean sea (Mersin bay)," *MedFAR*, vol. 2, no. 2, pp. 42-48, 2019.
- [10] R. A. Fritzsche, "A review of the cornetfishes, genus *Fistularia* (Fistulariidae), with a discussion of intrageneric relationships and zoogeography," *Bull. Mar. Sci.*, vol. 26, pp. 196-204, 1976.
- [11] P. K. Karachle, C. Triantaphyllidis and K. I. Stergiou, "Bluespotted cornetfish, *Fistularia commersonii* Rüppell, 1838: A Lessepsian sprinter," *Acta. Ichthyol. Piscat.*, vol. 34, pp. 103-108, 2004.
- [12] E. Azzurro, S. Soto, G. Garofalo and F. Maynou, "*Fistularia commersonii* in the Mediterranean sea: invasion history and distribution modeling based on presence-only records," *Biol. Invasions.*, vol. 15, pp. 977-990, 2013.
- [13] F. D. Por, *The legacy of Tethys. An aquatic zoogeography of the Levant*, 1st ed., Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic, 1989, pp. 1-216.
- [14] G. Goren, "The fishes of the Mediterranean: A biota under siege," in *The Mediterranean Sea: Its History and Present Challenges*, 1st ed., Dordrecht, Netherlands: Springer, 2014, pp. 385-400.
- [15] M. Bariche, G. Kazanjian and E. Azzurro, "A lag of 25 years: Evidence from an old capture of *Fistularia commersonii* Ruppell, 1838 from Lebanon (Mediterranean Sea)," *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 30, pp. 535-536, 2013.
- [16] G. Rilov, "The integration of invasive species into marine ecosystems," in *Biological Invasions in Marine Ecosystems—ecological, Management, and Geographic Perspectives*, 1st ed., Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2009, pp. 214-244.
- [17] P. N. Psomadakis, U. Scacco, I. Consalvo, M. Bottaro, F. Leone and M. Vacchi, "New records of the Lessepsian fish *Fistularia commersonii* (Osteichthyes: Fistulariidae) from the central Tyrrhenian sea: Signs of an incoming colonization?," *Mar. Biodivers. Rec.*, vol. 2, 2009.

- [18] B. S. Galil, Y. Levitt-Barmats, H. Lubinevsky, Y. Yudkovsky, G. Paz and B. Rinkevich, "A record of *Arcania brevifrons* Chen, 1989 (Crustacea; Decapoda; Leucosiidae) from the Mediterranean coast of Israel," *Bioinvasions Rec.*, vol. 6, no. 3, pp. 249-253, 2017.
- [19] S. Yapıcı and H. Filiz, "Biological aspects of two coexisting native and non-native fish species in the Aegean sea: *Pagellus erythrinus* vs. *Nemipterus randalli*," *Medit. Mar. Sci.*, vol. 20, no. 3, pp. 594-602, 2019.
- [20] D. A. Pavlov, N. G. Emel'yanova and G. G. Novikov, "Reproductive Dynamics," in *Fish Reproductive Biology: Implications for Assessment and Management*, 1st ed., New Jersey, USA: Wiley-Blackwell, 2009, pp. 52-97.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Hydrophobic Modification of Glass Surface by Using Sol-Gel Synthesized Glass Powder as A Surface Roughness Promoter

 Yiğitalp OKUMUŞ<sup>a,\*</sup>,  Göktuğ GÜNKAYA<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Materials Science and Engineering, Graduate School of Sciences, Eskişehir Technical University, Eskişehir, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Glass, Faculty of Fine Arts, Anadolu University, Eskişehir, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: ggunkaya@anadolu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.656089

### ABSTRACT

In this study, it was aimed to form a hierarchical surface by using glass powders in the coating solution which was applied to glass surfaces for reducing the surface energy. Glass powders (GP) were synthesized by sol gel method at room temperature in the presence of ammonium hydroxide as an alkali catalyst and ethanol water mixture as solvent. Glass powders were used as additives in the chemical modification material to form rough surfaces for obtaining hydrophobic property on the borosilicate substrates. Two solutions were prepared by using different silane types and three different amounts of glass powders were added to each. Substrates were coated with the prepared coating suspension. The coated samples were heat treated for curing of silane matrix at 110°C for an hour and then washed. The morphology and the size of the particles were visualized by scanning electron microscopy. Water contact angle measurements were carried out to determine the contact angle values and consequent hydrophobic features. 3 different powder ratios were used. Water contact angle values increased by the increasing powder ratio. Water contact angle values were reached to 115° from 20°.

**Keywords:** Coatings on glass, Contact angle, Hydrophobic surfaces, Sol-Gel glasses

## Yüzey Pürüzlülüğünü Arttırıcı Eleman Olarak Sol-Jel ile Sentezlenmiş Cam Tozu Kullanımıyla Cam Yüzeyinin Hidrofobik Modifikasyonu

### ÖZET

Bu çalışmada, yüzey enerjisini azaltmak için cam yüzeylere uygulanan kaplama çözeltisinde cam tozları kullanılarak hiyerarşik bir yüzey oluşturulması amaçlanmıştır. Cam tozları, katalizör amonyum hidroksit ve çözücü etanol su karışımı kullanılarak oda sıcaklığında sol jel yöntemiyle sentezlenmiştir. Borosilikat altlık üzerinde hidrofobik özellik elde etmek amacıyla, pürüzlü yüzeyler oluşturmak üzere kimyasal modifikasyon malzemesinde katkı maddesi olarak cam tozları kullanılmıştır. Farklı silan tipleri ile iki çözelti hazırlanmıştır ve her birine üç farklı miktarda cam tozu eklenmiştir. Altlıklar hazırlanan kaplama süspansiyonu ile kaplanmıştır. Kaplanan numuneler silan matrisinin 110 °C'de bir saat süreyle kürlenmesi için ısıtılma tabii tutulup yıkanmıştır. Morfoloji ve taneciklerin boyutu, taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Temas açısı değerlerinin ve sonuçta ortaya çıkan hidrofobik özelliklerin belirlenmesi için statik temas açısı ölçümleri yapılmıştır. 3 farklı toz oranı kullanılmıştır. Su temas açısı değerleri artan oranla artmıştır. Su temas açısı değerlerinde 20°'den 115°'ye artış gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Cam yüzeyini kaplama, Temas açısı, Hidrofobik yüzeyler, Sol-jel camları

## **I. INTRODUCTION**

Surfaces always behave differently from solid materials, because they show sudden changes in regions near the phase boundaries. Surface atoms and molecules are not stable because they are not completely in a single phase and contain unsaturated bonds. This causes an energy surplus on the surface and this energy is called surface free energy [1-4]. When the water droplet does not prefer to contact the surface energetically it forms a spherical shape by inserting air into the region in contact with solid to reduce the liquid solid interface and increase the liquid gas and solid gas interface [5-7].

Surfaces can be changed to hydrophobic by chemical and physical modifications. The contact angle values can be increased by applying chemical modification to reduce the surface free energy and physical modification to create roughness on the surface less than the capillary radius of the water (c in schematic figure) (3).

Glass powders can be used for many applications, such as composite reinforcement material, sinter addition, coating and paint addition [8,-9]. It is known that glass powders produced by the sol-gel method using metal alkoxides are purer and require lower temperatures than those produced by conventional melting processes [10-13]. Homogeneous glassy inorganic materials with desired properties, such as hardness, optical permeability and porosity can be obtained at temperatures close to room temperature by the sol-gel method [14-16].

Alkylthiols and silane agents are used to reduce surface energy (Physical bonds, adsorption, coating). Khorasani et al. [17] obtained WCA  $\sim 175^\circ$  value with porosity and chain arrangement in PDMS (polydimethylsiloxane) material using CO<sub>2</sub>-pulsed laser. Teshima [18] produced PET substrates by oxygen plasma etching and provided tetramethylsilane (TMS) with CVD to their surface. In the work done by Hikita et al. [19], sol-gel film was prepared by using colloidal silica particles + fluoroalkyl silane (FAS). Superhydrophobicity was achieved by hydrolysis and condensation of the alkoxysilane composition.

In this study, it is aimed to use sol-gel synthesized glass powder in the hydrophobic modification of glass surface as a hierarchical surface agent.

## **II. EXPERIMENTAL**

### **A. MATERIALS**

Tetraethoxysilane (99%) was purchased from Abcr chemicals, Germany. [3-(2,3-Epoxypropoxy)-propyl] trimethoxysilane (EPMS), boric acid and ammonium hydroxide solution (25%) were purchased from Merck, Germany. Potassium hydroxide and glacial acetic acid were purchased from VWR Chemicals, USA. Ethanol was purchased from JT Baker Chemicals, Acids and Solvents. Deionized water having 18.2 M $\Omega$  resistance was obtained by using Millipore milli-Q Direct 8 water purification system. 3-Aminopropyl triethoxysilane (APTES, 99%) was purchased from ACROS Organics, USA. Substrates were cut from commercially available borosilicate glass into 20X20 mm<sup>2</sup> squares.

### **B. SOL GEL-SYNTHESIS OF BOROSILICATE GLASS POWDER**

Two-step sol-gel process was used to obtain glass powders (Fig. 1). At the first step of the process, boric acid was used as boron source, potassium hydroxide as an alkaline source (monovalent metal hydroxide such as NaOH or KOH) and tetraethoxysilane as silicon source. They were mixed in water-ethanol mixture in the presence of glacial acetic acid as solubility promoter (Table 1). At the second step of the process, a basic catalyst solution (ammonium hydroxide) was added drop by drop in the mixture to adjust the final pH value to 6-7. After gelation has occurred, a drying process has been performed in a



drying oven at 100°C to finalize the synthesis and obtain the powders. Agglomerated particles were crushed gently in an agate mortar.

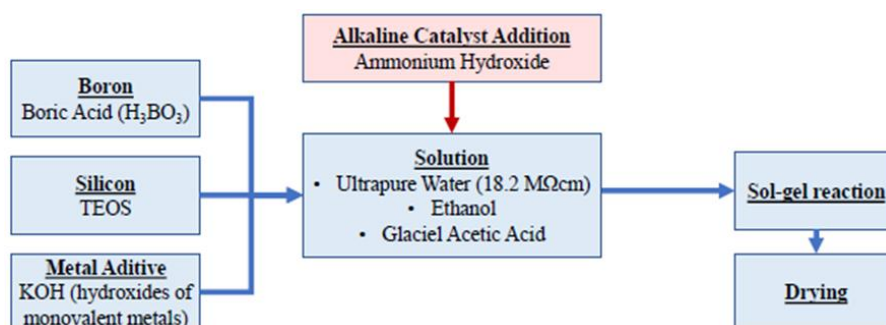


Figure 1. Borosilicate glass powder synthesis by sol-gel method

Table 1. Glass and solution compositions

Glass Composition (Molar Ratio)			Solution Composition (Molar Ratio)				
TEOS	Boric Acid	Potassium Hydroxide	TEOS	Ethanol	Water	Ammonium Hydroxide	Acetic Acid
20	40	1	0.83	33.9	44.6	0.102	0.25

Initial pH of solution was controlled to increase the soluble amounts of precursors by adding acetic acid. Catalyst types, amounts, solution pH and reaction temperature were optimized for the particle size of the final products.

### C. COATING PROCEDURE

Many scientific and technical studies require clean surfaces. Otherwise adhesion problems may occur partially or completely [1]. Washing and drying steps were applied to glass surfaces for a perfect interface and adhesion between the coating and the substrates. Washing process was carried out respectively in ultrasonic bath in five chambers with different liquid contents. There were basic solution containing 3 - 10% sodium hydroxide in the first chamber (pH: 9), deionized water in the second, acidic solution containing 2 - 4% phosphoric acid in the third (pH: 1) and deionized water in the fourth and fifth ones. Substrates were soaked in each chamber for 5 minutes (Fig. 2). After the washing process, all substrates were dried at 100 ° C for 10 - 15 minutes in a drying oven.

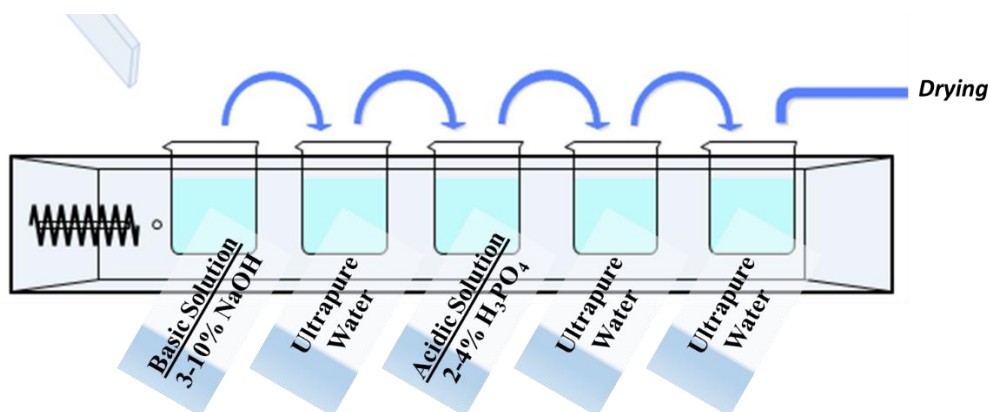
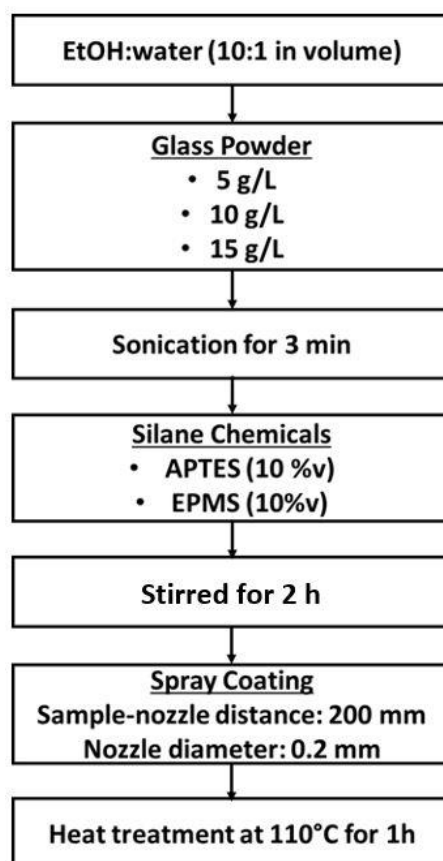


Figure 2. Cleaning of the substrate surfaces

Different coating suspensions with glass powders of 5 g/L, 10 g/L and 15 g/L were prepared. Glass powders were dispersed in ethyl alcohol-deionized water solution (10:1 in volume) with a sonication time of 3 minutes. After dispersion, v. 10% APTES and v. 10% EPMS were added separately in each and stirred for two hours. Coating processes were performed by using Proxxon Airbrush AB100 with a nozzle diameter of 0.2 mm and sample-nozzle distance of 150 mm (Fig. 3). Coated samples were heated to 110°C and dwelled for an hour for curing reaction of silanes [20].



*Figure 3. Flowchart of suspension preparation and coating*

#### D. CHARACTERIZATION

Structural characterization of sol-gel synthesized powders has been made by using Rigaku, MiniFlex600, Rigaku™ Co., Ltd., Tokyo, Japan X-ray diffractometer in the  $2\theta$  range between  $10^\circ$  and  $70^\circ$  at a scan speed of  $1^\circ/\text{min}$  with  $\text{Cu K}\alpha$  radiation.

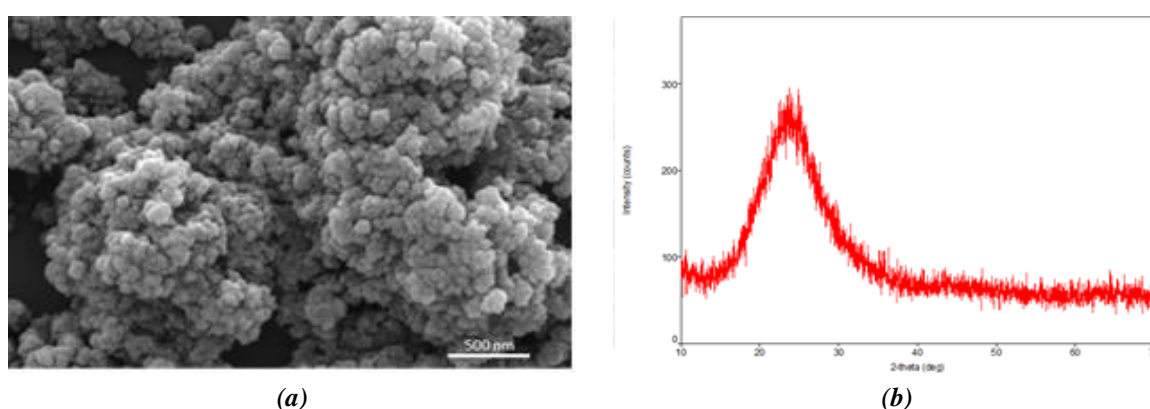
Morphological characterization and the particle size analysis of obtained powders and coated samples were carried out using ZEISS Supra 50 VP scanning electron microscopy (SEM) with 20 kV accelerating voltage and secondary electron imaging after gold sputtering. Particle size of powder was measured by using Malvern Nano ZS in suspension before coating process.

The effect of the coating to hydrophobic character was investigated by measuring the water contact angle values using Biolin Scientific Attension contact angle instrument. Contact angles were measured by ultrapure water-based sessile drop method. Ultrapure water with a surface tension value of  $73.5 \text{ mNm}^{-1}$  and a resistivity of  $18.2 \text{ m}\Omega$  was used. The tabulated contact angle data were derived from average value of at least five measurements performed at room temperature in different points of the sample surface.

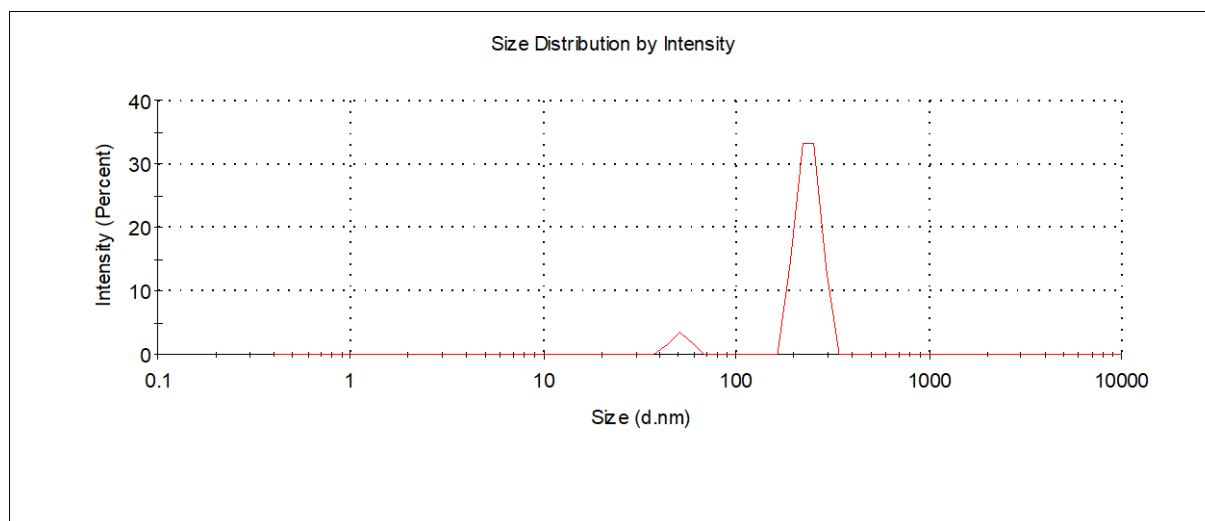
### III. RESULTS AND DISCUSSION

#### **A. MORPHOLOGICAL AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF BOROSILICATE GLASS POWDER**

Particle size is a crucial property for hierarchical surface elements in hydrophobic modification. The scale of the surface roughness must not allow water droplets to intervene and spread. The particle size of the sol-gel synthesized glass powders was investigated by scanning electron microscopy. Figure 4a shows the secondary electron image of glass powder. The image implicates the particle size of the powders was 50 nm on average. Detailed information about the powder synthesis study can be found in the other publication of the study team [21]. Glass samples show neither sharp peak nor crystalline pattern (Fig. 4b). The broad peak centered at  $23^\circ$  clearly indicated that the glass particles are fully amorphous. The particle size distribution of sol-gel synthesized glass powders in suspension was determined bimodal size distribution as 50 nm and 250 nm (Fig. 5). 50 nm size distribution peak describes primary particles and 250 nm size distribution peak remarks agglomerates.



*Figure 4. SEM image (a) and XRD analysis (b) of sol-gel synthesized glass powder*



*Figure 5. Particle size distribution of sol-gel synthesized glass powder*

#### **B. MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF COATED SAMPLES**

It can be seen in Figure 6 that the EPMS modified samples had no particulate surfaces but instead outspread EPMS and sponge-like morphology. The rough surface could not be achieved when using

EPMS. Conversely APTES modified samples had particles on coating surfaces. When powder ratio reached to 15 g/L, uniformity of the surface had been deteriorated.

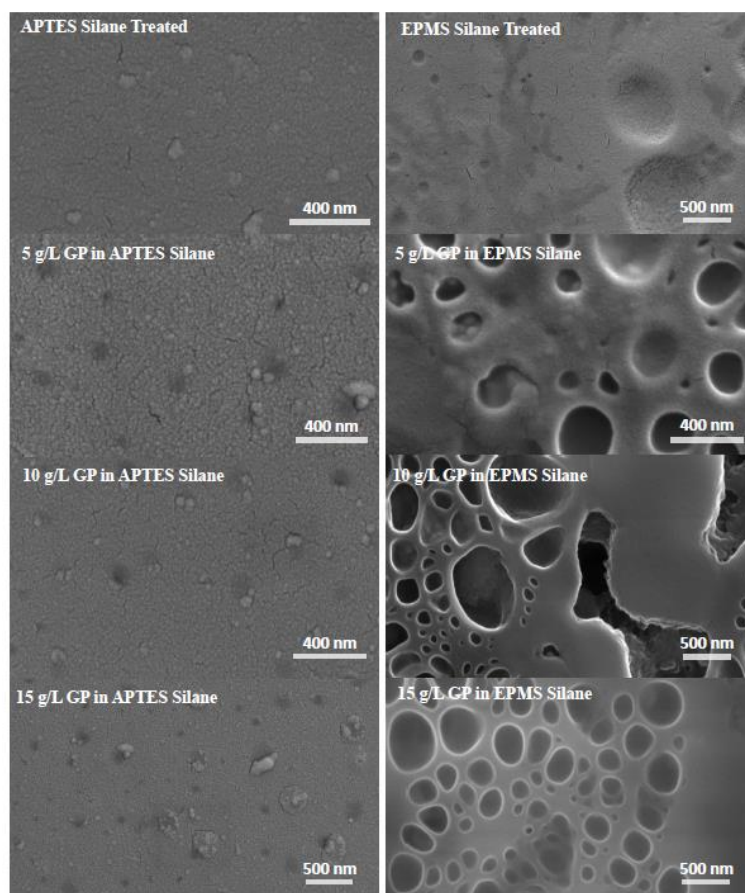


Figure 6. SEM of coated samples

### C. WATER CONTACT ANGLE ANALYSIS OF COATED SAMPLES

Water contact angle measurements were performed to investigate the effect of silane type and glass powder amount on hydrophobic modification. Figure 7 and 8 shows verification of contact angle results of each samples. Untreated borosilicate glass substrate had an average contact angle value of 20°.

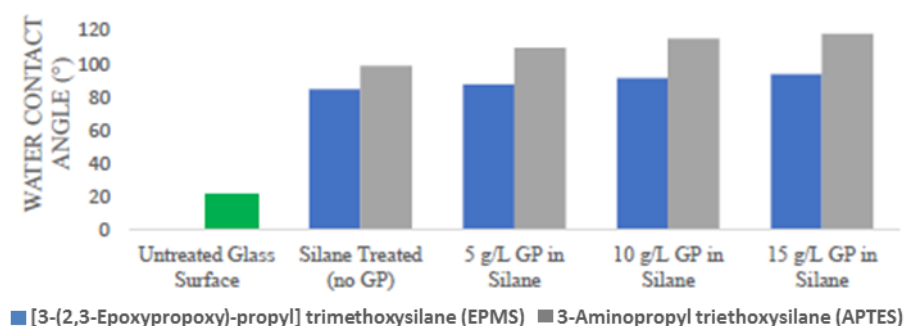
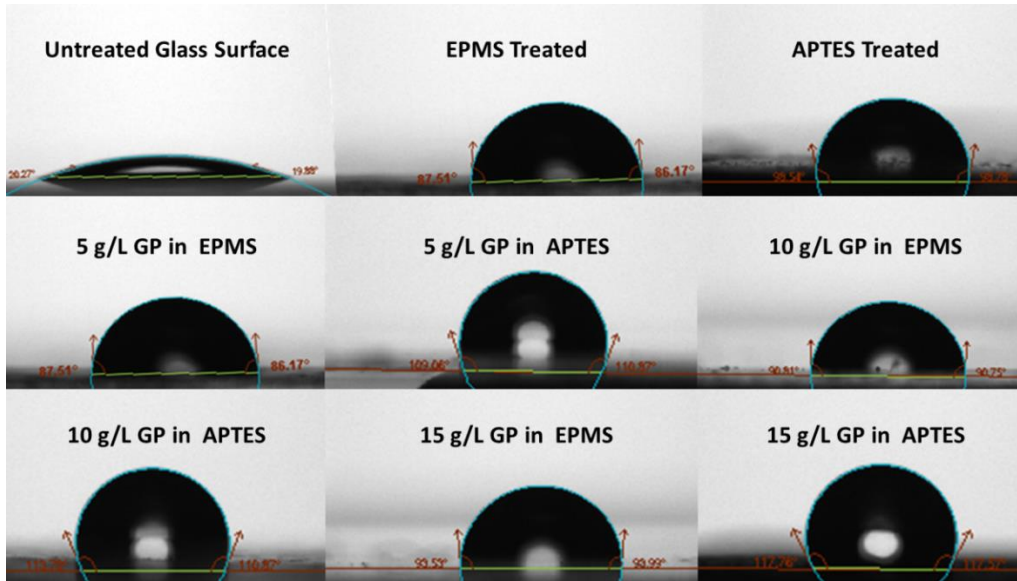


Figure 7. Verification of contact angle values



*Figure 8. Images of water droplets on coated samples*

In consistence with morphological analysis that showed no particulate structure on surfaces of EPMS modified samples, when EPMS used, glass powder addition did not have a significant effect on hydrophobicity. Whereas APTES was used in surface modification, increasing powder addition caused an increase in contact angle values (Table 2).

*Table 2. Contact Angle values of modified samples (°)*

	Untreated Glass Surface	Silane Treated (No GP)	5 g/L GP in silane	10 g/L GP in silane	15 g/L GP in silane
<b>3-(2,3-Epoxypropoxy)-propyl]-trimethoxysilane</b>	20.93 ±0.40	84.50 ±0.70	87.50 ±0.70	91.35 ±0.50	93.88 ±1.50
<b>3-Aminopropyl triethoxysilane(APTES)</b>		98.80 ±0.60	109.66 ±0.60	115.07 ±0.50	117.93 ±2.00

## IV. CONCLUSIONS

According to this ongoing study it was concluded that GP addition increased the contact angles by roughening the surface. 3 different powder ratios were used. When the powder ratio got greater than 15 g/L, sedimentations and agglomerations were occurred and caused congestions in spray nozzle. That situation defined the upper limit as 15 g/L. Due to investigation of the effect of used powder ratios, contact angles increased by the increasing ratio. Nevertheless uniformity of coating was decreased in 15 g/L samples and that induced a rise in error deviation. Therefore optimum powder amount was specified as 10 g/L. As a result of comparison of two silane types, APTES showed higher contact angle values as 115°. Simple and versatile spray coating method with sol–gel processing was used to prepare hydrophobic coating on glass.

ACKNOWLEDGEMENT: This study was supported by scientific research projects of Anadolu University (Project number of 1704E092).

## V. REFERENCES

- [1] H. K. Pulker, "Cleaning of substrates" in *Coatings on Glass*, 1st ed., New York, USA: Elsevier, 1987, ch. 4, pp. 60-72.
- [2] N. J. Shirtcliffe, G. Mchale, S. Atherton, M.I. Newton, "An introduction to superhydrophobicity," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 161, pp. 124-138, 2010.
- [3] Z. Guo, W. Liu, B.L. Su, "Superhydrophobic surfaces: From natural to biomimetic to functional," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 353, pp. 335-355, 2011.
- [4] J.L. Zhang, J.A. Li, Y.C. Han, "Superhydrophobic PTFE surfaces by extension," *Macromol Rapid Communications*, vol. 25, pp. 1105-1108, 2004.
- [5] M. T. Khorasani, H. Mirzadeh, Z.Kermani, "Wettability of porous polymethylsiloxane surface: Morphology study," *Applied Surface Science*, vol. 242, pp. 339-345, 2005.
- [6] M. Ma, R.M. Hill, J.L. Lowery, S.V. Fridrikh, G.C. Rutledge, "Electrospun poly(styrene-blockdimethylsiloxane) block copolymer fibers exhibiting superhydrophobicity," *Langmuir*, vol. 21, pp. 5549-5554, 2005.
- [7] N. Zhao, Q.D. Xie, L.H. Weng, S.Q. Wang, X.Y. Zhang, J. Xu, "Superhydrophobic surface from vapor-induced phase separation of copolymer micellar solution," *Macromolecules*, vol. 38, pp. 8996-8999, 2005
- [8] J. Y. Dinga, D. E. Day, "Preparation of silica glass microspheres by sol-gel processing," *Journal of Materials Research*, vol. 6, pp. 168-174, 1991.
- [9] I. S. Kim, R. Kim, H. Son, "Nano glass powder for sintering additive and method for fabricating the same," U.S. Patent 0 138 215 A1, Jun. 7, 2012.
- [10] C. J. Brinker, S. P. Mukherjee, "Conversion of monolithic gels to glasses in a multicomponent silicate glass system," *Journal of Materials Science*, vol. 16, pp. 1980-1988, 1981.
- [11] L.C. Klein, T.A. Gallo, G. J. Garvey, "Densification of monolithic gels below 1000°C," *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 63, pp. 23-33, 1984.
- [12] C. J. Brinker, K. D. Keefer, D.W. Schaefer, C.S. Ashley, "Sol-gel transition in simple silicates," *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 48, pp. 47-64, 1982.
- [13] S. Sakka, "Gel method for making glass," in *Treatise on Materials Science and Technology: Glass III*, New York, USA: Academic Press, 1982, ch. 3 pp. 129-167.
- [14] C. J. Brinker, G.W. Scherer, "Introduction" in *Sol-gel Science-The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, 1st ed., New York, USA: Academic Press, 1990, ch. 1, pp. 1-17.
- [15] W. Li, D. P. Fries, A. Malik, "Sol-gel stationary phases for capillary electro chromatography," *Journal of Chromatography A*, vol. 1044, pp. 23-52, 2004.
- [16] T. L. Metroke, R. L. Parkhill, E.T. Knobbe, "Passivation of metal alloys using sol-gel derived materials — a review," *Progress in Organic Coatings*, vol. 41, pp. 233-238, 2001.
- [17] M. T. Khorasani, H. Mirzadeh, Z. Kermani, "Wettability of porous polydimethyl siloxane surface: morphology study," *Applied Surface Science*, vol. 242, no. 3, pp. 339-345, 2005.

- [18] K. Teshima, H. Sugimura, Y. Inoue, O. Takai, A. Takano, "Transparent ultra water-repellent poly(ethylene terephthalate) substrates fabricated by oxygen plasma treatment and subsequent hydrophobic coating," *Applied Surface Science*, vol. 244, no. 1, pp. 619–622, 2005.
- [19] M. Hikita, K. Tanaka, T. Nakamura, T. Kajiyama, A. Takahara, "Super liquid- repellent surfaces prepared by colloidal silica nanoparticles covered with fluoroalkyl groups," *Langmuir*, vol. 21, no. 16, pp. 7299-3702, 2005.
- [20] M. Qin, S. Hou, L. Wang, X. Feng, R. Wang, Y. Yang, C. Wang, L. You, B. Shao, M. Qiao, "Two methods for glass surface modification and their application in protein immobilization," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 60, pp. 243-249, 2007.
- [21] Y. Okumus, G. Gunkaya, "A facile approach for the effect of solution, catalyst and temperature on the synthesis of glass powder by the sol-gel method," *Romanian Journal of Materials*, vol. 49, no. 4, pp. 455-460, 2019.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Influence of Particle Size on the Structure and Properties of 316L Hollow Fiber Membranes Sintered Under Argon Atmosphere

 Ezgi ŞAHİN<sup>a,b</sup>,  Onur ERTUĞRUL<sup>a,\*</sup>,  Özgün YÜCEL<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Materials Science and Engineering Department, Engineering and Architecture Faculty, İzmir Katip Çelebi University, İzmir, TURKEY

<sup>b</sup> TÜBİTAK Informatics and Information Security Research Center (Bilgem), Kocaeli, TURKEY

<sup>c</sup> Chemical Engineering Department, Engineering Faculty, Gebze Technical University, Kocaeli, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: onur.ertugrul@ikcu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.868915

### ABSTRACT

316L based stainless steel hollow fiber membranes (HFs) are used as an alternative for polymer and ceramic based membranes. Areas where 316L hollow fiber membranes used are applications such as supports or particle filters of gas and liquid separations in chemical and waste treatment industries. Among various methods, dry-wet spinning technique was selected as the production method of hollow fiber membranes since it is the most popular one. The aim of the study is to produce hollow fiber membranes in different powder particle sizes (coarse, fine, and their mixture), and to examine their structure and also their properties such as chemical compositions, pore amount, average pore size, and pore distribution. 3-point bending tests were also used to determine their mechanical properties. HFs produced from fine particles show higher densification than coarse particle size samples. In terms of pore structure, mixed particle size yields lower porosity and pore size than the finest particle size. On the other hand, the finest particle size yields the highest bending strength and bending deflection.

**Keywords:** Hollow fiber, Membrane, Dry-wet spinning, 316L, Sintering

## Partikül Boyutunun Argon Atmosferi Altında Sinterlenen 316L İçi Boş Fiber Membranların Yapısına ve Özelliklerine Tane Etkisi

### ÖZET

316L paslanmaz çelikler içi boş fiber membranlar, polimer ve seramik esaslı membranlara alternatif olarak kullanılmaktadır. 316L içi boş fiber membranların kullanım alanları kimya ve atık arıtma endüstrilerinde gaz ve sıvı ayrıştırıcılar için destek ve partikül filtreleri gibi uygulamalardır. Birçok metod arasında, üretim tekniği olarak en popüler olan kuru-ıslak eğirme tekniği seçilmiştir. Çalışmanın amacı farklı toz partikül boyutlarında (kaba, ince ve bunların karışımı) içi boş fiber membranların üretilmesi ve bunların yapıları ve kimyasal kompozisyon, gözenek miktarı, ortalama gözenek boyutu ve gözenek dağılımlarını incelemektir. Aynı zamanda, mekanik özellikleri belirlemek amacıyla 3-nokta eğme testleri uygulanmıştır. İnce partiküllerden üretilen numuneler kaba partikül boyutlu numunelerden daha yüksek yoğunlaşma göstermektedir. Gözenek yapısına bakıldığında, karışım partikül boyutu ince partikül boyutuna kıyasla daha düşük gözeneklilik ve gözenek boyutu sunmaktadır. Öte yandan, en küçük partikül boyutu en yüksek mukavemet ve eğilme miktarı sunmaktadır.

**Keywords:** İçi Boş Fiber, Membran, Kuru-İslak Eğirme, 316L, Sinterleme



## **I. INTRODUCTION**

Membrane technologies and membrane materials are mainly used in applications such as gas separation and water treatment. Membranes can be produced from several materials classes such as ceramics, polymers and nowadays metals [1]. Hollow fiber (HF) membranes are used because they have improved surface area/volume, lower capital costs, lowest sealing perimeter, and capability of backwashing [2]. They are used in gas separations, water treatments, and in the medical areas for blood filtration [3].

Ceramic based hollow fiber membranes have drawbacks of high brittleness and low strength for industrial applications [4-6]. In order to eliminate these problems, metallic materials have been used for HF membranes today, which could provide toughness and high mechanical strength [7]. Also, metals have well-known resistance to chemical oxidation, thermal cleaning treatments, providing reusability properties [8]. For the past ten years, there are a few reports about the production of metal based hollow fiber membranes, and the focus is on 316L stainless steels due to their good strength-ductility combination. Luiten-Olieman et.al. studied one of the first reports on porous stainless steel HF membranes in 2011 [9]. HF membranes were produced by dry-wet spinning technique, which creates finger-like voids and sponge-like regions. Pore sizes in the finger-like voids can be large up to >200 micron, and sponge-like regions contain pores in the range of 3– 5 micron and sometimes submicron [2]. These pores are suitable as support materials but not as membranes. As a solution, Diego R. Schmeda-Lopez et. al. used stainless steel matrix carbon containing HF's, where the binder is pyrolyzed in the stainless steel matrix, which fills the gaps between the SS particles and reduces the pore size [10].

Sintering step on green hollow fibers has crucial importance since all organic additives and binders should be removed in a controlled way [11]. Hydrogen, nitrogen or argon atmospheres are used to protect SS hollow fibers during the sintering process [9,12]. The sintering atmosphere affects mechanical properties and corrosion behaviours of HF membranes [13,14]. Also, high sintering temperature (higher than 1150 °C) is preferred to achieve higher sintered density. Reducing the surface oxides results in increase corrosion resistance and ductility [14]. On the other hand, oxygen, carbon, nitrogen and iron contamination determine the corrosion behaviour [15]. Sintering of SS in nitrogen atmospheres results in precipitation of chromium nitride, and it results in advanced mechanical properties yet degradation of corrosion resistance [13,14]. Therefore, argon atmosphere is commonly preferred as an economical inert atmosphere [15].

Moreover, there are new studies about particle size importance in hollow fiber membranes [16]. It can be seen that small particle sizes are better in HF's. It affects extrusion performance of the mixture directly. Particle size also affects green strength, thus enhancing densification and properties of the sintered products [17]. Therefore, 316L parts with high densities present improved mechanical properties [18].

In the present study, porous 316L HF membranes have been prepared using the dry-wet spinning technique, based on phase inversion and sintering technique. The aim of the study is to produce hollow fiber membranes in different powder particle sizes under Argon sintering atmosphere, and to examine their detailed morphological and structural properties. It was aimed to investigate the particle size effect using very fine particles, coarser particles and the mixture of these two. These materials are that may be of interest for industries such as environment, chemistry and waste disposal.

## **II. MATERIALS AND METHOD**

### **A. MATERIALS AND CHEMICALS**

3 $\mu$ m (fine) and 20-53 $\mu$ m (coarse) 316L stainless steel powders (obtained by Sigma Aldrich and Höganäs-AB, respectively) are used in this study. Also, polymethylmethacrylate (PMMA), N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP), and polyvinylpyrrolidone (PVP), obtained by Sigma Aldrich, are used as

polymeric binder, solvent and viscosity adjusting materials, respectively. The chemicals are not pre-treated.

## B. SOLUTION PREPARATION PROCEDURE

The solution preparation step starts with the mixing of PMMA and NMP for 12 hours. Then, 316L stainless steel powders are added to the solution slowly and are mixed for 3 hours. Finally, PVP is added and all of them are mixed for 30 mins. This suspension is then placed in a vessel and then vacuum is degassed. After degassing, the spinning suspension pressure is increased with the help of the syringe pump and extrusion is performed with the help of the spinneret. The amounts of components in the solution are given in Table 1.

*Table 1. Mass values of the components in the solution*

Components	316L	NMP	PMMA	PVP
<b>Suspension composition</b> (grams)	42 g	14.4 g	4.2 g	0.2 g

Three different particle size distributions were used as coarse, fine and their mixture (bimodal distribution). The representative codings are shown in Table 2.

*Table 2. Sample coding and particle sizes*

Sample Codes	Particle size (microns)
C-SS	100% coarse 316L powder
F-SS	100% fine 316L powder
M-SS	mixed (75% fine+25% coarse) 316L powder

## C. PRODUCTION PROCEDURE

Hollow fiber membranes are produced by the dry-wet spinning process. Membrane production setup consists of solutions, syringe pumps, nozzle, internal coagulant and coagulation bath. The solution and the internal coagulant are simultaneously pumped towards the nozzle. They flow through the coagulation bath after passing through the air gap at definite distances. The extrusion step should be performed carefully in order to obtain homogeneous and continuous hollow fibers. The HF samples were kept in pure water in a bath for 1 day to remove from solvent and additives, and solidification is provided. Then, they are taken from the bath to dry for 1 more day and kept on a paper. Finally, the green samples become ready for the sintering stage.

Hollow fiber green bodies are sintered in 100% Argon atmosphere at 1150°C temperature for 90 mins. This complete process is called dry-wet spinning technique in the literature. Then, structural and mechanical properties for three different particle sizes were examined separately.

## D. CHARACTERIZATION STUDIES

The effects of particle sizes were characterized to reveal the structure and shape of the HFs, to obtain chemical compositions, pore amount, average pore size and pore distributions. Scanning Electron Microscope and EDX Analysis were used to obtain cross-section views, and to reveal membrane morphology. X-Ray Diffraction Analysis were used to obtain the crystal phases of SS hollow fiber membranes by Bruker D2 Phaser device. The electrical resistance of the HFs were measured with a multimeter (Keysight, 34461A Digit Multimeter). Mercury Porosimeter Analysis were used to obtain the pore amount and pore size distribution using a Micromeritics AutoPore IV 9500 porosimeter. Three-point bending tests were done using Shimadzu mechanical test device. Three-point bending tests were

done by universal testing machine (Shimadzu, Japan). The strain rate was set to 1 mm/min and the span was 20 mm. Bending strength values were calculated using the equation below:

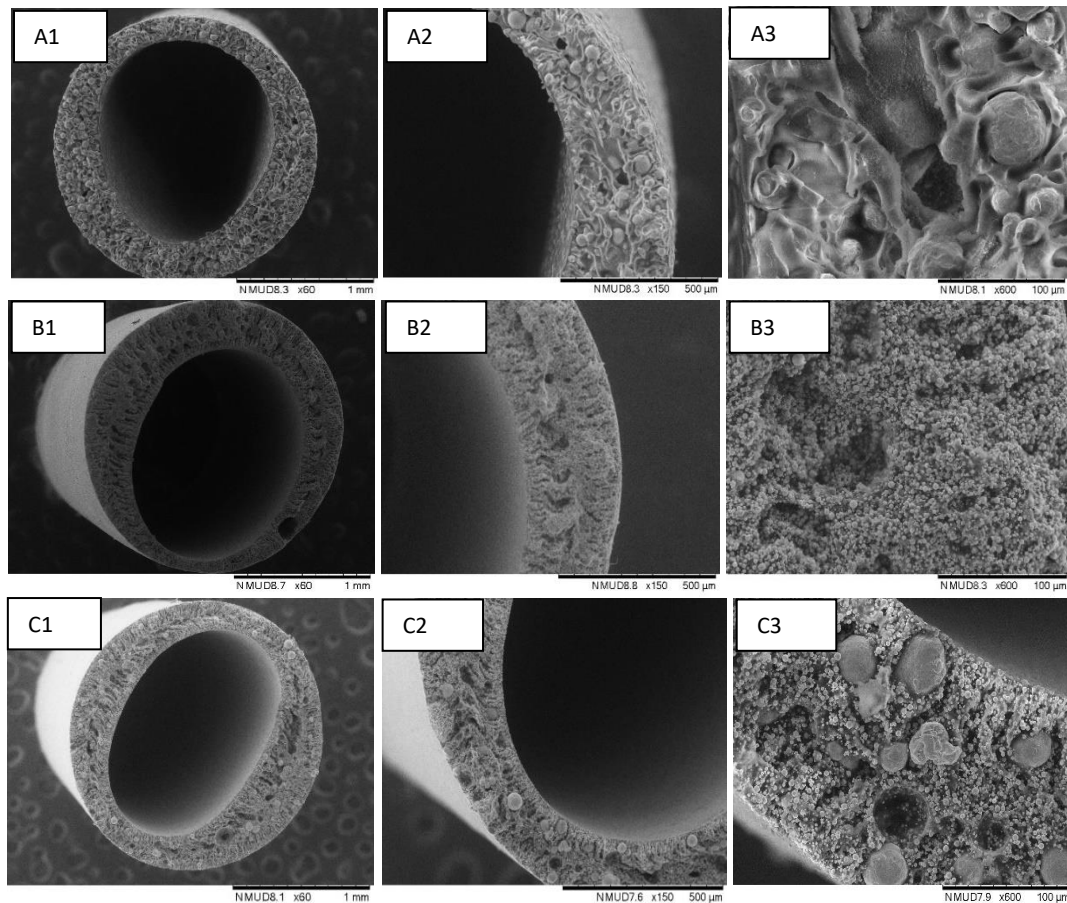
$$\sigma_f = \frac{8FLD}{\pi(D^4 - d^4)} \quad (1)$$

where F is the fracture force (N), L is the length, D is the outer diameter and d is the inner diameters of the HF samples (m). Here, samples with 26 mm length, 1.70 mm as outer diameter and 1.10 mm as inner diameter were used.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

#### **A. UNSINTERED SAMPLES**

Figure 1 represents the SEM images of the unsintered HF samples. Samples made of coarse particles have inhomogeneous cross sections, and contain very large pores in the center of the HF as seen in A1-3. Samples made of fine powders have homogeneous cross sections as similar with many literature studies (B1-3) [10, 19, 20]. The asymmetric structures contain sponge-like regions and finger-like voids as shown in B2 and C2.



**Figure 1.** Three different magnificant belong to unsintered samples A1-3) C-SS, B1-3) F-SS, C1-3) M-SS.

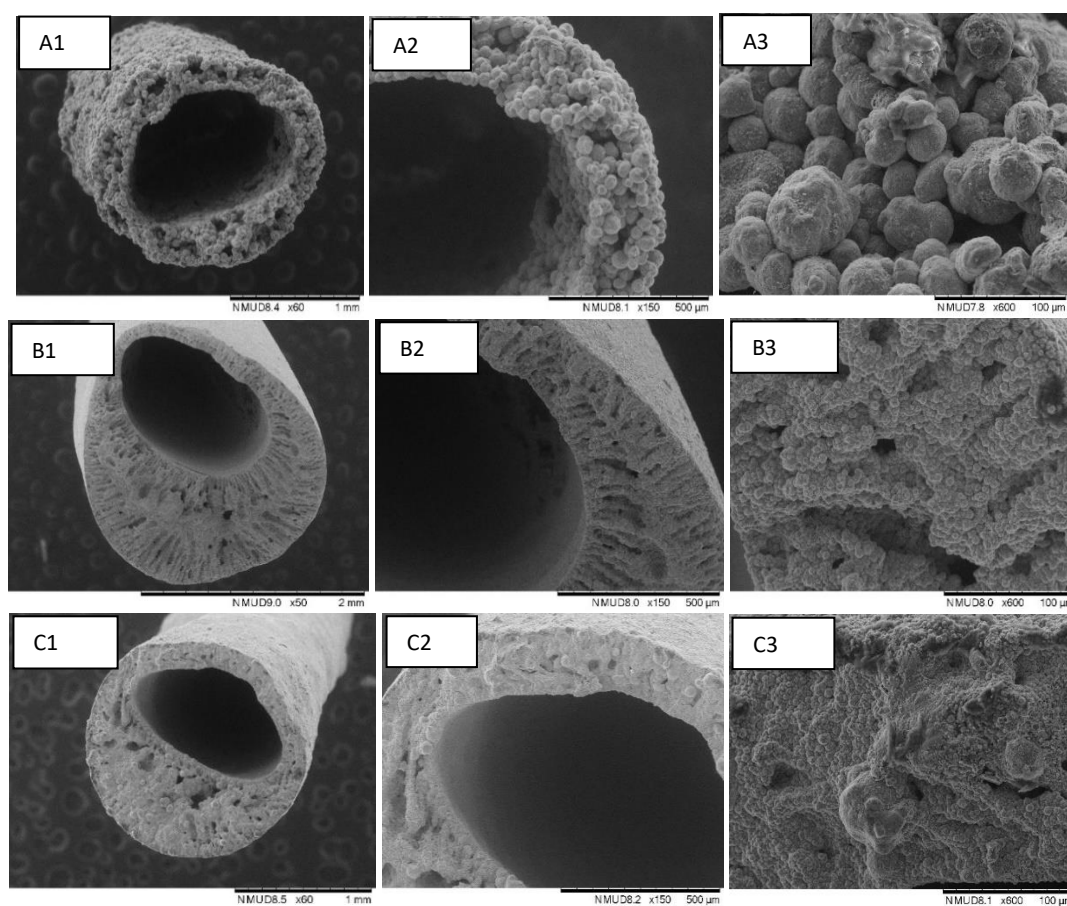
## B. SINTERED 316L SAMPLES

### B. 1. Structures of Hollow Fibers

Figure 2 shows the SEM images of cross-sections of the three different argon atmosphere sintered samples in order to evaluate the morphology of the fibers. Both spinning and sintering processes were performed successfully as sintered HF samples have homogenous hollow structure and shape. Sintering was carried out in argon atmosphere. It seems that all polymeric binder has been pyrolyzed from the HF structure successfully.

When particle sizes are compared, membrane with finest particles has higher densification in terms of microstructure, also have a dominant finger-like structure but also some sponge-like structures. These two structures are typical which are the required signs from hollow fibers. The finger-like structure occurs from inner surface, the sponge-like structures are located at the outer region of the cross-section [20]. The finger-like voids were formed due to fast exchange between solvent (NMP) and no-solvent (water) while sponge-like structure was formed due to slow exchange during the spinning process [17].

Sponge like structures and finger like voids become dominant for the fine particle size HFs (F-SS). The finger-like structures are observed in B1 while sponge-like structures are observed for C1. For the samples with coarse particles A1-A2, large pores are obtained. Therefore, finger-like voids and sponge like structures are not obtained in these samples. These results are consistent with the literature studies which showed that smaller particles yield finger-like structures [10,20] and because of this reason, 316L particle size around 3-10 microns is preferred [3,10,19].



*Figure 2. SEM images belong to sintered samples A1-3) C-SS, B1-3) F-SS, C1-3) M-SS.*

Table 3 shows the EDX analysis of the three different compositions of Ar sintered HF membranes. Both compositions contain the major components of SS such as Fe, Cr, Ni, Mo. Table 4 shows the densification behaviour of SS HF membranes by showing the densification values. As a result, mixed particle size composition yields higher densification which can be attributed to more efficient sintering than the other two.

**Table 3.** Elemental compositions (wt%) from the EDX analysis of sintered HF samples

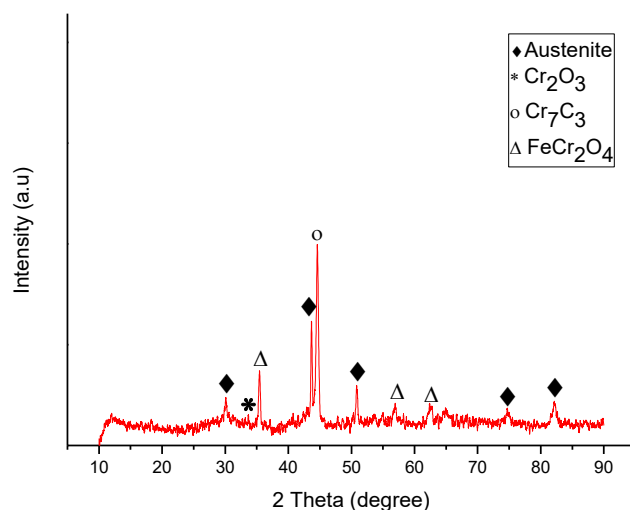
Sample codes	Elemental composition (wt%)							
	Fe	Cr	Ni	Mo	O	Si	N	C
C-SS	36	54	2	1	7	-	-	-
F-SS	79	9	1	1	10	-	-	-
M-SS	60	24	8	2	6	-	-	-

**Table 4.** Densification of sintered hollow fiber membranes.

Sample codes	Shrinkage (%)
C-SS	49.2
F-SS	55.2
M-SS	67.4

## B. 2. X-Ray Diffraction (Xrd) Analysis

XRD analysis was performed to 316L HF samples sintered at 1150°C at argon atmosphere is shown in Figure 3. The phases formed after the sintering process seem similar among all particle size compositions. Also, intensities of all phases are similar. Therefore, one analysis is given corresponding to all compositions. According to the analysis, all peaks belong to austenite phase, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> and FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> phase of Ar sintered HF membranes. Since the chromium carbide is formed, it seems that some binders remain in the fiber after the sintering process. Also, there is some amount of FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> phase in the structure which is possibly due to the coagulation process. Moreover, argon atmosphere could play a weak role in preventing oxidation.



**Figure 3.** XRD analysis of sintered 316L HF samples.

### B. 3. Electrical Resistivity Analysis

Electrical resistance of the HF samples are shown in Table 5 with the sample codes. Electrical resistance decreases with decreasing particle size as finest and mixed particle sizes give lower values compared to the coarse one. The finest particle size gives the lowest electrical resistivity value. The lower pore size creates a conductive path and results in denser structure (lower resistance) is obtained.

*Table 5. Electrical resistivity values of the sintered HF membranes.*

Sample codes	Electrical resistivity ( $\Omega$ )
C-SS	2.85 $\pm$ 0.4
F-SS	1.45 $\pm$ 0.5
M-SS	1.70 $\pm$ 0.8

### B. 4. Mercury Porosimeter Analysis

Mercury porosimetry analyzer was used to analyse of the pore size distribution of the sintered samples, and the results are given in Table 6. As the particles sizes are decreased in F-SS and M-SS samples, the amount of porosity decreases from 55 to 44 and 41 % respectively which means samples with finer particles give denser structures with lower porosity. This situation is also seen for the average pore diameter as they are decreased from 4.60 to 1.20 microns. In the study of Allieux et al. [3], it was shown that the pore size is smaller when a multimodal size particles are used. So, the smaller pore size obtained for mixed particle size is similar as it is lower than the finest particle size.

*Table 6. Pore analysis of sintered hollow fiber membranes.*

Sample codes	Porosity (%)	Average Pore Diameter ( $\mu\text{m}$ )
C-SS	55.3	4.6
F-SS	44.7	1.4
M-SS	41.2	1.2

The pore size distribution of C-SS sample has wide range between 1-30 microns as shown in Figure 4. M-SS has 1-10 microns pore diameter distribution containing high percentage of 1-5 microns.

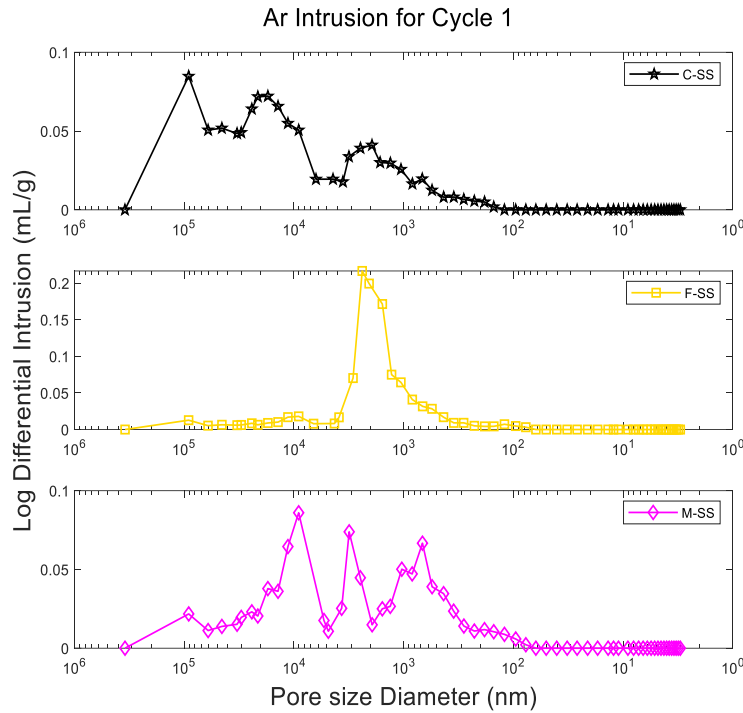


Figure 4. The pore size distribution of Ar sintered 316L samples.

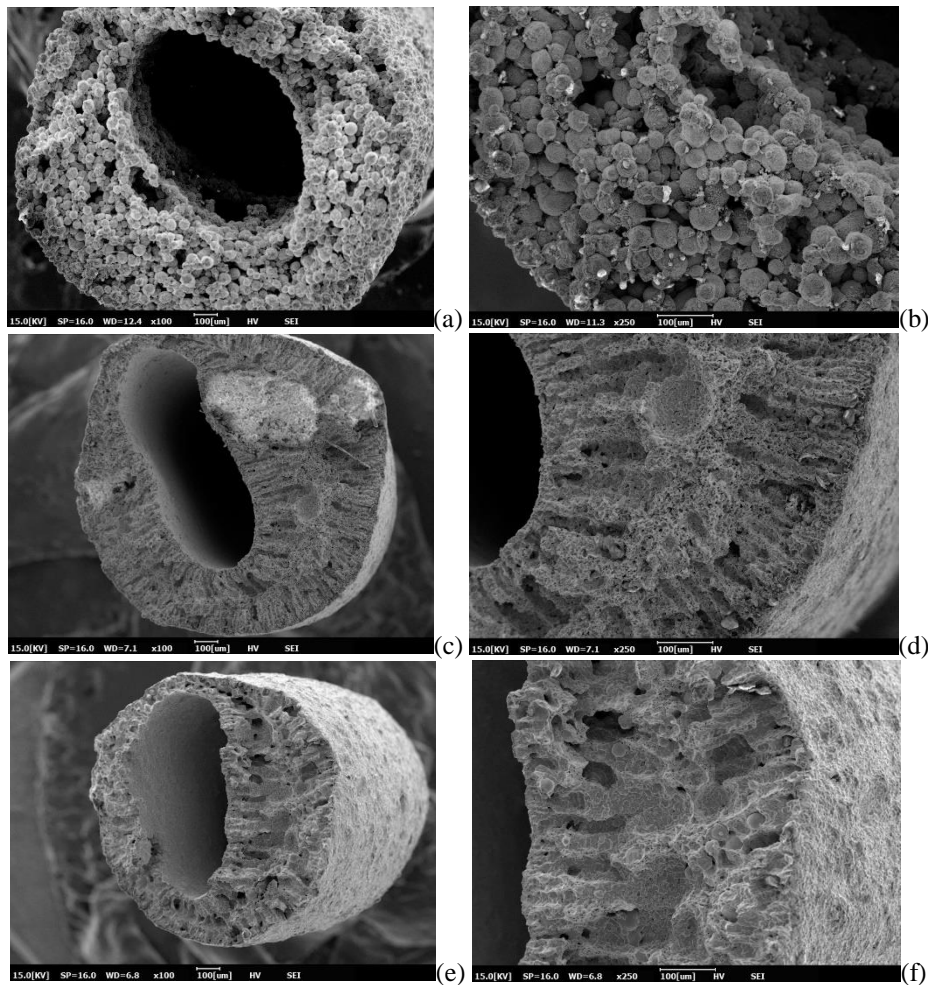
### B. 5. Bending Tests

Table 7 shows the bending test results of Ar sintered 316L hollow fiber membranes. HFs with coarse particles (C-SS) have lower bending strength and bending deflection. Finest particle size samples show higher bending strength and bending deflection compared to coarse and mixed particle size samples. Particle size has an impact on mechanical strength. The results of 316L HFs show parallel mechanical properties when compared with the results of study of Wang et al [21], and other studies in the literature [2, 11], because the strength increased when the particle size decreased in these studies. For example, our bending strength values are close to the values obtained in the study of Rui et al. [11] as they obtained 228.7 MPa of strength with 70% solid loading for 316L HFs by sintering at 1100°C under hydrogen atmosphere.

Table 7. Bending test results of sintered 316L hollow fiber membranes.

Sample codes	Bending Strength (MPa)	Bending Deflection (mm)
C-SS	26.7 ± 2.1	1.3 ± 0.1
F-SS	250.2 ± 25.1	6.1 ± 1.2
M-SS	212.5 ± 29.9	6.0 ± 0.6

SEM images belong to the fracture surfaces of the samples after bending tests are given in Figure 5. In figures 5a and b, it is clearly seen that there occurred a flat fracture surface with many holes between the particles. Whereas for the F-SS sample, the ductile fracture can be recognized from the deformation as seen in Figure 5c, and micro voids are obviously seen in higher magnifications as in figure 5d. In addition, the structure of the M-SS sample has some micro as well as macro voids leading to the acceptable mechanical properties described earlier (Fig 5e-f).



**Figure 5.** SEM images belong to the fracture surfaces after bending tests a-b) C-SS, c-d) F-SS, e-f) M-SS.

Considering the relationship of all these results with each other, it is useful to summarize the effect of particle size on physical properties and thus on mechanical properties. The optimum desired microstructure (finger-like structure in the inner part and sponge-like structure in the outer part) is reached using the finest particle size, however mixed particle size yields a lower amount of porosity in the inner surface but more heterogeneous pore size. Therefore, anyway finest particles yield a higher strength value which is most probably due to the homogenous particle distribution in the outer surface.

## IV. CONCLUSIONS

316L HF samples were produced as both spinning and sintering process was performed successfully. It has been observed that stainless steel HF samples had a homogeneous hollow structure and shape. Following conclusions can be drawn:

- 1) HF produced from fine particles have higher densification when particle sizes are compared. Also, they have dominant finger-like structure but also some sponge-like structures which are shown in SEM figures. For the samples with coarse particles, large pores are obtained, therefore, finger-like voids and sponge like structures are not obtained. EDS results show that the major components of HF samples are Fe, Cr, Ni, Mo. It seems that all the polymeric binder pyrolysed from HF structure.
- 2) As a result of XRD analysis of 316L HF membranes, all peaks belong to austenite phase,  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ , and small amount of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  phase.



- 3) The electrical resistance decreases with decreasing particle size as finest and mixed particle sizes (denser structures) give lower values compared to coarse particle size because lower pore size creates a conductive path.
- 4) As a result of mercury porosimeter analysis, when the particles sizes are decreased, the amount of porosity decreases which means samples with finer particles give denser structures with lower porosity. Although the pore sizes are close to each other for the finest and mixed particle size samples, mixed particle size yields lower porosity than the finest particle size.
- 5) As a result of bending tests, coarse particle size samples have the lowest bending strength and bending deflection. Also, finest particle size samples show the highest bending strength and bending deflection.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This study was founded by a Scientific Research Project of İzmir Katip Çelebi University (Project no: 2018-GAP-MÜMF-0003).

## **V. REFERENCES**

- [1] A. Mustafa, *Membran Teknolojileri*, 1<sup>st</sup> ed., Ankara, Türkiye: Türkiye Çevre Koruma Vakfı, 2016, ch. 3, pp.19-39.
- [2] D.R. Schmeda-Lopez, S. Smart, E.H.M. Nunes, D. Vasconcelos, W.L. Vasconcelos, M. Bram, W.A. Meulenber, J.C.D. da Costa, “Stainless steel hollow fibres: Sintering, morphology and mechanical properties,” *Separation and Purification Technology*, vol. 147, pp. 379-387, 2015.
- [3] F.-M. Allieux, O. David, M. E. Benavides, L. Kong, D.A.P. Tanaka, L.F. Dumée, “Preparation of Porous Stainless Steel Hollow-Fibers through Multi-Modal Particle Size Sintering towards Pore Engineering,” *Membranes*, vol. 7, no. 40, pp. 1-15, 2017.
- [4] B.F.K. Kingsbury, K.Li, “A morphological study of ceramic hollow fibre membranes,” *J. Membr. Sci.*, vol. 328, pp. 134–140, 2009.
- [5] J. Li, L. Wang, Y. Hao, et al., “Preparation and characterization of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hollow fiber membranes,” *J. Membrane Sci.*, vol. 256, pp. 1-6, 2005.
- [6] X. Tan, S. Liu, K. Li, “Preparation and characterization of inorganic hollow fiber membranes,” *J. Membrane Sci.*, vol. 188, 87–95, 2001.
- [7] Dumée, L.F., He, L., Wang, Z., Sheath, P., Xiong, J., Feng, C., Tan, M.Y., She, F., Duke, M., Gray, S. “Growth of nano-textured graphene coatings across highly porous stainless steel supports towards corrosion resistant coatings”. *Carbon*, vol. 87, pp. 395–408, 2015.
- [8] A. Cassano, N.K. Rastogi, A. Basile, *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment*, 1<sup>st</sup> ed., Oxford, UK: Woodhead Publishing, 2015, pp. 551–580.
- [9] M.W.J. Luiten-Olieman, L. Winnubst, A. Nijmeijer, et al., “Porous stainless steel hollow fiber membranes via dry-wet spinning,” *J. Membrane Science*, vol. 370, pp. 124–130, 2011.
- [10] D.R. Schmeda-Lopez, S. Smart, W.A. Meulenber, J.C. Diniz da Costa, “Mixed matrix carbon stainless steel (MMCSS) hollow fibres for gas separation,” *Separation and Purification Technology*, vol. 174, pp. 150-158, 2017.
- [11] W. Rui, C. Zhang, C. Cai, X. Gu, “Effects of sintering atmospheres on properties of stainless steel porous hollow fiber membranes,” *Journal of Membrane Science*, vol. 489, pp. 90-97, 2015.

- [12] B. Michielsen, H.Chen, M.Jacobs, et al., "Preparation of porous stainless steel hollow fibers by robotic fiber deposition," *J. Membrane Science*, vol. 437, pp. 17–24, 2013.
- [13] C. Garcia, F. Martin, P. Tiedra and L. G. Cambronero, "Pitting corrosion behaviour of PM austenitic stainless steels sintered in nitrogen–hydrogen atmosphere," *Corrosion Science*, vol. 49, pp. 1718– 1736, 2007.
- [14] P. Samal, J. Pannell, U. Engstrom and O. Mars, "Austenitic stainless steels with enhanced mechanical strength," *Proc. in World PM2010 Conference*, European Powder Metallurgy Association (EPMA), Florence, Italy, 2010, pp. 1–8.
- [15] O. Ertugrul, H.-S. Park, K. Onel and M. Willert-Porada, "Structure and properties of SiC and emery powder reinforced PM 316l matrix composites produced by microwave and conventional sintering," *Powder metallurgy*, vol. 58, no.1, pp. 41-50, 2015.
- [16] E. Klar, P.K. Samal, *Powder metallurgy stainless steels: processing, microstructures, and properties*, 1<sup>st</sup> ed., Materials Park, Ohio, USA: ASM International, 2007, ch. 5, pp.59-68.
- [17] S.S.L. Oliveira, S.S.L. Oliveira, R.S.B. Ferreira, H.L.C. Lira, L.N.L. Santana, E.M. Araújo, "Development of hollow fiber membranes with alumina and waste of quartzite," *Materials Research*, vol. 22, no.1, pp. 1-7, 2019.
- [18] T. Kato, K. Kusaka, "On some properties of sintered stainless steels at elevated temperatures," *Powder Metallurgy*, vol. 27, no. 5, pp. 2-8, 1980.
- [19] M.W.J. Luiten-Olieman, L. Winnubst, A. Nijmeijer, M. Wessling, N.E. Benes, "Porous stainless steel hollow fiber membranes via dry-wet spinning," *Journal of Membrane Science*, vol. 370, pp. 124-130, 2011.
- [20] S. Lopez, D.R. Smart, E.H.M. Nunes, D. Vasconcelos, W.L. Vasconcelos, M. Bram, W.A. Meulenber, J.C. Diniz da Costa, "Stainless steel hollow fibres - Sintering, morphology and mechanical properties," *Separation and Purification Technology*, vol. 147, pp. 381-389, 2015.
- [21] Q. Zhong, Z.L. Xu, X. Ma, M. Wang, "Modification of porous stainless steel hollow fibers by adding TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> nano particles", *Journal of Porous Materials*, vol. 23, pp. 1529-1536, 2016.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Yeni Bir İç Mekân Konum Bulma Sistemi

 Şeyda YAMAN<sup>a,\*</sup>,  Köksal GÜNDOĞDU<sup>b</sup>,  Ali ÇALHAN<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimler Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup> E&K Arge Mühendislik Ltd. Şti. Düzce, Türkiye

<sup>c</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI:10,29130dubited.747445

### ÖZET

Teknolojinin gelişimine paralel olarak konum bulma sistemleri çok önem kazanmıştır. Konum bulma sistemleri dış mekân konum bulma sistemleri ve iç mekân konum bulma sistemleri diye temel olarak iki sınıf altında toplanmıştır. Dış mekân konum bulma sistemleri genellikle GPS (Global Positioning System; Küresel Konumlama Sistemi) sinyallerini temel aldığı için iç ortamda verimli bir şekilde çalışmamaktadır. İç mekân konum bulma sistemleri gelişimini sürdürmektedir ve üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada, verimli bir iç mekân konum bulma sistemi oluşturabilmek için elektronik kart tasarımları gerçekleştirilmiştir. İç mekân konum bulma yöntemi için bu kartlara uygun yazılımlar hazırlanmıştır. Ayrıca sistemi verimli bir şekilde analiz edebilmek için arayüz programı tasarlanmıştır. Yapılan test sonuçları ve veriler incelendiğinde iç mekân konum bulma sistemi için uygun maliyet ile yakın doğruluk değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İç Mekân Konum Bulma, Elektronik Kart Tasarımı, Kablosuz haberleşme

## A New Indoor Positioning System

### ABSTRACT

In parallel with the development of various technologies, the positioning systems have come into prominence. The positioning systems are basically grouped as outdoor and indoor positioning systems. Outdoor positioning systems generally do not work efficiently in the indoor environment, as they are based on GPS (Global Positioning System) signals. Indoor positioning systems continue to develop and many studies are being carried out. In this study, electronic card designs were created to make an efficient indoor positioning system. Software for the developed cards has been prepared for the indoor positioning method. In addition, an interface program has been designed to analyze the system efficiently. When the test results and data were analyzed, it was observed that close accuracy values were reached with suitable cost for the indoor positioning system.

**Keywords:** Indoor positioning, Electronic Card Design, Wireless Communications

# **I. GİRİŞ**

İnsanların zamanlarının neredeyse % 70'ini iç mekânda geçirmektedir [5]. Bundan dolayı günümüzde iç mekânlarda hızlı, güvenilir ve gerçek zamanlı bir konum bilgisini elde etmek insanlar için önemli sorunlardan bir tanesi olmuştur. Dış mekân konumlandırma sistemleri temel olarak Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System) sinyallerini temel aldığı için iç ortamda verimli bir şekilde çalışmamaktadır. Dış ortamın aksine iç ortamlarda genellikle GPS sinyalleri zayıfladığı için iç mekan yer tespitinde farklı tür konumlandırma sistemleri gerekmektedir [26]. İç ortamlarda konum bilgisi elde etmek için çeşitli yöntemler kullanılarak iç mekân konumlandırma sistemleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır [7-21]. Yapılan çalışmalarda doğru sonuçlara ulaşabilmek için kızılötesi alıcı-verici sistemler, iBeacon teknolojisi, cep telefonu, RFID (Radio Frequency Identification; Radyo Frekansı ile Tanımlama) teknolojisi...gibi farklı materyal kullanılmıştır [3, 5, 16-22]. Kullanılan materyallerin başında akıllı telefonlar gelmektedir [4-7]. Akıllı telefonlarla doğru sonuçlara yaklaşma oranı artarken maliyette doğru orantılı şekilde artmaktadır. Diğer taraftan Beacon cihazlar, Bluetooth cihazlar, IEEE 802.11 protokolünü destekleyen hazır cihazlar, RFID sistemleri, Kızılötesi sistemleri gibi cihazlar uygun maliyetli çözümlere ulaşılsa da, doğruluk oranları azalmaktadır. Kurulum kolaylıklarıyla ilgili çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Akıllı telefonlar gibi kompakt sistemler kurulum kolaylığı sağlarken, kızılötesi sistemler gibi dağınık sistemlerin kurulumu daha zordur [9,16]. Kullanılan sistemler, bir nesnenin gerçek pozisyonu ile hesaplanan pozisyonu arasında üç ile beş metre arasında hata payı olduğunu göstermektedir [3]. Yapılan çalışmalarda görüleceği üzere kullanılan materyaller ve algoritmalar farklı olsa da temel amaç pozisyonun doğruluğuna en yakın değerleri bulmaktır.

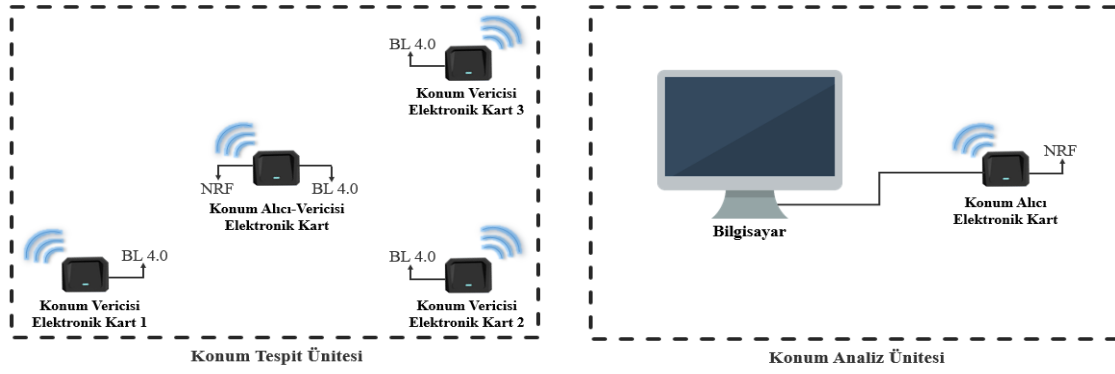
Bu çalışmada, uygun maliyet ile yakın doğruluk değerlerine ulaşabilmek için 3 adet “Konum Verici Elektronik Kartı”, 1 adet “Konum Alıcı-Verici Elektronik Kartı” ve 1 adet “Konum Alıcı Elektronik Kartı” tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sisteme ait verileri analiz edebilmek için C# programlama dili ile arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir. 3 adet verici noktasından gelen veriler, 1 adet alıcı-verici düğümden algılanıp kablosuz olarak bilgisayara bağlı olan alıcı düğüme NFR protokolü ile gönderilerek C# programlama dili ile tasarlanan analiz programında gösterilmektedir.

## **II. SİSTEM TASARIMI**

### **A. SİSTEME GENEL BAKIŞ**

Şekil 1’de gösterilen blok diyagramda görüleceği üzere sistem 2 bölüm şeklinde tasarlanmıştır. Birinci bölüm konum bilgilerinin tespit edildiği “Konum Tespit Ünitesi”, ikinci bölüm ise gelen konum bilgilerinin analiz edilerek kullanıcılara gösterildiği “Konum Analiz Ünitesi”dir.

Konum Tespit Ünitesi, 3 adet verici elektronik kart ve 1 adet ortam içerisinde gezinen alıcı-verici elektronik karttan oluşmaktadır. Verici kartlardan gelen sinyal bilgileri, alıcı-verici kartta değerlendirilerek Şekil 1’de gösterilen “Konum Analiz Ünitesi” içerisindeki alıcı karta gönderilmektedir. Konum Analiz Ünitesi, ise toplanan verilere göre konum hesabının yapıldığı ve C# programlama dili ile tasarlanan arayüz programında doğruluk değerinin hesaplandığı bölümdür.



Şekil 1. Tasarlanan Sistemin Blok Diyagramı

## B. KONUM TESPİT ÜNİTESİ

Konum tespiti yapabilmek için tasarladığımız ve fiziksel olarak üretimini gerçekleştirdiğimiz elektronik kartlar Şekil 2.(a)' da görülmektedir. Şekil 2.(a)'da görüleceği üzere bu ünite 3 adet konum verici elektronik kart ve 1 adet konum alıcı-verici elektronik karttan oluşmaktadır. Kartlar ortam içerisine Şekil 3.'te gösterildiği gibi X,Y koordinatına göre yerleştirilmiştir. Birinci konum verici elektronik kartı (0cm,0cm), ikinci konum verici elektronik kartı (400cm,0cm) ve üçüncü konum verici elektronik kartı (400cm,370cm) koordinatlarına yerleştirilmiştir. Konum alıcı-verici elektronik kartı belirlenen alan içinde dolaşacak şekilde ayarlanmıştır. Konum verici kartlar Bluetooth 4.0 teknolojisi ile çalışan RSSI (Received Signal Strength Indicator; Alınan Sinyal Gücü Göstergesi) sinyallerini ve kimlik bilgilerini ortama gönderen kartlardır. Alıcı-Verici Elektronik Kartı, Bluetooth 4.0 ve NRF haberleşme protokolünü destekleyen hareketli bir noktadır. Verici kartlardan gönderilen RSSI ve kimlik bilgilerini Bluetooth 4.0 teknolojisi ile almaktadır. Alınan bu veriler NRF protokolü ile Konum Analiz Ünitesi Alıcı Kartına gönderilmektedir.



Şekil 2. (a) Konum Tespit Ünitesi İçin Gerekli Kartlar (b) Konum Analiz Ünitesi İçin Gerekli Kartlar

## C. KONUM ANALİZ ÜNİTESİ

Konum Analiz Ünitesi, bilgisayara bağlı 1 adet alıcı düğüm ve arayüz programından oluşmaktadır. Alıcı-verici elektronik karttan NRF protokolü ile gelen RSSI ve Kimlik bilgileri alıcı kart tarafından algılanıp dönüştürme işlemi Regular Parametric Model kullanılarak, (2B) trilaterasyon yöntemine göre

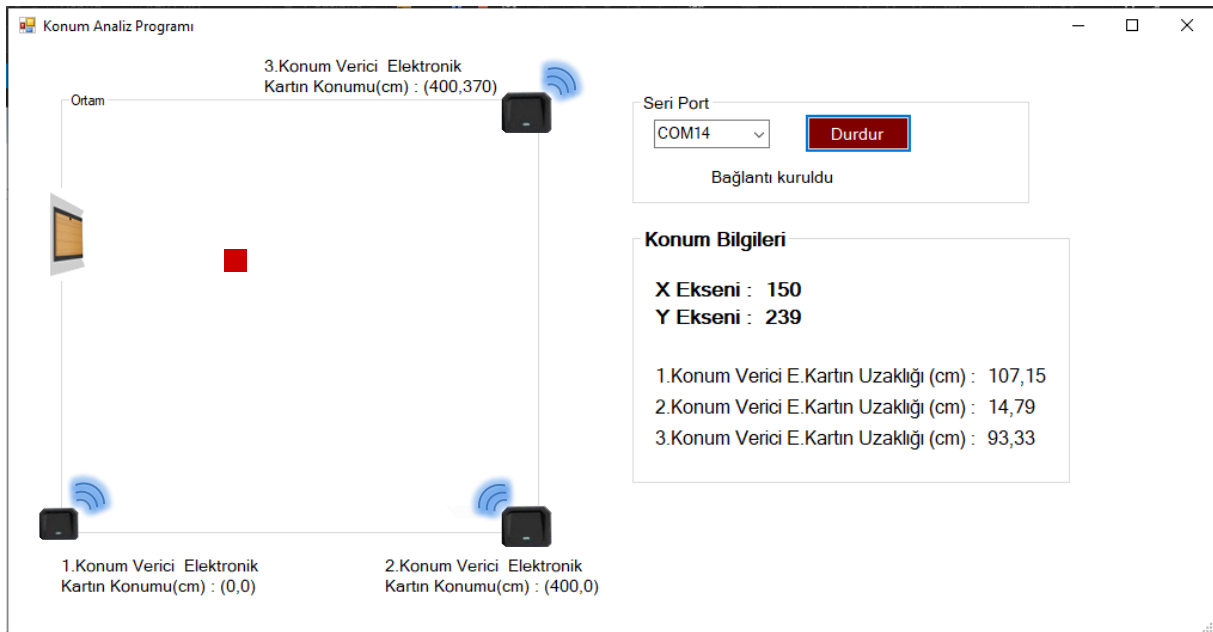
analiz edilmektedir [24]. Regular Parametric Modele göre RSSI ve  $RSSI_1$  denklemdeki ana parametreleri oluşturmaktadır. RSSI ve  $RSSI_1$  değerleri denklem 1’de gösterilen Regular Parametric Model formülü ile göre cm değerine dönüştürülmektedir. Elde edilen veriler sayesinde Konum Alıcı-Verici Elektronik Kartın X,Y koordinatları belirlenir. Belirlenen bu X,Y koordinatları bilgisayar üzerinde bulunan arayüz programına USB haberleşme yolu ile gönderilmektedir. Daha sonra belirlenen X,Y koordinatları arayüz programında Şekil 3.’de gösterildiği gibi X,Y koordinat düzleminde gösterilmektedir.

$$Uzunluk = 10^{\frac{RSSI - RSSI_1}{-10 + n}} \quad (1)$$

RSSI ortam içerisinde ölçülmüş olan değerdir.  $RSSI_1$  1 metre uzaklıktaki RSSI değeridir. n ortam değişkenidir, kurulan sistemde n, 20 olarak kabul edilmektedir [22].

#### D. ARAYÜZ PROGRAMI

Konum tespitinin analiz edilmesi için Şekil 3.’te gösterilen ve C# programlama dili kullanılarak hazırlanan bir arayüz programı tasarlanmıştır. Bu arayüz programında, konum analiz ünitesinde bulunan konum alıcı elektronik kart ile bağlantı yapabilmek için bir bölüm bulunmaktadır. Ayrıca konum verici elektronik kartların ortam içerisine X,Y koordinatına göre yerleştirildiği ve konum alıcı-verici elektronik kartın yerinin tespit edildiği bir bölüm ve konum verici elektronik kartların ortam içinde gezinen düğümüne olan uzaklıkları ve buna bağlı olarak düğümün koordinat bilgilerinin gösterildiği bölüm bulunmaktadır.

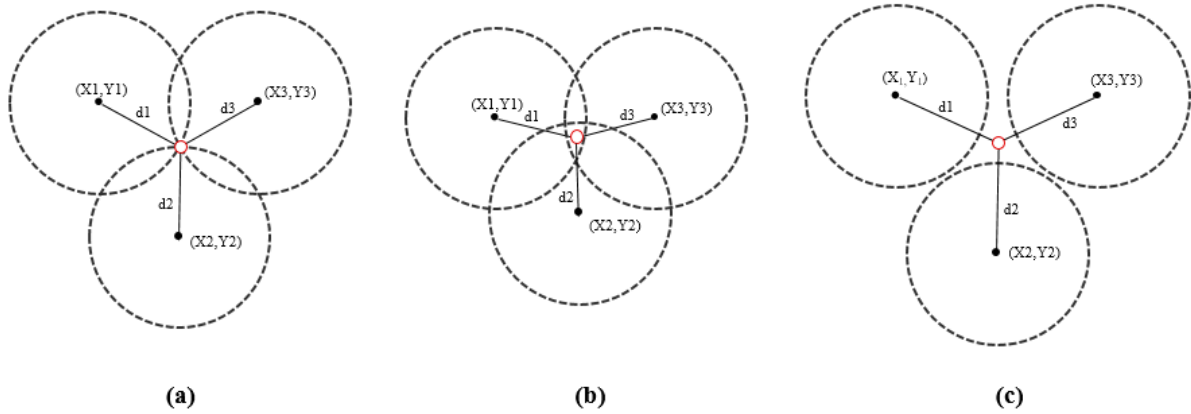


Şekil 3. Konum Tespiti İçin Kullanılan Arayüz Programı

#### E. TRİLATERASYON YÖNTEMİ

Trilaterasyon yöntemi iç ve dış ortam konum belirlemede tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir. Global Yer Tanımlama Sistemi (GPS) uyduları ile yapılan konum belirlemede genellikle Trilaterasyon yöntemi kullanılmaktadır. Trilaterasyon yöntemi kullanılan referans noktalarının sayısına ve koordinatların bilinirliğine göre değişir. Kurulan sistemde en az 3 farklı konum verici referans noktasının koordinatlarının bilinmesi ve konumu tespit edilmesi istenen düğümüne olan uzaklıkları

biliniyor ise iki boyutlu (2B) Trilaterasyon yöntemi kullanılabilir. Kurulan sistemde 4 farklı veya daha fazla konum verici referans noktasının koordinatlarının bilinmesi ve konumu tespit edilmesi istenen düğüme olan uzaklıkları biliniyor ise iki boyutlu (3B) Trilaterasyon yöntemi kullanılabilir [24]. İç ortam konum tespiti yapmak için kurulan sistemde 3 farklı noktada konum verici elektronik ortam içerisinde tavana konumlandırılmıştır. Tavana konumlandırılan konum verici elektronik kartların yerden yükseklikleri aynıdır. Konum tespiti için 3 farklı referans noktası baz alındığı için 2(B) trilaterasyon yöntemi tercih edilmiştir. 2B trilaterasyon yöntemi kullanılarak iç ortam konum tespiti yapılması için Şekil 3’de görüldüğü gibi konum verici elektronik kartların koordinatları çemberin merkez noktası olarak kabul edilmiştir. Konum verici elektronik kartların ortam içerisinde gezinen konum alıcı-verici elektronik kartta olan uzaklıkları yarıçap olarak kabul edilmiştir. Konum alıcı-verici elektronik kartın ortam içindeki koordinat noktalarının hesabı için Şekil 4’de görüldüğü gibi üç çember denklemin ortak çözüm noktalarının bulunması gerekmektedir. Tasarlanan sistemde Şekil 4.(a)’da gösterildiği gibi merkez noktası farklı 3 çemberin kesişimi hedef nokta kabul eden yöntem kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada trilaterasyon tekniği olarak kullanılan algoritma Cramer Rao yöntemidir. Denklem sayısının değişken sayısına eşit olduğu durumlarda tercih edilen bir yöntemdir [25].



**Şekil 4.** (a) Üç konum verici tek bir noktada kesişir (b) Üç daire belli bir alanda kaçırsın (c) Hiçbir noktada kesişmeyen daireler

Konum alıcı-verici elektronik kartın X ve Y koordinatları, Cramer Rao kuralını kullanarak denklem (2) çözümlenerek bulunur [6].

$$x = \frac{\begin{vmatrix} (d_1^2 - d_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2) & 2(y_2 - y_1) \\ (d_1^2 - d_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) & 2(y_3 - y_1) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_3 - x_1) & 2(y_3 - y_1) \end{vmatrix}} \quad Y = \frac{\begin{vmatrix} 2(x_2 - x_1) & (d_1^2 - d_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2) \\ 2(x_3 - x_1) & (d_1^2 - d_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_3 - x_1) & 2(y_3 - y_1) \end{vmatrix}} \quad (2)$$

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMALAR**

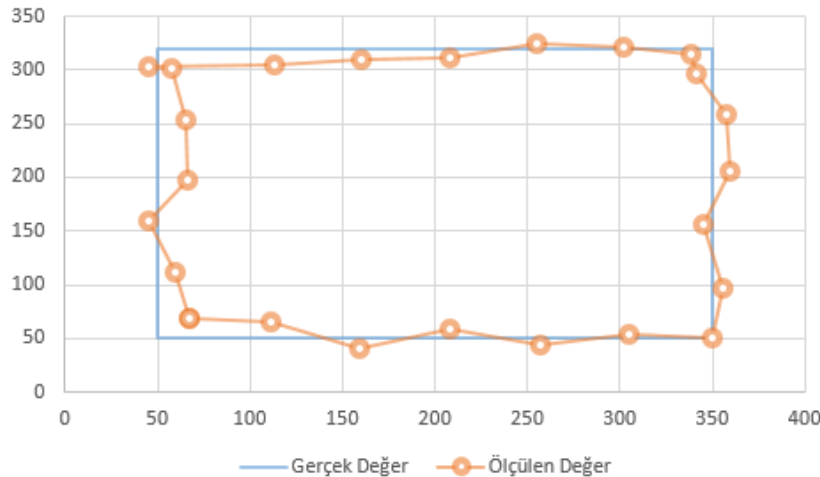
Tablo 1’ de, literatürde konum tespiti için yapılan çalışmalarda kullanılan cihazların ve fiyatlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Tablo 1’de görüleceği üzere 1. ve 2. makalede 4 adet hazır elektronik kart ve 1 adet akıllı cihaz kullanılarak bir sistem kurulmuştur ve sistemin toplam maliyeti sırasıyla 1753,88₺ ve 1721₺’dir. 3. makalede ise 1 adet elektronik cihaz ve 1 adet akıllı cihaz kullanılarak bir sistem kurulmuş ve sistemin toplam maliyeti 1818,46₺’dir. 4. makalede ise 1 adet hazır elektronik kart ve 7 adet elektronik kart tasarımı yapılarak bir sistem kurulmuştur. 7 adet elektronik kartın 2 tanesi devre kartı 5 tanesi verici karttan oluşmaktadır. Sistemin toplam maliyeti 836,86₺’dir. Tablo 1’de

görülebileceği üzere genellikle kurulan sistemlerde akıllı cihaz kullanılmış ve kart tasarımı yapılmak yerine hazır elektronik kartlar tercih edilmiştir. Bundan dolayı kurulan sistemlerin maliyetleri yüksek çıkmaktadır. Oluşturduğumuz sistemde akıllı cihazların maliyeti oldukça yüksek olmasından dolayı sistemde kullanılmak üzere 3 adet “Konum Verici Elektronik Kart” , 1 adet “Konum Alıcı Elektronik Kart” ve 1 adet “Konum Alıcı-Verici Elektronik Kart” tasarlanmıştır. Böylelikle sistem maliyeti diğer sistemlere göre azaltılmıştır. Sistemde kullanılan kartlar Arduino Leonardo tabanlıdır, ATmega32U4 mikrodenetleyici içermektedir. Alıcı-verici elektronik kart ve verici elektronik kart 1S 3,7 mA lipo pil ile gerilim beslemesi yapılmaktadır. 3,7V DC-DC boost converter ile 5V’ta çevrilmiştir. 2,4 GHz kablosuz haberleşme için alıcı elektronik kart üzerinde NRF modülü kullanılmıştır. Verici elektronik kartlar Bluetooth. 4.0 üzerinden haberleşmektedir.

**Tablo 1. Kullanılan Cihaz ve Fiyat Karşılaştırılması**

	(1) [4]	(2)[5]	(3)[6]	(4)[19]	(5)Bu Makale
Yaklaşık akıllı cihaz maliyeti	1343,04₺	799,00₺	1499,00₺	-	-
Akıllı cihaz adeti	1	1	1	-	-
Elektronik kartın yaklaşık maliyeti	410,84₺	922₺	319,46₺	436,86₺	-
Elektronik kart adeti	4	4	1	1	-
Tasarımı yapılan kartın Yaklaşık maliyeti	-	-	-	400₺	250₺
Tasarım yapılan kart adeti	-	-	-	7	5
<b>TOPLAM MALİYET</b>	<b>1753,88₺</b>	<b>1721₺</b>	<b>1818,46₺</b>	<b>836,86₺</b>	<b>250₺</b>

Tasarlanan sistemin verimliliğini görebilmek için gerçek ortamda duvar kenarlarına 50 cm boşluklar bırakılarak bir test düzlemi hazırlanmıştır. Hazırlanan test düzleminde Alıcı-Verici Elektronik kart (50,50) koordinat noktasından başlayarak düzlem üzerinde tam 1 tur gezdirilmiştir. Bu süre zarfında Şekil 3’te gösterilen arayüz programı ile kartın konum bilgileri 25 kere kayıt altına alınmıştır. Elde edilen test sonuçları Şekil 5’te bir grafik olarak ve Tablo 2’de değerler halinde gösterilmektedir.



**Şekil 5. Gerçek Ortamda Hazırlanan Test Sonucu**

Tablo 2’de test sonucunda beklenen değerler ve elde edilen sonuçlar bulunmaktadır. Tablo 2 ve Şekil 5 incelendiğinde, test sonuçlarının konum verici elektronik kartların kesişim noktasına yaklaştıkça



doğruluk değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca konum verici elektronik kartların kesişim noktalarından uzaklaştıkça doğruluk değerinde 5-20 cm arası sapmalar olduğu gözlemlenmektedir.

*Tablo 2. Gerçek Ortamda Hazırlanan Test Düzleminin Sonuçları*

Test Sayısı	Beklenen Değer		Ölçülen Değer	
	X	Y	X	Y
1	50	50	67	69
2	100	50	111	65
3	150	50	159	40
4	200	50	208	58
5	250	50	257	44
6	300	50	305	54
7	350	50	350	50
8	350	100	356	96
9	350	150	345	156
10	350	200	360	205
11	350	250	358	259
12	350	300	341	297
13	350	320	338	315
14	300	320	302	321
15	250	320	255	324
16	200	320	208	312
17	150	320	160	309
18	100	320	113	305
19	50	320	45	304
20	50	300	58	302
21	50	250	65	254
22	50	200	66	198
23	50	150	45	159
24	50	100	60	112
25	50	50	67	69

## **IV. SONUC**

Literatürde konum tespiti için yapılan çalışmalarda doğru sonuçlara ulaşabilmek için kızılötesi alıcı-verici sistemler, iBeacon teknolojisi, cep telefonu, RFID teknolojisi gibi farklı materyal kullanılmıştır. Akıllı telefonlarla doğru sonuçlara yaklaşma oranı artarken maliyette doğru orantılı şekilde artmaktadır. Diğer taraftan Beacon cihazlar, Bluetooth cihazlar, IEEE 802.11 protokolünü destekleyen hazır cihazlar, RFID sistemleri, Kızılötesi sistemleri gibi cihazlar uygun maliyetli çözümlere ulaşılsa da, doğruluk oranları azalmaktadır. Kullanılan cihazlar ile yakın doğruluk oranlarına ulaşabilmek için kurulan sistemlerin yüksek maliyetlerin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu çalışmada, iç ortamda konum tespiti yapabilmek için alıcı elektronik kart, çevresindeki 3 adet verici elektronik kart ve topladıkları verileri bilgisayara verebilmek gönderebilmek için alıcı-verici elektronik kart olmak üzere 5 adet kart tasarlanmış ve fiziksel olarak üretilmiştir. Bu kartlara belirlenen haberleşme protokolü ve pozisyon

hesaplamaları yapabilmek için gerekli algoritma yazılımları hazırlanmıştır. Hazırlanan bu sistemin literatürde belirtilen sistemlerden daha ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. Doğruluk değerlerini hesaplayabilmek için yapılan test sonuçlarından görüldüğü gibi gerçek konum ile hata payı küçük değerler elde edilmiştir. Belirli noktalarda hata payının limit değerinin sıfır olduğu gözlemlenmektedir. Test sonuçları ve fiziksel ağ analiz edildiğinde, oluşturduğumuz sistemin uygun maliyet değerlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca hata payının literatürde belirtilen ürünler gibi performans gösterdiği görülmüştür. Dolayısıyla oluşturduğumuz sistemin düşük maliyet değerlerinde, yüksek performans değerleri sağlamıştır.

Yapmış olduğumuz çalışma şimdilik açık plan tek katlı binalarda kullanılabilir. Bu sistemi çok katlı binalarda ya da kapalı plan çok odalı tek katlı binalarda kullanabilmek için sinyalleri toplayan ve bilgisayara gönderen konum-alıcı verici kartında şu şekilde bir geliştirme yapılabilir. Alıcı-verici kartı NRF haberleşme teknolojisi ile göndermiş olduğu verileri, Wi-Fi üzerinden veri tabanına gönderilebilir. Veri tabanındaki verilerin işlenmesi ile çok katlı binalarda konum bulma sistemi uygun maliyet ve yakın doğruluk oranları ile gerçekleştirilebilir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] L. Wirola, T. A. Laine and J. Syrjärinne, "Mass-market requirements for indoor positioning and indoor navigation," *2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 2010, pp. 1-7,
- [2] Wu, T.; Xia, H.; Liu, S.; Qiao, "Y. Probability-Based Indoor Positioning Algorithm Using iBeacons," *Sensors*, vol. 19, no. 23, pp. 5226-5244, 2019
- [3] C. Kowalski, K. Blohm, S. Weiss, M Pflingstorn, P. Gliesche, and A. Hein, "MultiLow-resolution Infrared Sensor Setup for Privacy-preserving Unobtrusive Indoor Localization," *5th International Conference on Information and Communication Technologies for Ageing Well and e-Health*, 2019, pp. 183-188.
- [4] N. Duong and T. Dinh, "Indoor Localization with lightweight RSS Fingerprint using BLE iBeacon on iOS platform," *2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, 2019, pp. 91-95.
- [5] A. Sato, M. Nakajima and N. Kohtake, "Rapid BLE Beacon Localization with Range-Only EKF-SLAM Using Beacon Interval Constraint," *2019 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2019, pp. 1-8.
- [6] A. Poulou and D. S. Han, H, "Indoor Localization Using IMU Sensors and Smartphone Camera," *Sensors*, vol. 19, no. 23, pp. 5084-5101, 2019
- [7] R. Montoliu, E. Sansano, A. Gasco, O. Belmonte and A. Caballer "Senior Monitoring: A Real Case of Applying a WiFi Fingerprinting-based Indoor Positioning Method for People Monitoring," *IPIN*, 2019
- [8] Y.F. Tang, Y.X. Zhang, S.W. Hing and S.L. Kan, "Pixel-based Map Matching Algorithm for Pedestrian Dead Reckoning System," *IPIN*, 2019
- [9] D. Namiot, "On Indoor Positioning," *International Journal of Open Information Technologies*, vol. 3, no. 3, pp. 23-26, 2015
- [10] R. Brena, J. García-Vázquez, C. Galván-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales, and J. Fangmeyer Jr, "Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey," *Journal of Sensors*, 2017,

- [11] M. A. Al-Ammar *et al.*, "Comparative Survey of Indoor Positioning Technologies, Techniques, and Algorithms," *2014 International Conference on Cyberworlds*, 2014, pp. 245-252.
- [12] M. Kwak, C. Hamm, S. Park and T. T. Kwon, "Magnetic Field based Indoor Localization System: A Crowdsourcing Approach," *2019 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2019, pp. 1-8.
- [13] K. Al Nuaimi and H. Kamel, "A survey of indoor positioning systems and algorithms," *2011 International Conference on Innovations in Information Technology*, 2011, pp. 185-190.
- [14] B. Sekmen, K. R. Özyılmaz and G. İnce, "An efficient beacon hardware for indoor location services," *2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 2016, pp. 217-220.
- [15] A. Alarifi, A. Al-Salman, M. Alsaleh, A. Alnafessah, S. Al-Hadhrami, M. Al-Ammar ve H. Al-Khalifa, "Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances," *Sensors*, vol.16, no. 5, pp. 707-743, 2016
- [16] S. S. Saab and Z. S. Nakad, "A Standalone RFID Indoor Positioning System Using Passive Tags," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 5, pp. 1961-1970, May 2011.
- [17] S. C. Aydalka, "Bluetooth Beacon Teknolojisi Kullanarak Lokasyon Ve Müze Eser Tanıtım Uygulaması Gerçekleştirilmesi," *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye*, 2018.
- [18] B. Li, T. Gallagher, A. G. Dempster and C. Rizos, "How feasible is the use of magnetic field alone for indoor positioning?," *2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2012, pp. 1-9.
- [19] Y. Yelkovan *et al.*, "Infrared beacon based sub-meter indoor localization," *2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2014, pp. 1427-1430.
- [20] X. Li, D. Xu, X. Wang and R. Muhammad, "Design and implementation of indoor positioning system based on iBeacon," *2016 International Conference on Audio, Language and Image Processing (ICALIP)*, 2016, pp. 126-130.
- [21] T. Kitasuka, K. Hisazumi, T. Nakanishi and A. Fukuda, "WiPS: Location and Motion Sensing Technique of IEEE 802.11 Devices," *Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA'05)*, 2005, pp. 346-349.
- [22] A. S. Taşbaş, E. Erdal and S. Özdemir, "Real-Time Object and Personnel Tracking in Indoor Location," *2019 4th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, 2019, pp. 585-590.
- [23] S. Bozkurt, S. Günal, U. Yayan and V. Bayar, "Classifier selection for RF based indoor positioning," *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2015, pp. 791-794.
- [24] M. Qathrady and A. Helmy, "Improving BLE Distance Estimation and Classification Using TX Power and Machine Learning: A Comparative Analysis," *20th ACM Int'l Conference on Modelling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, 2017, pp. 79-83.

[25] E. G. Larsson, "Cramer-Rao bound analysis of distributed positioning in sensor networks," in *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 11, no. 3, pp. 334-337, March 2004.

[26] H. ARSLANTAŞ ve S. ÖKDEM, "İç Mekân Konumlandırma Yöntemleri," *4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences*, vol.4, no.6, pp. 441-443, 2019.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Taguchi Metodu ve Gri İlişkisel Analizi Kullanılarak 1,2316 Paslanmaz Çeliğin (R65) Mikro-Elektro Erozyon Delme Kabiliyetinin Değerlendirilmesi

 Sıtkı AKINCIOĞLU<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Makine Resim ve Konstrüksiyon Bölümü, Gümüşova Meslek Yüksekokulu, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [sitkiakincioglu@duzce.edu.tr](mailto:sitkiakincioglu@duzce.edu.tr)  
DOI:10.29130/dubited.833720

### ÖZET

Bu çalışmada, R65 paslanmaz çeliğin Mikro-Elektro Erozyon İşleme (Mikro-EDM) ile delinmesi incelenmiştir. Mikro-EDM işleminde akım (**A**) (3, 4 ve 5 A), vurum süresi (**T<sub>on</sub>**) (3, 4, ve 5  $\mu$ s) ve bekleme süresinin (**T<sub>off</sub>**) (2, 3, ve 4  $\mu$ s) delik girişindeki deformasyon faktörü (**F<sub>dT</sub>**), delik çıkışındaki deformasyon faktörü (**F<sub>dB</sub>**) ve Kerf açısına (**K<sup>o</sup>**) etkisi araştırılmıştır. Deney düzeni Taguchi metodu L<sub>9</sub> ortogonal dizilime göre yapılmıştır. Mikro-EDM işleminde sonuçlara çoklu faktörler etki ettiği için Gri İlişki Analizi (GRA) çoklu karakterizasyon yöntemi kullanılmıştır. **K<sup>o</sup>**, **F<sub>dT</sub>** ve **F<sub>dB</sub>** sonuçlarına etki eden en etkili parametrelerin belirlenmesi için varyans analizi (ANOVA) analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en düşük **K<sup>o</sup>**, **F<sub>dT</sub>** ve **F<sub>dB</sub>** değerleri sırasıyla 0,267°- 24,259  $\mu$ s ve 59,534  $\mu$ s olarak tespit edilmiştir. Taguchi Metoduyla tahmin edilen değerlerin %95 güven aralığında (CI) içinde olduğu görülmüştür. ANOVA analizine göre sonuçlara etki eden en önemli faktör %99,1 katkı oranı ile Akım olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** R65 paslanmaz çelik, Mikro EDM, Deformasyon

## Evaluation of Micro-Electro Erosion Drilling Capability of 1.2316 Stainless Steel (R65) Using Taguchi Method and Gray Relational Analysis

### ABSTRACT

In this study, the drilling of R65 stainless steel with Micro-Erosion Machining (Micro-EDM) was investigated. In micro-EDM process, the effects of current (**A**) (3, 4 and 5 A), pulse duration (**T<sub>on</sub>**) (3, 4 and 5  $\mu$ s) and standby time (**T<sub>off</sub>**) (2, 3 and 4  $\mu$ s) on deformation factor at hole entrance (**F<sub>dT</sub>**) deformation factor at hole exit (**F<sub>dB</sub>**) and Kerf angle (**K<sup>o</sup>**) were investigated. The experimental setup was done according to Taguchi method L<sub>9</sub> orthogonal array. Gray Relationship Analysis (GRA) multiple characterization method was used in micro-EDM process, as multiple factors affect the results. Analysis of variance (ANOVA) was performed to determine the most effective parameters affecting **K<sup>o</sup>**, **F<sub>dT</sub>** and **F<sub>dB</sub>** results. According to the results obtained, the lowest **K<sup>o</sup>**, **F<sub>dT</sub>** and **F<sub>dB</sub>** values were determined as 0.267°, 24.259  $\mu$ s and 59.534  $\mu$ s, respectively. It was seen that the values estimated by the Taguchi Method were within the 95% confidence interval (CI). According to the ANOVA analysis, the most important factor affecting the results was determined as current with a 99.1% contribution rate.

**Keywords:** R65 stainless steel, Micro EDM, Deformation

# I. GİRİŞ

Son yıllarda, işlenmesi zor malzemelerin delinmesi ile ilgili çalışmalar literatürde önemli yer tutmaktadır. Bu malzemeler mükemmel mekanik özelliklere sahip olduklarından verimli şekilde işlenmesi kapsamlı bir şekilde kullanmasını sağlayabilir. Elektro erozyon işleme (EDM), işlenmesi zor olan iletken malzemelerin etkili ve ekonomik bir şekilde işlenmesi için kullanılan geleneksel olmayan bir talaş kaldırma yöntemidir [1]. Ayrıca küçük ölçekli formların oluşturulması ve deliklerin delinmesinde de kullanılmaktadır.

Küçük deliklerin delinmesi birçok makine ve ekipmanın üretiminde karşılaşılan sorunlardan biri düşük delik çapı/delik boyu oranıdır [2]. Küçük çaplı deliklerin delinebilmesi için yüksek maliyetli teknolojik cihazların kullanılması gereklidir. Mikro delik delmek için lazer işleme ve mekanik delik delme gibi yöntemler kullanılır. Lazerle derin delme işleminde delik ovaliteleri (dairesellik) yüksek çıkmaktadır. Ayrıca yüksek elektrik sarfiyatından dolayı bu işlemin maliyeti yüksektir. Geleneksel yöntemlerde ise küçük çaplı matkap sarfiyat maliyetleri yüksektir. Fakat mikro-EDM cihazı ile mikro deliklerin delinmesi düşük maliyetle çözülebilmektedir [3]. Mikro-EDM işlem özellikleri, makro işleme özelliklerine çok benzemektedir. EDM işparçasının yüzeyine elektrot ile ısı sağlayarak meydana gelen noktasal bir erime ve buharlaşmayla işparçasından parça koparma işlemidir. EDM işleminde dielektrik sıvı, kısmen iyonize edilmiş bir gaz kanalı oluşturur. Böylece kesme işlemi oluşur. Mikro-EDM işleminin avantajlarının yanında bazı zorlukları da vardır. Mikro delme işleminde elektrot küçük olduğu için boşalım yerinden ısıyı uzaklaştırmak için yeterli alana sahip değildir. Bu, tek bir vuruş sağlanabilecek enerji miktarını ve dolayısıyla İşparçası İşleme Hızını (İİH) sınırlar [4]. EDM'de talaş kaldırma mekanizmasının elektrik enerjisi transferine ve termal sürece dayandığı bilinmektedir. Bununla birlikte, elektrik enerjisinden termal enerjiye enerji transferi, özellikle küçük enerji (<100 µJ) kullanan mikro-EDM 'de hala çalışılan bir konudur [5]. Mikro-EDM işlemindeki bu tür zorlukların giderilmesi için birçok araştırmacı Mikro-EDM 'de bilinmeyen faktörlerin işleme performansına etkisini belirlemek için araştırmalar yapmaktadır. Yapılan deneysel çalışmaların uzun sürmesi ve maliyetli olması nedeniyle optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan Taguchi Metodu bu tür mühendislik uygulamalarında deney tasarımı yaparak parametrelerin optimizasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Özellikle maliyeti yüksek deneylerde deney sayısını azaltarak güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Son yıllarda çoklu faktörün bulunduğu deneylerde Taguchi temelli GRA yardımıyla faktörlerin çoklu karakterizasyonu ile daha kapsamlı sonuçlara ulaşılmaktadır [7]. Mühendislik uygulamalarında çoklu performans kriterlerinin optimizasyonu önemli bir konudur. Birçok alternatif arasından en iyisini belirlemek oldukça zordur. Mevcut alternatifleri birden çok kritere göre değerlendirerek aralarından en iyi olan kriteri tespit etme işlemi Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Yetersiz veya belirsiz verilerin bulunduğu durumlarda derecelendirme, sınıflandırma ve karar verme tekniği olan ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır. GRA yöntemi de bu yöntemlerden biridir [8]. GRA yöntemi Taguchi Metoduyla birlikte kullanılmaktadır. Örneğin Natarajan ve ark. [9] çoklu performans karakteristik optimizasyonu ile Mikro-EDM işleminde, malzeme aşınma oranı, elektrot aşınma oranı ve kesme boşluğu (overcut) karakteristiklerini değerlendirmişlerdir. Optimizasyon işlemi ve sonuçların değerlendirilmesi için Taguchi Metodu ve GRA kullanmışlardır. Deneysel parametre olarak vuruş süresi, akım ve boşluk voltajını kullanmışlardır. Yapmış oldukları ANOVA analizine göre vuruş süresini, malzeme aşınma oranı, elektrot aşınma oranı ve kesme boşluğu sonuçlarına katkıda bulunan en etkili parametre olarak tespit etmişlerdir. Ay ve ark. [10] çoklu performans özelliklerine sahip Inconel 718 nikel bazlı süper alaşımın Mikro-EDM delme işlemini optimize etmek için GRA yöntemini kullanmışlardır. Akım ve vuruş süresi parametrelerinin işleme performansına etkisini belirlemek için deneyler gerçekleştirmişlerdir. Delik koniklik oranı ve dairesellik sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Optimizasyon metodu ile elde ettikleri sonuçlara göre akımın vuruş süresine göre işleme delik koniklik oranı ve dairesellik sonuçlarında daha etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Farklı bir çalışmada Mohanty ve ark. [11] Mikro-EDM işleminde Inconel 825 süper alaşımın talaş kaldırma oranı, yüzey pürüzlülüğü, radyal kesme boşluğu, ve yüzey kırılma yoğunluğu sonuçlarını optimize etmişlerdir. Deney tasarımı Taguchi L<sub>9</sub> ortogonal dizilime göre yapmışlardır. EDM birden fazla performans özelliği içerdiğinden, Inconel 825'in EDM işlemi sırasında işlem parametrelerini

optimize etmek için çok amaçlı optimizasyon tekniği olan GRA'yı kullanmışlardır. Analiz sonucunda, işlem parametrelerinin ideal kombinasyonunu akım (1 A), vurum süresi (10  $\mu$ s) ve görev faktörü (%75) olarak tespit etmişlerdir. Tsai ve ark. [5] çalışmasında, elektrotun şekil değişikliği ve aşınmasını, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Bu araştırmayla EDM işleminde önemli maliyet sorunu olan elektrot sarfiyatını azaltmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla, termal özelliklerin elektrot aşınması üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Deneylerde kullanılan bakır elektrotun kaynama noktası, erime noktası ve ısıl iletkenliği yükseldikçe elektrotun aşınma oranının azaldığını tespit etmişlerdir. Chern ve ark. [12] 200  $\mu$ m çapında mikro delikler delmek amacıyla titreşimli EDM işlemi yapan özel makine geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri makinede otomatik besleme sistemini kullanarak SUS304 paslanmaz çelik ve pirinç işparçasına toplu olarak mikro deliklerin delinmesini başarıyla gerçekleştirmişlerdir. Masuzawa ve ark. [13] derin mikro deliklerin EDM ile işlenmesi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneylerde dielektrik olarak su kullanan yatay bir EDM kullanmışlardır. Yatay EDM işlemi ile 50 $\mu$ m çapında ve çapın yaklaşık on katı derinliğe sahip mikro deliklerin delinmesini göstermişlerdir. Yan ve ark. [14] çalışmalarında, bakır elektrot kullanarak EDM ile karbürün mikro delik özelliklerini araştırmışlardır. Karbür işparçasına yüksek hassasiyetli mikro delme işleminde, elektrot dönme hızının deformasyon oluşumu, elektrot aşınma oranı, elektrot aşınmasına etkilerini incelemişlerdir. Karbürün EDM işleminde bakır elektrot ile mikro delikler delinmesinde, pozitif kutuplu işlemin gerekli olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca elektrotun dönme hızının artırılmasının, çapak tahliyesini iyileştirdiği ve mikro deliğin genişlemesini azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Tang ve ark. [15] S-03 paslanmaz çeliğin hassas EDM işleme parametrelerini optimize etmek için GRA ve Taguchi L<sub>9</sub> ortogonal deneysel yöntemi birleştirmeyi amaçlamışlardır. Deney parametresi olarak akımı 7 A, vurum aralığı 100  $\mu$ s, vurum genişliği 50  $\mu$ s ve boşluk voltajı 70 V kullanmışlardır. Sonuçlar, Taguchi Metodu ve GRA birleştirilmesinin işleme parametrelerini daha iyi optimize edebileceğini ve İHH'nin % 23,8 arttığını göstermişlerdir. Elde edilen ideal şartlarda en iyi yüzey pürüzlülüğü 1,7  $\mu$ m ve İHH 13,3 mm<sup>3</sup>/dak olarak tespit etmişlerdir. Sarıkaya ve ark. [16] AISI 304 paslanmaz çeliğin mikro EDM yöntemi ile delinmesini araştırmışlardır. Boşalım akımı, dielektrik püskürtme basıncı ve elektrot dönüş hızı gibi test parametrelerinin İHH, elektrot aşınma oranı (TWR), ortalama aşırı kesme (AOC) ve konik açına etkisini araştırmışlardır. İdeal işlem parametrelerini sırasıyla tekli optimizasyon ve çoklu yanıt optimizasyonu için sinyal-gürültü (S/N) analizi ve yanıt yüzey metodolojisi (RSM) kullanarak belirlemişlerdir. Çok amaçlı optimizasyon yardımıyla ideal işleme parametrelerini; boşalım akımı 10,18 A, dielektrik sıvı basıncı 58,78 bar ve elektrot dönüş hızı 100 rpm olarak belirlemişlerdir. ANOVA yardımıyla işleme hızı, elektrot aşınma oranı ve koniklik açısını etkileyen en önemli faktörün akım olduğunu belirlemişlerdir. Wang ve ark. [17] Mikro-EDM ile Polikristalin elmas (PCD)'lerin mikro delik işleme performansını araştırdı. Deneysel sonuçlar, negatif polarite işleminin, elektroda yapışan malzemenin getirdiği koruma nedeniyle PCD'lerin mikro EDM'si için uygun olduğunu göstermiştir. Elektrotun uygun bir yapışma hacmi, (İHH) artırmaya ve TWR azaltmaya yardımcı olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Erdem ve ark. [18] EDM delik delme işleminde yüzey kalitesini arttırmak için kendi etrafında dönen ortası delik pirinç elektrotlar kullanmışlardır. Çalışmalarında hidrokarbon bazlı dielektrikler yerine karbon ve nişasta tozu katkılı ısıtılmış silikon yağını kullanılmışlardır. Karbon tozu katkılı silikon yağı karışımıyla elde edilen dielektrikler sayesinde oldukça yüksek İHH'ye ulaşmışlardır. Deneylerde kullanılan 30°C ve 75°C'lerdeki karbon tozu katkılı dielektriğe nişasta tozu katkısı sayesinde yüzey özelliklerinin iyileştiğini tespit etmişlerdir. Kadirvel ve Hariharan [8] mikro EDM işleminde yüksek İHH, düşük TWR ve iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmek için Taguchi metodu ve Gri İlişki Analizini kullanmışlardır. İşleme performansına etki eden direnç, voltaj, ilerleme hızı gibi faktörlerin etkisini araştırmışlardır. Sonuçlara etki eden en etkili faktörün tespiti için ANOVA analizini kullanmışlardır. Sonuçlara etki eden en önemli faktörün voltaj ve direnç olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Maity ve Singh [19] bakır malzemenin tungsten elektrot kullanılarak delinen mikro-EDM deliklerin performansını araştırmışlardır. Delik performansını gösteren dairesellik hatası, katman oluşumu ve işleme süresini optimize etmek için Taguchi metodu ve GRA kullanmışlardır. Delme performansına etki eden direnç, voltaj, dönme hızı ve ilerleme hızı parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi L<sub>9</sub> deney dizilimini kullanmışlardır. Düşük işleme süresi için direnç 0,1  $\mu$ F, elektrot ilerleme hızı 0,003  $\mu$ m/s, dönme hızı 1500 rpm ve voltajı 90 V olarak tespit etmişlerdir. Mikro-EDM işleminde, GRA-Taguchi analizi sonuçlarına göre için optimize edilmiş işleme süresini, dairesellik hatasını ve katman kalınlığını en aza indirmek için ideal parametreler

elektrot ilerleme hızı 0,001 µm/s, dönme hızı 1500 rpm ve voltaj 120 V ve direnç 0,1 µF olarak tespit etmişlerdir. Sonuçlar tek başına değerlendirildiğinde en düşük işleme süresi sonuçları için ilerleme hızı ve voltaj değerlerini farklı bulunmuştur. Tüm sonuçlar GRA'ya göre değerlendirildiğinde farklı parametreler ideal değer olarak tespit etmişlerdir. Bu durum, Taguchi temelli Gri ilişkisel analizinin delik delme işlemi gibi performansı etkileyen çoklu karar verme analizlerinde önemini ortaya koymaktadır. Mikro-EDM işlemiyle ilgili literatür çalışmaları değerlendirildiğinde; Mikro EDM işlemiyle ilgili derin mikro deliklerin delinmesinde tam anlamıyla sorunların çözüme kavuşturulmadığı görülmektedir. Delik çapları küçüldükçe yüzey deformasyonu artmaktadır. Delik boyu artıkça delik giriş ve çıkış çaplarındaki farktan dolayı kerf açısının oluşumu kaçınılmazdır. Kerf açısının oluşumunu azaltmak için çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. EDM işlemlerinde her malzemenin tribolojik ve mekanik özelliğine göre sonuçları etkileyen parametreler değiştiği için ideal şartların belirlenmesi hem işparçası kalitesinin artırılması hem de işleme maliyetlerinin azaltılması için gereklidir. Taguchi Metodu gibi optimizasyon yöntemleri deney sayılarını azaltarak hem zaman hem de deney maliyetlerinde tasarruf sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar ile çoklu parametrelerin etki ettiği EDM işlemlerinde deney tasarımları Taguchi Metodu ve GRA kullanılarak başarılı bir şekilde yapılarak güvenilir deney sonuçları elde edilmiştir. Piyasada yaygın olarak kullanılan R65 paslanmaz çelik ile ilgili mikro delik çalışmaları sınırlıdır. Bu nedenle bu malzemenin Mikro-EDM delik performansının değerlendirilmesi faydalı olacaktır.

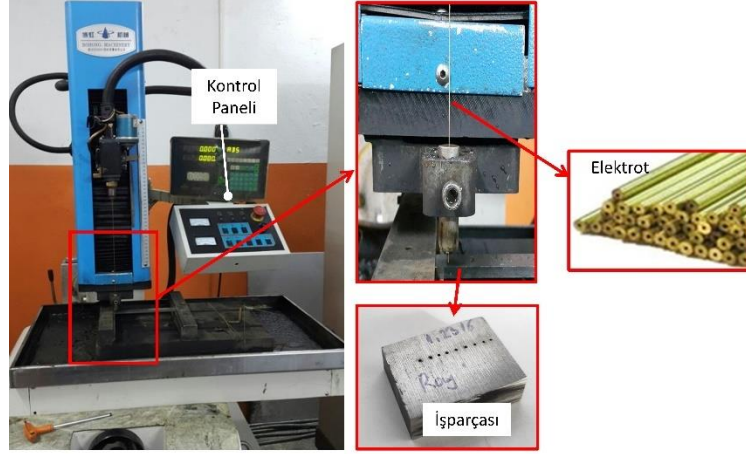
Bu çalışmada R65 çeliğin Mikro-EDM ile delinmesi incelenmiştir. Akım, vuruş süresi ve bekleme süresi faktörlerinin, deformasyon faktörü ve kerf açısına etkisi araştırılmıştır. Mikroskop ile deformasyon oluşumu incelenmiştir. Deneyler Taguchi metodu L<sub>9</sub> ortogonal dizilime göre yapılmıştır. Mikro-EDM işleminde sonuçlara çoklu faktörler etki ettiği için GRA çoklu karakterizasyon yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlara etki eden en önemli faktörü ve etki oranının tespiti için ANOVA analizi yapılmıştır.

## **II. MATERYAL METOT**

Deneyisel çalışmada, 20x30x10 mm boyutlarında R65 paslanmaz çelik kullanılmıştır. 1,2316 paslanmaz çelik (R65) yüksek krom içeriği nedeniyle iyi korozyon dayanıma sahip paslanmaz çeliktir. 27- 33 Rockwell C (RC)'ye ön sertleştirilmiş plastik kalıp çeliğidir. İçeriğindeki kükürt sayesinde hızlı işlenebilir özelliğine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle PVC korozif plastiklerin ve polimerlerin büyük kalıplarında kullanılırlar. Ayrıca gıda endüstrisine yönelik bıçak, kalıp ve diğer parçaların yapımında da kullanılırlar. Krom veya nikel kaplamaya gerek kalmadan kullanılması malzemeye avantaj sağlamaktadır. Alevle sertleştirmeye, nitrasyona ve indüksiyona uygundur. Manyetik özelliği ve parlatma özelliği iyidir.

Deneyler, Bohong Machinery marka EDM delme tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği ( Şekil 1)'de verilmiştir. Deneylerde dış çapı 0,3 mm iç çapı 0,15 mm olan 500 mm boyunda pirinç elektrot kullanılmıştır. Numuneler boydan boya delinmiştir (10 mm). EDM tezgâhında Voltaj 100 V, elektrot devir sayısı 1000 rpm elektrot ilerleme hızı 0,002 µm olarak belirlenip bu parametreler sabit tutulmuştur. Dielektrik sıvısı olarak EDM ULTRA marka üstün oksidasyon stabilitesine ve parlama noktasına sahip, düşük viskoziteli sıvı kullanılmıştır. Dielektrik püskürtme basıncı 40 bar olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan EDM Bohong Machinery tezgâhının teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



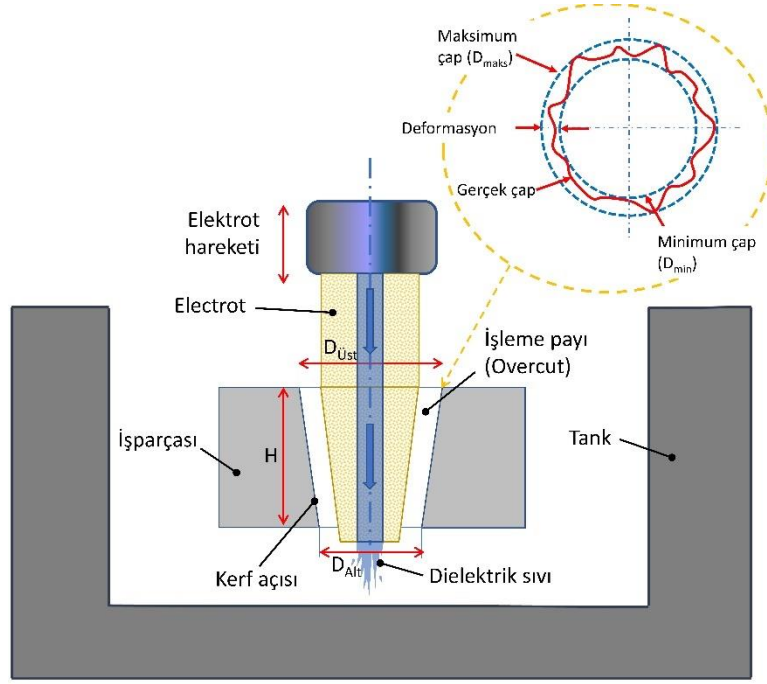


**Şekil 1.** Deneysel çalışmada kullanılan EDM delik delme tezgâhı ve bileşenlerinin görüntüsü

**Tablo 1.** Bohong Machinery marka EDM tezgâhı Teknik özellikleri

Model/özellikler	DK703 Birim
Tabla	320x440 mm
Tabla hareketi	250x350 mm
İşleme akımı	30 A
Elektrot çapı	Ø0,3-Ø3,0 mm
Tabla yükü	200 Kg
Çalışma sıvısı	EDM ULTRA Dielektrik sıvısı -
Güç	380V/50HZ /
Güç tüketimi	3,5 KVA

Talaş kaldırma işleminin yapılabilmesi için, işparçası ile elektrot arasında bir bağlantının bulunması ve güç kaynağının devamlı elektrik akımı üretmesi gerekmektedir. EDM delik delme işlemi ve deformasyon işleminin tanımlamasını anlatan görsel Şekil 2’de verilmiştir.



**Şekil 2.** EDM delik delme işlemi ve deformasyon

Mikro delik ile işlemede deliğin ortalama çapı ( $D_{ort}$ ) Eşitlik 1 ile koniklik açısı ise Eşitlik 2 ile hesaplanmaktadır. Delik giriş çapı ( $D_T$ ), delik çıkış çapı ( $D_B$ ) Kerf açısı ( $K^\circ$ ) açısı ve H işparçası malzemesinin kalınlığını ifade etmektedir [20].

$$D_{ort} = \frac{D_T + D_B}{2} \quad (1)$$

$$K = \arctan \frac{D_T - D_B}{2H} \quad (2)$$

Deformasyon faktörü Eşitlik 3'e göre hesaplanır.

$$Fd = D_{maks} - D_{min} \quad (3)$$

Burada Fd deformasyon faktörü,  $D_{maks}$  maksimum çap,  $D_{min}$  minimum çapı, ( $Fd_T$ ) delik girişindeki deformasyon faktörünü, ( $Fd_B$ ) delik çıkışındaki deformasyon faktörünü ifade etmektedir. Deneylerde elde edilen delik görüntüleri dijital mikroskop ile görüntülenmiştir. Image J görüntü analiz programı ile delik giriş ve çıkış görüntüleri analiz edilmiştir.

Bu çalışmada deney tasarımı Taguchi  $L_9$  deney dizilimine göre Minitab 17 programı kullanılarak yapılmıştır. EDM delme işleminde kalite özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu düşünülen kontrol parametreleri tanımlanır. Kontrol parametreleri ayarlanabilen ve korunabilen tasarım faktörleridir. Her test parametresi için seviyeler (test değerleri) bu noktada belirlenir. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler (akım, vuruş süresi, bekleme süresi) ve seviyeleri Tablo 2'te gösterilmiştir. Deney tasarımında faktör ve seviyelere uygun olan Taguchi metodu  $L_9$  deney dizilimi seçilmiştir (Tablo 3).

**Tablo 2.** Deney faktör ve seviyeleri

	Faktör	Semboller	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
1	Akım	A	A	3	4	5
2	Vuruş süresi	B	$\mu s$	3	4	5
3	Bekleme süresi	C	$\mu s$	2	3	4

**Tablo 3.** Taguchi  $L_9$  ortogonal deney düzeni

No	Faktör A	Faktör B	Faktör C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

S/N oranı, standart sapma yerine ölçülebilir bir değer olarak kullanılır. Taguchi tarafından geliştirilen S/N oranı, gürültü ile en iyi şekilde başa çıkabilecek kontrol seviyelerini seçmek için bir performans ölçüsüdür. S/N oranı hem ortalamayı hem de değişkenliği hesaba katar. En basit hali ile S/N oranı, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranıdır. S/N oranı özellikleri üç kategoriye ayrılabilir: en küçük en iyi, en büyük en iyi ve nominal değer en iyi. Bunlar içerisinde deformasyon faktörü ve kerf açısı için en küçük değerler ideal olduğu için “en küçük en iyi” karakteristiği kullanılmıştır. “En düşük en iyi” karakteristiği Eşitlik 4’e göre hesaplanır.

$$\frac{S}{N} : -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4)$$

Burada  $n$  test sayısı,  $y_i$   $i$ ’inci kalite karakteristiğinin deneysel değeridir.

Bu çalışmada Taguchi temelli GRA analizi kullanılarak çoklu performans faktörlerinin optimizasyonu yapılmıştır. Sonuçları analiz etmek için, Taguchi metodu sinyal-gürültü (S/N) oranı olarak bilinen performans ölçütü kullanılmıştır.

### **III. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

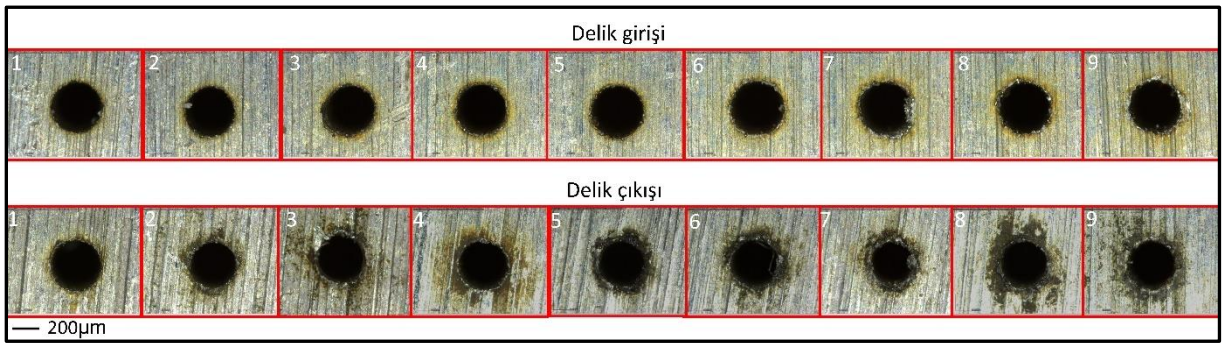
Deneysel çalışmada gerçekleştirilen mikro delik delme işleminde elde edilen delik girişindeki deformasyon faktörü ( $Fd_T$ ), delik çıkışındaki deformasyon faktörü ( $Fd_B$ ) ve Kerf açısı ( $K^\circ$ ) sonuçları Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 4.** Mikro deliklerin delinmesinden elde edilen sonuçlar

Deney No	Akım (A)	$T_{on}$ ( $\mu s$ )	$T_{off}$ ( $\mu s$ )	Giriş çapı ( $\mu s$ )	Çıkış çapı ( $\mu s$ )	Deformasyon faktörü	Kerf Açısı ( $K^\circ$ )	Giriş Deformasyon Faktörü ( $Fd_T$ )	Çıkış Deformasyon Faktörü ( $Fd_B$ )
1	1	1	1	330,374	251,395	1,314	1,323	24,259	59,534
2	1	2	2	315,263	292,977	1,076	0,839	33,054	77,921
3	1	3	3	331,401	304,147	1,090	0,938	50,514	64,058
4	2	1	2	322,375	316,899	1,017	0,267	52,329	75,652
5	2	2	3	343,963	274,378	1,254	1,291	32,601	124,752
6	2	3	1	342,915	297,104	1,154	1,159	38,195	111,594
7	3	1	3	348,853	290,363	1,201	1,241	54,849	135,545
8	3	2	1	338,482	302,472	1,119	1,064	40,604	169,239
9	3	3	2	334,422	306,643	1,091	0,947	55,404	140,045

Elde edilen sonuçlara göre en düşük kerf açısı 4. Deneyde 0,267  $K^\circ$  olarak tespit edilmiştir.  $Fd_T$  ve  $Fd_B$  ise en düşük değer 1. deneyde sırasıyla 24,259 ve 59,534 olarak tespit edilmiştir. Giriş delikleri genellikle çıkış deliklerinden daha büyük çıkmıştır. Bu durum elektrotun delik sonuna doğru aşınmasından kaynaklandığı söylenebilir.  $Fd_B$  değerleri akımın artmasıyla yükselmiştir. Bu durum da akımın yükselmesi delik çıkışındaki deformasyonun arttığını göstermektedir. Delme işlemi gerçekleştirilen malzemenin delik giriş ve çıkışlarının optik görüntüsü

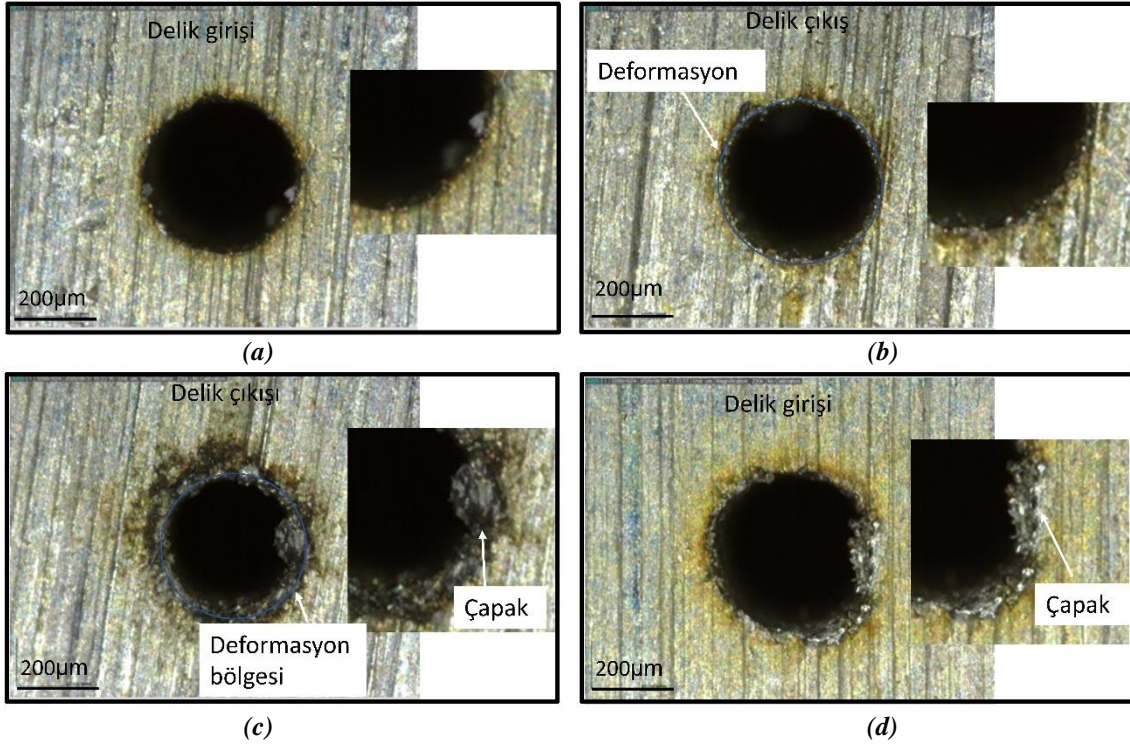
Şekil 3' de gösterilmektedir. Deliklerin giriş ve çıkışlarının mikroskop görüntüleri incelendiğinde parametrelere göre delik deformasyonunun farklı olduğu görülmektedir. Delik çıkışlarındaki deformasyonun delik girişlerine göre daha belirgin olduğu görülmektedir. Akım şiddeti arttıkça delik çıkışlarında deformasyon daha belirgindir. En yüksek akımın olduğu (5 Amper) 7, 8 ve 9 nolu deneylerde bu durum açık şekilde görülmektedir. Deformasyonla birlikte bu deliklerde çapaklanmalar da meydana gelmiştir. Delik giriş ve çıkışlarındaki dairesellik hatası, deformasyon elektrotun dönüşünden ve oluşan titreşimlerden kaynaklandığı söylenebilir. Kadirvel ve ark. [21] kalıp çeliklerinin mikro EDM ile delinmesinde deliklerin yüzey kalitesine ve dairesellik hatalarına elektrotta meydana gelen titreşimlerin sebep olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 3. Delme işlemi gerçekleştirilen R65 paslanmaz çeliğin delik giriş ve delik çıkış görüntüleri

Optimizasyon sonucunda elde edilen en iyi delik ve en kötü delik arasındaki kıyaslama yapmak için görüntüler incelenmiştir. GRA analizi sonucunda elde edilen tüm parametreler için en ideal değer 1 numaralı deneyde elde edilmiştir. En kötü değerler ise 7 numaralı deneyde elde edilmiştir. 1 ve 7 numaralı deneyde elde edilen delik görüntüleri

Şekil 4'te verilmiştir. 1 numaralı delik giriş ve çıkışında deformasyonun az olduğu açık şekilde görülmektedir. 7 numaralı deneyde ise oluşan deformasyon açık şekilde görülmektedir. Delik çıkışında özellikle daha fazla deformasyon oluşmuştur. Bu da artan akımın delik çıkışında deformasyona olumsuz etki ettiği sonucuna varılabilir. Akımın artmasıyla daha yüksek ısılarda erime gerçekleştiği için delik etrafında yanmalar ve cüruf oluşumu dikkat çekmektedir. Pradhan ve ark. [22] titanyum alaşımının mikro EDM işleminde delik giriş ve çıkışlarında benzer deformasyonların oluştuğu sonucuna varmışlardır.  $T_{on}$  arttıkça elektrotun ucunda aşınma meydana geldiğini ve bu aşınmanın delik girişinde deformasyonlara sebep olduğunu belirtmişlerdir. Oluşan deformasyonlar nedeniyle delik çaplarında dairesellik hataları oluştuğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca  $T_{on}$  arttıkça delik yan yüzeylerinde de beyaz tabaka oluştuğunu görmüşlerdir.



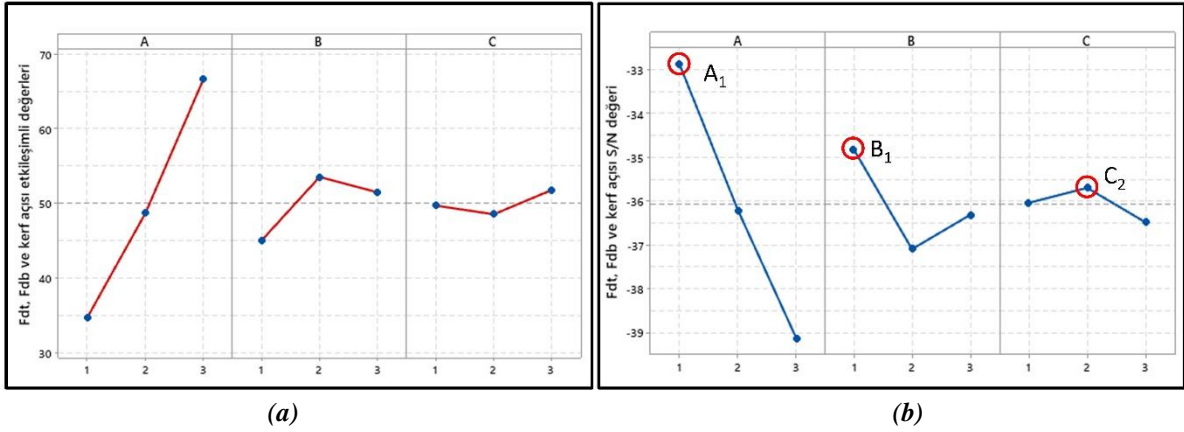
**Şekil 4.** Delik mikroskop görüntüleri, **a)** 1 numaralı delik girişi, **b)** 1 numaralı delik çıkışı, **c)** 7 numaralı delik girişi, **d)** 7 numaralı delik çıkışı

Taguchi metodu kullanılarak gerçekleştirilen analizde  $Fd_T$ ,  $Fd_B$  ve  $K^\circ$  için en ideal parametreler için “en küçük en iyi” karakteristiği kullanılmıştır. Analiz sonrasında elde edilen sinyal gürültü oranları Tablo 5’ de gösterilmektedir.

**Tablo 5.**  $Fd_T$ ,  $Fd_B$  ve  $K^\circ$  ortalama değerler ve S/N oranının yanıt tablosu

Ortalama değerlerin yanıt tablosu				S/N oranı yanıt tablosu			
Seviye	A	B	C	Seviye	A	B	C
1	34,74	45,02	49,69	1	-32,88	-34,81	-36,03
2	48,67	53,51	48,53	2	-36,20	-37,09	-35,69
3	66,58	51,46	51,78	3	-39,12	-36,30	-36,48
Delta	31,83	8,49	3,25	Delta	6,24	2,28	0,79
Rank	1	2	3	Rank	1	2	3

Sinyal gürültü oranı tablosunda sıfıra yakın olan değer en etkili parametredir [8]. Bu çalışmada kontrol faktörlerinin koniklik açısı, giriş hasar faktörü, çıkış hasar faktörü ve ortalama çap için en ideal parametreler bütün çıktılarda akım için seviye 1, vuruş süresi için seviye 1 ve bekleme süresi için seviye 2 olarak oluşmuştur ( $A_1B_1C_2$ ). Ortalama değerlerin ve S/N oranının yanıt tablosunda (Tablo 6) A faktörünün Rank değeri 1’dir. Rank değeri değişkenlerin önem sırasını vermektedir. Bu tablodan sonuçlara etki eden en önemli faktörün akım olduğunu söyleyebiliriz. Delta, ilgili değişkenin azami ve asgari değerleri arasındaki farktır. Delik girişindeki deformasyon faktörü ( $Fd_T$ ), delik çıkışındaki deformasyon faktörü ( $Fd_B$ ) ve Kerf açısı ( $K^\circ$ ) sinyal gürültü oranının ana etkiler grafiği Şekil 5’ de verilmiştir.



Şekil 5.  $Fd_T$ ,  $Fd_B$  ve  $K^o$  için, a) etkileşimli değerler ve b) S/N oranı grafiği

Delik girişindeki deformasyon faktörü ( $Fd_T$ ), delik çıkışındaki deformasyon faktörü ( $Fd_B$ ) ve Kerf açısı  $K^o$ 'na ait ANOVA analiz sonuçları Sonuçlarla anlamlı bir ilişkisi olmayan vuruş süresi ve bekleme süresinin sırasıyla katkı oranlarının %7,07 ve %0,98 olduğu tespit edilmiştir. EDM işleminde akımı arttığında enerji yoğunluğu da artmaktadır. Enerji yoğunluğunun artması deşarj kıvılcımını artırarak yüksek MRR'ye neden olur [22]. Bu hızlı işleme esnasında aşırı ısınan erimiş malzemeler delik giriş ve çıkışlarına yapışarak çapak oluşumuna sebep olmaktadır. Bu durumda akımın artmasıyla delik girişindeki deformasyon faktörü ( $Fd_T$ ), delik çıkışındaki deformasyon faktörünü ( $Fd_B$ ) olumsuz etkilemektedir.

**Tablo 6**'de verilmiştir.  $P < 0,05$  olduğunda %95 güven aralığında  $Fd_T$ ,  $Fd_B$  ve  $K^o$  sonuçları ile akım, vuruş süresi ve bekleme süresi arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişkinin olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Sadece akım (A) faktöründe  $P < 0,05$  olduğu için  $Fd_T$ ,  $Fd_B$  ve  $K^o$  sonuçlarına etki eden tek faktör amper olarak belirlenmiştir. Akımın  $Fd_T$ ,  $Fd_B$  ve  $K^o$  sonuçlarına katkı oranı ise %99,1 olarak belirlenmiştir. Sonuçlarla anlamlı bir ilişkisi olmayan vuruş süresi ve bekleme süresinin sırasıyla katkı oranlarının %7,07 ve %0,98 olduğu tespit edilmiştir. EDM işleminde akımı arttığında enerji yoğunluğu da artmaktadır. Enerji yoğunluğunun artması deşarj kıvılcımını artırarak yüksek MRR'ye neden olur [22]. Bu hızlı işleme esnasında aşırı ısınan erimiş malzemeler delik giriş ve çıkışlarına yapışarak çapak oluşumuna sebep olmaktadır. Bu durumda akımın artmasıyla delik girişindeki deformasyon faktörü ( $Fd_T$ ), delik çıkışındaki deformasyon faktörünü ( $Fd_B$ ) olumsuz etkilemektedir.

Tablo 6. Ortalama değerlerin ANOVA analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı (%)
A	2	1527,89	1527,89	763,943	299,34	0,003	99,1
B	2	117,55	117,55	58,775	23,03	0,042	7,07
C	2	16,36	16,36	8,178	3,200	0,238	0,98
Hata	2	5,10	5,10	2,552	-	-	-
Toplam	8	1666,90	-	-	-	-	-

Adj MS; ortalama kare, Adj SS; ortalama kareler toplamı, Seq SS; kareler toplamının karesi, Df; serbestlik derecesi

Taguchi yöntemiyle yapılan optimizasyon işleminin güvenilirliğinin tespiti için tahmin edilen değerlerin güven aralığının belirlenmesi gerekir. Bu amaçla, tahmin edilen  $Fd_T$ ,  $Fd_B$  ve  $K^o$  için güven aralığı (CI) Eşitlik (5) ve (6)'ya göre hesaplanmıştır.

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1;f_e} x V_e x \left( \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (5)$$

$n_{eff}$  formülde:

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + [T_{dof}]} \quad (6)$$

Tablo 7’de Eşitlik 4 ve 5’e ait sembol ve kısaltmalar verilmiştir.

**Tablo 7.** Güven aralığı (CI) formül ve sembolleri [23]

S.	Sembol	Açıklama
1	$Fa; l; fe$	F oranı %95 ( F tablosuna göre)
2	$\alpha$	Önem düzeyi
3	$fe$	Serbestlik derecesi hatası
4	$Ve$	Hata varyansı
5	$r$	Doğrulama için tekrar sayısı
6	$n_{eff}$	Etkili tekrar sayısı
7	$N$	Toplam deney sayısı
8	$T_{dof}$	Toplam ana faktör serbestlik derecesi

Tablo 8’da  $Fd_T$ ,  $Fd_B$  ve  $K^\circ$  deneysel sonuçlar ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması (%95 güven aralığında) verilmiştir. Tahmin değerlerinin %95 güven aralığında olduğu görülmektedir. Bu da Taguchi metodu ile yapılan modellemenin sonuçlar için güvenilir olduğunu göstermektedir.

**Tablo 8.** Modelleme sonucunda elde edilen tahmin değerleri ve güven aralığı

No	Deformasyon Faktörü ( $Fd_T$ )			Deformasyon Faktörü ( $Fd_B$ )			Kerf açısı ( $K^\circ$ )		
	$Fd_T$	Tahmin	%95 CI	$Fd_B$	Tahmin	%95 CI	( $K^\circ$ )	Tahmin	%95 CI
1	24,26	27,32	(7,56; 47,08)	59,5	61,1	(23,1; 99,2)	1,323	0,960	(0,139; 1,780)
2	33,05	35,25	(21,93; 48,57)	77,9	65,9	(40,3; 91,6)	0,839	0,982	(0,429; 1,535)
3	50,51	43,18	(23,42; 62,94)	64,1	70,8	(32,7; 108,8)	0,938	1,005	(0,185; 1,825)
4	52,33	40,31	(26,99; 53,63)	75,7	99,0	(73,3; 124,6)	0,267	0,972	(0,419; 1,525)
5	32,60	48,24	(34,92; 61,56)	124,8	103,8	(78,2; 129,5)	1,291	0,995	(0,442; 1,548)
6	38,19	38,72	(21,87; 55,57)	111,6	116,6	(84,2; 149,1)	1,159	1,056	(0,356; 1,755)
7	54,85	53,30	(33,54; 73,06)	135,5	136,9	(98,8; 174,9)	1,241	0,985	(0,165; 1,805)
8	40,60	43,78	(26,93; 60,63)	169,2	149,7	(117,3; 182,2)	1,064	1,046	(0,346; 1,745)
9	55,40	51,71	(34,86; 68,56)	140,0	154,5	(122,1; 187,0)	0,947	1,068	(0,369; 1,768)

Tablo 9’da optimum işleme parametreleri ve tahmin değerleri verilmiştir. Taguchi metoduyla elde edilen tahmin değerlerinin %95 güven aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Taguchi metodunun mikro EDM işleminde delik deformasyon ve kerf açısı sonuçlarının tahmininde güvenilir bir metod olduğunu göstermektedir.

**Tablo 9.** Doğrulama testi

İlk işleme seviyeleri	İdeal işleme parametreleri
-----------------------	----------------------------

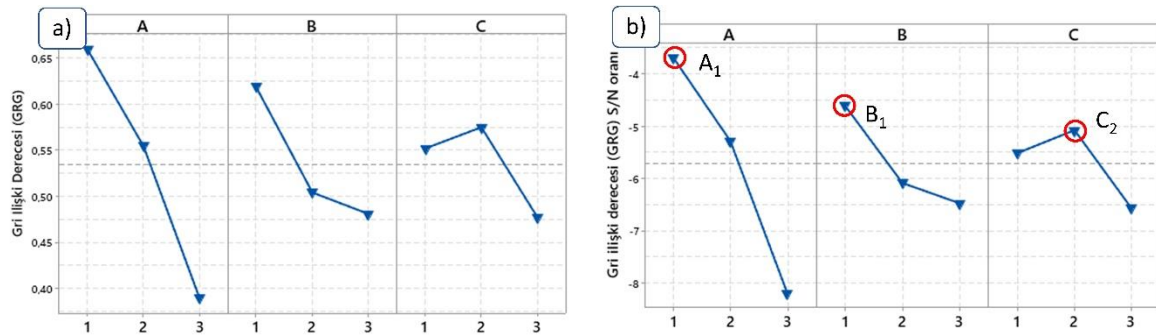
Ayar seviyesi	Tahmin		Deneysel
	$A_1B_1C_1$	$A_1B_1C_2$	$A_1B_1C_2$
$Fd_T$	24,259	41,837	40,984
$Fd_B$	59,534	42,323	42,254
$K^o$	1,323	0,646	0,635

$Fd_T$ ,  $Fd_B$  ve  $K^o$  sonuçlarını etkileyen faktörlerin ideal değerlerinin tespiti için GRA kullanılmıştır. Tablo 10'de GRA analiz sonuçları verilmiştir. Çok faktörlü problemleri optimize etmek için Taguchi Metodu esaslı GRA kullanılmaktadır [24]. Faktörler arası etki derecesi ise gri ilişkisel derece olarak isimlendirilir. Gri ilişkisel derecesinin büyüklüğü (GRG) sonuç ile faktörler arasındaki ilişkilerde kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir [25]. Yani GRG'nin en büyük değeri faktörlerin sonuçlara olumlu katkı sağladığını göstermektedir [10]. Rank ise GRG değerlerinin sıralamasını vermektedir. Rank sırası 1 olan 1 no'lu deneyde GRG değeri 0,778'dir. Yani yapılan bu deneyler içinde çok faktörlü değerlendirmeler için en ideal değer 1 no'lu deneyde elde edilmiştir. En kötü şartlara ise (Rank 9) 7 no'lu deneyde ulaşılmıştır.

Tablo 10. Gri ilişkisel derece ve Rank

Deney No	Normalizasyon			Bağımlılık Dizisi			Gri İlişki Katsayısı			GRG	Rank
	$Fd_T$	$Fd_B$	( $K^o$ )	$Fd_T$	$Fd_B$	( $K^o$ )	$Fd_T$	$Fd_B$	( $K^o$ )		
1	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,333	0,778	1
2	0,718	0,832	0,458	0,282	0,168	0,542	0,639	0,749	0,480	0,623	3
3	0,157	0,959	0,365	0,843	0,041	0,635	0,372	0,924	0,440	0,579	4
4	0,099	0,853	1,000	0,901	0,147	0,000	0,357	0,773	1,000	0,710	2
5	0,732	0,406	0,030	0,268	0,594	0,970	0,651	0,457	0,340	0,483	5
6	0,553	0,525	0,155	0,447	0,475	0,845	0,528	0,513	0,372	0,471	6
7	0,018	0,307	0,077	0,982	0,693	0,923	0,337	0,419	0,351	0,369	9
8	0,475	0,000	0,245	0,525	1,000	0,755	0,488	0,333	0,399	0,407	7
9	0,000	0,266	0,356	1,000	0,734	0,644	0,333	0,405	0,437	0,392	8

GRG değerlerine ait S/N analizi sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. S/N analizine göre optimum değerler  $A_1B_1C_2$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. GRG ortalama ve S/N grafiği

Daha sonra deneysel sonuçlarla tahmin edilen değerlerinin CI dahilinde olup olmadığını belirlemek için ikinci dereceden regresyon analizi uygulanmıştır (Eşitlik 7). Bu test, Taguchi yöntemi kullanılarak tahmin edilen değerler ile deneysel sonuçlar arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, tahmin edilen değerlerin regresyon analizinde %95 güven aralığında kaldığı görülmüştür.



$$\text{GRG} = 1,0182 - 0,1352 A - 0,0692 B - 0,0374 C \quad (R^2 = \%86,20) \quad (7)$$

## IV. SONUÇ

R65 paslanmaz çeliğin Mikro-EDM yöntemiyle delinmesinde akım (A), vurum süresi ( $T_{on}$ ) ve Bekleme süresi ( $T_{off}$ ) faktörlerinin, delik girişindeki deformasyon faktörü ( $Fd_T$ ), delik çıkışındaki deformasyon faktörü ( $Fd_B$ ) ve Kerf açısı ( $K^\circ$ )'na etkisinin araştırıldığı çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Taguchi metodu ile elde edilen sonuçlara göre en düşük  $K^\circ$ ,  $Fd_T$  ve  $Fd_B$  değerleri sırasıyla 0,267  $K^\circ$  24,259  $\mu s$  ve 59,534  $\mu s$  olarak tespit edilmiştir.
- Akımın artmasıyla delik giriş ve çıkışlarındaki deformasyonun arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Delik çıkışlarındaki deformasyonun ( $Fd_B$ ) delik girişlerine göre daha belirgin olduğu görülmektedir. Akımın artması işleme süresini azaltırken delik kalitesini olumsuz etkilemektedir.
- GRA analizi sonucunda elde edilen tüm parametreler için en ideal değer Rank sırası 1 olan 1 no'lu deneyde elde edilmiştir ve GRG değeri 0,778'dir. GRA yönteminin Mikro EDM işleminde başarılı şekilde uyulabildiğini göstermiştir.
- Deliklerin mikroskop görüntüleri incelendiğinde ideal olan 1 no'lu delik giriş ve çıkışında deformasyonun az olduğu açık şekilde görülmektedir. En kötü şartlarda oluşan 7 no'lu deneyde ise oluşan deformasyon açık şekilde görülmektedir. Delik çıkışında özellikle daha fazla deformasyon oluşmuştur. Ayrıca akımın artması delik çıkışlarındaki deformasyonu arttırmıştır.
- S/N analizine göre kerf açısı, delik girişindeki deformasyon, delik çıkışındaki deformasyon ve ortalama çap için en ideal parametreler akım 3 A,  $T_{on}$  3  $\mu s$  ve  $T_{off}$  2  $\mu s$  ( $A_1B_1C_2$ ) olarak tespit edilmiştir. Akım ve  $T_{on}$  düşük değerlerde iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Akım ve  $T_{on}$  artıka deliklerin deformasyonu ve kerf açısı artmaktadır.
- Yapılan doğrulama test sonuçlarına göre Taguchi metodu ile tahmin edilen değerler ile deneysel sonuçların %95 güven aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu da Taguchi yönteminin Mikro-EDM işleminde kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.
- Gelecekte R65 paslanmaz çeliğin Mikro-EDM yöntemiyle delinmesinde delik kalitesinde etkili olabilecek elektrot türü, kullanılan dielektrik sıvısı türü ve sıvı basıncı, elektrot dönme hızı gibi faktörlerin de etkisi araştırılabilir.

## V. KAYNAKLAR

- [1] M. P. Jahan, Y. San Wong, and M. Rahman, "A comparative experimental investigation of deep-hole micro-EDM drilling capability for cemented carbide (WC-Co) against austenitic stainless steel (SUS 304)," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 46, no. 9-12, pp. 1145-1160, 2010
- [2] V. G. M. V. J. Hadfield and Z. M. E. EDM, "Deep micro-hole drilling for Hadfield steel by electro-discharge machining (EDM)," *Materiali in tehnologije*, vol. 49, no. 3, pp. 377-386, 2015

- [3] P. C. Kaminski and M. N. Capuano, "Micro hole machining by conventional penetration electrical discharge machine," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 43, no. 11, pp. 1143-1149, 2003
- [4] Z. Katz and C. Tibbles, "Analysis of micro-scale EDM process," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 25, no. 9-10, pp. 923-928, 2005
- [5] Y.-Y. Tsai and T. Masuzawa, "An index to evaluate the wear resistance of the electrode in micro-EDM," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 149, no. 1, pp. 304-309, 2004
- [6] A. K. Singh, P. K. Patowari, and M. Chandrasekaran, "Experimental study on drilling micro-hole through micro-EDM and optimization of multiple performance characteristics," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 42, no. 10, pp. 1-14, 2020
- [7] N. M. Elsit, M. Noordin, A. Idris, and F. S. Majeed, "Optimization of maghemite ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nano-powder mixed micro-EDM of CoCrMo with multiple responses using gray relational analysis (GRA)," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 914, no. 1, pp. 1-9, 2017
- [8] P. H. A. Kadirvel, "Optimization of the die-sinking micro-EDM process for multiple performance characteristics using the Taguchi-based grey relational analysis," *Materiali in tehnologije*, vol. 48, no. 1, pp. 27-32, 2014
- [9] N. Natarajan and R. Arunachalam, "Optimization of micro-EDM with multiple performance characteristics using Taguchi method and Grey relational analysis," *Optimization of micro-EDM with multiple performance characteristics using Taguchi method and Grey relational analysis*, vol. 70, pp. 500-505, 2011
- [10] M. Ay, U. Çaydaş, and A. Haşçalık, "Optimization of micro-EDM drilling of Inconel 718 superalloy," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 66, s. 5-8, ss. 1015-1023, 2013
- [11] A. Mohanty, G. Talla, and S. Gangopadhyay, "Experimental investigation and analysis of EDM characteristics of Inconel 825," *Materials and Manufacturing Processes*, c. 29, s. 5, ss. 540-549, 2014
- [12] G.-L. Chern and Y. Chuang, "Study on vibration-EDM and mass punching of micro-holes," *Journal of Materials Processing Technology*, c. 180, s. 1, ss. 151-160, 2006
- [13] T. Masuzawa, J. Tsukamoto, and M. Fujino, "Drilling of Deep Microholes by EDM," *CIRP Annals*, c. 38, s. 1, ss. 195-198, 1989
- [14] B. H. Yan, F. Y. Huang, H. M. Chow, and J. Y. Tsai, "Micro-hole machining of carbide by electric discharge machining," *Journal of Materials Processing Technology*, c. 87, s. 1, ss. 139-145, 1999
- [15] L. Tang and Y. F. Guo, "Electrical discharge precision machining parameters optimization investigation on S-03 special stainless steel," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 70, no. 5, pp. 1369-1376, 2014
- [16] M. Sarıkaya and V. Yılmaz, "Optimization and predictive modeling using S/N, RSM, RA and ANNs for micro-electrical discharge drilling of AISI 304 stainless steel," *Neural Computing and Applications*, vol. 30, no. 5, pp. 1503-1517, 2018

- [17] D. Wang, W. S. Zhao, L. Gu, and X. M. Kang, "A study on micro-hole machining of polycrystalline diamond by micro-electrical discharge machining," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 211, no. 1, pp. 3-11, 2011
- [18] O. Erdem, C. Çoğun, L. Ürtekin, H. B. Özerkan, and İ. Uslan, "The effect of powder mixed and heated dielectric on drilling performance of electric discharge machining (EDM)," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 31, no. 3, pp. 531-544, 2016
- [19] K. Maity and R. K. Singh, "An optimisation of micro-EDM operation for fabrication of micro-hole," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 61, no. 9-12, pp. 1221-1229, 2012
- [20] S. Dong, Z. Wang, and Y. Wang, "Micro-EDM drilling of high aspect ratio micro-holes and in situ surface improvement in C17200 beryllium copper alloy," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 727, pp. 1157-1164, 2017
- [21] A. Kadirvel, P. Hariharan, and S. Gowri, "Experimental investigation on the electrode specific performance in micro-EDM of die-steel," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 28, no. 4, pp. 390-396, 2013
- [22] B. Pradhan, M. Masanta, B. Sarkar, and B. Bhattacharyya, "Investigation of electro-discharge micro-machining of titanium super alloy," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 41, no. 11-12, pp. 1094-1106, 2009
- [23] S. Akıncıoğlu, H. Gökkaya, and İ. Uygur, "The effects of cryogenic-treated carbide tools on tool wear and surface roughness of turning of Hastelloy C22 based on Taguchi method," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, journal article vol. 82, no. 1, pp. 303-314, 2016
- [24] E. Nas and S. Akıncıoğlu, "Kriyojenik işlem görmüş nikel esaslı süper alaşımın elektro-erozyon İşleme performansı optimizasyonu," *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 115-126, 2019
- [25] E. Yılmaz and F. Güngör, "Gri ilişkisel analiz yöntemine göre farklı sertliklerde optimum takım tutucusunun belirlenmesi," in *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 2010, ss. 1-8



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Darıderesi II Göleti Dip Savak Yapısının Fluent ile Sayısal Modellenmesi

 Tuba AYDIN <sup>a</sup>,  Dilek TAYLAN <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE*

*\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: dilektaylan@sdu.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.759774

### ÖZET

Hidrolik yapılar ve hidrolik yapıların farklı öğeleri için, hidrolik hesaplamalar çeşitli deneysel çalışmalara başvurarak yapılabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar ile hidrolik hesaplamalar desteklenmeye çalışılmaktadır. Ancak, deneysel çalışmaların maliyetli olması ve uzun bir zamana yayılması sebebi ile, 3 boyutlu simülasyon programları tercih edilmektedir. Hidrolik yapılar için, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi (HAD) ile çalışan programların kullanılmaya başlanması ile deneysel çalışmalara olan ihtiyaç gittikçe azalmıştır. Sonlu elemanlar, sonlu hacimler gibi sayısal yöntemlerin de katkısıyla, akış ayrıntılı bir şekilde incelenebilmektedir. Bu çalışma, Isparta'da bulunan, içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak için yapılan, Darıderesi II Göleti'ne ait dip savak yapısı için yapılmıştır. Ölü hacim üzerindeki suyun mansaba iletilmesini sağlayan dip savak yapısında türbülanslı ve laminar akım halleri incelenmiştir. Dip savak yapısı, sonlu elemanlar ile çalışan ANSYS programı Fluent modülü ile modellenmiştir. Geliştirilen 3 boyutlu modele ait, kesitte meydana gelecek olan toplam basınç, hız büyüklüğü ve boruya ait kesme gerilme değerleri incelenmiştir. Türbülanslı akım hali için elde edilen kinematik büyüklükler hidrolik şartnamede verilen sınır şartlarına daha yakın değişimler göstermiştir. Dip savak yapılarında laminar akım hali yerine türbülanslı akım halinin seçilmesi daha uygun bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Baraj, Dip Savak, HAD, ANSYS, Sayısal Modelleme.

## Numerical Modeling of the Deep Sluice Structure of Darıderesi II Pond by Fluent

### ABSTRACT

Hydraulic calculations can be made by referring to various experimental studies for hydraulic structures and different components of hydraulic structures. Hydraulic calculations are tried to be supported by experimental studies. However, 3D simulation programs are preferred because experimental studies are costly and spread over a long time. For hydraulic structures, the need for experimental studies has gradually decreased with the use of programs that work with the computational fluid dynamics method CFD. Flow can be examined in detail with the contribution of numerical methods such as finite elements, finite volumes. This study was carried out for the deep sluice structure of Darıderesi II Pond in Isparta, which was built to meet domestic water need. The turbulent and laminar flow conditions in the deep sluice that enable the transfer of water over the dead volume to the downstream were investigated. The deep sluice was modeled with the ANSYS program Fluent module, which works with finite elements. In the developed 3D model, the total pressure, velocity and shear stress values of the pipe that will occur in the cross section were examined. Kinematic quantities obtained for turbulent flow showed closer changes to the boundary conditions given in the hydraulic specification. It has been found more appropriate to choose turbulent flow instead of laminar flow in deep sluice structures.

**Keywords:** Dam, Deep Sluice, CFD, ANSYS, Numerical Modelling.

# I. GİRİŞ

Enerji üretimi, içme ve kullanma suyu temini, sulama suyu temini, taşkın kontrolü, rekreasyon gibi farklı yapım amaçları olan barajlarda, çok büyük bir su kütlesi baraj gövdesi ile tutulmaktadır. İnşaat sırasında çalışma bölgesini kuru tutmak amacıyla suyun yönünün değiştirilmesi için yapılan derivasyon tünelleri daha sonra işletme sırasında ölü hacim üzerindeki suyu boşaltmayı sağlayan ve tünel şeklinde inşa edilen dip savaklara dönüştürülen ve her baraj yapısında bulunan yardımcı elemanlardır. Baraj yapım amacına bağlı olarak farklı boyutlarda yapılan dip savaklarda kavitasyon olayı istenmeyen bir durumdur ve gerek deneysel gerekse de hesaplamalı olarak yapılan çalışmalarla bu olayın gerçekleşmemesi için öneriler sunulmaktadır. Deneysel çalışmalar fazla zaman aldığı ve maliyetleri yüksek olduğu için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi daha fazla tercih edilir hale gelmiştir ve son yıllarda farklı alanlardaki hidrolik modellemelerde sıklıkla kullanılmaktadır.

Aydın vd. [1], HAD ile Ilisu Barajı dip savağını modellemişler ve elde edilen sonuçların %2-3 oranında hata payı ile deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu söylemişlerdir. Aynı zamanda HAD daha az zaman kaybı ve maliyete sahip bir yöntem olarak önerilmiştir.

Benzer şekilde Li vd. [2], mevcut bir dolu savağın yanı sıra yardımcı bir dolu savak tasarımı için HAD yöntemini kullanmışlar ve hidrolik yapıların tasarımında sağladığı kolaylıklar bakımından bu yöntemi tavsiye etmişlerdir.

Alihosseini ve Thamsen [3], tam dolu olmayan dairesel kesitli atık su borularının serbest yüzeyli akış prensiplerine göre modellenmesi için HAD kullanmışlar ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. HAD ile elde ettikleri sonuçların bağlı hatasını %10'un altında bulmuşlardır.

Yaylacı ve Terzi [4], ANSYS ve ABAQUS programlarını kullanarak, birbirine bağlı rijit bir panç ile elastik düzlem olan, iki tabakanın simetrik temas problemini çözmeye çalışmışlardır. Temas problemlerinde, ANSYS gibi sonlu elemanlar alt yapısı ile çalışan bir programdan elde edilen sonuçlar ile analitik yöntem kullanılarak elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonlu elemanlar ve analitik yöntemden elde edilen sonuçların, iyi bir uyum gösterdiğini belirtmişlerdir.

Yılmaz ve Çiçek [5], iki farklı gemi test pervanesinin analizlerini yapıp, performanslarını incelemişlerdir. Pervanelere ait analizleri, ANSYS programı ile HAD yöntemi ile yapmışlardır. Elde edilen analiz sonuçlarını ve performanslardaki hata payını, yapılan diğer çalışmalardaki analiz sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Performanslardaki hata payının, %1 ve %3 arasında değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Benzer şekilde Beg vd. [6], kentsel atık su sistemindeki boru bağlantılarındaki akış özelliklerini modellemek için HAD kullanmışlardır ve Coimbra Üniversitesi hidrolik laboratuvarındaki deneysel çalışmalarla mukayese etmişlerdir. Özellikle atık su sistemlerindeki katı madde hareketini modellenmesi üzerine yüksek doğrulukta sonuçlar elde etmişlerdir.

Lopes vd. [7], atık su sistemleri basınçlı olması durumunda boru içerisindeki akımı deneysel ve sayısal olarak modellemişlerdir. HAD ile basınç akış özelliklerini belirlemeye çalışmışlar ve daha büyük akım hızları için sonuçların türetilebileceğini söylemişlerdir.

Kumar ve Pentakota [8], nükleer enerji santrallerinde kullanılan boru dirseklerindeki korozyon ve erozyon durumlarını incelemek için HAD kullanmışlardır. Çapsal basınç katsayısı için tahmin değerlerinin şartnamelerle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Bütün bu çalışmalar göz önüne alındığında, HAD hidrolik hesaplar yapılırken hem basınçlı borularda hem de açık kanallarda tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Deneysel çalışmaların çok fazla zaman aldığı ve aynı zamanda maliyetli olması durumu, HAD ile çalışan simülasyon programlarının daha çok tercih edilmesine sebep olmuştur.

Son yıllarda mühendislik çalışmalarında çeşitli analiz ve simülasyonların yapılabildiği ANSYS, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak numerik çözümler yapan bir program olmakla birlikte, çok farklı disiplinlerde çalışan kullanıcıların ortak bir çalışma alanında buluşmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada akışkanlar dinamiği temel denklemleri ile, 2 boyutlu ve 3 boyutlu modellerin akış hareketini inceleyen ANSYS programının Fluent modülü kullanılarak, Darıderesi II Göleti dip savak yapısı için türbülanslı ve laminer akım oluşması durumları incelenmiştir. Her iki durum için elde edilen 3 boyutlu modellere ait, kesitte meydana gelecek olan toplam basınç, hız büyüklüğü ve boruya ait kesme gerilme değerlerinin değişimi irdelenmiştir.

## **II. MATERYAL VE METOT**

### **A. DARİDERESİ II GÖLETİ DİP SAVAK YAPISI**

Darıderesi-II Göleti, Isparta ilinin yaklaşık 4 km güneyinde bulunan Darıderesi Köyü, Darı Deresi üzerindedir. Isparta ilinin içme suyunu karşılayan Darıderesi-I Göletinin 2.5 km membasında aynı dere üzerinde, yer almaktadır. Darıderesi-II Göleti, bölgedeki içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılmıştır.

Tablo 1’de, Darıderesi II Göleti, dip savak yapısı özellikleri bulunmaktadır.

*Tablo 1. Darıderesi II Göleti Dip Savak Yapısı Özellikleri*

Gölet Adı:	Darıderesi II Göleti
Dipsavak Yeri:	Sağ Sahil
Dipsavak Tipi:	Kademeli
Dipsavak Çıkış Kotu:	1 105 m
Pompa Deposu Eksen Kotu:	1 136 m
Birim Debi ( $Q_{birim}$ ):	1.50 m <sup>3</sup> /s
Dip savak Cebri Boru Çapı ( $D_{cebri}$ ):	1.00 m
Derivasyon Tüneli Çapı ( $D_{tünel}$ ):	3.00 m
Dirsek Çapı ( $D_{dirsek}$ ):	2.00 m
Tehlike Vanası Çapı ( $D_{tv}$ ):	1.10 m
İçme Suyu Ayar Vanası Çapı ( $D_{aviçme}$ ):	1.00 m
Dereye Deşarj Ayar Vanası Çapı ( $D_{avdere}$ ):	1.00 m
Dereye Deşarj Branşman Cebri Boru Çapı ( $D_{anaboru}$ ):	1.00 m
İçme Suyu Branşman Cebri Boru Çapı ( $D_{branşman}$ ):	1.00 m
İçme Suyu Cebri Boru Çapı ( $D_{içme}$ ):	1.20 m

Tablo 1’de verilen özelliklerin yanında, gölete ait dip savak yapısı 624m uzunluğunda olup, bu yapı Isparta’nın içme ve kullanma suyu ihtiyacını hazne kısmından alıp mansap kısmına aktararak karşılamaktadır.

### **B. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) YÖNTEMİ**

HAD, akış hareketlerini modellemek için çeşitli denklemlerin oluşturulmasında ve çözülmesinde etkili olarak kullanılan bir yöntemdir [9]. HAD, akışkanların hareketinin ve özelliklerinin gerçeğe en yakın şekilde tahmini için kullanılır. HAD ile deneysel çalışmalar arasındaki temel fark, HAD ile akış fiziği daha iyi bir şekilde kavranabilmektedir. Laboratuvarında, deneysel araçlarda birçok belirsizlik meydana gelebildiği için HAD ile bu belirsizlik en aza indirilmektedir [10-11].

Aynı zamanda HAD alt yapısı ile çalışan paket programlar sayesinde, oluşturulan modeller kısa zamanda çözüme ulaşmaktadır. Ayrıca, deneysel bir ortama ya da pahalı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaması da bu yöntemle ile çalışan programları daha ulaşılabilir yapmaktadır.

HAD sayısal çözümü, matematiksel modellere karşılık gelen denklemleri çözmeyi amaçlar. Bu matematiksel modeller, fiziğin koruma yasalarına dayanan akışkan hareketinin denklemleridir. Sıvı akışı problemindeki akış parametrelerini çözmek için, kütlelenin korunumu, momentumun korunumu ve enerjinin korunumu olmak üzere üç denklem bulunmaktadır [11].

Kütlelenin korunumu denklemi, Versteeg ve Malalasekera [12]'e göre akışkan bir maddenin kütlelenin korunması, kütle dengesine dayanmaktadır;

t anında akışkanın kütlesi= t+dt anında akışkanın kütlesi

$$u_1 A_1 = u_2 A_2 \quad (1)$$

Yukarıdaki Denklem 1 sıkıştırılamaz akışkanlar için geçerliken, Denklem 2 ise sıkıştırılabilen akışkanlar için geçerlidir.

$$\rho_1 u_1 A_1 = \rho_2 u_2 A_2 \quad (2)$$

Denklem 1 ve 2'de verilen, u parametresi hız vektörünü,  $\rho$  akışkanın özgül kütlelenini, A ise kesit alanını ifade etmektedir.

Momentumun korunumu denklemi ise, Newton'un ikinci yasası, sıvı bir parçacığın momentumundaki değişim oranını (artma miktarı) parçacık üzerindeki kuvvetlerin toplamına eşit olduğunu belirtir [12].

Momentum denklemi aşağıdaki gibidir;

$$\sum \vec{F} = \rho u_2 dA_2 \vec{u}_2 - \rho u_1 dA_1 \vec{u}_1 \quad (3)$$

Denklem 3'te bulunan,  $\vec{u}_2$  vektörel hızı, F kuvveti temsil ederken, diğer parametreler kütlelenin korunumu denkleminde yer alan parametreler ile aynıdır.

Enerjinin korunumu denklemi akışkanlar için aşağıdaki şekilde kullanılmaktadır;

t anında sistemin enerjisi+ dt zaman aralığında yapılan iş = t+dt anında sistemin enerjisi

$$\frac{1}{2g} u_1^3 dA_1 + \frac{P_1}{\gamma} u_1 dA_1 + z_1 u_1 dA_1 = \frac{1}{2g} u_2^3 dA_2 + \frac{P_2}{\gamma} u_2 dA_2 + z_2 u_2 dA_2 + \frac{1}{\gamma} dS \quad (4)$$

Denklem 4'te bulunan parametrelerden, P, kesitteki statik basınç değerini; t, zamanı;  $\gamma$ , akışkanın özgül ağırlığını; g, yer çekim ivmesini; z, düşey mesafeyi; S ise sürtünmeye bağlı oluşacak ısı enerjisini temsil etmektedir [12].

### C. LAMİNER VE TÜRBÜLANSLI AKIM

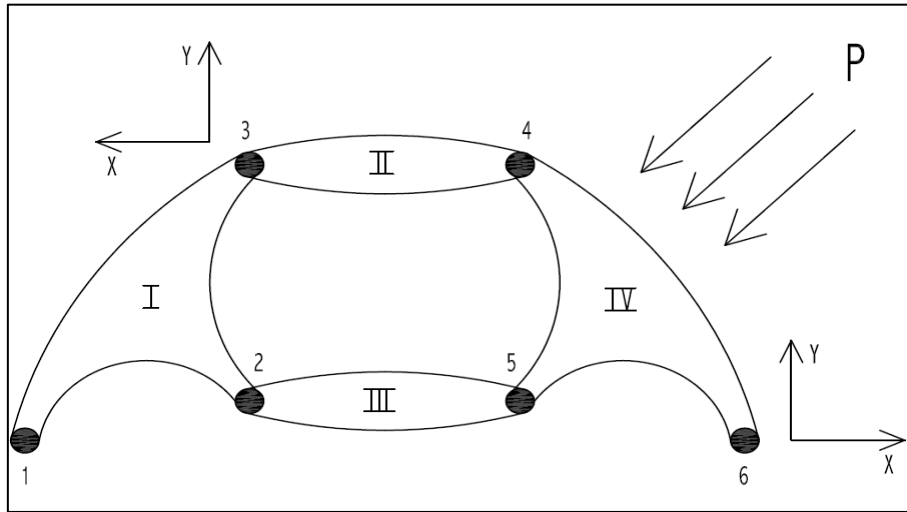
Genel olarak, doğada karşılaşılan akımlar çalkantılıken, deneysel düzeneklerde modellenen akımlar ise daha kararlı yapıdadırlar. Birbirine paralel düzgün akım çizgileriyle belirtilen akış hareketi laminer akım olarak adlandırılmaktadır. Düşük hızlarda yüksek viskoziteli akışkanların akım hareketi genellikle laminerdir. Çalkantılı akışkan hareketi ise yüksek hızlarda meydana gelir ve türbülanslı denem akış değişimleriyle ifade edilir.

Basınçlı borulardaki akış incelendiğinde, akışkan hareketinin; akım hızının düşük olduğu durumlarda kararlı bir yapıda olduğu, hız belli bir değerin üzerine çıktığında ise çalkantılı hale döndüğü görülmüştür. Akım çizgilerinin düzgün ve birbirine paralel yapıda olması halinde akışın laminer olduğu; akışta hız değişimleri varsa ve akış çalkantılı bir durumdaysa, akışın türbülanslı olduğu söylenir. Pratikte karşılaşılan çoğu akış türbülanslıdır. Laminer akımlarla, yağ gibi viskoz akışkanların küçük borular veya dar geçitler içinden aktığı zaman karşılaşmaktadır. Akımın laminer ya da türbülanslı olması hali, Reynolds sayısı adı verilen boyutsuz bir büyüklük ile ifade edilir. Reynolds sayısı, kesitteki hıza, kesitin çapına ve akışkanın viskozitesine bağlı olarak değişkenlik gösterir [13].

#### D. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Yapısal analiz, ısı transferi, akışkan hareketi gibi problemleri çözerken sonlu elemanlar yönteminden faydalanılabilir. Karmaşık geometriler, yüklemeler ve malzeme özelliklerini içeren problemler için, analitik veya matematiksel çözümler elde etmek genellikle mümkün değildir. Bu yüzden, kabul edilebilir sonuçlar için, sonlu elemanlar yöntemi gibi, sayısal yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır [14].

Ayrık sistemlerin genel çözümünden bahsetmek gerekirse, iki boyutlu bir yapı için 1'den 6'ya kadar düğümler numaralandırılmıştır (Şekil 1). Bu düğümler yoluyla momentler sisteme etki edecek şekilde aktarılmış olur. Bir başlangıç noktası seçilip, her bir düğüm kendi içerisinde çözümlenecektir. I elemanı olarak etiketlenen kısım, 1, 2, 3 düğümlerindeki kuvvetlere maruz kalacağından, bu eleman için belirtilen 3 düğüm noktası için işlem yapılacaktır. Diğer elemanlar (II, III ve IV) için de aynı hesaplamalar yapıp, bu sonuçlar birleştirilerek sisteme ait yer değiştirmeler (P yükünden kaynaklı) ve mesnet reaksiyonları, şekil göz önünde tutularak hesaplanacaktır [15].



Şekil 1. Sonlu elemanlar yöntemi ile bölünmüş yapı elemanı gösterimi [15]

Sonlu elemanlar yöntemi ANSYS programının hüresel ağ yapısını oluştururken (mesh işlemi) kullanılan bir yöntem olmakla beraber, değişik geometriye sahip elemanlar için etkili sonuçlar vermektedir. Geometrisi verilen eleman için, sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlenecek yapı, geometri küçük parçalara ayrılıp, sınır şartları atanarak, her bir nokta için çözümlenebilir ve sonrasında elde edilen sonuçlar tek bir koordinat sisteminde ifade edilir [16].

### III. BULGU VE ANALİZLER

ANSYS, sonlu elemanlar yöntemi alt yapısı ile çalışan, mühendislik problemlerinde çok tercih edilen bir paket programıdır. ANSYS, Workbench ve Apdl olmak üzere iki farklı ara yüz ile kullanıcıya

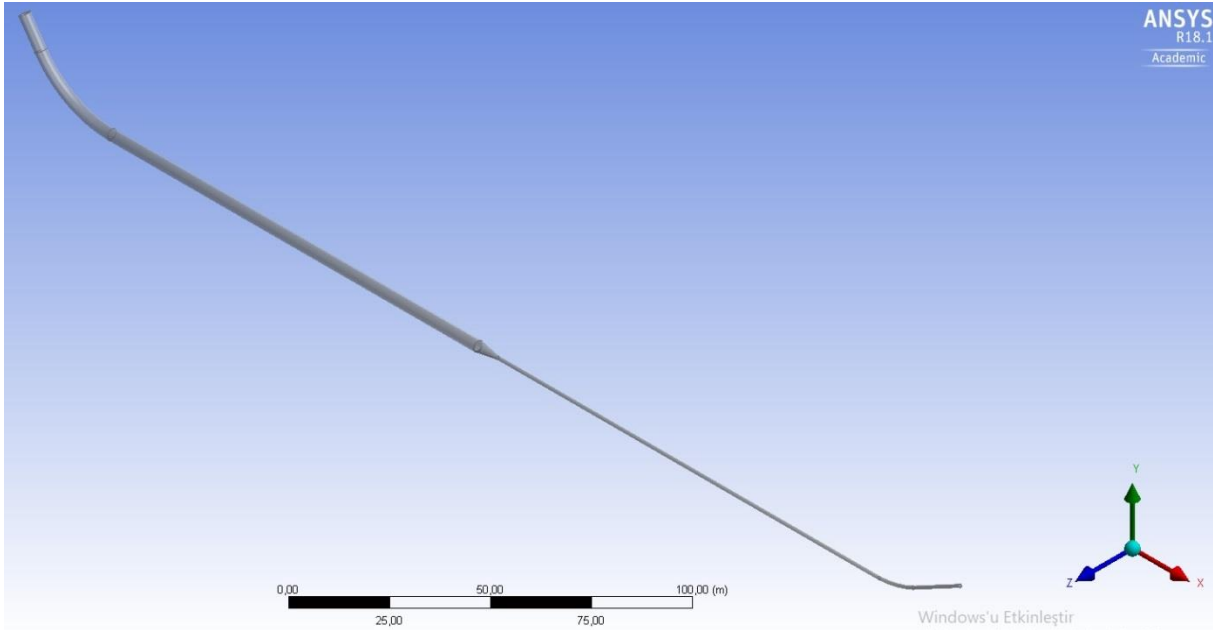


çözüm sunmaktadır. Bu iki farklı ara yüz aynı sayısal model alt yapısıyla çalışmasına rağmen Workbench ekranı kullanıcıya sonuçları, renk aralıkları verilen ekran görüntüleri ile görsel olarak da destekleyerek vermektedir. Bu yüzden bu çalışmada Workbench ekranı tercih edilmiştir. Ayrıca model 3 boyutlu olarak hazırlandığı için Workbench ile sayısal analizinin yapılması tercih edilmiştir.

Workbench ara yüzü altında bulunan, Fluent modülü akışkanların fizik kurallarına uygun bir şekilde modellenmesini sağlamaktadır. Fluent modülünde, akış hareketleri, akışkanlar dinamiği alt yapısından bildiğimiz üç denklem kullanılarak modellenmektedir. Bunlar; kütle korunumu, enerjinin korunumu ve momentumun korunumu denklemleridir. Bu denklemler akış hareketinin daha gerçekçi bir biçimde incelenmesini sağlamaktadır.

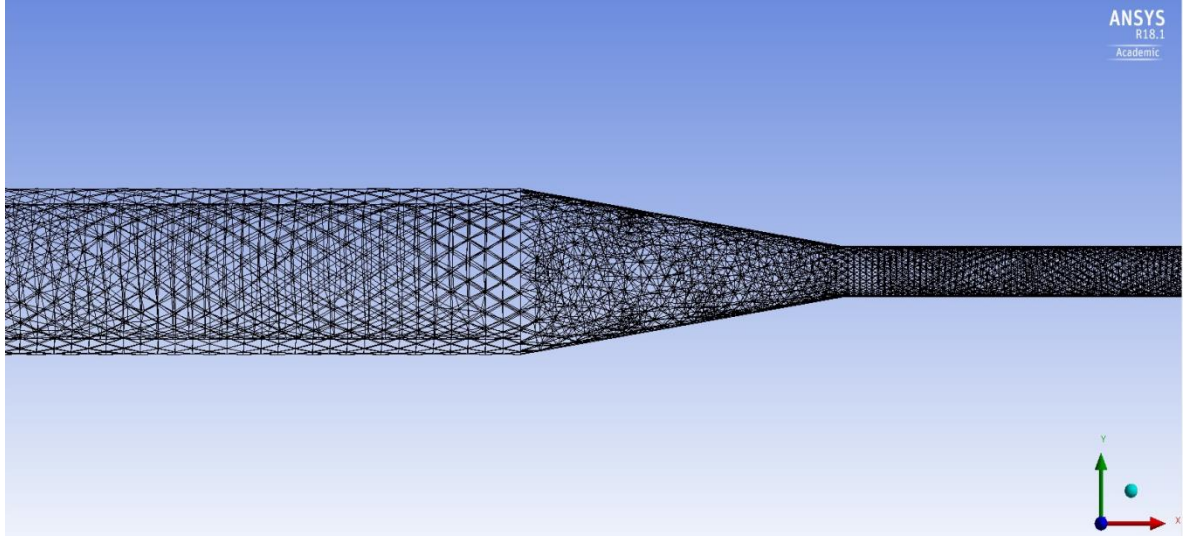
Hidrolik yapılarda, Fluent modülü kullanılarak akış hareketleri daha etkili bir şekilde modellenmektedir. Böylelikle bu yapılarda akışkanın nasıl hareket edeceği ve bu hareketin yapılarıdaki sonuçları doğru bir şekilde öngörülebilecektir.

Şekil 2’de Darıderesi II Göleti dip savak yapısının, projede verilen gerçek boyutlara uygun olarak hazırlanan modeli verilmiştir. Dip savak yapısı 3 boyutlu modeli AutoCAD çizim programında modellenerek, ANSYS programına aktarılmıştır. ANSYS programı alt yapısında bulunan modüllerden biri olan ve akış hareketlerini inceleyen Fluent modülü içerisine, AutoCAD programından aktarılan model tanımlanmıştır. AutoCAD’de oluşturulan dip savak yapısına ait 3 boyutlu model görüntüsü, ANSYS Workbench ekranından alınmıştır.



**Şekil 2.** ANSYS workbench ekranından alınan 3 boyutlu dip savak modeli

ANSYS’e aktarılan modele ait mesh görüntüsü Şekil 3’de görülmektedir. Mesh kısmında, model hücrelere ayrılmıştır. Mesh kısmı ya da hücrelere ayırma kısmı çözümün gerçeğe yakın sonuç vermesi anlamında büyük önem taşımaktadır. Oluşturulan mesh bölümleri sayıca ne kadar çoksa ve aynı zamanda kesitlerin daraldığı ya da değişiklik gösterdiği noktalarda ne kadar hassas ise sonuç o kadar gerçeğe yaklaşacağından, en gerçekçi çözümü elde edebilmek için 562111 tane hücreyle sonlu elemanlarla çözüm yapılmıştır. Herhangi bir bağlantı elamanı (bulon, vida vb.) bulunmadığı için mesh sayısı ve yapısı yeterli bulunmuştur.

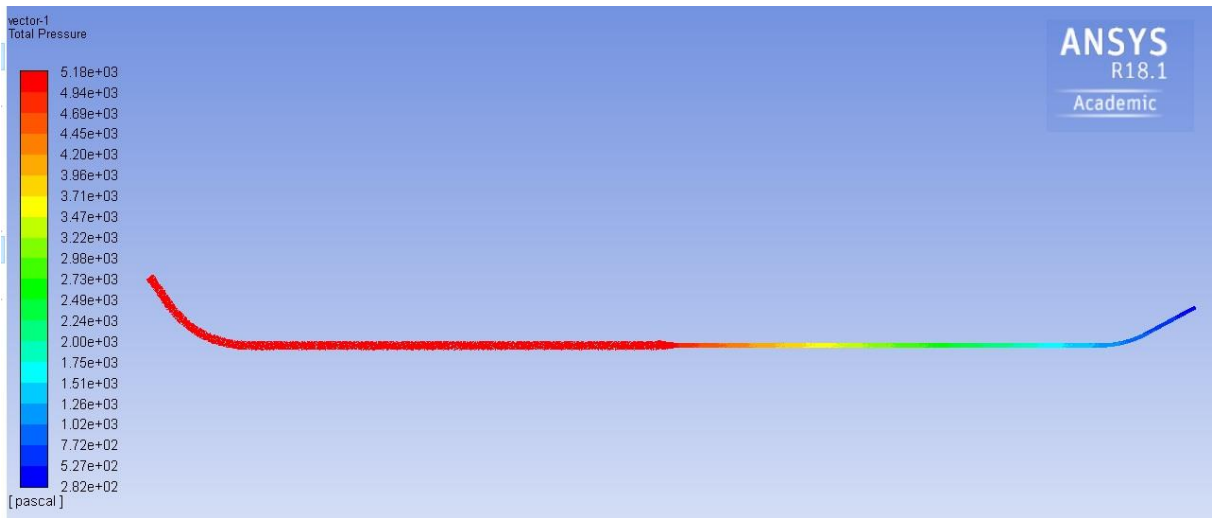


**Şekil 3.** Modele ait ANSYS mesh görüntüsü

Setup kısmında ise akışa ait özellikler belirlenmektedir. Bu model için türbülanslı ve laminer akış halleri ayrı ayrı modellenmiştir. Daha sonra suyun giriş ve çıkış kesitleri tanımlanmıştır. Ayrıca kesit içerisinde bulunan akışkan türü olan su için, ANSYS'in Fluent kütüphanesinde bulunan, suyun özgül kütlesi, yoğunluğu gibi özellikleri seçilmiştir. Suyun temas halinde olduğu boru için de, projede belirtilen St 37 çeliği özellikleri yine Fluent kütüphanesinden alınmıştır. Modele ait giriş basınç değeri ise, dip savak yapısına ait hidrolik hesaplamalardan elde edilerek 5001 Pa olarak tanımlanmıştır.

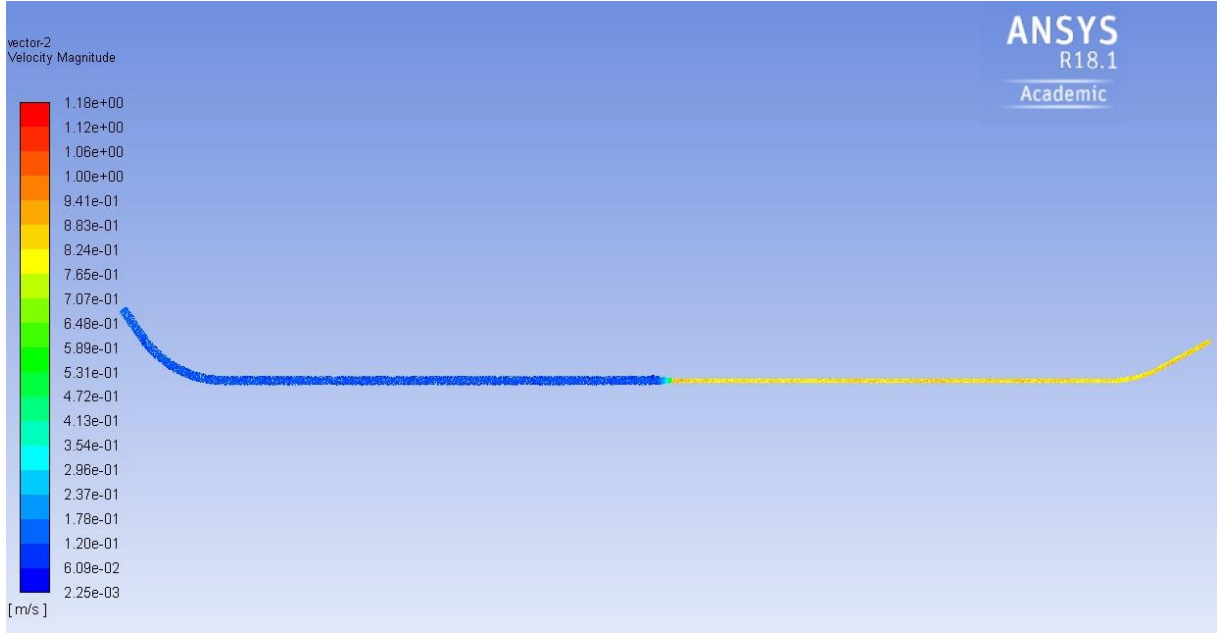
Sınır şartları ve akışa ait özellikler belirlendikten sonra çözüme geçilmiştir. Çözüm ve sonuç kısmında 3 boyutlu türbülanslı modele ait toplam basınç miktarı, hız büyüklükleri ve boruya ait kesme gerilme değerlerinin ANSYS Fluent ekran görüntüleri Şekil 4,5 ve 6'da verilmiştir.

Dip savak yapısına ait toplam basınç değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Basıncı borularda oluşabilecek kavitasyonu önlemek için dip savak yapısında toplam basınç negatif değere düşmemelidir. Kesitin daraldığı çıkış bölgesinde basınç değeri oldukça düşüktür. Bunun sebebi, kesitin atmosfere açılmasındandır. Hızın yüksek olduğu türbülanslı akımlarda dip savak yapısının hiçbir bölgesinde negatif basınç gözlenmemiştir.



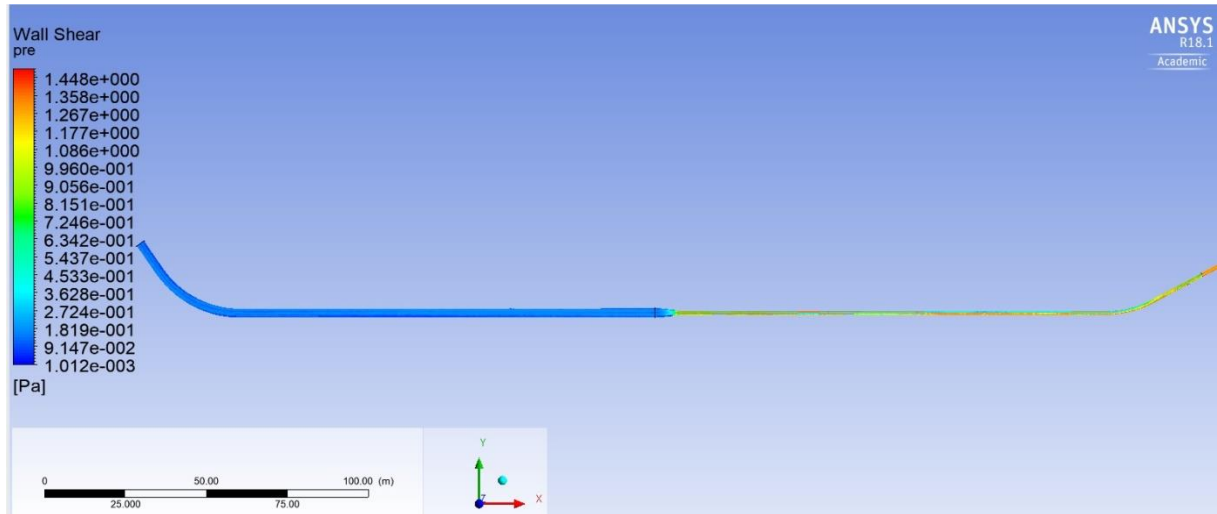
**Şekil 4.** Türbülanslı akım hali için toplam basınç değerleri

Şekil 5'te hız değerlerinin değişimi görülmektedir. Verilen renk skalasına göre, dip savak yapısı giriş bölgesinde çap, çıkış kesitindeki çaptan daha büyük olduğu için hız dağılımı daha küçük değerler alırken; en yüksek hız değeri atmosfere açıldığı çıkış kesitinde oluşmaktadır.



Şekil 5. Türbülanslı akım hali için hız büyüklük değerleri

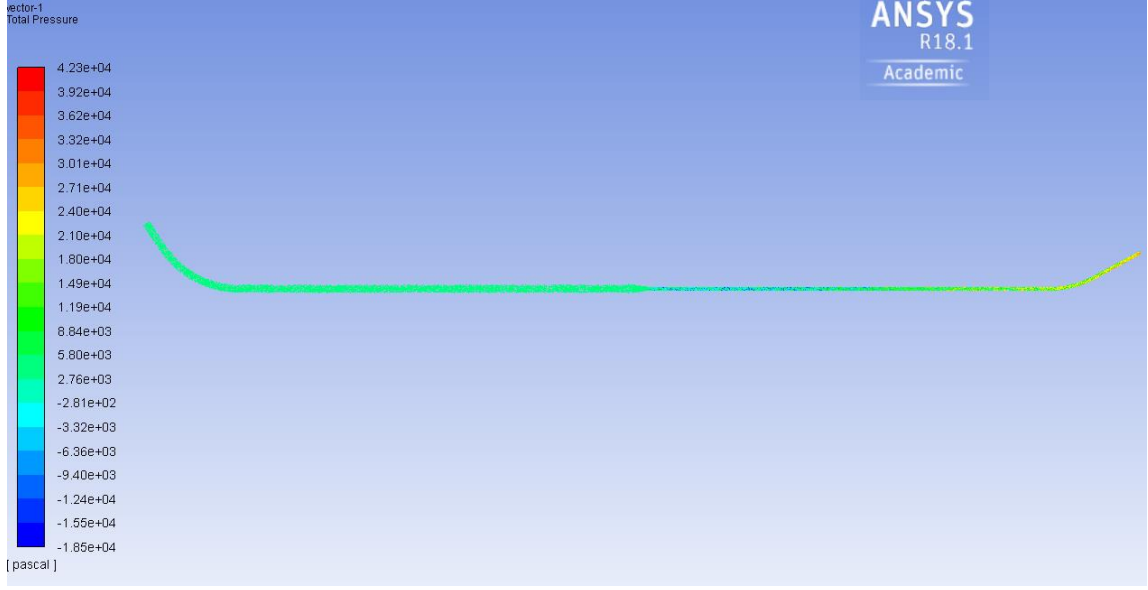
Son olarak Şekil 6'da verilen boruya ait kesme gerilme değerini ise, suyun etkisinin boruda oluşturduğu kuvvet olarak ifade etmek mümkündür. Kesitin daraldığı bölgelerde, kesme gerilme değeri artış göstermektedir.



Şekil 6. Türbülanslı akım hali için boruya ait kesme gerilme değerleri

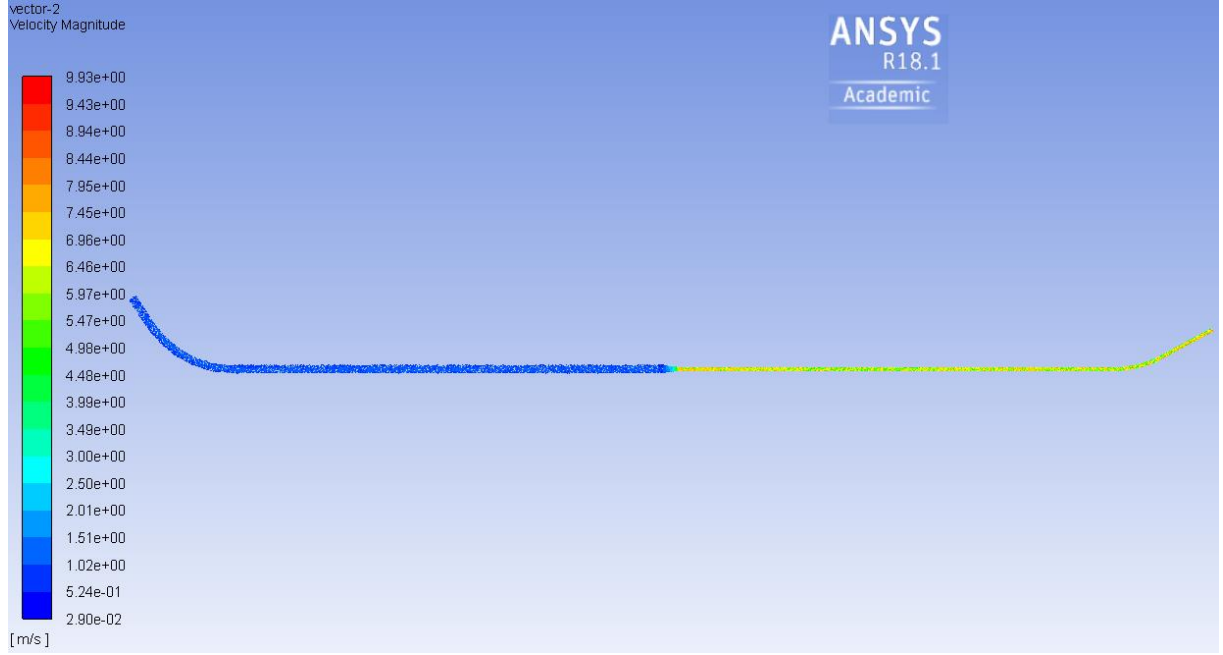
Aynı dip savak yapısına ait ancak bu kez laminer akım oluşması halinde yapıda meydana gelen toplam basınç, hız büyüklükleri ve boruya ait kesme değerleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Şekil 7, 8 ve 9).

Şekil 7'de laminer akım hali için dip savak yapısında oluşan basınç değerleri türbülanslı akım halindeki değerlerden daha düşük olarak gözlenmiştir. Hızın düşük olduğu laminer akım halinde dip savak yapısında ortalama sifira yakın değerler elde edilmiştir.



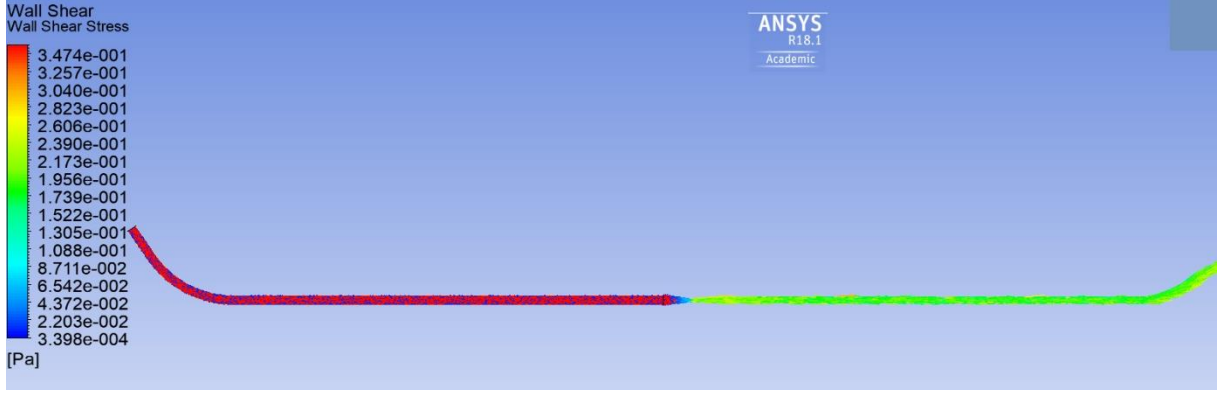
*Şekil 7. Laminer akım hali için toplam basınç değerleri*

Şekil 8’te hız değerlerinin değişimi Şekil 5’de verilen türbülanslı akım hali hız değişimine paralel bir değişim sergilemektedir. Ancak ortalama hız değerleri türbülanslı akım halindeki hız değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Benzer şekilde, dip savak yapısı giriş bölgesinde çap, çıkış kesitindeki çaptan daha büyük olduğu için hız dağılımı daha küçük değerler alırken; en yüksek hız değeri atmosfere açıldığı çıkış kesitinde oluşmaktadır.



*Şekil 8. Laminer akım hali için hız büyüklük değerleri*

Şekil 9’da verilen boruya ait kesme gerilme değeri ise, türbülanslı akıma benzer şekilde kesitin daraldığı bölgelerde, kesme gerilme değeri artış göstermektedir. Türbülanslı akımda çalkantı kayma gerilmelerinin etkisiyle toplam kesme gerilmesi laminer akıma göre daha yüksek değerler almaktadır.



**Şekil 9.** Laminer akım hali için boruya ait kesme gerilme değerleri

Darıderesi II Göleti dip savak yapısında oluşan en yüksek hız büyüklükleri, toplam basınç ve kesme gerilmesi değerlerinin değişimi laminer ve türbülanslı akım hali için Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Darıderesi II Göleti Toplam Basınç, Hız Büyüklükleri ve Kesme Gerilmesi Maksimum Değerleri

	Toplam Basınç (Pa)	Hız Büyüklük Değeri (m/sn)	Kesme Gerilme Değeri (Pa)
<b>Türbülanslı Akım</b>	5.18e+03	1.18	1.448
<b>Laminer Akım</b>	4.23e+04	9.93	3.47e-001

## **IV. SONUÇLAR**

Büyük su yapıları için, oluşturulan modellerde, basınç, hız gibi kinetik büyüklüklerin gözlenmesi önemlidir. Bu çalışmada hidrolik yapılar için kullanılan ANSYS programı FLUENT modülü ile, 3 boyutlu akış modeli geliştirilmiştir. Darıderesi II Göleti dip savak yapısına ait türbülanslı ve laminer akım halleri için, toplam basınç, hız büyüklüğü ve kesme gerilme değerleri elde edilmiştir. Böylelikle su kaynaklarının ve yapılarının planlanması ve projelendirilmesi aşamasında, oluşabilecek maksimum ve minimum kinetik büyüklükler hakkında bilgi sahibi olunacaktır. Modelleme sonuçlarına göre en olumsuz senaryolar göz önünde bulundurularak hidrolik yapıya ait boyutlar deneysel hiçbir düzeneğe ihtiyaç duyulmadan, kolaylıkla değiştirilebilecektir.

Çalışmada, laminer ve türbülanslı akım hali için kıyaslamalı olarak verilen değerlerden görüldüğü üzere; baraj yapılarında bulunan dip savakların, türbülanslı hal için incelenmesi daha gerçekçi bir durum oluşturacaktır. Toplam basınç değerini incelemek gerekirse sınır şartları kısmında toplam basınç değeri 5001 Pa alınmıştır. Bu değer türbülanslı akım hali için neredeyse sabit kalmaktayken, laminer akım için değişiklik göstermiştir. Bu değerlerin değişiklik göstermesi de hız ve kesme gerilme değerlerini farklılaştırmıştır. Çalışmada geliştirilen model için hidrolik şartnameden hesaplanan toplam basınç değerini ve aynı zamanda bu sınır şartını sağlamasından dolayı türbülanslı akım halini seçmek daha gerçekçi bir sonuç verecektir. Çünkü ölü hacmin üzerindeki suyu yüksek hız değerleri ile mansap kısmına aktaran dip savaklarda türbülanslı akış gözlenmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bölgede yapılacak olan diğer gölet ya da baraj yapıları için kaynak niteliği taşıyabilir. Ayrıca, yapılacak olan diğer çalışmalar için oluşturulan model farklı senaryolarla yeniden değerlendirilebilir.

## **V. KAYNAKLAR**


- [1] M. C. Aydın, A. E. Ulu and Ç. Karaduman, "CFD analysis of Ilısu Dam sluice outlet," *Fırat University Turkish Journal of Science & Technology*, vol. 13, no. 1, pp. 119-124, 2018.
- [2] S. Li, S. Cain, M. Wosnik, C. Miller, H. Kocahan and R. Wyckoff, "Numerical modeling of probable maximum flood flowing through a system of spillways," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 137, no. 1, pp. 66-74, 2011.
- [3] M. Alihosseini and P. U. Thamsen, "Numerical and experimental investigation of flow in partially filled sewer pipes," *Technische Mechanik. Scientific Journal for Fundamentals and Applications of Engineering Mechanics*, vol. 39, no. 1, pp. 113-124, 2019.
- [4] M. Yaylacı ve C. Terzi, "Temas problemlerinde sonlu elemanlar yönteminin doğruluğunun incelenmesi," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 6, s. 3, ss. 511-519, 2018.
- [5] N. Yılmaz ve İ. Çiçek, "Standart test pervanesi analizleri ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz altyapısının doğrulanması," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 6, s. 4, ss. 681-690, 2017.
- [6] N. A. Beg, R. F. Carvalho, J. Leandro, P. Lopes and L. Cartaxo, "Investigation of the flow field inside a drainage system: Gully-Pipe-Manhole," presented at 6th International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures, 2016, Lübeck, Germany, 2016.
- [7] P. Lopes, J. Leandro, R. F. Carvalho, P. Páscoa and R. Martins, "Numerical and experimental investigation of a gully under surcharge conditions," *Urban Water Journal*, vol. 12, no. 6, pp. 468-476, 2015.
- [8] S. Kumar and A. K. Pentakota, "Computational fluid dynamics simulations of pipe elbow flow," *International Journal of Professional Engineering Studies*, vol. 9, no. 2, pp. 32-42, 2017.
- [9] M. Patel. (2020, September 17). *CFD Modeling Services* [Online]. Available: <https://cfmodelingservices.wordpress.com/2013/06/12/4-advantages-and-disadvantages-of-cfd/>.
- [10] S. Chandra, "Computational fluid dynamics analysis of rectangular microchannel heat sink," Ph.D. dissertation, Delhi College of Engineering, Delhi Technological University, Delhi, India, 2017.
- [11] U. C. Liestyarini, "CFD Analysis internal pipe flow," M.S. thesis, Offshore Technology / Subsea Technology, Faculty of Science and Technology, University of Stavanger, Stavanger, Norway, 2016.
- [12] H.K. Versteeg and W. Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*, England: Pearson Education Limited, 2007.
- [13] M. Sümer, İ. Ünsal ve M. Bayazıt, *Hidrolik*, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2013.
- [14] D.L. Logan, *A First Course in The Finite Element Method*, Canada: Thomson, 2007.
- [15] O.C. Zienkiewicz, *The Finite Element Method*, England: Tata Mcgraw Hill, 2001.
- [16] T. Aydın, "Darıderesi II Göleti'nin dinamik analizlerinin ANSYS ile incelenmesi," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2017.



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Effects of Metal Carbonyls on The Formation of Hexagonal Boron Nitride

 Gökhan UZUN<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, TÜRKİYE

### ABSTRACT

Hexagonal boron nitride (hBN) was synthesized by using O'Connor method with different metal carbonyls ( $\text{Mo}(\text{CO})_6$ ,  $\text{Cr}(\text{CO})_6$ , and  $\text{W}(\text{CO})_6$ ) at 1373 K. FTIR, XRD, and SEM techniques were used for characterization of the samples. XRD results indicated an increase in interlayer spacing besides nano-scale products are formed, all that observed at 1373 K. The lattice parameters were computed and observed that the parameters were fairly approximate to the reported value for hBN and it has been found that grain size of the products is in nano scale according to Debye-Scherrer equation.

**Keywords:** Hexagonal boron nitride, Nanocrystal, O'Connor method, Metal carbonyls.

## Metal Karbonillerin Hekzagonal Bor Nitrür Sentezi Üzerindeki Etkileri

### ÖZET

Hekzagonal bor nitrür (hBN) numuneleri, 1373 K'de farklı metal karboniller,  $\text{M}(\text{CO})_6$ , ( $\text{M} = \text{Mo}, \text{Cr}, \text{W}$ ) ile modifiye edilmiş O'Connor yöntemi kullanılarak hazırlandı. Numuneler FTIR, XRD ve SEM teknikleri ile karakterize edildi. XRD sonuçları, katmanlar arası aralıkta bir artış olduğunu gösterdi ve 1373 K'de nano ölçekli ürünlerin oluşumu gözlemlendi. Hesaplanan kafes değerleri hBN için bildirilen değere çok yakındı ve Debye-Scherrer denkleminde göre ürünlerin tane büyüklüğünün nano ölçekte olduğu bulundu.

**Anahtar Kelimeler:** Hekzagonal bor nitrür, Nanokristaller, O'Connor metot, Metal karboniller

## **I. INTRODUCTION**

Hexagonal boron nitride (hBN) is a typical layered substance with planar hexagonal networks which are stacked with van der Waals forces to form three-dimensional, graphite-like structure. Mainly, there are four different methods for preparing hBN, e.g. chemical vapor deposition (CVD) [1], polymer pyrolysis [2], carbothermic reduction [3] and high-temperature metallurgical synthesis [4].

In the present study, the modified O'Connor [5] method was chosen to synthesize hBN because of its simplicity. According to this method, it was confirmed that a positive effect of metals was observed on the formation of hBN at comparatively low temperatures in our work-group studies [6,7]. The current study deals with the formation of hBN in the presence of metal carbonyls according to modified O'Connor method. Two different roles of the metal carbonyls would be expected: Metal carbonyls may act as a source of metal atoms and CO release upon heating of the reaction mixture. Consequently, it would be possible to obtain uniformly crystalline products in the presence of metal atom. In addition, the released CO may involve in reduction reaction that is like carbo-reductive hBN synthesis [8].

## **II. EXPERIMENTAL**

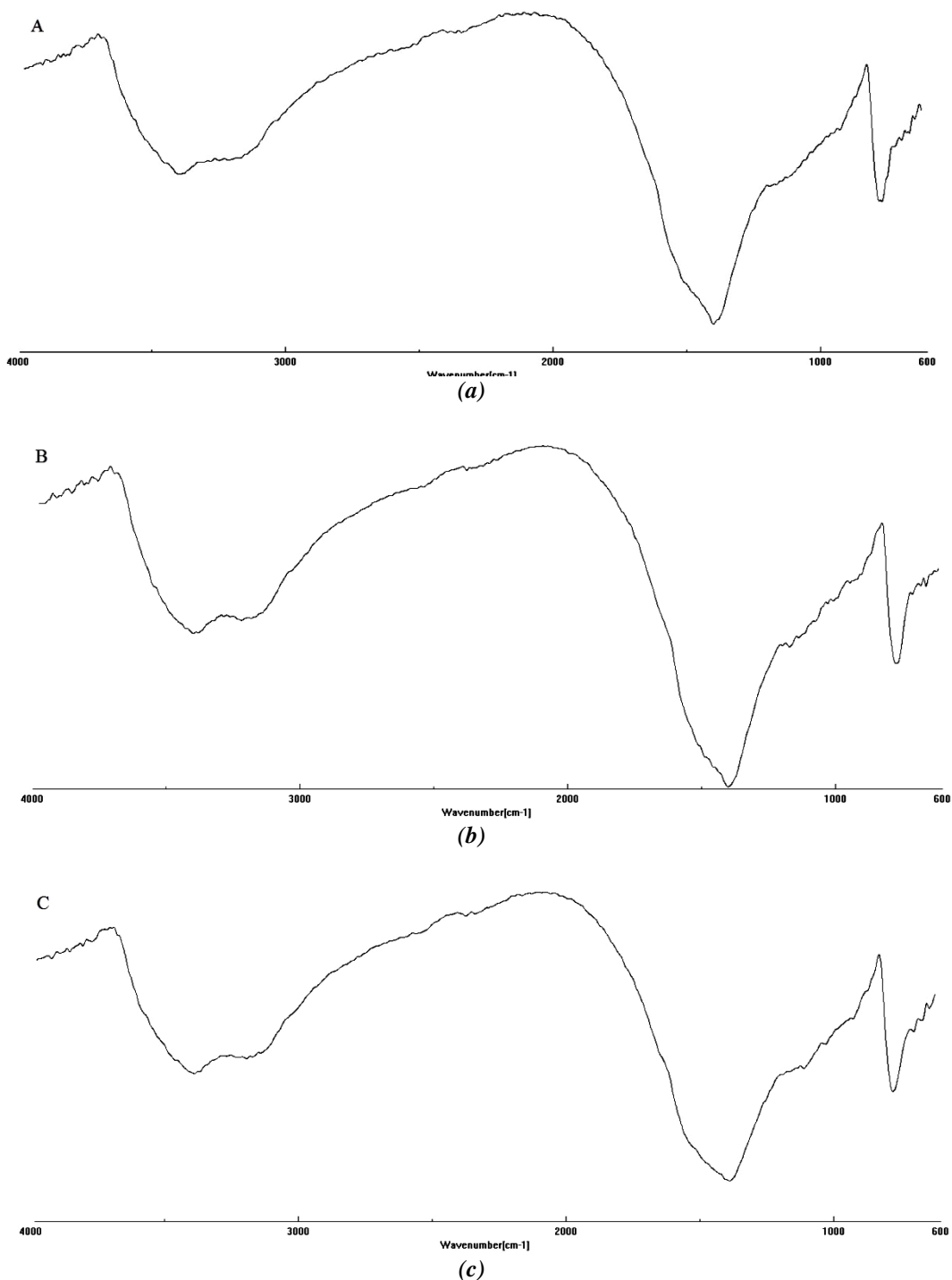
O'Connor method [5] was used for synthesis of hexagonal boron nitride. 2 g of  $B_2O_3$ , 4 g of  $CO(NH_2)_2$  (urea), and 0.04 g of metal carbonyl ( $Mo(CO)_6$ ,  $Cr(CO)_6$ , and  $W(CO)_6$ ) were mixed for precursor preparation. It was pre-heated at 473 K for 2 hours, then it was pulverized in a grinder. After that, it was heated in a flow of ammonia gas (flow rate=120 mL/min) at 1323 K for 2 hours in a tube furnace. The raw product was leached in 3 M HCl solution, then washed with ethanol. Finally, hBN sample was dried in an oven at 373 K.

The types of chemical bonding were determined by Jasco 430 FTIR spectrophotometer using KBr pressed discs. The crystallinity of hBN was examined by the Rigaku DMAX 2000/PC diffractometer using  $CuK_{\alpha}$  radiation. Morphological studies of hBN were obtained by Zeiss Evo 50.

## **III. RESULT AND DISCUSSION**

Multiple studies are examined [9–11] in past for the construction of hBN by IR spectroscopy. The peaks at near  $\sim 1380$  and  $\sim 780\text{ cm}^{-1}$  refer to the in-plane and out-of-plane vibrations of hBN [8-10, 12]. The broad absorption band near  $\sim 3200$ , and  $\sim 3400\text{ cm}^{-1}$  are assigned to the N–H, and O–H, stretching vibrations, respectively when the  $B_2O_3$  (or  $H_3BO_3$ ) and urea systems are used [13–14]. These groups were not suggested as contaminants [15], rather the contaminants are elements that the end group part of two-dimensional hBN macromolecules.



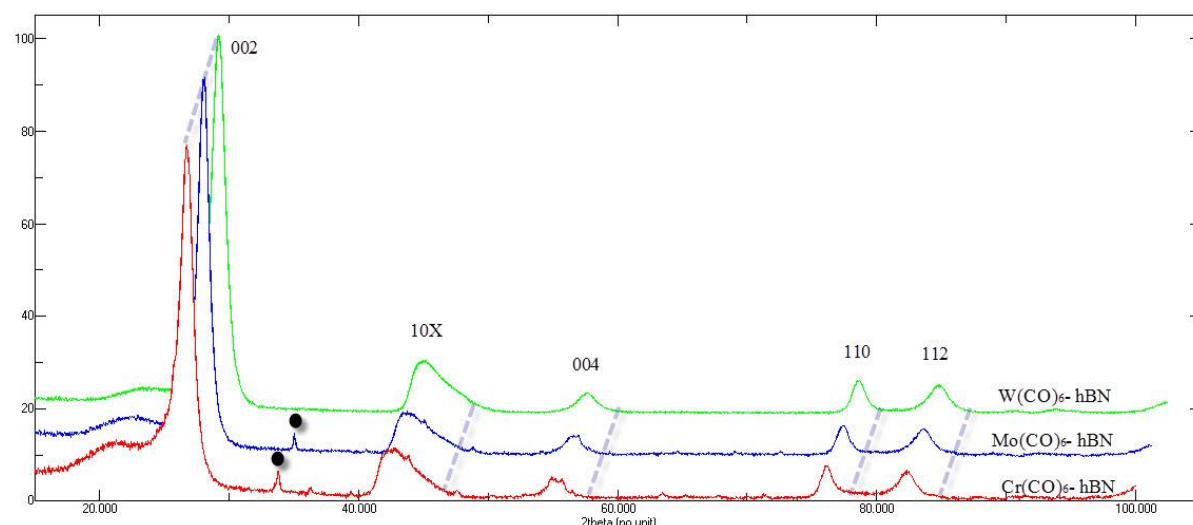


**Figure 1.** FTIR spectrum of hBN samples. Sample prepared with a)  $\text{Cr}(\text{CO})_6$ , b)  $\text{Mo}(\text{CO})_6$ , and c)  $\text{W}(\text{CO})_6$ .

Figure 2 indicated the XRD pattern of hBN and its main peaks (002, 10X<sup>1</sup>, 004, 110, and 112) was detected. According to studies [16, 17], inseparable 100 and 101 (10X) was the indication of amorphous structure. However, current studies [7, 11, 18, 19] already identified that the unseparated “10X” peaks indicates formation of the nano-crystalline hBN. Moreover, reducing of the formation temperature of hBN is result from the utilization of ammonia and metal salt together; while the metal salts, as catalysts, ease to take place the reaction [15,19,20], ammonia act as the nitriding agent for metals and alloys at low temperature [9,21,22]. Also, the peak broadening showed that the grain sizes

<sup>1</sup> Unseparated 100 and 101 peaks of hBN.

of hBN in nano-size [18, 19]. The lattice constants were calculated from the patterns (Table 1), and the findings are approximate to the explained value for hBN (ICDD card no: 34- 0421).



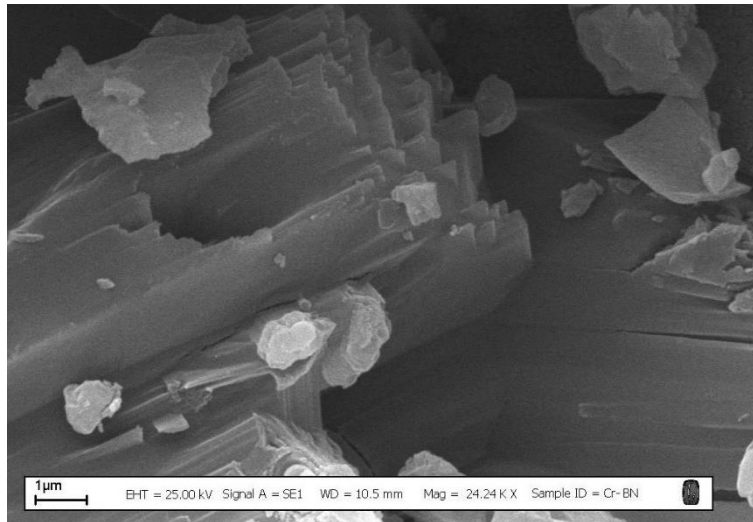
**Figure 2.** XRD pattern of hBN samples, ●: unknown.

The average particle size was calculated as 3.8 nm for Cr-hBN, as 7.85 nm for Mo-hBN, and as 6.25 nm for W-hBN by the Debye-Scherrer formula. In terms of these approaches our samples can be accepted as nano crystalline [7,11,15,18,19,23].

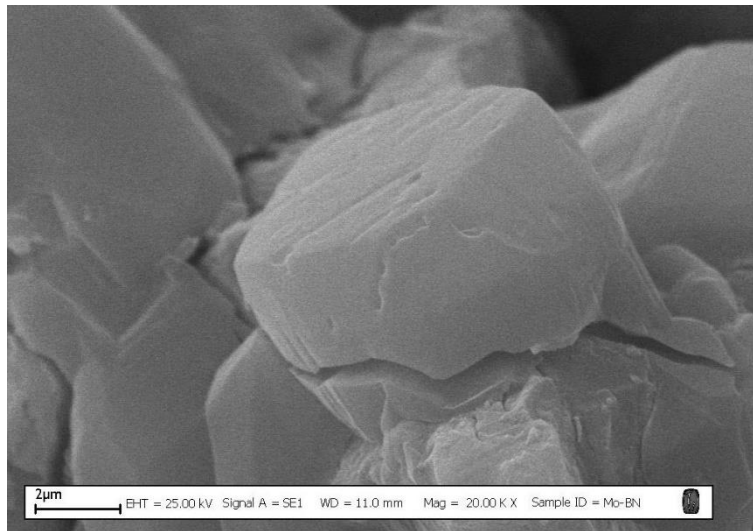
**Table 1.** Calculated lattice constants of the samples.

Sample prepared with $\text{Cr}(\text{CO})_6$	Sample prepared with $\text{Mo}(\text{CO})_6$	Sample prepared with $\text{W}(\text{CO})_6$	Original hBN
<b>a:</b> 2.502 Å	<b>a:</b> 2.499 Å	<b>a:</b> 2.499 Å	<b>a:</b> 2.504 Å
<b>c:</b> 6.664 Å	<b>c:</b> 6.692 Å	<b>c:</b> 6.657 Å	<b>c:</b> 6.656 Å
<b>d<sub>002</sub>:</b> 3.332 Å	<b>d<sub>002</sub>:</b> 3.346 Å	<b>d<sub>002</sub>:</b> 3.328 Å	<b>d<sub>002</sub>:</b> 3.3281 Å

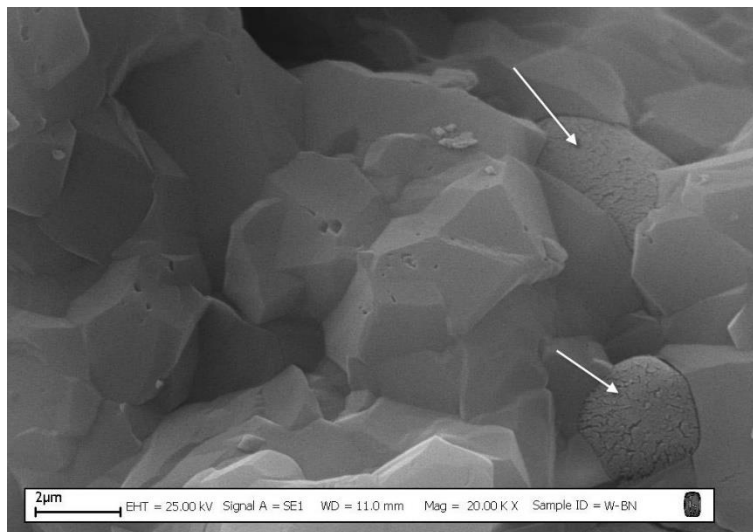
The morphology of hBN samples were investigated by SEM (Figure 3). SEM images shows regularly grained powder hBN particles with different shapes. In Figure 3 (a) rod-like particles and in Figure 3 (b) and 3 (c) pyramid-like structures were observed. According to Shuvaev [24] it was proposed that transition metal can located in pores and / or cracks of hBN, in Figure 3 (c) the matter on the boundary marked with arrow could be tungsten.



(a)



(b)



(c)

**Figure 3.** SEM images of hBN samples. Sample prepared with (a)  $\text{Cr}(\text{CO})_6$ , (b)  $\text{Mo}(\text{CO})_6$ , and (c)  $\text{W}(\text{CO})_6$ .

## **IV. CONCLUSION**

In summary, nano-crystalline hBN was synthesized by O'Connor method with metal carbonyls, and it was found that the computed lattice parameters were fairly approximate to the stated valence of hBN. Moreover, use of both metal carbonyls and NH<sub>3</sub> provided in nano-crystalline hBN formation at 1373 K. The prepared samples were in different shapes and tungsten could be placed on the grain boundaries of hBN.

## **V. REFERENCES**

- [1] S.P.S. Arya, A. D'Amico, "Preparation, properties and applications of boron nitride thin films," *Thin Solid Films*, vol. 157, no. 2, pp. 267-288, 1988.
- [2] J. Economy, R. Anderson, "A new route to boron nitride," *Inorganic Chemistry*, vol. 5, no. 6, pp. 989-992, 1966.
- [3] K. A. Schwetz, "Boron carbide, boron nitride, and metal borides" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 6th ed., Weinheim, Germany: Wiley -VCH, 2000.
- [4] T. Hagio, K. Nonaka, T. Sato, "Microstructural development with crystallization of hexagonal boron nitride," *Journal of Material Science Letters*, vol. 16, no. 10, pp. 795- 798, 1997.
- [5] T.E. O'Connor, "Synthesis of boron nitride," *Journal of American Chemical Society*, vol. 84, no. 9, pp. 1753-1754, 1962.
- [6] E. Budak, Ç. Bozkurt, "The effect of transition metals on the structure of h-bn intercalation compounds," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 177, no. 4-5, pp. 1768-1770, 2004.
- [7] E. Budak, Ç. Bozkurt, "Synthesis of hexagonal boron nitride with the presence of representative metals," *Physica B*, vol. 405, no. 22, pp. 4702-4705, 2010.
- [8] A. Aydoğdu, N. Sevinç, "Carbothermic formation of boron nitride," *Journal of European Ceramic Society*, vol. 23, no. 16, pp. 3153-3161, 2003.
- [9] M. Hubacek, T. Sato, T. Ishii, "A coexistence of boron nitride and boric oxide," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 109, no. 2, pp. 384-390, 1994.
- [10] J. Q. Hu et al., "Synthesis and characterization of nanocrystalline boron nitride," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 148, no. 2, pp. 325-328, 1999.
- [11] L.Y. Chen, Y.L. Gu, Z.F. Li, Y.T. Qian, Z.H. Yang, J.H. Ma, "Low temperature synthesis and benzene thermal growth of nanocrystalline boron nitride," *Journal of Crystal Growth*, vol. 273, no. 3, pp. 646-650, 2005.
- [12] L.Y. Chen, M.X. Huang, T. Luo, Y.L. Gu, L. Shi, Z.H. Yang, Y.T. Qian, "A low temperature route to nanocrystalline boron nitride whiskers and flakes," *Materials Letters*, vol. 58, no. 27-28, pp. 3634-3636, 2004.
- [13] M. Hubacek, M. Ueki, "Chemical reactions in hexagonal boron nitride system," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 123, no. 2, pp. 215-222, 1996.



- [14] S.D. Yuan, L.H. Zhu, M.X. Fan, X.B. Wang, D.J. Wan, S.X. Peng, H.Q. Tang, "Fluffy like boron nitride spheres synthesized by epitaxial growth," *Material Chemistry and Physics*, vol. 112, no. 3 pp. 912-915, 2008.
- [15] M.T. Zheng, Y.L. Gu, Z.L. Xu, Y.L. Liu, "Synthesis and characterization of boron nitride nanoropes," *Mater Letters*, vol. 61, no. 8-9, pp. 1943-1945, 2007.
- [16] P. Dibandjo, L. Bois, F. Chassagneux, P. Miele, "Thermal stability of mesoporous boron nitride templated with a cationic surfactant," *Journal of European Ceramic Society*, vol. 27, no. 1, pp. 313-317, 2007.
- [17] J.Y. Choi, S.J.L. Kang, O. Fukunaga, J.K. Park, K.Y. Eun, "Effect of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and HBN crystallinity on cbn synthesis," *Journal of American Chemical Society*, vol. 76, no. 10, pp. 2525-2528, 1993.
- [18] Shi L, Gu Y.L, Chen L.Y, Qian Y.T, Yang Z.H, Ma J.H, "Synthesis and morphology control of nanocrystalline boron nitride," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 177, no. 3, pp. 721-724, 2004.
- [19] L. Shi, Y.L. Gu, L.Y. Chen, Z.H. Yang, J.H. Ma, Y.T. Qian, "Formation of nanocrystalline BN with a simple chemical route," *Materials Letters*, vol. 58, no. 26, pp. 3301-3303, 2004.
- [20] G.W. Zhou, Z. Zhang, Z.G. Bai, D.P. Yu, "Catalyst effects on formation of boron nitride nanotubes synthesized by laser ablation," *Solid State Communications*, vol. 109, no. 8, pp. 555-559, 1999.
- [21] T.E. Warner, D.J. Fray, "Nitriding of iron boride to hexagonal boron nitride," *Journal of Material Science*, vol. 35, no. 21, pp. 5341-5345, 2000.
- [22] S. Kurooka, T. Ikeda, K. Kohama, T. Tanaka, A. Tanaka, "Formation and characterization of BN films with Ti added," *Surface and Coating Technology*, vol. 166, no 2-3, pp. 111-116, 2003.
- [23] X. Hao, M. Yu, D. Cui, X. Xu, Q. Wang, M. Jiang, "The effect of temperature on the synthesis of BN nanocrystals," *Journal of Crystal Growth*, vol. 241, no. 1, pp. 124-128, 2002.
- [24] A.T. Shuvaev, B.Y. Helmer, V.L. Kraizman, T.A. Lyubesnova, A.S. Mirmilstein, L.D. Kvacheva, Y.N. Novikov, M.E. Volpin, "Graphite intercalation compounds with 3D-transition metals: Graphite-metal interaction," *Physica B*, vol. 158, no. 1-3, pp. 539-542, 1989.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Magnezyotermik İndirgeme ile PrB<sub>6</sub> Sentezi

 Cansu BABUZ<sup>a,\*</sup>,  Mecit AKSU<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Kimya Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cansu75877 @ogr.duzce.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.813446

### ÖZET

Bu çalışmada, magnezyotermik indirgeme ile mikro ve nano boyutta PrB<sub>6</sub> sentezlendi ve optimum reaksiyon koşulları tespit edildi. Optimum sıcaklığı belirlemek için Praseodymium(III, IV) oksit, bor(III) oksit ve magnezyum reaksiyon süresi sabit tutularak (2 saat) 600, 700, 800 ve 900°C'de tepkime vermeleri sağlandı. Optimum sıcaklık 900°C olarak saptandı. Daha sonra optimum olan sıcaklıkta (900°C) sabit tutularak 4, 8, 12, 16, 20 saat süreyle tepkime vermeleri sağlandı. En uygun tepkime süresi 8 saat olduğu tespit edildi. Oluşan saf PrB<sub>6</sub> X-Işını Kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Enerji Dispersif Spektrometri (EDS) ile analiz edildi. XRD analizi ile saf PrB<sub>6</sub> olduğu XRD ile kanıtlandı. Numunelerin morfolojilerini karakterize etmek için SEM analizi yapıldı. Heterojen ve nano–mikro boyutta PrB<sub>6</sub> varlığı gözlemlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Bor, Borür, Praseodymium, Nano ve mikro yapı

## PrB<sub>6</sub> Synthesis by Magnesiothermic Reduction

### ABSTRACT

In this work, nano and micro sized PrB<sub>6</sub> was synthesized with magnesiothermic reduction, and optimum reaction conditions were determined. To establish the optimum temperature, Praseodymium (III, IV) oxide, borontrioxide and magnesium reacted at 600, 700, 800 and 900 °C by keeping the reaction time constant(2 hours). The optimum temperature was found to be 900°C. Then, reactions were carried out at 4, 8, 12, 16, and 20 hours of reaction time by keeping the reaction temperature at 900 °C. Optimum reaction time was determined as 8 hours. Synthesized pure PrB<sub>6</sub> was analyzed with X-Ray diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy(SEM) and Energy Dispersive Spectrometry (EDS). Purity of the samples was proved with XRD. Morphologies of the samples are characterized with SEM analyses. It was observed that PrB<sub>6</sub> was nano-micro sized.

**Keywords:** Boron, Boride, Praseodymium, Nano and microstructure

# I. GİRİŞ

Nadir toprak elementi (NTE) ve bu elementlerin metal borür nano yapılarının hazırlanması son zamanlarda fazlaca kullanılan yöntemlerden biri olmuştur [1]. Nadir toprak elementleri genellikle yumuşak ve kolay işlenebilir olup yüksek sıcaklıklarda reaktif özelliği gösterir [2]. Bu özellikleri nadir toprak elementlerini çoğu sektörde kullanılabilir hale getirmektedir. Bu alanlar metalürji, seramik, cam, petrokimya, nükleer, elektrik-elektronik, tekstil vb. alanlardır.

Nadir toprak elementlerinin kullanım alanlarını, sahip olduğu özelliklerle bağdaştırsak daha detaylı bilgiler edinebiliriz. Nadir toprak elementlerinin sahip olduğu doymamış 4f elektronik yapılarından dolayı ışık yayma, manyetizma ve elektronik özellikleri, bu elementlerin nadir toprak fosforların üretiminde, çok güçlü manyetik ürünlerde ve hidrojen depolama gibi malzemelerde ve katalizör özelliği taşıyan malzemelerde kullanılmalarına olanak sağlamaktadır [3].

Nadir toprak elementleri ilk keşfedildikleri andan itibaren milletler için hep farklı anlamlara gelmiştir. Örneğin Japonlar, nadir toprak elementlerini teknolojinin tohumu olarak, ABD ise teknolojik metal olarak adlandırır. Aslında sonuca bakarsak NTE'nin yaşadığımız bugünün dünyasını yüksek teknolojiye taşıması mümkün olabilecek bir elementtir ve neredeyse tüm sanayi ve sistemlerde kullanılmaktadır [3]. Bu çalışmamızda elde etmek istediğimiz PrB<sub>6</sub>'nın üretimi bu sebeple önemli olmaktadır.

Nadir toprak elementleri (NTE), nadir olarak adlandırılmalarına rağmen yer kabuğunda değişik oranlarda ve çok geniş bir alana yayılmış olarak 160'dan fazla mineralin içeriğinde bulunurlar. NTE üretiminde öne çıkan üç mineral vardır; bastnazit, monazit ve ksenotim. Günümüzde dünyadaki NTE üretiminin %95'i bu üç mineralden gerçekleştirilmektedir. Son rakamlara da bakarsak dünyada 121 milyon ton NTE rezervi vardır ve bu rezervin yaklaşık 44 milyon tonu yani %36'lık payı Çin Halk Cumhuriyeti'ne aittir [4,5].

Bor elementi de nadir toprak elementleri gibi, literatür de son zamanlarda yine çokça kullanılmaya başlanan ve farklı farklı alanlarda varlığı artan gerek hammadde gerekse var olan bir özelliğin etkisini artırma da çokça kullanılan bir elementtir. Hem ülkemizde rezerv durumunun oldukça fazla olması, hem de dünya da var olan rezervler içerisinde yine en verimlilerine sahip olmasının yanı sıra her sektörde kullanılması açısından aranan bir elementtir [6,7].

Literatüre baktığımızda çeşitli nadir toprak elementi heksaborürleri arasında, lantan heksaborür(LaB<sub>6</sub>) ve seryum heksaborür(CeB<sub>6</sub>) maddeleri elektron kaynağı olarak vakumlu elektronik cihazlarda yaygın olarak uygulanmıştır ve PrB<sub>6</sub> ve LaB<sub>6</sub>'ün benzer kübik yapıya sahip olduğu görülmüştür. Pr atomunun, La atomundan daha aktif 4f elektrona sahip olması, bu malzemenin çok iyi bir emisyon performansına sahip olacağını göstermektedir [8]. Birçok çalışmada da bu iki bileşiğin (LaB<sub>6</sub>, CeB<sub>6</sub>) son yıllarda termiyonik emisyon uygulamaları açısından avantajlı oldukları kanıtlanmıştır [9].

Ayrıca, PrB<sub>6</sub>'nın geleneksel katodik emisyon malzemeleriyle karşılaştırıldığında [8] daha düşük bir çalışma sıcaklığına ve daha uzun hizmet ömrüne sahip olduğu, daha yüksek bir anlık emisyon, daha düşük bir uçuculuğa ve uyumlu buharlaşmaya sahip olduğu inanılmaktadır [9].

Yapılan bazı araştırmalar, büyük ölçekteki PrB<sub>6</sub> nano tel malzemelerin katalizör kullanmadan, basitçe kurulan düşük basınçtaki kimyasal buhar biriktirme işlemiyle (LPCVD) üretildiği gözlenmektedir. Bu nanotel malzemeler, birçok değişik analitik yöntem ve araçlarla ayrıntılı olarak karakterize edildiği ve malzemenin kristal olan düzleme dik olarak yüksek en-boy oranıyla büyüdüğü ve yüksek tek kristalin yapıda olduğu gözlenmiştir. Bu maddeye alan elektron emisyon testleri uygulanması sonucunda, büyüme gösteren PrB<sub>6</sub> malzemelerin düşük bir açılma alanına, bir eşik alanına ve yüksek alan geliştirme özellikleri olduğu sonucuna varılmıştır [10].

PrB<sub>6</sub> nanotel malzemelerin, yine hiçbir katalizör varlığı olmadan 1000–1150 °C sıcaklıkta metal Pr ve BCl<sub>3</sub> maddeleri kullanarak CVD yöntemi ile üretildiği gözlenmiştir. PrB<sub>6</sub> nanotellerin, doğada yaklaşık 10-100 nm çaplarda ve 10 mm uzunluğa ulaşan polikristal olduğu ortaya çıktı [11]. Genellikle PrB<sub>6</sub> sentez çalışmalarının kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemiyle farklı faktörler eklenerek yapılması tercih edilmektedir.

PrB<sub>6</sub>, sahip olduğu bazı bileşenler sayesinde, MR(manyetodirenç) çalışmalarında negatiften, pozitif rejime geçiş oluşturmaya katkı sağlar.[12] PrB<sub>6</sub>'da, belli manyetik bir alanda ve 20 K'nin altında bulunan sıcaklıklarda, azda olsa küçük bir manyetik moment ve bununla beraber ferromanyetik özellik gösterdiği görüldü[13].

PrB<sub>6</sub> sentezi için magnezyotermik indirgeme yönteminin kullanımı çokça çalışılan yöntemler arasında yer almamaktadır. Çalışmamızda, PrB<sub>6</sub>'ü ekonomik yöntemlerden biri olan magnezyotermik indirgeme yöntemi ile elde edebilmek ve bu yöntem içinde elde edilecek maddenin en verimli olabileceği sıcaklık ve sürenin tespit edebilmesi, ayrıca sıcaklık ve süre parametrelerin PrB<sub>6</sub> numune morfolojisi üzerine etkisinin olup olmayacağını irdelemesi amaçlandı.

## **II. DENEYSEL ÇALIŞMA**

Praseodymium(III,IV) oksit ve toz Magnezyum Aldrich firmasından ve herhangi bir saflaştırma olmaksızın kullanıldı.

Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama için, 1.02g (1 mmol) Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>, 1.26 g (18 mmol) B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve 1.68 g (65mmol) Mg, bir bakır havan içinde karıştırıldı. Daha sonra bu karışım porselen kroze aktarıldı ve kroze kül fırını içine konuldu. Reaksiyon sıcaklığı 900 °C olarak ayarlandı ve iki saat açık havada kül fırında tutuldu, oda sıcaklığına geldiğinde fırından dışarı alındı. Soğuduktan sonra numune manyetik karıştırma altında bir gün önce H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sonra da bir gün konsantre hidroklorik asit (konsantre HCl) içine bırakıldı. Daha sonra siyah çökelti süzüldü, saf su ile yıkandı ve 100 °C'de bir etüvde kurutuldu. Kurutulan madde şişelendi ve XRD analizi yapılmıştı. Şekil 1'de gösterilmektedir.

İkinci aşama için ise tekrar ilk durumdaki miktarlarda Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Mg aynı stokiometrik oranda tartıldı ve havan içerisinde karıştırıldı. Daha porselen kroze alındı ve sıcaklık 900 °C'de olmak kaydıyla 5 ayrı deney yapıldı; sırayla 4, 8, 12, 16 ve 20 saat zaman dilimlerinde numuneler kül fırınına atıldı. Süreler sonunda alındı ve soğumaya bırakıldı. Önceki işlemlerde olduğu gibi manyetik karıştırıcı ile önce bir gün H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sonra da konsantre hidroklorik asitte bekletildi, süzüldü ve etüvde kurutuldu. Şişelenerek XRD analizleri yapıldı. Daha sonra SEM görüntüleri alınmadan önce numuneler 450 °C'de 2 saat kül fırınında bırakıldı ve SEM analizleri yapıldı.

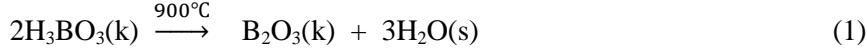
Sentezlenen bileşik tozlarının faz yapıları XRD analizi ile belirlendi. CuKα ışınması ( $\lambda=1.54\text{\AA}$ ), 45 kV voltaj ve 40 mA akım ile 2 $\theta$  aralığı 10°'den 90°'ye kadar 0.013° adım aralığında ölçümler alınmıştır. Tozların faz tanımlamaları ICDD-PDF 2 dataları ile belirlenmiştir. (ICDD card 07-0181)

Numuneler çift taraflı karbon bant kullanılarak alüminyum üzerine monte edilmiştir. Analiz öncesinde numuneler püskürtme kaplayıcı kullanılarak 10 nm kalınlığında altın/paladyum ile kaplanmıştır. Numunelerin yüzey morfolojileri 10 KeV'lik elektron hızlandırma voltajı kullanılarak SEM Quanta FEG 250 model cihaz (FEI, Hollanda) ile incelendi.

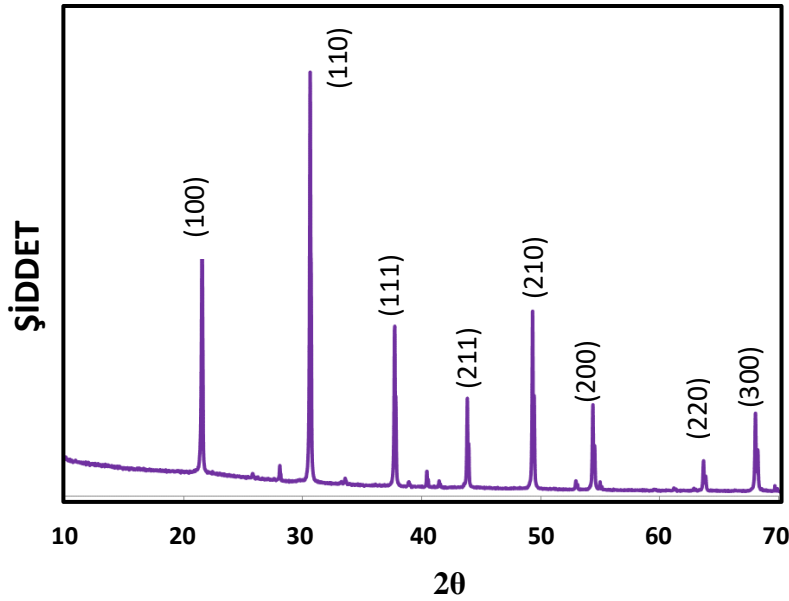
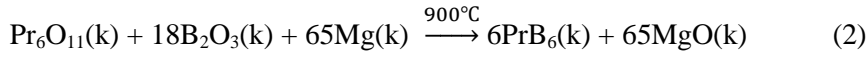


### III. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bortrioksit B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, borik asitin 900 °C’de dehidrasyonu ile elde edilir.(denklem 1)

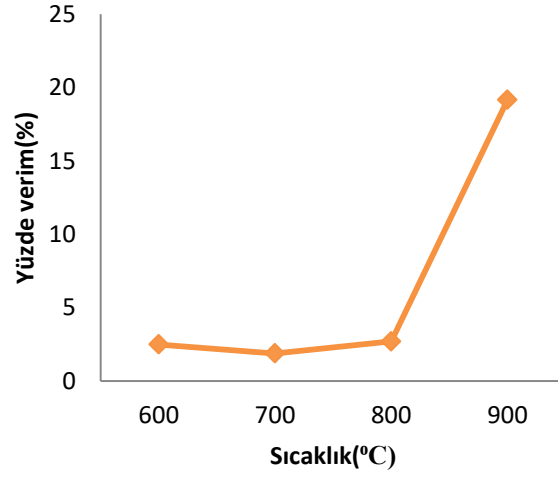


PrB<sub>6</sub> eldesi aşağıdaki kimyasal reaksiyona göre elde gerçekleştirilmiştir. (denklem 2)



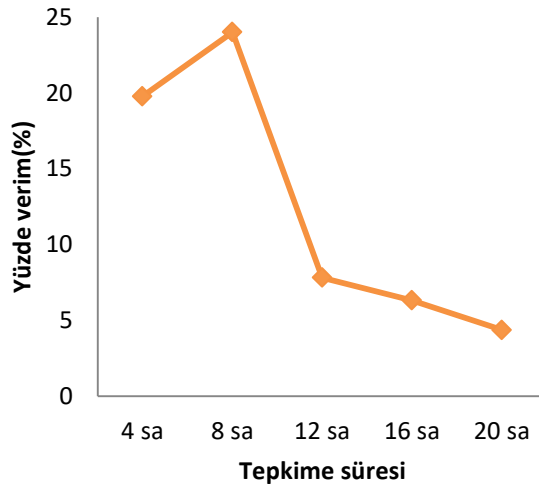
Şekil 1. PrB<sub>6</sub> bileşiğinin 900 °C’de ve 2 saatteki XRD analizi

Tepkime, açık havada kül fırınında gerçekleştirildi. Magnezyum reaksiyon ortamında daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla kalır. Bu nedenle indirgen madde olarak magnezyumun etkinliği artar. Bu nedenle reaksiyonumuzda iyi bir indirgen madde ve reaksiyon verimi artırıcı olarak kullanıldı. Magnezyum reaksiyon stokiyometrisinde belirtilenden yaklaşık %10 daha fazlası kullanıldı. Kullanılan magnezyumun fazlası hafifçe buharlaşmakta ve verim artmaktadır. Magnezyumun erime noktası 649 °C olduğundan dolayı, optimum sıcaklığın 600 °C olması beklenmesine rağmen 900°C olmuştur. Çünkü Magnezyum reaksiyon ortamında daha yüksek sıcaklıklarda sıvı haldedir. Bu nedenle, indirgen olarak magnezyumun etkinliği artmaktadır. Reaksiyondaki en uygun sıcaklık ve süre durumunu araştırmak için denklem (2)’i test ederken bazı parametreler değiştirildi. İlk durumda tepkime süresi sabit tutulmak üzere (2saat), reaksiyon sıcaklığı parametresi 600°C’den 900°C’ye kadar 100°C aralıklar ile değiştirildi. Her parametre için reaksiyonun verimi Şekil 2’deki gibi hesaplandı. Elde edilen XRD ve verim sonuçları ile optimum sıcaklık 900°C olarak tespit edildi. Şekil 1’de optimum sıcaklıkta bulunan numunenin XRD analiz datası verilmektedir.

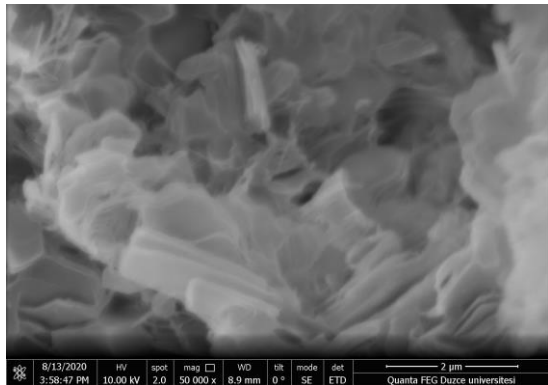


*Şekil 2. PrB<sub>6</sub> bileşiğinin 2 saatteki sıcaklık- verim bağıntısı*

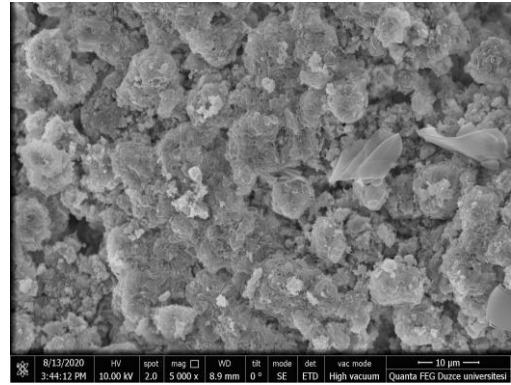
İkinci durumda, en uygun reaksiyon süresini bulmak için 4, 8, 12, 16, 20 saatleri olarak reaksiyon süresi parametresi değiştirildi. Her bir saat parametresi için verimi Şekil 3'teki gibi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucundaki verim miktarlarına göre en uygun süre 8 saat olarak tespit edildi. Şekil 4'de farklı sürelerde reaksiyona giren numunenin SEM görüntüleri verilmektedir. Şekilde mikro ve nano yapılar mevcuttur. Bazı SEM görüntüleri aglomera olmuşken, bazıları da neredeyse homojen eğilim göstermektedir. Buna göre en uygun sürede reaksiyona giren numunenin SEM analizi Şekil 4(c) ve (d)'de verilmektedir.



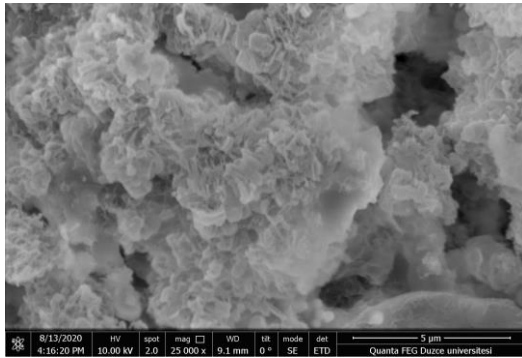
*Şekil 3. PrB<sub>6</sub> bileşiğinin 900 °C'deki reaksiyon süresi- verim bağıntısı*



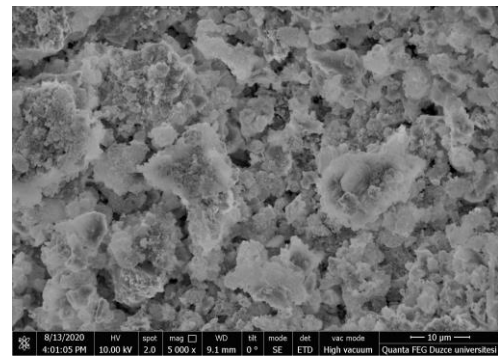
(a)



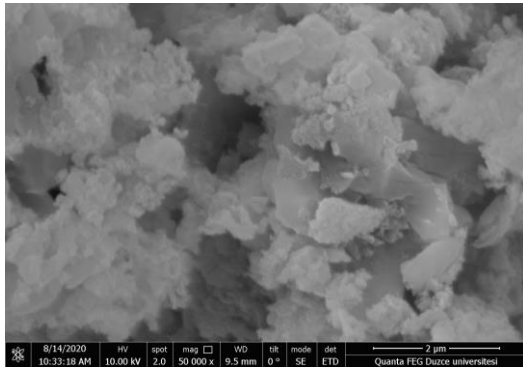
(b)



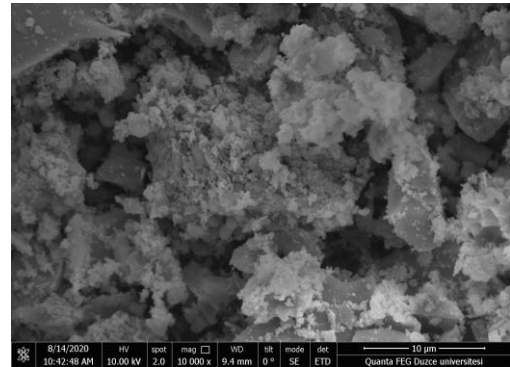
(c)



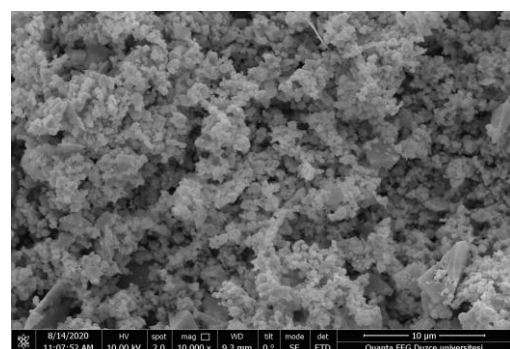
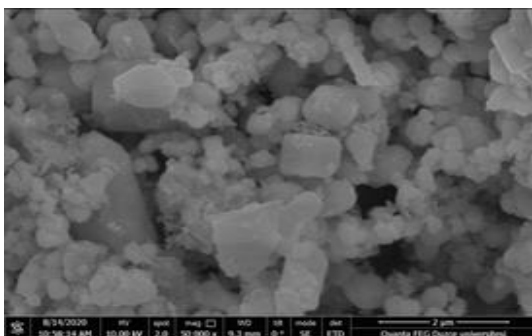
(d)

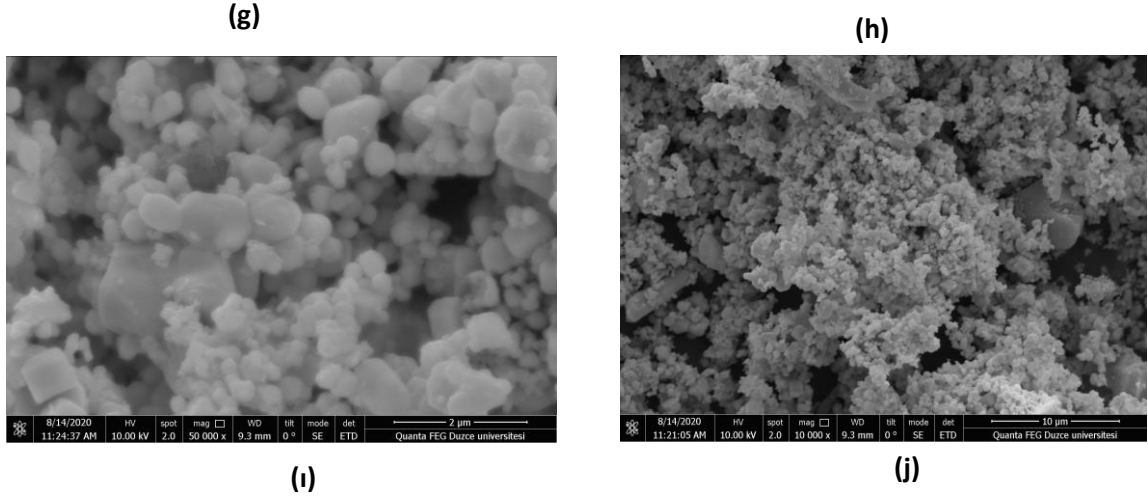


(e)



(f)



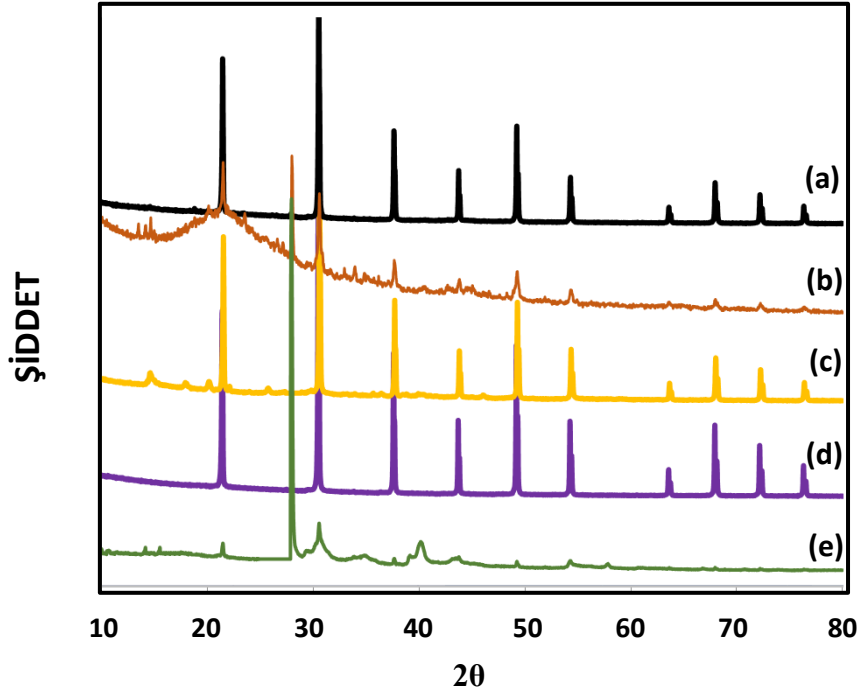


**Şekil 4.**  $PrB_6$  bileşiğinin 900 °C'de (a) ve (b) 4 saatteki (c) ve (d) 8 saatteki (e) ve (f) 12 saatteki (g) ve (h) 16 saatteki (i) ve (j) 20 saatteki SEM görüntüleri

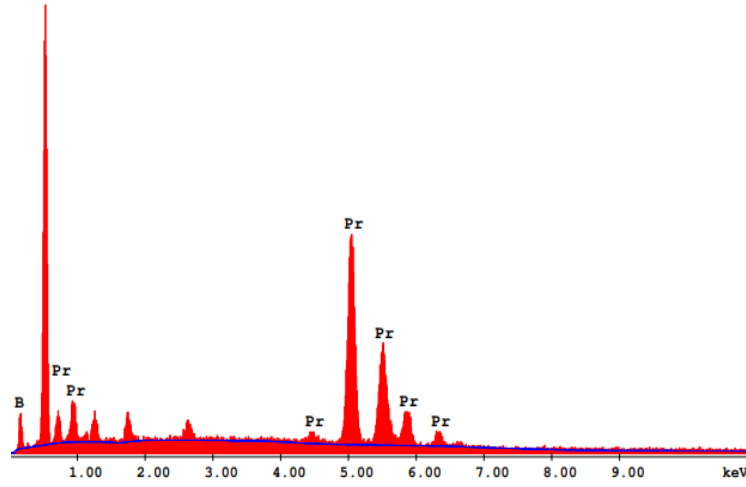
Elde edilen  $PrB_6$  heterojen morfolojiye sahiptir. Bu morfolojilerde birçok şekiller vardır, daha çok kübik, prizmatik ve tel şekillerinin karışımı görülmektedir. Şekil 4 (e), (g), (i) ve (j)'de görüldüğü gibi nano ve mikro boyuttaki küp yapılar 12, 16 ve 20. saatlerde baskındır. Şekil 4 (h)'daki görüntüde de 16. saatte mikro boyutta tel yapı oluştuğu görülmektedir. Şekil 4 (a), (e), (f), (g) ve (j)'ye göre de mikro boyutta prizmatik figürler ise 4, 12 ve 16 ve 20. saatlerde daha baskındır. Şekil 4 (i) ve (j)'de de görülüyor ki heterojen şekiller, sürenin 20 saat olarak alındığı deney boyunca daha sık görülmektedir. En yüksek verim 8 saatte elde edilmesine rağmen Şekil (c) ve (d)'de homojen olmayan bir morfolojiye sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmada genel olarak  $PrB_6$  maddesinde nano ve mikro boyutta kübik morfolojinin daha baskın olduğu gözlemlendi.  $PrB_6$  kristallerinin kübik morfolojisi literatür incelendiğinde başka çalışmalarda da görülmektedir [14]. Reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon için verilen süre, sonuçta oluşacak ürünün şeklinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu parametreler hassas bir şekilde dengelenerek ve kontrol edilerek, nano ve mikro boyuttaki kristallerin şekilleri kontrol edilebilir [1].

Şekil 5'e bakıldığında en uygun sürede reaksiyona giren numunenin XRD datası Şekil 5(b)'de verilmektedir. Filmin kristal yapısının ICDD card no 07-0181 ile örtüştüğü tespit edildi.

SEM analizlerinde numune içerisinde bulunması muhtemel su buharı görüntünün net olarak elde edilmesine mani olabilmektedir. Bu nedenle, SEM analizleri öncesi numuneler 450 °C 'de 2 saat süreyle kurutuldu. Elde edilen numunenin konsantre HCl ile yıkanmasının sebebi, MgO ve safsızlıkların giderilmesidir. İlk kullanılan derişik  $H_2SO_4$ 'ün safsızlıkları tam gidermede yeterli olmaması nedeniyle derişik HCl kullanımına başvuruldu. Nitrik asitte bu işlem için kullanıldı ama tüm numuneyi çözmesi nedeniyle safsızlık gidermede kullanımına devam edilmedi.



Şekil 5.  $PrB_6$  bileşiğinin  $900\text{ }^\circ\text{C}$ ' de (a) 20 saat için (b) 12 saat için (c) 8 saat için (d) 16 saat için (e) 4 saat için XRD analizi



Şekil 6.  $PrB_6$  bileşiğine ait EDS spektrumu

Şekil 6'da yer alan EDS analizi sonuçları Bor ve Praseodymium varlığını ispat etmektedir.

Son zamanlarda, lantanit borürler için Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD), Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) ve mekanokimyasal işlemler (MCP) ve başka birkaç yöntem üretimi araştırıldı. Ancak düşük basınç, vakum, yüksek sıcaklık ve özel cihazların gerekliliği gibi unsurlar bu yöntemlerin lantanit borür üretimi için pahalı yollar olduğunu göstermektedir [15]. Endüstride bu gibi maddelerin üretimi

için daha ucuz üretme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [16]. Araştırmamızın sonucunda, magnezyotermik indirgeme yöntemiyle saf PrB<sub>6</sub> mikro ve nano yapılarının sentezi gerçekleştirildi.

## **IV. BULGULAR**

- ✓ Saf nano ve mikro boyutlu PrB<sub>6</sub> başarıyla sentezlendi. Uygun reaksiyon koşulları 900° C ve açık havada 8 saattir.
- ✓ Sülfürik asit ile yapılan yıkanma, istenmeyen madde oluşumu ve saf madde eldesi konusunda yeterli olmadı. Daha sonra derişik hidroklorik asit ile yıkama yeterli oldu.
- ✓ PrB<sub>6</sub> için yeni mikro ve nano yapıların üretimi, gerekli sıcaklık ve reaksiyon süresi parametrelerinin dikkatli ve kontrollü deneyleriyle tekrar çalışmaya ve daha ileri araştırmalar yapmaya açıktır.
- ✓ PrB<sub>6</sub> üretimi için araştırma sonuçlarımız en ekonomik yöntemin magnezyotermik indirgeme olduğu göstermektedir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. (Proje no: 2020.05.03.1056).

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] M. Aksu ve E. Aydın, “Nano and micro-sized EuB<sub>6</sub> via magnesiothermic reduction,” *Journal Of Ceramic Processing Research*, vol. 14, no. 1, pp. 4-7, 2013.
- [2] “Nadir Toprak Elementleri”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, <http://www.mta.gov.tr>.
- [3] M. Şahiner, Y. Z. Akgök, M. Arslan ve M. H. Ergin, “Dünyada ve Türkiye’de Nadir Toprak Elementleri (Nte),” Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye, Maden Serisi:5, Eylül 2017, <http://enerji.mmo.org.tr>.
- [4] “Dünyada ve Türkiye’de NTE”, Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü, [www.naten.gov.tr](http://www.naten.gov.tr).
- [5] N. Yıldız, “Nadir Toprak Elementlerinin Geri Dönüşümden Kazanımı,” Nadir Toprak Elementleri, 1.Baskı, Ankara, Türkiye, 2016, ss. 38-39.
- [6] A. F. Karabulut, “Susuz Bor Oksit Ve Susuz Kolemanitten Kalsiyum Borhidrür Sentezi ve Borhidrürlerin Katalitik Dehidrojenasyonu,” Doktora Tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [7] “Bor’un Kullanım Alanları,” Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Eylül 2020, [www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr).
- [8] HL. Liu, X. Zhang, YX. Xiao, Y. Wang ve JX. Zhang, “The thermionic and field emission properties of single crystal PrB<sub>6</sub> grown by floating zone method,” *Vacuum*, vol. 151, pp. 76-79, 2018.
- [9] Y. Wang, J. Zhao, X. Yang, H. Cheng, B. Xu, S. Ning ve J. Zhang, “Density of Feed Rod Dependence of the PrB<sub>6</sub> Single Crystal Grown by the Optical Floating Zone Technique,” *Crystal Research and Technology*, vol. 54, no. 8, 2019.
- [10] JQ. Xu, YR. Wang, WJ. Wang, ZJ. Xu, YL. Jia, YD. Zhang, MH. Huang, LB. Wang, FY. Liu, WH. Xie, “Growth of Large-Scale Praseodymium Hexaborides (PrB<sub>6</sub>) Nanowires and Enhanced

Field-Emission Performance,” *Journal Of Nanoelectronics And Optoelectronics*, vol. 15, no. 2, pp. 276-283, 2020.

[11] MF. Chi, YM. Zhao, QH. Fan, W. Han, “The synthesis of PrB<sub>6</sub> nanowires and nanotubes by the self-catalyzed method,” *CERAMICS International*, vol. 40, no. 6, pp. 8921-8924, 2014.

[12] MA. Anisimov, AV. Bogach, VV. Glushkov, SV. Demishev, NA. Samarin, NY. Shitsevalova, AV. Levchenko, VB. Filipov ve NE. Sluchanko, “Magnetoresistance of PrB<sub>6</sub> and GdB<sub>6</sub>,” *26th Internat. Conf. On Low Temperature Physics*, Beijing, Çin, vol. 400, 2011,

[13] PA. Alekseev, K. Flachbart, S. Gabani, VN. Lazukov, P. Priputen, M. Reiffers, J. Sebek, E. Santava, AV. Dukhnenko, VB. Filippov, NY. Shitsevalova, “Specific features of the formation of the ground state in PrB<sub>6</sub>,” *Physics Of The Solid State*, vol. 52, no. 5, pp. 914-916, 2010.

[14] W. Wei, LH. Bao, YJ. Li, LM. Chao, O. Tegus, “ Solid-state reaction synthesis and characterization of PrB<sub>6</sub> nanocrystals,” *Journal Of Crystal Growth*, vol. 415, pp. 123-126, 2015.

[15] K.R. Selvan, I. Genish, I. Perelshtein, J.M.C. Moreno and A. Gedanken, “Synthesis Of Hexagonal-Shaped SnO<sub>2</sub> Nanocrystals And SnO<sub>2</sub>@C Nanocomposites For Electrochemical Redox Supercapacitors,” *Journal Of Physical Chemistry C*, vol. 112, no. 6, pp. 1825-1830, 2008.


[16] M. Aksu, U. Koyuncu ve M. Erol, “Fast and Low-Cost Synthesis of LaB<sub>4</sub> and LaB<sub>6</sub> Mixture and GdB<sub>6</sub>,” *Middle-east J. Scientific Research*, vol. 5, no. 2, pp. 106-111, 2010.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## 5 Katlı Yığma Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Önerileri

 Ömer CAN<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ocan@bayburt.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.842317

### ÖZET

Ülkemiz de yığma yapılar tarihi özelliğe sahip yapılardır. Genellikle ülkemizin kırsal bölgelerinde yerel malzeme kullanılarak yapılan yığma yapılara rastlamak oldukça mümkündür. Yığma yapılar mühendislik hizmetine ihtiyaç duyulmadan çok çeşitli özellikteki malzeme ve işçilik hizmetine sahiptir. Bunun sonucu olarak düşey yükler ve deprem yükleri altındaki performansının belirlenmesi günümüzdeki betonarme yapıların performans analizlerine göre güçtür. Bu çalışmada; Bayburt ili merkezinde bulunan, 1997-1998 yılları arasında inşa edilen, Zemin + 4 katlı toplam 5 katlı kâgir yapının yapım tekniği, malzeme özellikleri ve konum özellikleri hakkında bilgiler derlenmiştir. Yapıda gözlemlenen mevcut problemler belirlenmiştir. StatiCAD-Yığma programı kullanılarak 2018 Bina Deprem Yönetmeliği dikkate alınarak yapının performans analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda binayı dıştan tek taraflı donatılı sıva ile içten kısmi olarak bazı duvarları çift taraflı donatılı sıva ile güçlendirme yöntemi önerilmiştir. Binanın güçlendirme öncesi yapılan analizde 48 duvar basınç ve kayma gerilmesi açısından yetersiz ve göçme durumunda iken, güçlendirme sonrası yapılan performans analizinde tüm duvarların emniyet gerilmelerini sağladığı ve hemen kullanım durumunda olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yığma Yapı, Performans Analizi, StatiCAD-Yığma

## Determination of Earthquake Performance of 5-Storey Masonry Building and Suggestions for Strengthening

### ABSTRACT

Masonry structures in our country are structures with historical features. Generally, it is quite possible to come across masonry structures made using local materials in rural areas of our country. Masonry structures have a wide variety of material and workmanship services without the need for engineering services. As a result, determining the performance under vertical loads and earthquake loads is difficult according to the performance analysis of today's reinforced concrete structures. In this study; Information about the construction technique, material properties and location features of the 5-storey masonry building with ground + 4 floors, located in the city centre of Bayburt, built between 1997-1998. The existing problems observed in the building have been identified. By using the StatiCAD-Masonry program, the performance analysis of the building was made taking into account the 2018 Building Earthquake Code. As a result of the analysis, a method of reinforcing the building with plaster reinforced on one side from the outside and partially on the inside with double-sided reinforced plaster is proposed. While 48 walls were inadequate in terms of pressure and shear stress in the analysis made before the reinforcement, it was concluded in the performance analysis made after the reinforcement that all walls provided the safety stresses and were in immediate use.

**Keywords:** Masonry Structure, Performance Analysis, StatiCAD-Yığma



# I. GİRİŞ

Türkiye’de geçmişten günümüze tarihe geçmiş birçok deprem gerçekleşmiştir. Bilindiği üzere yaşadığımız depremler can ve mal kaybına sebep olmuştur. İstenmeyen can ve mal kaybı için yapıların depreme karşı sağlam olması zorunludur. Bunun üzerine yapılan birçok çalışma ortaya koyulmuştur [1], [2]. Günümüze kadar varlığını sürdüren tarihi önem taşıyan yığma yapıların ülkemizde sayısı oldukça fazladır. Kırsal bölgelerde çoğunlukta olmak üzere ülkemizin büyük çoğunluğunu yığma yapılar oluşturmaktadır [3]. Önceliklerimizden biri de bu yapıları ileri çağlara taşımaktır. Tarihi önem taşıyan yığma yapıların günümüze kadar gelmesi yapısal özelliklerinin ve depreme karşı performansının daha anlaşılır olması gerektiğini bizlere göstermektedir [2], [4], [5]. Yığma yapıların güvenliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Koruma yöntemlerinin belirlenmesi oldukça titizlik içeren bir çalışma gerektirir. Yapının gerçeğe uygun modellenmesi daha garantici sonuçlar verecektir [6]. Yığma yapıların yapısal davranış ve deprem performansı hakkında bilgi edinebilmek için her bir yapının ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Aynı zamanda yapı performansını etkileyecek zemin oturmaları yapı malzeme dayanım düşüşleri, doğal afetler, olumsuz çevre koşulları vb. durumlar ihmal edilmemelidir. Yıllardır yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bilgiler dâhilinde betonarme ve çelik yapıların yatay ve düşey yükler altında performanslarını ifade etmek belli bir doğruluk payıyla mümkündür. Yığma yapıların performansını ifade etmek ise daha çok belirsizlik içermektedir. Yığma yapıların değişken malzemeleri, işçilikleri, düzensizlik ve süreksizliklerinden dolayı yapısal performansını ifade etmekte zorluk çekilebilmektedir [7]–[11]. Yığma yapıların mevcut durumu ve ilerdeki zaman dilimlerinde muhtemel hasarlara karşı yapısal davranışlarının belirlenmesi için; Yapı hakkında bilgi edinilmelidir. Yapının rölöve çizimleri çıkarılmalıdır. Yapılan modelleme üzerinde statik ve dinamik analizler yapılmalıdır. Yapının maruz kaldığı mevcut yükler altında davranışları bilinmelidir. Hasar görmüş yapı elemanları ve hasar görebilecek yapı elemanlarını tespit etmek gereklidir. Yapının analizinden sonra analiz sonuçları değerlendirilmelidir. Yapının güçlendirmeye ihtiyaç duyup duymadığına karar verilmelidir. Karar sonucu güçlendirme yöntemine karar verilmeli, uygulama sonucunda analiz değerlerine göre uygunluğu değerlendirilmelidir [12]–[14]. Yakın zamanda yığma yapılar üzerinde yapılan çalışmalarda; yapıya güçlendirme perdeleri ekleyerek ETABS programı yardımıyla Mod Birleştirme yöntemini kullanarak, düzlem dışı hasarlara karşı, yapıda oluşan gerilmeleri katı elemanlar kullanıp modelleyerek sonuçları analitik ve lineer yöntemle, performans seviyelerini belirlemiş ve çeşitli güçlendirme yöntemleri önermişlerdir [15]–[17].

Bu çalışmada, Bayburt ilinde bulunan, çok katlı yığma yapıları temsilen Zemin +4 katlı kargir bina seçilmiştir. Bina 1998 yılında yapılmış çok katlı yığma yapılara örnek teşkil etmektedir. Binanın dayanımının belirlenmesi ve gerekirse onarım/güçlendirme önermek için StatiCAD-Yığma analiz programı kullanılarak performans analizi yapılması hedeflenmiş, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek güçlendirme önerilerde bulunulmuştur.

## II. MALZEME VE YÖNTEM

### **A. 5 KATLI YIĞMA BİNANIN ÖZELLİKLERİ**

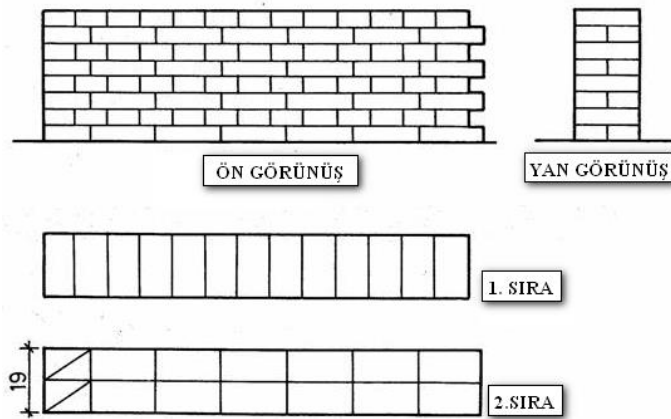
Yığma yapılar kullanım amacına ve yere göre farklı malzemeler kullanılarak yapılmaktadır. Genelde taşıyıcı olan duvarlarda; doğal taş, tuğla, kerpiç ve ahşap malzemeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Bayburt ili, Merkez ilçesi, Tuzcuzade Mahallesi, Gürkan Öğüt Sokakta bulunan 512 ada, 45 parselde bulunan 5 katlı kargir yapı incelenmiştir. Bina 1997-1998 yılları arasında inşa edilmiştir. Zemin ve dört normal kattan oluşan binanın iç ve dış duvarları ateş tuğlası olarak bilinen 19x9x5 cm boyutlarında harman tuğla kullanılarak inşa edilmiştir. Duvar kalınlıkları 20 cm dir. Duvar örgü tipi tuğla derzleri birbiri üzerine kaydırılarak şaşırtma örgü tipi kullanılarak yapılmıştır. Dış ve iç cepheler normal çimentolu sıva harcı ile sıvanmıştır. Yığma binanın ön ve arka cephe görünümü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Ön ve Arka cephe Görünümü

## B. MALZEME ve ÖZELLİKLERİ

Yapılan çalışmalarda ateş tuğlasının basınç dayanımının iyi olduğu, çekme dayanımının düşük olduğu görülmektedir. Yığma yapıda kullanılan malzemelerin özelliklerini deneysel olarak belirlenemediği durumlarda, kullanılan malzemelerin özellikleri literatürdeki benzer çalışmalardan alınabilmekte veya 2018 Bina Deprem Yönetmeliğindeki benzer malzemelerin dayanım değerleri kullanılabilir. Yığma yapılarda kullanılan 185x85x55 mm boyutlarındaki harman tuğlasının, Basınç dayanımı 5 MPa, Kayma Dayanımı 2.5 MPa ve Elastisite Modülü 3750 MPa olarak alınmıştır [20]. Şekil 2’de incelenen yapıda kullanılan tuğlanın örgü tipine ait temsili görünüm verilmiştir. Güçlendirme için kullanılan donatı ve sıva özellikleri, güçlendirme bölümünde verilmiştir.



Şekil 2. Harman Tuğla ve Şaşırtma örgülü duvar temsili görünümü

## C. YÖNTEM

Günümüzde bilgisayar yazılımları ile yapıların modellenmesi kolaylıkla yapılabilmektedir. Betonarme yapılara göre yığma yapılardaki analizlerde kullanılan eleman ve kabuller farklılık göstermektedir.

Betonarme yapılarda sonlu elemanlar yöntemi kullanılırken, yığma yapılarda taşıyıcı duvar elemanlarını sonlu eleman yöntemi ile modellemek zorlaştırmaktadır. Yığma yapıların analizinde, üç farklı modelleme tekniği kullanılmaktadır. Bunlar; detaylı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme ve makro modellemedir.

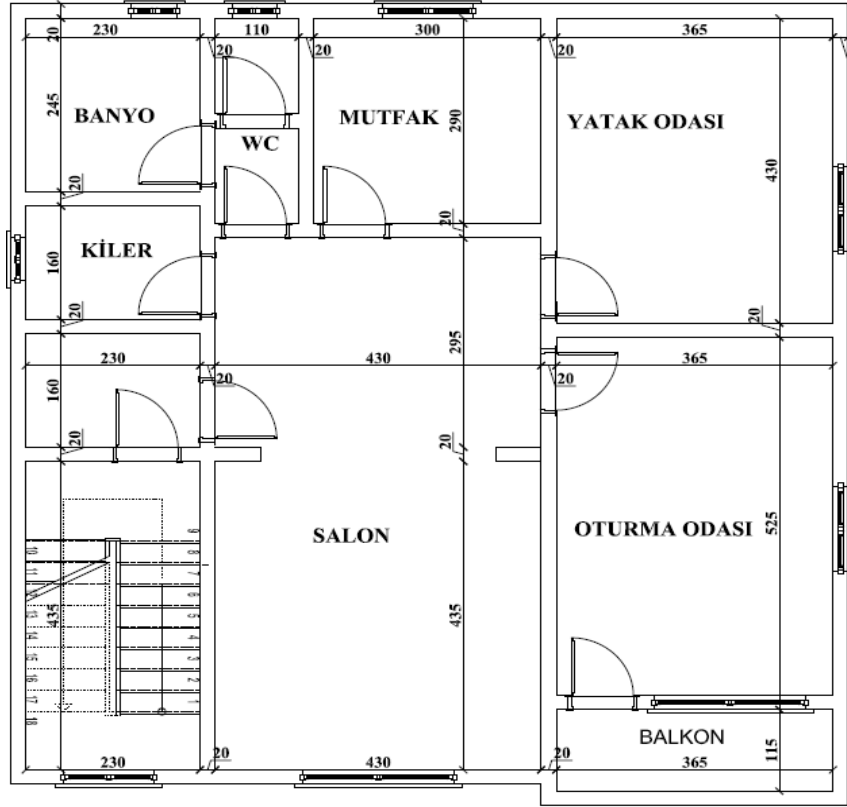
Detaylı mikro modellemede, yığma duvarı meydana getiren yığma birimin ve harcın ayrı ayrı mekanik özellikleri yani Elastisite Modülleri, Poisson Oranları ve elastik olmayan diğer özellikleri dikkate alınmaktadır. Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği de bu tekniklerden birisidir. Basitleştirilmiş Mikro Modelleme Tekniği kullanılarak yapılan modellemelerde, muhtemel göçme mekanizmalarının tümünün dikkate alınmaması önemli sorunlardan birisidir. Makro modellemede, yığma birim ve harcın özellikleri çeşitli homojenleştirme işlemlerine tabi tutulmak suretiyle yığma duvar kompozit bir malzeme olarak düşünülmektedir. Bu modelin mekanik özellikleri homojenleştirme işlemleri sonucunda elde edilmektedir [14], [21].

Bu çalışmada analizini yapılan binada, deneysel çalışma yapılarak malzeme dayanımları elde edilmediği için tüm yapı bileşenlerinin kompozit özellik gösterdiği varsayımı üzerinden makro modelleme tekniği kullanılmıştır. StatiCAD-Yığma programı, makro modelleme yaparak, yığma yapıların deprem yönetmeliği esaslarına göre ortogonal (yüke maruz kalan elemanlar birbirine dik) statik analizinin ve proje çiziminin yapılmasını sağlayan bir programdır. Döşemeden duvarlara gelen yükleri kum tümseği analogisi yöntemi ile hesaplamaktadır. StatiCAD-Yığma Programı depreme dayanıklı yapı tasarımı için geliştirilen, yığma yapılar için geliştirilen statik analiz programdır. Bu program ile yeni yapıların projelendirilmesi yapıldığı gibi mevcut yapıların deprem performans analizleri güçlendirmesi yapılabilmektedir. 2018 Bina Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak mevcut binaların performans analizleri yapılabilmektedir.

Analizi yapılan binanın projeleri bulunmadığından rölöve projesi hazırlanmıştır (Şekil 3). Temeli taşıyıcı duvarların altında devam eden betonarme sürekli bir temel olarak seçilmiştir. Binanın yapım yılına göre 1998 yönetmeliğine tabi olduğu için beton kalitesi en az C16 MPa olarak alınmıştır. Binanın giriş cephesi 11.26 m, yan cephesi 11.22 m'dir. Yapı ön cepheden bakıldığında kare bir geometriye sahiptir. 5 katlı kargir binanın boyutlandırılmasından önce yapıya ait zemin değerleri, bitişik parsellerde inşa edilmiş son dönem yapılarının zemin etüt raporları incelenerek belirlenmiştir. Bu alınan zemin etüt raporlarında verilen değerler birbirine yakın bulunmuştur. Bunlardan yapıya en yakında bulunan binanın zemin etüt raporu referans alınmıştır. Bu değerler Tablo 1'de verilmiştir. Yapının boyutlandırılmasında gerçek malzemeye en uygun malzeme ile boyutlandırma yapılmaya çalışılmıştır. Zemin ve dört normal kattan oluşan yapının döşemesi betonarmedir. Zemin kat dâhil tüm katlarda planlar aynıdır. Düşey ve yataydaki hatıllar gerçek boyutlarına uygun olarak modellenmiştir. Betonarme döşeme için beton sınıfı 16 MPa alınırken donatı sınıfı S 220 alınmıştır. Analiz yaparken kullanılan yük kombinasyonları Tablo 2'de, taşıyıcı sistem katsayıları ise Tablo 3'te verilmiştir. Toplanan bu bilgiler ışığında 2018 Bina Deprem Yönetmeliğine göre 5 katlı kargir yapının modellenmesi yapılmıştır. Binanın oluşturulan modeline ait görünüşler Şekil 4'te verilmiştir.

**Tablo 1. 5 Katlı Kâgir Yapının Zemin Etüt Değerleri**

Zemin Parametreleri	Değerler	
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	
Deprem Yer Hareket Düzeyi (DD)	2	
Bina Koordinatları (Enlem/boylam)	40.256306°	40.223983°
Harita spektral ivme katsayıları	$S_S=0.546$	$S_I=0.161$
Yerel Zemin Etki Katsayıları	$F_S=1.28$	$F_I=1.5$
Tasarım Spektral İvme katsayıları	$S_{DS}=0.7$	$S_{D1}=0.24$
Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	TA=0.07 (s)	TB=0.35 (s)



Şekil 3. 5 Katlı Kargır Yapıya Ait Rölöve (Zemin + Normal Kat)

Tablo 2. Gerekli Yük Kombinasyonları (TS 500,2000)[22]

Yük Kombinasyonları	G	Q	E
Basınç Gerilmesi için Yük Katsayıları	1.0	1.0	-
Betonarme Döşeme için Yük Katsayıları	1.4	1.6	-
Kayma Gerilmesi Hesabı için Yük Katsayıları	1.0	HYKK	1.0

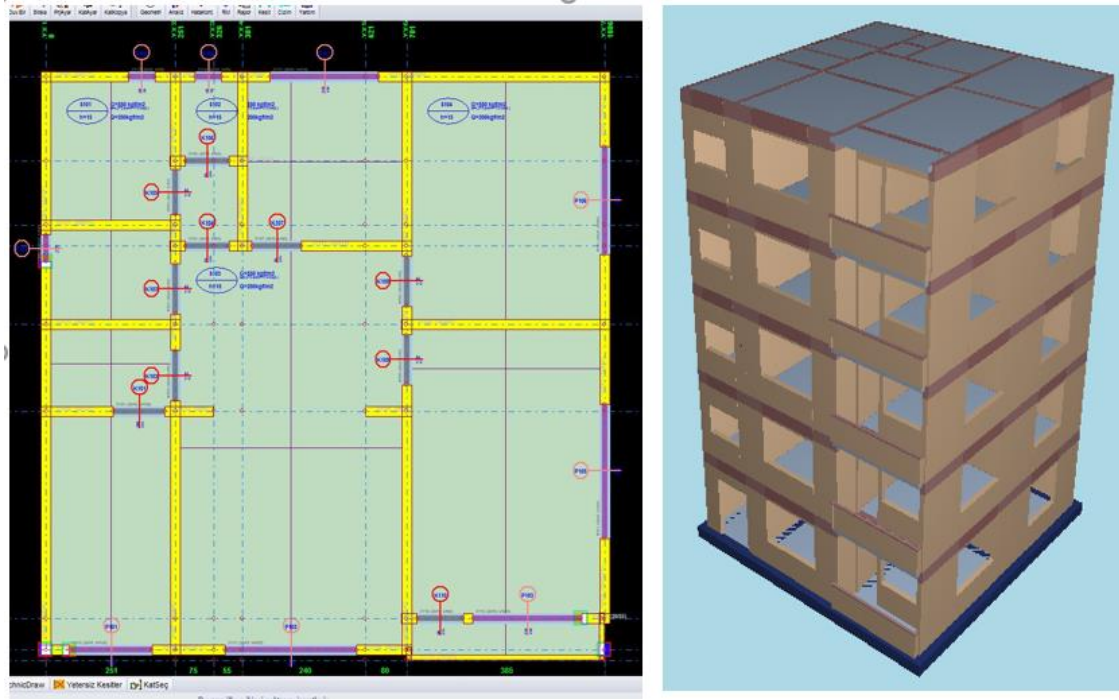
G: Ölü Yük; Q: Hareketli Yük; E: Deprem Yükü; HYKK: Hareketli Yük Katılım Katsayısı

Tablo 3. Taşıyıcı Sistem Katsayıları (TDY-2018)

Taşıyıcı sistem Parametreleri	Değerler
BKS	3
I	1
A <sub>0</sub>	0.4
R	4
ST	2.5

BKS: Bina Kullanım Sınıfı; I: Bina Önem Katsayısı; A<sub>0</sub>: Etkin Yer İvmesi Katsayısı R: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı; ST: Spektrum Katsayısı

StatiCAD-Yığma programına tüm veriler ve rölöve çizimleri girildikten sonra katlara etkiyen deprem kuvvetleri, katlarda oluşan kesme kuvvetleri tespit edilmiştir. Ayrıca her kat için kütle ve kayma merkezi miktarı bulunmuştur. Analiz sonucunda binadaki taşıyıcı her bir duvara ait kayma gerilmesi ve basınç gerilmesi bulunmuş, TDY-2018'e göre yetersiz olan duvarlar tespit edilmiştir.



Şekil 4. 5 Katlı Yığma Binanın Kat Planı Rölövesi ve Üç Boyutlu Modeli

### **III. ANALİZ VE BULGULAR**

#### **A. 5 KATLI KARGİR YAPININ PERFORMANS ANALİZİ**

5 Katlı Kargir Yapının performans analizi yapılmadan önce analiz için 2018 Deprem Yönetmeliği seçilmiş, analiz öncesi yapının rölövesi çıkarılmış ve kapsamlı bilgi düzeyi olarak programa girilmiştir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler için, gerekli kabuller yapılarak yaptığımız hesaplar sonucunda, kayma gerilmesini sağlamayan yapı elemanlarının, toplam kesme kuvvetlerine oranları sırası ile; Zemin kat, X-X yönünde %93.9, Zemin kat Y-Y yönünde, %19.5, Birinci kat X-X yönünde, %93.5, Birinci kat Y-Y yönünde %9.9, İkinci kat X-X yönünde %91.7, İkinci kat Y-Y yönünde, %9.9, Üçüncü kat X-X yönünde %67.2, Üçüncü kat Y-Y yönünde, %0.8, Dördüncü kat X-X yönünde %26.7, Dördüncü kat Y-Y yönünde, %0.5, olarak elde edilmiştir.

2018 Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre 5 katlı yığma binanın göçme durumunda olduğu belirlenmiştir. Analiz özeti Tablo 4'te verilmiştir. Analiz sonucunda tüm katların, basınç ve kayma gerilmelerini sağlamayan elemanlar Şekil 6-10'da verilmiştir. Şekillerde Turuncu renkli duvarlar; Basınç gerilmesini sağlamayan elemanları, Mor renkli duvarlar; Kayma gerilmesini sağlamayan elemanları ve Kırmızı renkli duvarlar ise Basınç ve kayma gerilmesini sağlamayan elemanları göstermektedir.

**Tablo 4. 5 Katlı Kargir Yapının Analiz Sonuçları**

Kat İsmi	Deprem Yönü	$Q_i$ (ton)	$e$ (m)	$M_{bi}$ (tm)	$\Sigma V_r$ (ton)	$\Sigma V_a$ (m <sup>2</sup> )
Zemin Kat	X-X	84.4	-1.04	20.5	230.66	6.02
	Y-Y		0.24	-87.42	382.88	7.65
1. Kat	X-X	79	-1.03	19.92	205.66	6.02
	Y-Y		0.25	-81.04	332.66	7.65
2. Kat	X-X	68.17	-1.03	17.18	180.58	6.02
	Y-Y		0.25	-69.92	282.67	7.65
3. Kat	X-X	51.92	-1.03	13.09	155.51	6.02
	Y-Y		0.25	-53.25	232.87	7.65
4. Kat	X-X	30.25	-1.03	7.63	130.43	6.02
	Y-Y		0.25	-31.03	183.22	7.65
Kat İsmi	Deprem Yönü	$\Sigma V_n$ (Adet)	$\Sigma Yetersiz W_n$ (Adet)	Yetersiz $\Sigma V_r$ (ton)	Yetersiz $\Sigma V_e$ (ton)	Yetersiz $\Sigma V_e/Q_i$ (%)
Zemin Kat	X-X	22	10	148.98	79.26	93.9
	Y-Y	15	5	61.48	16.49	19.5
1. Kat	X-X	22	10	135.4	73.85	93.5
	Y-Y	15	3	20.47	7.85	9.9
2. Kat	X-X	22	8	111.53	62.48	91.7
	Y-Y	15	3	18.50	6.77	9.9
3. Kat	X-X	22	5	61.31	34.87	67.2
	Y-Y	15	2	1.4	0.41	0.8
4. Kat	X-X	22	1	8.41	8.09	26.7
	Y-Y	15	1	0.72	0.16	0.5

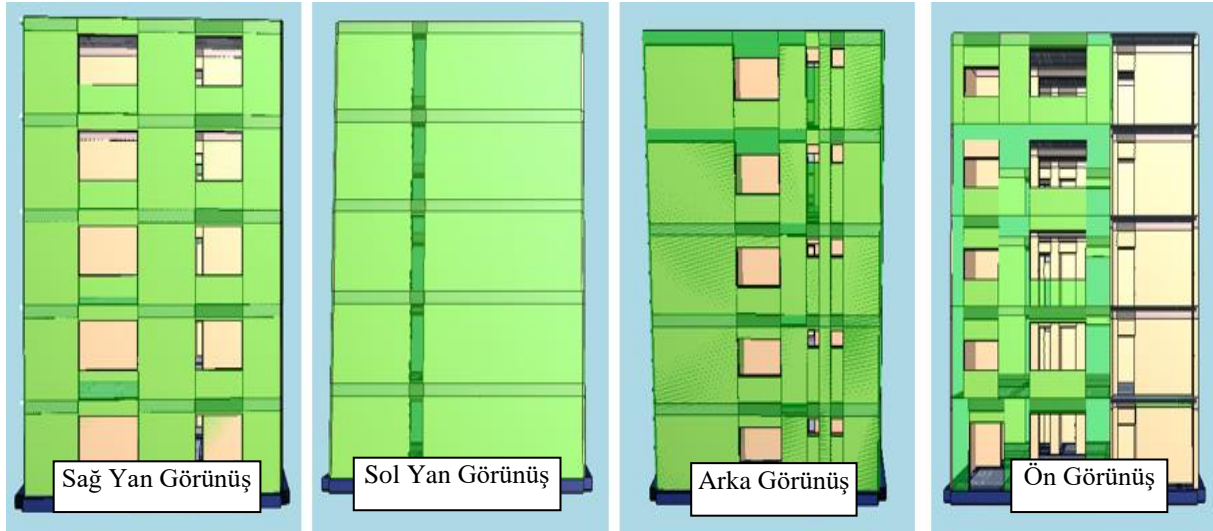
$Q_i$ : Kata etkiyen deprem kuvveti (Burulmasız),  $e$ : Kat kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafe izdüşüm uzunluğu,  $M_{bi}$ : Kat Burulma momenti,  $\Sigma V_r$ : Duvar kesme kuvvet taşıma kapasitesi,  $\Sigma V_e$ : Duvarlara etkiyen toplam kesme kuvveti (Burulma dahil),  $Yetersiz \Sigma V_r$ : Kapasitesi yetersiz duvarların kesme kapasitesi toplamı,  $Yetersiz \Sigma V_e$ : Kapasitesi yetersiz duvarlara gelen toplam kesme kuvveti (Burulma dahil),  $\Sigma W_n$ : Kattaki ilgili yönde duvar alanı bileşeni,  $\Sigma W_n$ : Kattaki ilgili yönde duvar sayısı,  $Yetersiz \Sigma V_n$ : Kesme kapasitesi yetersiz duvar sayısı.

## B. 5 KATLI KARGİR YAPININ DONATILI SIVA İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Performans Analizi yapılan binanın sonucu göçme durumunda çıkmıştır. Mevcut yapının iyileştirilmesi için taşıyıcı elemanlarda güçlendirme yapılarak, göçmenin önüne geçilebileceği düşünülmüş StatiCAD Yığma programında var olan hasır çelik donatılı siva ile güçlendirme yöntemi aşağıdaki maddeler halinde sıralanan şartlar dikkate alınarak basınç ve kesme dayanımı yetersiz duvarların rijitliği ve kesme dayanımı artırılması amaçlanmıştır. 2018 deprem yönetmeliğine uygun olarak, hasır çelik donatılı siva ile güçlendirme yöntemi için uygulama şartları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Güçlendirme yapılacak siva tabakası kalınlığı en az 30 mm, hasır donatı paspayı en az 20 mm alınmalıdır. Sıvanın basınç dayanımı en az 5 Mpa olarak kabul edilmiştir.
- Güçlendirme yapılacak duvarların köşegen uzunluğunun güçlendirme öncesi kalınlığına oranı 30'dan küçük olmalıdır. Mevcut çerçeve içinde basınç çubuğu oluşumu sağlanmalı, yük aktarımı için ankrajlar düzenlenmelidir. Duvar yüzü ile çerçeve elemanlarının dış yüzü arasında en az 30 mm boşluk olmalıdır. Aksi halde güçlendirme uygulanamaz.
- Donatılı siva tabakası ile çerçeve elemanları arasındaki ankraj çubuğunun en küçük çapı 12 mm, en az derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 300 mm olmalıdır. Donatılı siva ile mevcut duvarın beraber çalışması için duvar düzlemine dik, her bir metrekarede dört adet gövde ankrajı yapılmalıdır. Ankraj çubukları harç derzleri içinde kalmalı ve çubuk çapı en az 8 mm, derinliği çubuk çapının en az on katı olmalıdır. Duvar düzlemine dik ve paralel yapılacak tüm ankrajlar açılacak deliklere epoksi esaslı bir malzeme ile ekilmeli, uçları L şeklinde 90 derece eğilerek hasır donatının içine geçirilmelidir.
- Q188/188 tipi 150x150 mm açıklığında  $\phi 6$ 'lık S420 donatı kullanılmalıdır.
- Oluşan kuvvetlerin zemine aktarılması için gerekli olan temel düzenlemesi yapılmalıdır.

Binanın hasır çelik donatılı sıva yöntemi kullanılarak güçlendirilmiş cephe görüntüleri Şekil 5’te verilmiştir.



**Şekil 5.** 5 Katlı Yığma Yapının Güçlendirme Sonrası Dört Cepheden Görüntüsü

Güçlendirme mevcut yapı da gözlenen basınç gerilmesini ve kayma gerilmesini sağlamayan elemanlar için yapılmıştır. Bina iç ve dış kısmında yapılan işlemler aşağıda verilmiştir.

- ✓ Binanın dört cephesinde ve tüm katlara sadece dıştan 5 cm kalınlığında tek taraflı donatılı sıva güçlendirilmesi uygulanmıştır.
- ✓ Bina iç kısmında bazı yapı elemanlarında basınç gerilmesini sağlamayan duvarları lokal olarak güçlendirme uygun görülmüştür. Bu kapsamda tüm katlarda G-G aksında bulunan balkon penceresi kaldırılarak duvar eklenmiştir
- ✓ Zemin katta, E-E aksında bulunana WZ14 nolu duvara, G-G aksında sonradan eklenen WZ16 nolu duvara 5 cm kalınlığında çift taraflı donatılı sıva güçlendirilmesi uygulanmıştır.
- ✓ 1. katta, E-E aksında bulunana WZ14 nolu duvara, 5 cm kalınlığında çift taraflı donatılı sıva güçlendirilmesi uygulanmıştır.
- ✓ Zemin ve 1. katta, 2-2 ve 4-4 akslarında bulunan tüm duvarlara 5 cm kalınlığında çift taraflı donatılı sıva güçlendirilmesi uygulanmıştır.
- ✓ 2. Katta, E-E aksında W214 nolu duvara, 2-2 aksında W219, W220 ve W224 nolu duvarlara, 4-4 aksında W226 ve W227 nolu duvarlara 5 cm kalınlığında çift taraflı donatılı sıva güçlendirilmesi uygulanmıştır.
- ✓ 3. Katta, 2-2 aksında W319, W320 ve W324 nolu duvarlara, 4-4 aksında W326 ve W327 nolu duvarlara 5 cm kalınlığında çift taraflı donatılı sıva güçlendirilmesi uygulanmıştır.

Güçlendirme sonucu yapılan analiz sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. Güçlendirme öncesi basınç ve kayma gerilmeleri açısından yetersiz tüm katlarda 48 adet duvar, güçlendirme sonucu yeterli hale gelmiştir. Güçlendirme öncesi ve sonrası tüm katlara ait analiz sonuçları şekil 6-10’da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

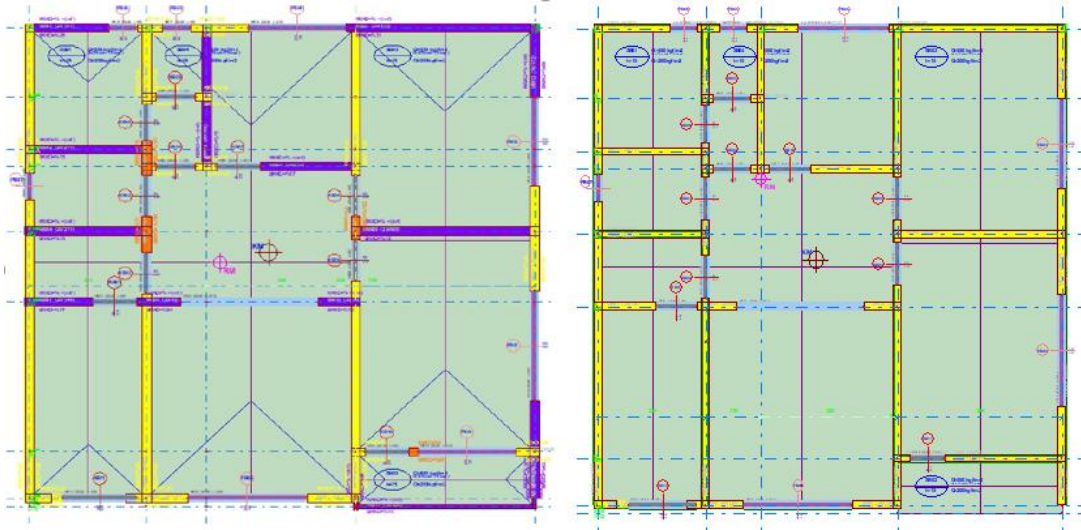
**Tablo 5. 5 Katlı Yığılma Binanın Güçlendirme Sonrası Analiz Sonuçları**

Kat İsmi	Deprem Yönü	$Q_i$ (ton)	$e$ (m)	$M_{bi}$ (tm)	$\Sigma V_r$ (ton)	$\Sigma V_a$ (m <sup>2</sup> )
Zemin Kat	X-X	95.58	-0.95	-60.89	265.29	6.08
	Y-Y		-0.64	-90.98	443.85	7.59
1. Kat	X-X	89.07	-0.89	-88.77	243.53	6.08
	Y-Y		-1	-79.26	384.6	7.59
2. Kat	X-X	76.18	-1.37	-174.39	215.56	6.08
	Y-Y		-2.29	-104.22	328.77	7.59
3. Kat	X-X	57.6	-1.42	-181.68	188.49	6.08
	Y-Y		-3.15	-81.59	272.94	7.59
4. Kat	X-X	33.09	-2.26	-108.24	161.45	6.08
	Y-Y		-3.27	-74.71	220.14	7.59

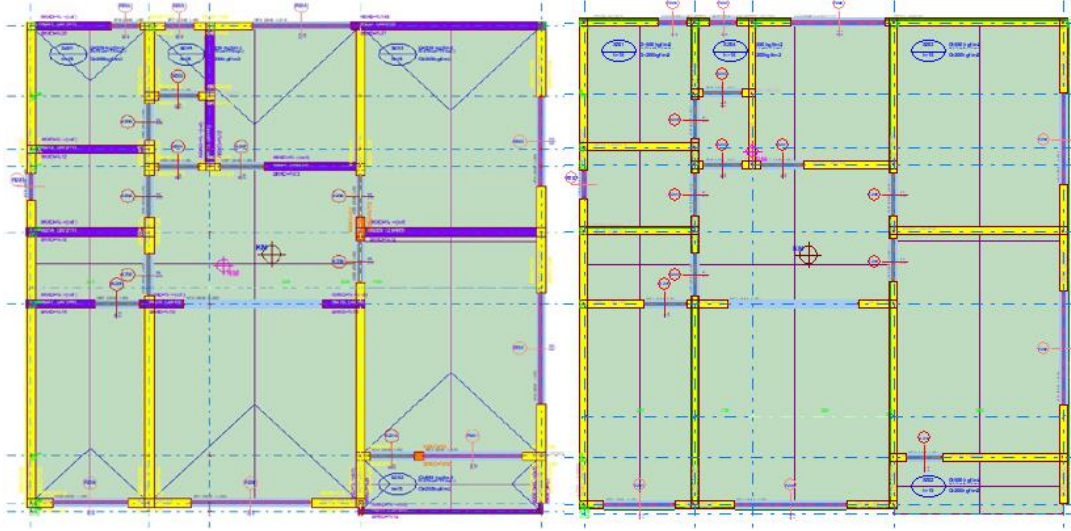
Kat İsmi	Deprem Yönü	$\Sigma V_n$ (Adet)	$\Sigma$ Yetersiz $W_n$ (Adet)	Yetersiz $\Sigma V_r$ (ton)	Yetersiz $\Sigma V_e$ (ton)	Yetersiz $\Sigma V_e/Q_i$ (%)
Zemin Kat	X-X	21	0	0	0	0
	Y-Y	13	0	0	0	0
1. Kat	X-X	20	0	0	0	0
	Y-Y	13	0	0	0	0
2. Kat	X-X	20	0	0	0	0
	Y-Y	13	0	0	0	0
3. Kat	X-X	20	0	0	0	0
	Y-Y	13	0	0	0	0
4. Kat	X-X	20	0	0	0	0
	Y-Y	13	0	0	0	0

$Q_i$ : Kata etkiyen deprem kuvveti (Burulmasız),  $e$ : Kat kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafe izdüşüm uzunluğu,  $M_{bi}$ : Kat Burulma momenti,  $\Sigma V_r$ : Duvar kesme kuvvet taşıma kapasitesi,  $\Sigma V_e$ : Duvarlara etkiyen toplam kesme kuvveti (Burulma dahil), **Yetersiz  $\Sigma V_r$** : Kapasitesi yetersiz duvarların kesme kapasitesi toplamı, **Yetersiz  $\Sigma V_e$** : Kapasitesi yetersiz duvarlara gelen toplam kesme kuvveti (Burulma dahil),  $\Sigma W_n$ : Kattaki ilgili yönde duvar alanı bileşeni,  $\Sigma W_n$ : Kattaki ilgili yönde duvar sayısı, **Yetersiz  $\Sigma V_n$** : Kesme kapasitesi yetersiz duvar sayısı.

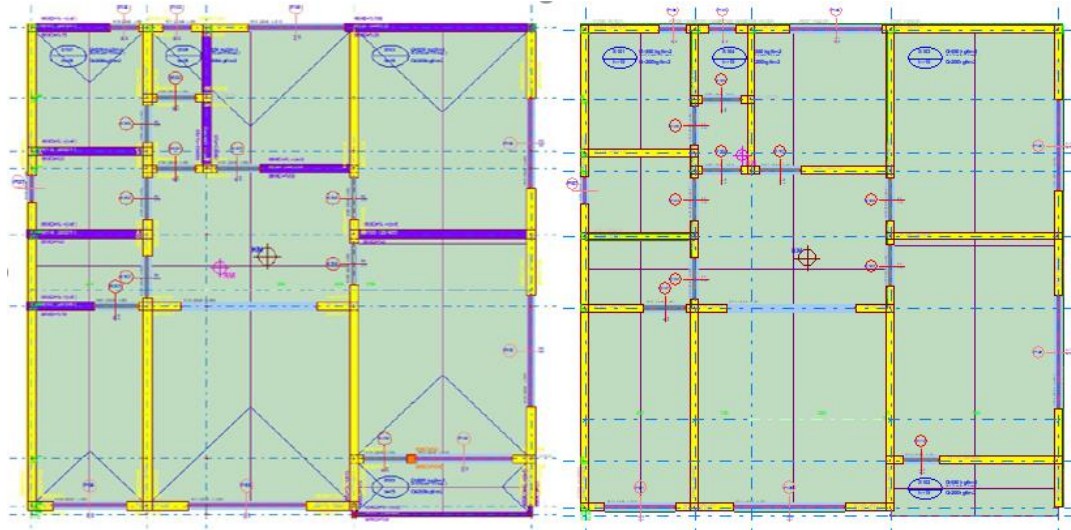


**Şekil 6. Zemin kat planı güçlendirme öncesi ve sonrası analiz sonucu**

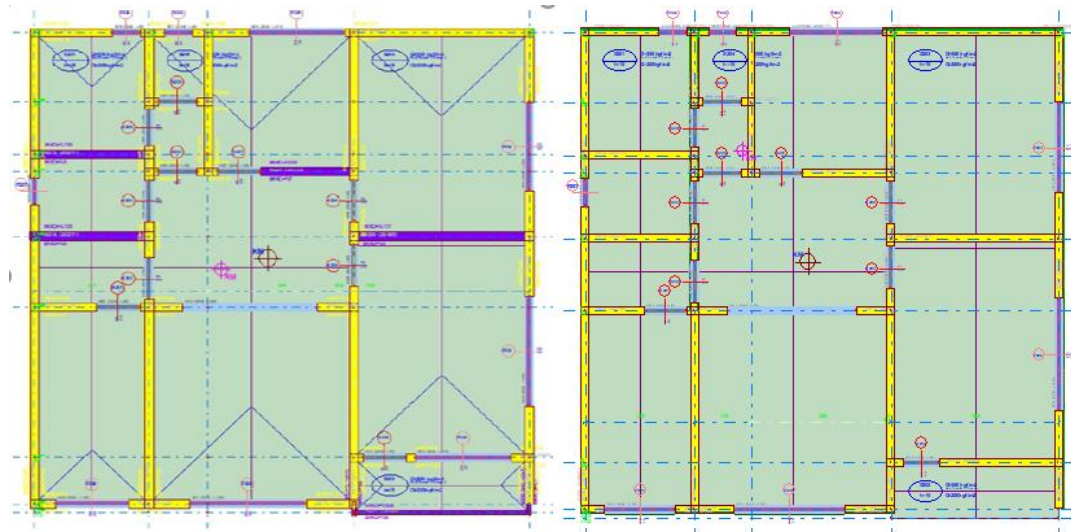




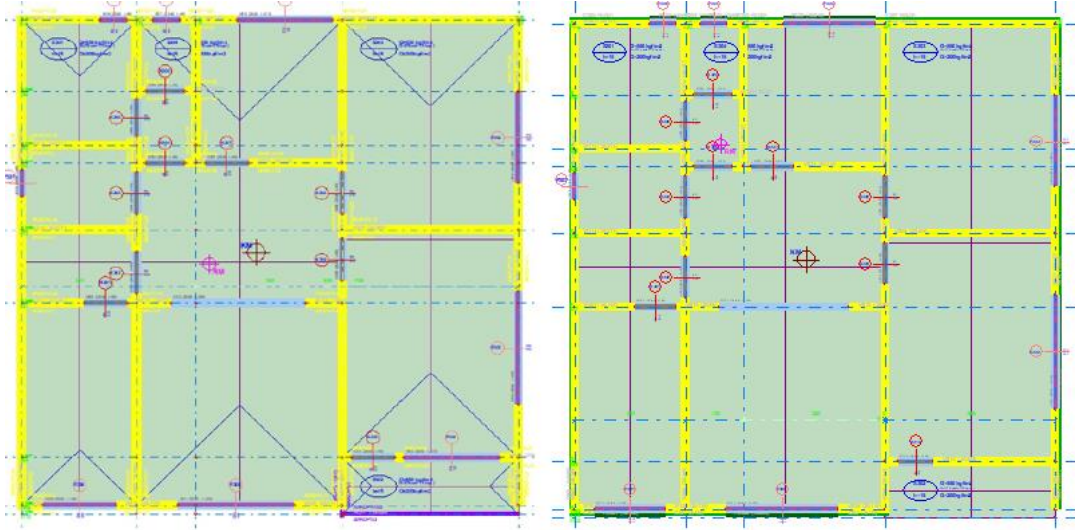
*Şekil 7. 1. kat planı güçlendirme öncesi ve sonrası analiz sonucu*



*Şekil 8. 2. kat planı güçlendirme öncesi ve sonrası analiz sonucu*



*Şekil 9. 3. kat planı güçlendirme öncesi ve sonrası analiz sonucu*



**Şekil 10.** 4. kat planı güçlendirme öncesi ve sonrası analiz sonucu

## **IV. SONUC**

Bu çalışmada StatiCAD Yığma programı kullanılarak 5 Katlı yığma binanın, 2018 Deprem Yönetmeliğine göre 50 yılda gerçekleşme ihtimali %10 olan depremler dikkate alınarak performans analizi yapılmıştır. Analizde kullanılmış olan yapı malzemesinin mekanik özellikleri literatürdeki benzer çalışmalardan referans alınmıştır. Harman tuğlası ve harcın tek bir malzeme gibi modellenmesinden dolayı analiz sonuçları kaba bir yaklaşımla elde edilmiştir. Bina her katta aynı plana sahiptir. Her kat 37 duvardan oluşmaktadır. Analiz sonucunda Zemin katta 15, 1. Katta 13, 2. Katta 11, 3. Katta 7, ve 4. Katta 2 duvar olmak üzere binada toplamda 48 duvar basınç ve kayma gerilmesi açısından yetersiz çıkmıştır. 2018 Deprem Yönetmeliğine göre binanın bulunduğu bölge dikkate alınarak hazırlanan davranış spektrumu verilerine göre hesap yapıldığında yapıda mevcut duvarların taşıma kapasitesi, binada oluşan basınç ve kayma gerilmelerine karşı yetersiz kaldığından, yapılan analiz sonucu göçme durumunda çıkmıştır. Güçlendirme öncesi bina toplam kütlesi 745.87 ton iken, güçlendirme sonrası yaklaşık %13 artarak 844.68 ton olmuştur. Bölüm 3.2’de belirtildiği gibi yapılan güçlendirme sonrası; tüm duvarlar basınç ve kayma gerilmesi açısından yeterli hale gelmiştir. Güçlendirme sonrası yapılan analiz sonucunda bina emniyet gerilmeleri değerlerini sağladığı yani hemen kullanım durumunda olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yığma yapıları sadece tarihi mekânlar olarak veya az katlı binalar olarak değerlendirmemek gerekir. Bu çalışma ülkemizde konut olarak kullanılan mühendislik hizmeti almış çok katlı yığma binaları temsilen, deprem performans analizi yapılması ve gerekirse güçlendirme önerilerinde bulunmak açısından iyi örnek olarak gösterilebilir.

**TEŞEKKÜR:** Veysel AKBAŞ’a binasına ait bilgileri / verileri araştırmamızda kullanmamıza izin verdiği için teşekkür ederim.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] İ. İ. Atabey, “Yığma binaların performans analizi Sivas Suşehri Aşağısarıca İlköğretim Okulu örneği,” Yüksek Lisans tezi, Yapı Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [2] O. A. Düzgün, Y. S. Hatipoğlu, M. Artar, M. Yurdakul, ve E. Öner, “Zahit Efendi Camisi’nin

sonlu elemanlar analizi,” 5. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Erzurum, Türkiye, 2015, ss.155–168.

[3] Türkiye İstatistik Kurumu, *Bina Sayımı 2000*, Ankara, Türkiye: Devlet İstatistik Enstitüsü Matbaası, 2001.

[4] A. Batur, “Donatısız yığma binaların yatay yükler altındaki davranışı ve bazı ülkelerin şartnamelerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1999.

[5] A. İ. Ünay, *Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı.*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: O.D.T.Ü Yayınevi, 2002.

[6] İ. Kılıç, H. Coşkun, ve H. Uslu, “Hatay Hükümet Konağı’nın deprem yükleri etkisinde davranışının incelenmesi,” 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, Türkiye, 2013, ss. 1-8.

[7] Ö. Dabanlı, “Tarihi yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.

[8] E. Sayın, “Yığma yapıların lineer olmayan statik ve dinamik analizi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2009.

[9] R. Y. Chamaky, “Tarihi yığma yapıların deprem analizi ve uygun güçlendirme teknikleri,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye 2014.

[10] F. Aköz ve N. Yüzer, “Tarihi yapılarda malzeme özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler” *IMO-1. Insaat Muhendisligi Egitimi Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, 2009, ss. 6–7.

[11] A. H. Aköz, “Deprem etkisi altındaki tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye 2008.

[12] G. Çal ve A. Şahin, “Ortaköy Büyük Mecidiye Camii’nin farklı deprem etkileri altında sismik davranışının değerlendirilmesi” 5. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Erzurum, Türkiye, 2015, ss. 1-10.

[13] Ö. Can ve H. Yıldızoğlu, “Yığma binalarda deprem performansının belirlenmesi (Bayburt Korkut Ata Lisesi örneği),” *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 372–380, 2018.

[14] Ö. Can ve B. Erkul, “Ahşap döşemeli geleneksel Bayburt evinin deprem performansının belirlenmesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 369–382, 2019.

[15] M. Uzun, “Yığma yapıların deprem performansının değerlendirilmesi ve bir güçlendirme örneği,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2017.

[16] O. Cenik, H. H. Selim, ve K. Güler, “Kadıköy (İstanbul)’de yığma bir binanın deprem riskinin belirlenmesi,” *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, c. 17, s. 1, ss. 69–85, 2018.

[17] H. Can ve A. İ. Ünay, “Tarihi yapıların deprem davranışını belirlemek için sayısal analiz yöntemleri,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 1, s. 27, ss. 211–217, 2012.

[18] A. B. Çobanoğlu, “Türkiye’deki yığma binaların malzeme özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek

Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.

[19] A. Arslan, “Süleymaniye Camii’nin yerel zemin koşullarına bağlı deprem performansının değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2016.

[20] T.C. İç İşleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Resmi Gazete sayı: 30364. (2018, 18 Mart), *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>

[21] A. Ural, “Yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2009.

[22] *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Entitüsü, TS 500, 2000.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## AHSS Sacların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu

 Melih KEKİK<sup>a,\*</sup>,  Salim ASLANLAR<sup>a</sup>,  Serkan APAY<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Metalurji Müh. Bölümü, Lisansüstü Eğt. Enst, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Makine Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi [serkanapay@duzce.edu.tr](mailto:serkanapay@duzce.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.837588

### ÖZET

Malzeme teknolojilerinin gelişimi ile birlikte AHSS (Advanced-High Strength Steel) adı verilen üçüncü nesil geliştirilmiş yüksek gerilimli saclar can güvenliği amacıyla otomotiv imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. Şase, kapı takviye sacı ve direk imalatında kullanılan bu sacların birleştirilmesi genellikle elektrik direnç nokta kaynağı ile yapılmaktadır. Elektrik direnç kaynağı, otomotiv imalat sektöründe robot kullanarak otomatikleşme ve seri üretime olanak sağlaması nedeniyle önemli bir yer tutmaktadır. Bir diğer önemli nokta ise kaynaklı birleştirme esnasında kaynak kalitesini etkileyen kaynak parametreleridir. Elektrot baskı kuvveti, kaynak için harcanan süre ve kaynağın gerçekleştirileceği akım değeri parametreleri elektrik direnç kaynağı için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, 1200M ve DP800HF AHSS sacların elektrik direnç kaynağında kullanılan kaynak akımı, kaynak zamanı ve kaynak çene baskı kuvvetlerinin nokta çekirdeği (kaynak dikişi) sertliği üzerine etkisinin, Taguchi yöntemiyle optimize değerleri incelenmiştir. Optimizasyon uygulamasında kullanılan Taguchi metodunda L<sub>18</sub> ortogonal serisi kullanılmıştır. Bu seri ile birlikte optimizasyon sonuçlarının kontrol edilmesinde sinyal/gürültü (S/N) oranı belirleyici olmuştur. Deneysel çalışmalar ve optimizasyon işlemi sonuçları incelendiğinde gerçek uygulama ve Taguchi optimizasyonu ile yapılan analizden elde edilen sertlik sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** AHSS çelik sac, Elektrik direnç nokta kaynağı, Sertlik, Taguchi metodu.

## Optimization of Welding Parameters of AHSS Sheet Metals in Electric Resistance Spot Welding by Taguchi Method

### ABSTRACT

With the development of material technologies, the third-generation high tensile sheets called AHSS (Advanced-High Strength Steel) are frequently used in automotive manufacturing for life safety. The joining of these sheets used in chassis, door reinforcement sheet and pole manufacturing is usually done by electrical resistance point welding. Electric resistance welding has an important place in the automotive manufacturing sector, as it enables automation and mass production using robots. Another important point is the welding parameters that affect the welding quality during the welded joint. Electrode pressure force, time spent for welding and current value parameters where welding will be performed are very important for electrical resistance welding. In this study, the effect of welding current, welding time and welding jaw pressure forces on the point core (weld seam) hardness, which are used in electrical resistance welding of 1200M and DP800HF AHSS sheets, were investigated by Taguchi method. Optimization values were analysed with Taguchi method. L<sub>18</sub> orthogonal series is used in Taguchi method used in optimization application. With this series, the signal / noise (S / N) ratio was decisive in controlling the optimization results. When the experimental studies and the results of the optimization process were examined, it was seen that the hardness results obtained from the analysis performed by real application and Taguchi optimization were close to each other.

## **I. GİRİŞ**

Yeni nesil araçlarda yolcu ve taşıt güvenliği amacıyla karoser üzerinde giderek daha fazla noktada tercih edilen AHSS grubu çeliklerin birleştirilmesinde en fazla uygulanan yöntem elektrik direnç nokta kaynağıdır. Gelişen otomotiv teknolojileri ile birlikte giderek yükselen mukavemetle daha ince çelik saçların araçların karoserinde kullanılmasıyla araçlar ağırlıkları azalmış ve bu araçlarda kullanılan yakıttan tasarruf sağlanmış olup karbon salınımı gibi çevresel etmenlerde iyileşme sağlanmıştır. Araçların ağırlıklarının azaltılması amacıyla alternatif çelik ürünlerin kullanımı deneysel amaçlardan çıkıp imalat aşamasına geçmiştir. Yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı ile taşıt hafifletme çalışmaları önemli yollar kat etmiştir. AHSS çeliği araç parçalarında güvenlik ve güç sağlarken, ağırlıklarını azaltarak yakıt verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır. Araç ağırlığının azaltılması, mevcut durumdaki parçaların dayanım ve performanslarını artırıp daha da ince yüksek mukavemetli çeliklerin kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Bunlarla birlikte yüksek mukavemet, yüksek şekil kabiliyeti ve hafif olmaları sebebiyle Dual Phase (DP) ve Martenzit çeliklerinin kullanım alanı giderek yaygınlaşmıştır [1]–[3]. Otomotiv endüstrisinde en sık kullanılan iki AHSS, çift fazlı (DP) çelik ve dönüşüm kaynaklı plastisite (TRIP) çeliğidir [4], [5]. Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler arasında yer alan Martenzitik çelik yüksek kaynak kabiliyeti ve üstün şekillenebilirliği ile DP çeliğiyle yakın özellikleri sebebiyle kaynaklanmasında ve birlikte kullanılmasında herhangi bir sorunla karşılaşılmasıdır [6]–[9].

Otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan kaynak yöntemi elektrik nokta direnç (RSW) kaynağıdır. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre birçok avantajı vardır. Örnek olarak, kaynak hızlı bir şekilde yapılabilir, seri üretime uygun olabilir ve diğer kaynak yöntemlerine kıyasla daha ucuz olabilir. Bugün, bir aracın imalatında yaklaşık 2000 – 5000 arasında nokta direnç kaynağı ile birleştirme yapılmaktadır. Bu miktar, elektrik nokta direnç kaynağının önemini göstermektedir. Elektrotların uyguladığı basınç ve elektrik direncinin ürettiği ısı, elektrotlar ve levhalardan geçerek kaynak işlemini yani birleşmeyi gerçekleştirmiş olur [10]–[12]. Gaz tungsten ark nokta, lazer nokta ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı gibi farklı teknolojiler olmasına rağmen, geleneksel nokta direnç kaynağı, özellikle otomotiv endüstrisinde sac metal birleştirmede hala yoğun olarak kullanılmaktadır [13], [14]. İşlem sırasında elektrik enerjisi iletimi ve kontrolü çok önemlidir. Kaynak sistemi, geleneksel bir ana güç kaynağı tarafından beslenir ve bu kaynak düşük voltajlı yüksek akım gücüne sahiptir. Elektrik direnç nokta kaynak makineleri, tek fazlı alternatif akım ve üç faz orta frekanslı doğru akım olmak üzere iki tiptir. Tek fazlı alternatif akım elektrik direnç nokta kaynak makinesi diğerine göre daha uygun maliyetli ve daha basit bir çalışma sistemine sahiptir. Üç fazlı bir orta frekanslı DC RSW makinesi sürekli olarak enerji sağlayabilir ve daha yüksek verimlilikte çalıştırılabilir ve karmaşık bir yapıya sahiptir. AC güç kaynağı tarafından belirlenen sabit ve düşük bir çalışma frekansına sahip olan tek fazlı AC RSW makinesine kıyasla, üç fazlı orta frekanslı DC RSW makinesinin çıkışı ve kontrol frekansı ayarlanabilir. Bu nedenle, son zamanlarda, orta frekanslı DC RSW makinesi giderek daha fazla tercih edilmekte ve tek fazlı AC RSW makinesinin yerini almıştır [15]–[19]. Otomotiv sektöründe RSW ile kaynakta yüksek kaliteli nokta kaynak bağlantıları oluşturmanın yolu, gerilim, kaynak akımı, elektrot basıncı, zaman, yüzey durumları gibi kaynak parametrelerini kontrol altında tutmaktan geçmektedir [20].

Taguchi optimizasyon yöntemi, mühendislik uygulamaları için, ürün kalitesini artırma, tasarım becerilerini iyileştirme ve deney sayısını azaltmaya yarayan istatistiksel bir analiz uygulamadır. Deneysel çalışma sayısını azaltması ve deneysel tasarımı iyileştirmesi bu uygulamanın fazla tercih edilmesine neden olmaktadır. Mühendislik olarak çok karmaşık yapılara sahip ürünler bile bu uygulama ile yüksek hızlarda ve uygun maliyetlerde üretilebilmektedir. Yapılacak olan işleme ait deneysel parametrelerin optimize edilmesi, üretim maliyetlerini olumlu yönde etkileyerek kaliteli ürün üretmeyi mümkün kılmada Taguchi optimizasyon yöntemi oldukça önemli bir adımdır [21]. Bu optimizasyon uygulamasının önemli bir yanı da çalışma ya da üretim sonucunda elde edilecek üründen

beklenen çıktı değere en yakın kalitede ve uygunlukta ürün gerçekleştirilebilmesine imkân sağlamasıdır. İmalat proses parametrelerinin sayısı arttığında sonuca ulaşabilme adına çok sayıda deney yapılması gerekir. Bu gerekliliği çözebilmek adına Taguchi yöntemi, az sayıda deneyle tüm işlem parametresi alanını incelemek için özel bir ortogonal diziler tasarımı kullanabilmektedir. Bu ortogonal dizi tasarımı kullanarak tasarımcı, deneysel verileri analiz etmek için bir sinyal-gürültü (S/N) oranı kullanıp, ortalama kalite özellikleri ve varyasyonları üzerindeki birden çok parametreyi kontrol ederek imalata en uygun parametre kombinasyonlarını kolayca tespit edebilmektedir. Bu nedenle, deneysel çalışmada kullanılan parametrelerin optimize seviyeleri sinyal-gürültü seviyelerine göre değişmektedir. Diğer yandan deneysel çalışmadaki parametrelerin önem sıralamasını belirlemede istatistiksel bir metot olan varyans analizi (ANOVA) uygulaması yapılmaktadır. ANOVA parametrelerin güvenilirlik aralığını belirler ve en önemli olandan en az önemli olana doğru yüzdelik oranla sonuç bildirir. Taguchi optimizasyonu sonucu istenen değere en yakın değerlerde, deneysel çalışma gerçekleştirilerek (doğrulama testi) deneysel çalışmanın istenen sonucu verip vermediği doğrulanabilir [21]–[23].

Deneysel çalışmalardan önce gerçekleştirilen literatür taramasında, elektrik direnç kaynağı uygulamalarında birçok optimizasyon uygulamalarının yapıldığı görülmüştür. Genelinde farklı sonuçların optimizasyonunun gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Optimize bir işlem için kaynak parametrelerini seçmek, kaynak mukavemeti, kaynak kalitesi ve verimlilik arasındaki ilişkiyi kurmak için ayrıntılı bir inceleme çalışması yapılmıştır. Esme [21], Taguchi yöntemini kullanarak çelik sacların direnç punta kaynağı işleminde kaynak performansını artırmak ve kaynak parametrelerini optimize etmek için kullanılan Taguchi yönteminin uygunluğunu tespit etmiştir. Luo ve arkadaşları [24], elektrik direnç kaynağı ile galvaniz kaplı çeliklerin birleştirilmesinde, deneysel parametrelerin kaynak çekirdeği kalitesine etkilerini, varyans analizi ve geliştirdikleri matematiksel modeli kullanarak en iyi sonuç için tahmin modeli gerçekleştirmişlerdir. Vural ve Akkuş [25], östenitik paslanmaz çelik saclarına sahip galvanizli ara boşluksuz çelik sacların direnç nokta kaynaklanabilirliğini araştırmış ve kaliteli kaynak için optimum parametreleri tespit etmişlerdir.

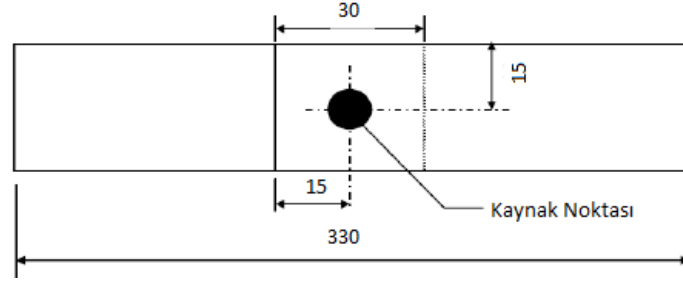
Bu çalışmada, optimum sertlik değerleri ile kaynak proses parametrelerini belirlemek için Taguchi yönteminin kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, direnç punta kaynağı işleminde kaynak performansını artırmak ve kaynak parametrelerini optimize etmek için kullanılan Taguchi yönteminin geçerliliğini doğrulamıştır.

## **II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Otomotiv sektöründe kullanılan DP800HF ve 1200M sacları elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir. Yapılan birleştirme işlemlerinde sıkıştırma ile tutma süreleri sabit tutularak, elektrot kuvveti, kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değiştirilmiştir. Kullanılan her parametre için mikroyapı incelemesi ve mikro sertlik ölçümü testleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan sacların kimyasal içerikleri Tablo 1’de verilmiştir.

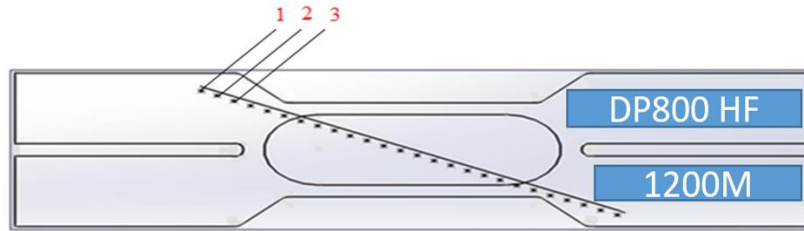
*Tablo 1. Deneysel çalışmada kullanılan sacların kimyasal bileşimi (% ağırlık)*

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo	Co
<b>DP800</b>	0.16	0.5	2.2	0.015	0.005	0.7	0.45	-	-
<b>1200M</b>	0,0791	0.201	1.6	0.00037	0.00022	0.0363	0.0175	0.0373	0.0133



**Şekil 1.** Elektrik nokta direnç kaynağı deney numunesi şematik ölçüleri.

Deney numuneleri Şekil 1’de örnek olarak gösterilen boyutlarda hazırlandıktan sonra gerekli yüzey temizlikleri yapılarak elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmeleri yapılmıştır. Deney numunelerinin hepsinde 4 – 6 kN elektrot kuvveti uygulanmıştır. Kaynak süreleri ön deneyler sonucunda 5, 15 ve 25 periyot (1 periyot kaynak süresi =0,02 sn) belirlenmiştir. Kaynak akımı için 8, 11 ve 15 kA (8440A- 15500A aralığında) uygulanarak kaynak işlemi tamamlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen numuneler bakalite alınıp metalografik süreçler sonrasında elde edilmiş numunelerin %2’lik nital çözeltisi ile dağlanarak mikroyapı görüntüleri alınacak şekilde hazırlanmış ve mikro sertlik ölçümü için hazır hale getirilmiştir. Kaynak parametrelerinin sertlik üzerindeki etkisini incelemek üzere elde edilmiş olan her numunenin sertlik değerleri BORÇELİK Ar-Ge merkezindeki EmcoTest DuraScan marka seri mikro sertlik ölçme cihazıyla ölçülmüştür. Mikro sertlik ölçümleri HV<sub>0,2</sub> ile 200 gr yük uygulanarak, 10 sn süre zarfında konik uçlu batıcı ucun numune üzerine batmasıyla ölçülmüş olup değerler Vickers cinsinden bulunmuştur. Kaynak bölgesinde iki farklı malzeme bulunduğu için çekirdek bölgesinin sol üst kısmından başlamak üzere sağ alt kısmına doğru çapraz bir yol izlenerek Şekil 2’de verildiği gibi 0,4 mikron aralıklarla alınmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda tek çizgi hattında toplam 50 sertlik ölçüm yapılmış olup çizgi boyunca yapılan sertlik ölçümünün ortalama değeri nominal sertlik değeri olarak hesaplanıp Taguchi deney tasarımına sonuç verisi olarak girilmiştir.



**Şekil 2.** DP800HF-1200M birleştirmelerindeki sertlik ölçümü şematik gösterimi.

Doğru deney tasarımının kurulması, deneysel çalışmalarda elde edilecek sonuçların doğruluğu için önem arz etmektedir. Elektrolitik yöntemle sert krom kaplamanın gerçekleştirildiği bu çalışmada, deneysel düzenek ve sonuç analiz yöntemi olarak Taguchi L<sub>18</sub> ortogonal dizin kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, deneysel çalışma verilerinin analizi için Sinyal-gürültü (S/N) oranı olarak bilinen bir istatistiksel analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bu sinyal/gürültü oranı, deneysel süreçteki değişkenleri azaltan kontrol faktörlerini Taguchi optimizasyon uygulamasında en aza indirerek, optimizasyon işlemi için doğrulama değeridir. Taguchi yöntemiyle tasarlanmış bir deneyde, değişkenliği gerçekleştirmek ve sonuçlardan süreci veya ürünü gürültü faktörlerinden kaynaklanan değişikliklere dirençli hale getiren optimum kontrol faktörü ayarlarını tanımlamak için gürültü faktörlerini değiştirerek gerekli düzenleme sağlamaktadır. Gürültü faktörlerini en aza indirerek, sinyal-gürültü oranı için en yüksek değerler ayarlanabilir. Sinyal-gürültü oranı, farklı oranlardaki gürültü değerlerinin optimum koşullarda vereceği tepkiyi veya istenen değerlere göre nasıl değişmesi gerektiğini belirleyebilir. Deneysel çalışmanın amacına bağlı olarak farklı sinyal-gürültü oranları arasından seçim yapılarak sonuca ulaşılabilir. Sinyal-gürültü oranlarını etkilemeden hedef üzerindeki ortalamayı ayarlamak için ölçeklendirme faktörleri kullanılabilir. Optimizasyon işlemlerinde kullanılan



yazılımlar, tasarımdaki her bir kontrol faktörü seviyesi kombinasyonu için ayrı bir sinyal-gürültü (S/N) oranı hesaplar. Taguchi optimizasyonuna bağlı olarak istenen deneysel sonuç verilerini elde edebilmek için, parametrelere bağlı olarak farklı sinyal-gürültü oranları arasında seçim yapılması gerekmektedir. Bu seçimle birlikte deneysel çalışma sonucunda istenen değere en yakın tahmin değerleri elde edilebilir. Optimizasyon işlemi için seçilecek S/N oranları, daha küçük daha iyidir, daha büyük daha iyidir ve nominal olan en iyidir şeklinde değişiklik göstermektedir [26], [27]. Bu çalışma, kalite karakteristiği olarak ele alınan kaplama sertlik değerinin yüksek olması arzu edildiğinden S/N oranlarının hesaplanmasında “**en büyük en iyi**” yaklaşımı dikkate alınmıştır. S/N oranlarının hesaplanmasında eşitlik 1’de verilen denklem kullanılmıştır. Burada; “yi” ölçülen sertlik değerini, “i” gözlem değerini, “n” bu çalışma için geçerli deneyleri ifade etmektedir.

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

DP800HF ve 1200M sacları birbirlerine elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde kontrol faktörleri ve seviyeleri Tablo 2’de verilmiştir.

*Tablo 2. Kontrol faktörleri ve seviyeleri*

Sembol	Kontrol Faktörleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Elektrot kuvveti (kN )	4	6	-
B	Kaynak akım şiddeti (kA)	8	11	15
C	Kaynak zamanı (çevrim )	5	15	25

*I çevrim = 0,02 sn*

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **A. KAYNAK DİKİŞİ SERTLİĞİ OPTİMİZASYONU**

DP800HF ve 1200M sacları birbirlerine elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinin Taguchi  $L_{18}$  deneysel tasarımına göre gerçekleştirilen optimizasyon deneyi sertlik sonuçları ve hesaplanan S/N oranları tahmin değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

*Tablo 3. Deney tasarımı, sertlik ve S/N oranları*

No	(A) Elektrot kuvveti (kN)	(B) Kaynak akımı (kA)	(C) Kaynak zamanı (Çevrim)	Sertlik (HV <sub>0.2</sub> )	S/N Oranı (dB)	Tahmin Edilen Sertlik Değeri (HV <sub>0.2</sub> )
1.	4	8	5	444,3	52,9535	444,353
2.	4	8	15	421,5	52,4960	423,635
3.	4	8	25	417,56	52,4144	413,670
4.	4	11	5	439,86	52,8663	435,573
5.	4	11	15	412,16	52,3013	414,855
6.	4	11	25	404,86	52,1461	404,890
7.	4	15	5	433,12	52,7322	429,582
8.	4	15	15	403,94	52,1263	408,863
9.	4	15	25	397,02	51,9762	398,898
10.	6	8	5	481,42	53,6505	481,821
11.	6	8	15	463,11	53,3137	461,103
12.	6	8	25	447,83	53,0223	451,138
13.	6	11	5	471,64	53,4722	473,041

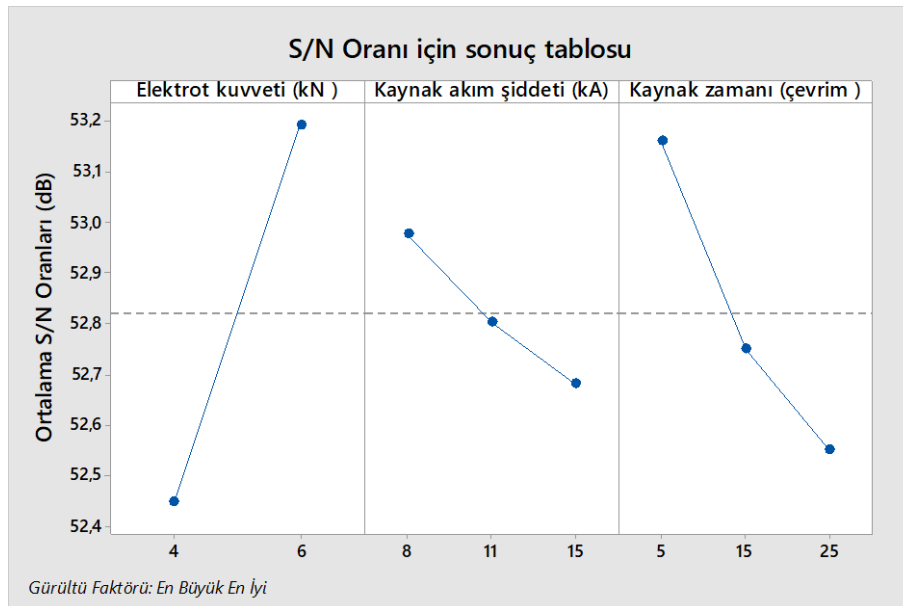
14.	6	11	15	453,03	53,1225	452,323
15.	6	11	25	441,49	52,8984	442,358
16.	6	15	5	461,08	53,2755	467,049
17.	6	15	15	453,37	53,1291	446,331
18.	6	15	25	438,56	52,8406	436,366

Taguchi optimizasyonunda her faktör için tanımlama ve yorumlama için S/N yanıt tablosu vardır. Bu tablo en iyi seviye ve düzeyleri seçebilmek için referans sonuçları içermektedir. Deneysel çalışmalarda verilerin istenen sonucu ne şekilde etkilediği bu tablolar ile belirlenmektedir. Bu çalışmadaki parametrelerin sertlik özelliğini ne şekilde etkilediğini gösteren yanıt tablosu Tablo 4’de verilmiştir. Tablo 4’de görülen veriler incelendiğinde optimizasyon için seçilen en büyük en iyi opsiyonuna göre en yüksek değerler optimum sonuçları işaret etmektedir.

*Tablo 4. Deney tasarımı, sertlik ve S/N oranları*

Seviye	(A) Elektrot kuvveti (kN)	(B) Kaynak akımı (kA)	(C) Kaynak zamanı (Çevrim)
1	52,45	<b>52,98</b>	<b>53,16</b>
2	<b>53,19</b>	52,80	52,75
3		52,68	52,55
Delta	0,75	0,30	0,61
Sıralama	1	3	2

Tablo 4’de verilen değerler dikkate alındığında, optimum kaplama sertliğine ait seviyeleri veren S/N oranları A2B1C1 olmuştur. Diğer bir ifadeyle elektrot kuvveti, kaynak akımı şiddeti ve kaynak zamanı için sırasıyla 53.19 (Seviye 1), 52.98 (Seviye 2) ve 53.16 (Seviye 3) optimum değerler olmuştur. Bu tablo seviye değerleri kullanılarak oluşturulan ana etki grafiği Şekil 3’de verilmiştir. Deney tasarımı, sertlik ve S/N oranları tablosunda olduğu gibi Şekil 3’de verilen ana etki grafiğinde de en büyük S/N değerleri, elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan parametrelere ait optimum seviyeleri göstermektedir. Bu değerlere göre DP800HF ve 1200M sacları birbirlerine elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde, elektrot kuvveti, kaynak akımı şiddeti ve kaynak zamanı için sırasıyla optimum değerler 6 kN, 8 kA değerinde ve 5 çevrim zaman değerinde yapılan işlem olarak belirlenmiştir.



*Şekil 3. S/N oranları için ana etki grafiği*

## B. VARYANS ANALİZİ (ANOVA)

Bu deneyde kullanılan bütün kontrol faktörlerinin, birbirleri ile olan etkileşimleri, bu faktörlerin performans karakteristiğini ne kadar etkilediği, deneysel çalışmadaki parametreler farklılıkların performans karakterini ne ölçüde değiştirdiği ve bu değişim sebeplerinin belirlenebilmesi için istatistiksel Varyans analizi (ANOVA) uygulanmaktadır [26]. ANOVA, deneysel verilerin analizine dayalı önemli sonuçlar sağlayan istatistiksel bir tekniktir. Bu teknik, faktörlerin etkisinin önem düzeyini veya belirli bir yanıt üzerindeki faktörler arasındaki etkileşimi ortaya çıkarmak için çok kullanışlıdır. Deneysel parametrelerin etki aralığını, değişkenliğini, faktörlerin katkılarını ve hataya oranlarını gösteren ANOVA analizi Tablo 5’de verilmiştir. ANOVA, regresyon ortalama karesi ile ortalama kare hatası arasındaki oranı belirler ve F oranı veya varyans oranı olarak adlandırır. Bu oran aynı zamanda hata teriminden kaynaklanan bir faktör ve varyansın etkisine bağlı bir orandır. F oranının hesaplanan değeri yüksekse, faktör istenen seviyede anlamlıdır. Genel olarak, F değeri arttığında, belirli parametrenin önemi ve katkı yüzdesi de artar. ANOVA işlemi % 95 güvenilirlik ve % 5 önem seviyelerinde uygulanmıştır. Deneyde kullanılan kontrol faktörlerin etki düzeylerinin belirlenmesinde, etki değeri en fazla olan F değeri sonuca en çok etki eden değer olarak belirlenir. Bu değer belirlenmesinde F değeri sonuçları birbirleri ile kıyaslanmaktadır. ANOVA sonuçları incelendiğinde kaynak sertliğini etkileyen en önemli parametre % 62.46 oranla elektrot kuvveti olmuştur. Kaynak zamanı ise % 29.07’lik oranla elektrot kuvvetinden sonra ikinci etkili parametredir. Son olarak diğerlerine göre daha düşük etkiye sahip parametre % 6.55 oranla kaynak akım şiddeti olarak görülmüştür. Burada, her bir değişkenin sonuçlar üzerindeki serbestlik derecesini gösteren DF değerleriyle, kareler toplamı (SS), kareler ortalaması (MS), F değerleri ve yüzde katkı oranları (PCR) görülmektedir.

*Tablo 5. Sertlik Değeri S/N oranları için Varyans analizi (ANOVA) sonuçları*

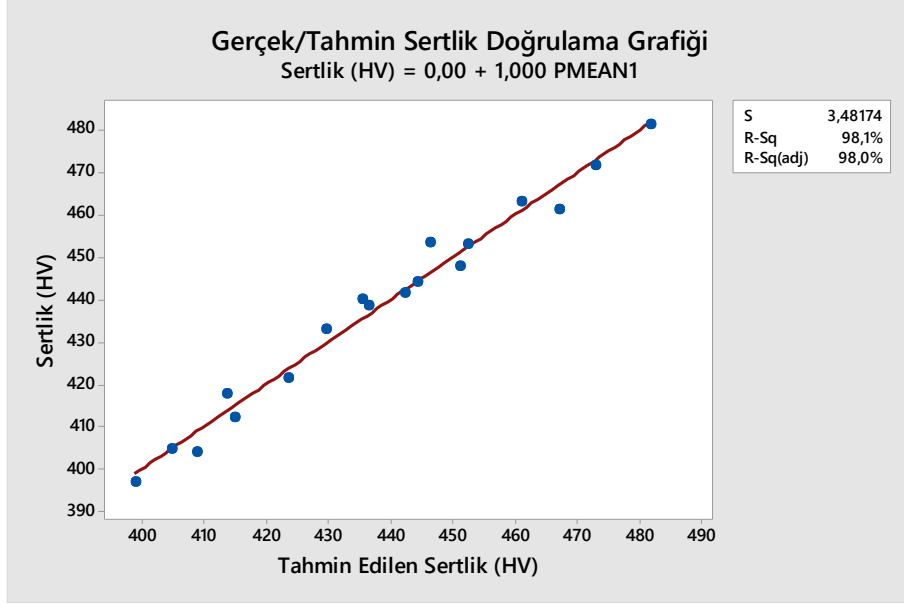
Kaplama Parametreleri	(DF) Serbestlik Derecesi	(SS) Kareler Top.	(MS) Kareler Ort.	F-Değeri	(PCR) Katkı Oranı
Elektrot kuvveti (kN )	1	6317,3	6317,25	390,84	% 62,46
Kaynak akım şiddeti (kA)	2	662,4	331,19	20,49	% 6,55
Kaynak zamanı (çevrim )	2	2940,0	1470,02	90,95	% 29,07
Hata	12	194,0	16,16	-	% 1,92
Toplam	17	10113,6			% 100,00

## C. DOĞRULAMA TESTİ

Taguchi yöntemiyle yapılan optimizasyon işleminin son adımı, optimize elektrik direnç nokta kaynağı deneysel girdi seviyelerini kullanarak kaynak çekirdeği mekanik özelliklerin değişimi tahmin etme ve sonuçların karşılaştırılmasıdır. Taguchi metodu ile hesaplanan optimum değerler yapılan deney tasarımında yer aldığı için doğrulama deneyleri yapılmamıştır. Doğrulama deneyi yerine hesaplanan ve doğrulanan kaynak çekirdeği sertlik seviyelerinin deneysel sonuçları karşılaştırılması Tablo 6’da verilmiştir. Bu çalışma ile DP800HF ve 1200M saclarının elektrik direnç nokta kaynağı, kaynak dikişi sertlik miktarının, kaynak esnasında kullanılan parametrelerin farklılaşmasıyla birlikte değiştiği Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak kanıtlanmıştır. Taguchi optimizasyonunun dikiş sertliği çıktılarının performans karakteristiklerinin belirlenmesinde uygulanan basit ve güvenilir bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca Şekil 4’de Taguchi metoduyla yapılan analiz sonucu elde edilen tahmin sonuçlarının gerçek sonuçlar ile karşılaştırmalı doğrulama grafiği verilmiştir.

Tablo 6. Doğrulama deney sonuçları

Tahmin Edilen Sonuçlar	Deneysel Sonuçlar	Fark
A2B1C1	A2B1C1	-
Sertlik 481,821 HV <sub>0,2</sub>	Sertlik 481,42 HV <sub>0,2</sub>	0.401
S/N 53,6876 dB	S/N 53,6505 dB	0.0371



Şekil 4. Gerçek sertlik ve tahmin edilen sertlik değerleri karşılaştırma grafiği.

## IV. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışma ve optimizasyon işlemi kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. DP800HF ve 1200M saclarının elektrik direnç nokta kaynağı ile sorunsuz bir şekilde kaynatılabildiği tespit edilmiştir.
2. Deneysel çalışmalarda, Taguchi L<sub>18</sub> deney tasarımı ve optimizasyonu DP800HF ve 1200M saclarının elektrik direnç nokta kaynağı işlemi için başarılı bir şekilde uygulanmıştır.
3. En iyi kaynak dikişi sertlik değerine, 6 kN elektrot gücü, 8 kA kaynak akımı değerinde ve 5 çevrim kaynak zamanında ulaşılmıştır.
4. ANOVA sonuçlarına göre, sertlik değeri üzerindeki en etkili parametrenin % 62.46 oranla elektrot kuvveti olduğu, kaynak zamanının ise % 29.07'lik oranla ikinci etkili parametre olduğu, son olarak diğerlerine göre daha düşük etkiye sahip parametre % 6.55 oranla kaynak akım şiddeti olduğu tespit edilmiştir.
5. Optimum şartlarında gerçekleştirilen elektrik direnç nokta kaynağı sonrasında kaynak çekirdeği sertlik değeri, sırasıyla tahmin edilen ve deneysel çalışma sonucu 481.82 HV<sub>0,2</sub> ve 481,42 HV<sub>0,2</sub> olarak bulunmuştur.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2018-50-01-008).

Yazarlar ayrıca, katkılarından dolayı Prof. Dr. Uğur ÖZSARAÇ'a, laboratuvar desteğinden dolayı BORÇELİK Ar-Ge Merkezine teşekkürlerini sunarlar.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] J. Namukasa, S. Namagembe, and F. Nakayima, "Fuel efficiency vehicle adoption and carbon emissions in a country context," *Int. J. Glob. Sustain.*, vol. 4, no 1, pp. 1, 2020.
- [2] S. K. Khanna and X. Long, "Fatigue behavior of spot welded joints in steel sheets," in *Failure Mechanisms of Advanced Welding Processes*, Elsevier Ltd., 2010, pp. 65–100.
- [3] S. Hassanifard, M. Zehsaz, and F. Esmaeili, "Spot weld arrangement effects on the fatigue behavior of multi-spot welded joints," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 25, no 3, pp. 647, 2011.
- [4] H. T. Tran, K. Y. Kim, and H. J. Yang, "Weldability prediction of AHSS stackups using support vector machines," *Int. J. Comput. Electr. Eng.*, vol. 6, no 3, pp. 207–210, 2014.
- [5] D. Dong, Y. Liu, Y. Yang, J. Li, M. Ma, and T. Jiang, "Microstructure and dynamic tensile behavior of DP600 dual phase steel joint by laser welding," *Mater. Sci. Eng. A*, no. 594, pp. 17–25, 2014.
- [6] M. Marya and X. Q. Gayden, "Development of requirements for resistance spot welding dual-phase (DP600) steels part 2: Statistical analyses and process maps," *Weld. J. (Miami, Fla)*, vol. 84, no. 12, 2005.
- [7] J. Górká, A. Ozgowicz, and K. Matusek, "Robotic spot welding of DOCOL 1200M steel," *Weld. Technol. Rev.*, vol. 91, no 4, pp. 33–38, 2019.
- [8] V. Onar and S. Aslanlar, "Welding time effect of welding joints in micro alloyed and TRIP 800 steels in resistance spot welding," *Acta Phys. Pol. A*, vol. 131, no. 3, pp. 389–391, 2017.
- [9] S. Aslanlar, "The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry," *Mater. Des.*, vol. 27, no. 2, pp. 125–131, 2006.
- [10] S. K. Panda, J. Li, V. H. B. Hernandez, Y. Zhou, and F. Goodwin, "Effect of weld location, orientation, and strain path on forming behavior of AHSS tailor welded blanks," *J. Eng. Mater. Technol. Trans. ASME*, vol. 132, no. 4, pp. 1–11, 2010.
- [11] C.-W. Ji, I. Jo, H. Lee, I.-D. Choi, Y. do Kim, and Y.-D. Park, "Effects of surface coating on weld growth of resistance spot-welded hot-stamped boron steels," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 28, no 11, pp. 4761–4769, 2014.
- [12] S. Smith, N. J. den Uijl, T. Okada, T. van der Veldt, M. Uchihara, and K. Fukui, "The Effect of Ageing on the spot weld strength of AHSS and the consequences for testing procedures," *Weld. World*, vol. 54, no. 1, pp. R12–R26, 2010.
- [13] Y. Li, Z. Lin, Q. Shen, and X. Lai, "Numerical analysis of transport phenomena in resistance spot welding process," *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 133, no. 3, 2011.
- [14] M. Pouranvari and S. P. H. Marashi, "Critical review of automotive steels spot welding: Process, structure and properties," *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 18, no. 5, pp. 361–403, 2013.
- [15] X. Wang, K. Zhou, and S. Shen, "Intelligent parameters measurement of electrical structure of medium frequency DC resistance spot welding system," *Measurement*, vol. 171, no. 108795, 2021.
- [16] H. Lee and J. Yu, "Development of fuzzy controller for inverter DC resistance spot welding using system identification," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 31, no. 8, pp. 3961–3968, 2017.

- [17] J. Černelič, R. Brezovnik, J. Ritonja, D. Dolinar, and M. Petrun, "Optimal operating point of medium frequency resistance spot welding systems," *2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 2017, pp. 2131–2137.
- [18] K. Zhou ve P. Yao, "Review of Application of the electrical structure in resistance spot welding," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 25741–25749, 2017.
- [19] K. Zhou and L. Cai, "Online measuring power factor in AC resistance spot welding," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no 1, pp. 575–582, 2014.
- [20] M. R. Rawal, R. R. Kolhapure, S. S. Sutar, and V. D. Shinde, "Optimization of resistance spot welding of 304 steel using GRA," *Int. J. Comput. Eng. Res. Trends*, vol. 3, no. 9, pp. 492–499, 2016.
- [21] U. Eşme, "Application of taguchi method for the optimization of resistance spot welding process," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 34, no. 2 B, pp. 519–528, 2009.
- [22] R. K. Verma, P. K. Kharwar, A. K. Mondal, K. Abhishek, and J. Kumar, "Exploration of MOORA based hybrid Taguchi Method for Multi-response Optimization—A case study BT - Advances in Mechanical Engineering," in *Advances in Mechanical Engineering Select Proceedings of ICRIDME 2018*, B. B. Biswal, B. K. Sarkar, and P. Mahanta, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2020, pp. 515–525.
- [23] A. G. Thakur and V. M. Nandedkar, "Optimization of the resistance spot welding process of galvanized steel sheet using the taguchi method," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 39, no. 2, pp. 1171–1176, 2014.
- [24] Y. Luo, J. Liu, H. Xu, C. Xiong, and L. Liu, "Regression modeling and process analysis of resistance spot welding on galvanized steel sheet," *Mater. Des.*, vol. 30, no. 7, pp. 2547–2555, 2009.
- [25] M. Vural and A. Akkus, "On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 153–154, pp. 1–6, 2004.
- [26] H. Kır ve S. Apay, "Elektrolitik yöntemle sert krom kaplanan yapı çeliğinde kaplama parametrelerinin taguchi metodu ile optimizasyonu," *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, c. 10, ss. 7–14, 2020.
- [27] N. Masmiati and A. A. D. Sarhan, "Optimizing cutting parameters in inclined end milling for minimum surface residual stress – Taguchi approach," *Measurement*, vol. 60, pp. 267–275, 2015.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Elektrikli Araçlarda Ultra Kapasitör Kullanımı ve Uygulanabilirlik Durumunun Değerlendirilmesi

 Çağatay TAŞDEMİRÇİ<sup>a,\*</sup>,  Arif ÖZKAN<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Biyomedikal Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TURKEY*

\* *Corresponding author's e-mail address: cagatay.tasdemirci@kocaeli.edu.tr*

DOI:10.29130/dubited.840542

### ÖZET

Petrolde üretilen fosil yakıtların doğaya olan olumsuz etkileri nedeniyle günümüzde alternatif enerji kaynaklarının daha verimli ve yaygın kullanılması önem kazandı. Taşıtlarda fosil yakıtların kullanımdan uzaklaşmak istenmesi, elektrikli taşıtların yaygınlaşmasını ve bu alanda yapılan çalışmaları hızlandırdı. Elektrikli taşıtlar konusunda yapılan çalışma ve araştırmalar beraberinde “şarj süresi, maksimum menzil, maliyet ve farklı depolama yöntemleri” gibi başlıkların öneminin artmasına neden olmuştur. Günümüzde, bir saati bulan şarj süreleri ve içten yanmalı motor kullanan araçlara göre düşük menzillere sahip olmaları elektrikli araçların yaygın kullanımının önündeki büyük engellerdendir.

Elektrikli araç teknolojisinin ilerlemesi beraberinde yeni depolama ve şarj sistemleri üzerinde araştırmaların yapılmasını da beraberinde getirmiştir. Modern enerji depolama sistemlerine bir örnek de ultra kapasitörler olmuştur. Bu kapasitörlerin şarj ve deşarjlarında akım sınırının olmaması ve büyük kapasiteleri erişebilmesi batarya teknolojisine alternatif olarak görülmelerini sağlamıştır. Fakat yüksek şarj akımlarına dayanacak iletkenlerin gerekmesi, depolanan enerjinin zaman içerisinde kaybolması ve yüksek kapasitelere çıkılma zorluğu aşılması gereken sorunlardır.

Bu çalışmada elektrikli taşıtlara için alternatif olabilecek, enerjinin ultra kapasitörlerle depolandığı model bir araç tasarlanmıştır. Kullanılan manyetik şarj sistemleri (kablesiz şarj) ile kısa süreli ve duraklamasız şarj imkanı elde edilmiştir. Üretilen model araç ve şarj istasyonu, klasik bataryalı araç ve bağlantılı hızlı şarj sistemli model ile karşılaştırılmış, avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli taşıt, hızlı şarj, kablesiz şarj, ultra kapasitör

## Use of Ultra Capacitors in Electric Vehicles and Evaluation of Applicability

### ABSTRACT

Due to the negative effects of fossil fuels produced from petroleum on nature, more efficient and widespread use of alternative energy sources has gained importance today. The desire to avoid the use of fossil fuels in vehicles has accelerated the spread of electric vehicles and the studies done in this field. Studies and researches on electric vehicles have led to an increase in the importance of topics such as "charging time, maximum range, cost and different storage methods". Nowadays, charging times of up to one hour and having lower ranges compared to vehicles using internal combustion engines are major obstacles to the widespread use of electric vehicles.

The advancement of electric vehicle technology has led to research on new storage and charging systems. An example of modern energy storage systems is ultra-capacitors. The fact that these capacitors do not have a current limit in their charge and discharge and that they can reach large capacities have made them seen as an alternative to battery technology. However, the need for conductors to withstand high charging currents, the loss of stored energy over time, and the difficulty of reaching high capacities are problems that need to be overcome.

In this study, an alternative to electric vehicles, a model vehicle in which energy is stored with ultra capacitors is designed. With the magnetic charging systems (wireless charging) used, short-term and non-stop charging has been achieved. The model vehicle produced and the charging station were compared with the conventional battery-powered vehicle and the connected fast charging system model, and their advantages and disadvantages were examined

**Keywords:** *Electric vehicle, fast charging, ultra capacitor, wireless charge*

## **I. GİRİŞ**

Karbon bazlı yakıtların ve petrol ürünlerinin doğayı kirletmesi sebebi ile günümüzde alternatif ve temiz enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Özellikle yüksek egzoz emisyonları nedeniyle, otomobil sektöründe bu değişimin çok daha erken ve hızlı görülmeye başlanmıştır. Otomobil firmalarının büyük çoğunluğu elektrikli ve hibrit taşıt modelleri çıkartmaya başlamış ve bu yönde yatırımlarını arttırmıştır [1].

1800'lü yıllara kadar dayanan elektrikli araç çalışma ve tasarımı son 10 içerisinde önemli artış göstermektedir. Elektrikli araçların küresel satışları 2010'da 10.000'in altındayken 2016'da 774.000'e yükselmiştir [2, 3]. Araç elektrifikasyonu artık neredeyse tüm karayolu taşımacılığı için ana dekarbonizasyon yolu olarak görülmektedir. Kentsel hava kalitesinin kötüleşmesi, birkaç ülkenin, elektrikli araçlarla değiştirilmesi gereken içten yanmalı motorlu araçların satışını yasaklama niyetlerini duyurmalarına da yol açmıştır [4, 5].

Elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel şarj süreleri ve kısa menzilleridir. Daha yaygın şarj istasyonu gereksinimleri vardır. Bu sorunların en büyük sebebi batarya kapasiteleridir. Batarya teknolojisinin gelişmesi büyük miktarda enerjiyi küçük hacimlerle depolama imkanı sağlamıştır. Uzun raf ömürlerinin olması, uzun süreler enerjiyi kayıpsız depo edebilme imkanı vermelerinin yanında düşük şarj-deşarj çevrimlerinin olması, uzun şarj süreleri bataryaların yerine alternatif enerji depolama yöntemlerinin araştırılmasına sebep olmuştur [6-9].

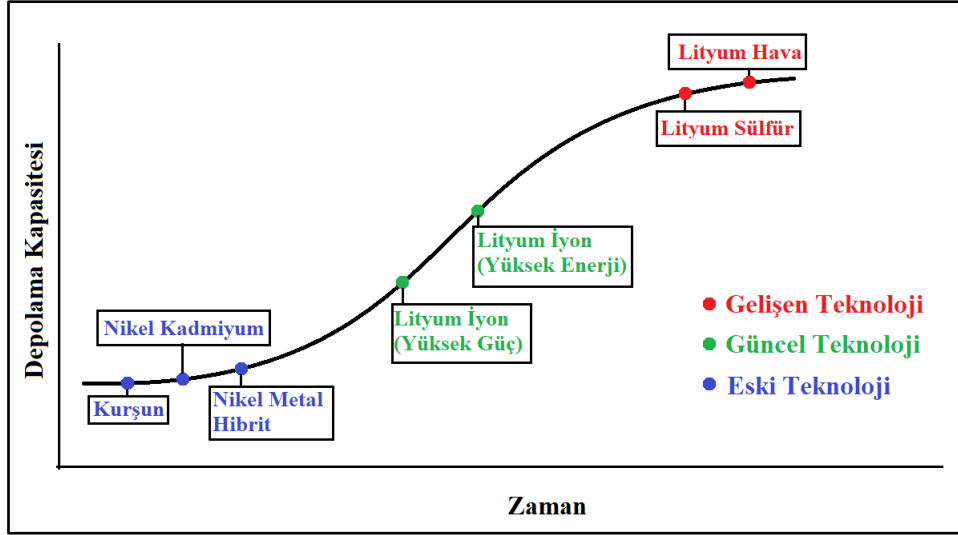
Bataryalara alternatif olabilecek en teknolojilerden biri de ultra kapasitörlerdir. Şarj-deşarj çevrimlerinin çok yüksek olması ve çok kısa sürede kapasitesinin %80'ine şarj olabilmesi bataryalara alternatif olmasını sağlamıştır. Fakat aynı boyutlardaki bataryalardan daha küçük kapasitelerde olması ve kısa süreli enerji depolama imkanı sunmaları nedeniyle henüz bataryaların yerini almaktan uzak oldukları düşünülmektedir [10-13].

## **II. ELEKTRIKLI TAŞITLAR**

### **A. ELEKTRIKLI ARAÇLARDA BATARYALAR**

Günümüzde elektrikli araçlarda Lityum iyon (Li-ion), Lityum iyon polimer (Li-Po), Sodyum Nikel Klorür (NaNiCl), Lityum demir fosfat (LiFePO<sub>4</sub>), Çinko Hava (Zn-air), Lityum sülfür (LiS), Lityum hava (Li-air) bataryalar kullanılmaktadır. Lityum elementinin bataryalarda kullanılmaya başlaması çok daha büyük depolama imkanları ile hızlı şarj sistemlerini beraberinde getirmiştir. Şekil 1'de batarya teknolojisinin gelişimi gösterilmiştir [14-16].





Şekil 1 Batarya teknolojisinin gelişimi

Elektrikli araçlar yüksek şarj süreleri ve düşük menzilleri ile içten yanmalı araçları yakalayamasa da, teknolojinin ilerlemesi ile ciddi bir alternatif haline gelmişlerdir. Üretici teknik bilgilerinden alınan ve Tablo 1’de gösterilen değerlere bakıldığında 30 dakikalık şarj süreleriyle 400 kilometreye (km) varan sürüş sağlandığı görülmektedir. Bataryaların tam dolum süreleri yerine %80 dolum süreleri ve dakikalık dolum ile gidilebilecek yol (km) verisi değerlendirme açısından büyük önem arz etmektedir.

Tablo 1 Farklı Modellerin Menzil ve Şarj Süreleri

Model	Batarya Kapasitesi (kWh)	Maksimum Menzil (km)	%80 şarj için gerekli süre (dakika)	1 dakikalık şarj ile elde edilen menzil (km, %80 dolulukda)
Tesla Model S	100	610	55	17,4
Porsche Taycan Turbo S	93	405	22,5	14,4
Audi E-Tron 5S	95	400	30	10,7
Mercedes EQC 400	80	434	35	9,9
Jaguar I-Pace	90	470	40	9,4
Tesla Model 3	75	530	55	7,7
Hyundai Kona	64	440	54	6,6

2020 yılında batarya teknolojisinin çok ilerlemiş olduğunu görülmektedir. Günümüzde kullanılan hızlı şarj sistemleri ve lityum bazlı bataryalar sayesinde 100kWh kapasitelerin 30 dakika gibi sürelerde şarj edilebileceği görülmektedir [17, 18].

## B. ULTRA KAPASİTÖRLER

Ultra kapasitörler kısa sürelerde şarj olma özelliğine sahip olmalarına rağmen, eşdeğer kapasitedeki bataryalardan büyük olma ve zaman içerisinde deşarj kayıplarının olması nedenleriyle bataryaların yerini alabilme yetisine henüz sahip olmadıkları görülmektedir [19-21]. Denklem 1’de kapasitörlerin enerji depolama kapasiteleri verilmiştir.

$$\frac{1}{2} * C * V^2 = J(\text{joul}) \text{ yada } Ws (\text{watt saniye}) \quad (1)$$

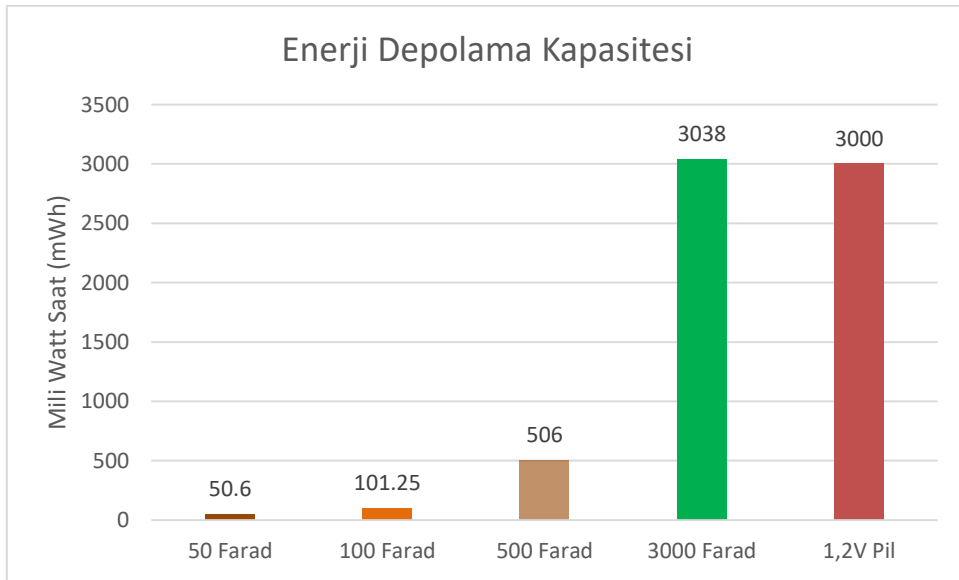
50, 100 ve 3000 faratlık (F) kapasitörler için kapasitelerini hesaplanmış ve Denklem 2, 3 ve 4'de verilmiştir.

$$\frac{1}{2} * 50 * 2,7^2 = 182,25 \text{ Ws(watt saniye) yada } 50,6 \text{ mWh (mili watt saat)} \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} * 100 * 2,7^2 = 364,5 \text{ Ws yada } 101,25 \text{ mWh} \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} * 3000 * 2,7^2 = 10935 \text{ Ws yada } 3038 \text{ mWh} \quad (4)$$

Şarjlı piller 1,2 V olup ortalama 2400 mAh enerji depolayabilmektedir. Bu da 3000 mWh etmektedir. Farklı kapasitörlerin ve 1,2 V AA pilin enerji depolama kapasiteleri Şekil 2'de verilmiştir.



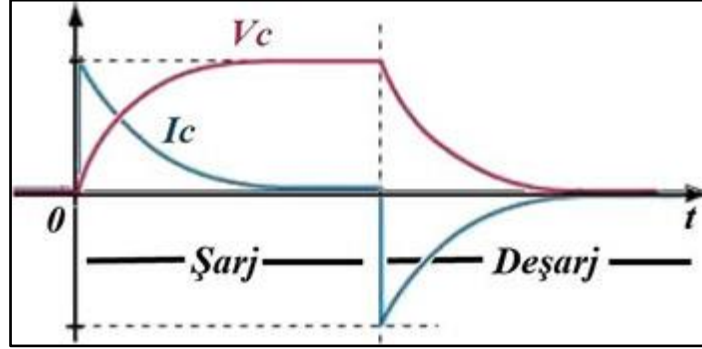
Şekil 2 Farklı kapasitörlerin enerji depolama karakteristiği

Denklem 4 incelendiğinde görülmektedir ki 3000 F bir ultra kapasitör, 1,2 V – 3000 mWh AA kalem pil kadar enerji depolayabilmektedir. Fakat boyutları incelendiğinde AA pil ile 3000 F ultra kapasitör arasında 10 kata yakın boyut farkı olduğu görülmektedir. Şekil 3'de AA pil ile 3000 F kapasitör görülmektedir.



Şekil 3 Kalem pil ile 3000 F ultra kapasitör

Kapasitörler teoride sonsuz akım ile şarj olabilirler. Bu da saniyeler içinde maksimum enerji depo edebildiklerini göstermektedir. Kapasitörlerin şarj-deşarj grafiği Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 4 Kapasitör şarj – deşarj grafiği [8]

500 F bir kapasitör 5 A akım ile şarj edildiğinde tam kapasiteye yakın şarj olmasının 30 saniye süreceği ölçülmüştür. Aynı kapasitedeki bataryaların şarj süreleri yarım saati bulabilmektedir [22-24].

### **III. MATARYEL METOT**

#### **A. ELEKTRİKLİ ARAÇ MODELİ**

Bu çalışmada, model bir araç da 3 V batarya yerine 2,7 V 500 F ultra kapasitör kullanılmıştır. Kapasitör aracın gövdesi içine batarya uçlarına yerleştirilmiştir. Araçta kullanılan mikro dc motor 1,5 V regülatör devresi üzerinden beslenmektedir, maksimum 0,3 A akım çektiği ölçülmüştür.

Uzaktan kumanda sistemine sahip aracın kumanda sisteminin voltaj değişiminden etkilenebileceği düşünüldüğünden araç sabit ve dairesel hareket yapmaktadır. Kullanılan model araç Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5 Çalışmada kullanılan model araç

#### **B. KABLOSUZ ŞARJ SİSTEMİ**

Şarj sistemi için aracın altına akıllı telefonlarda kullanılan kablosuz şarj alıcısı monte edilmiştir. Şarj alıcısı ultra kapasitörü doldurmaktadır. Alıcı 4.5 V gerilim ve 1 A akım verebilmektedir. Alıcı 3V voltaj regülatörü ile kullanılmış, ultra kapasitör üzerine gelen gerilim 2,8 V olarak ölçülmüştür. Kablosuz şarj alıcısı Şekil 6’da verilmiştir.



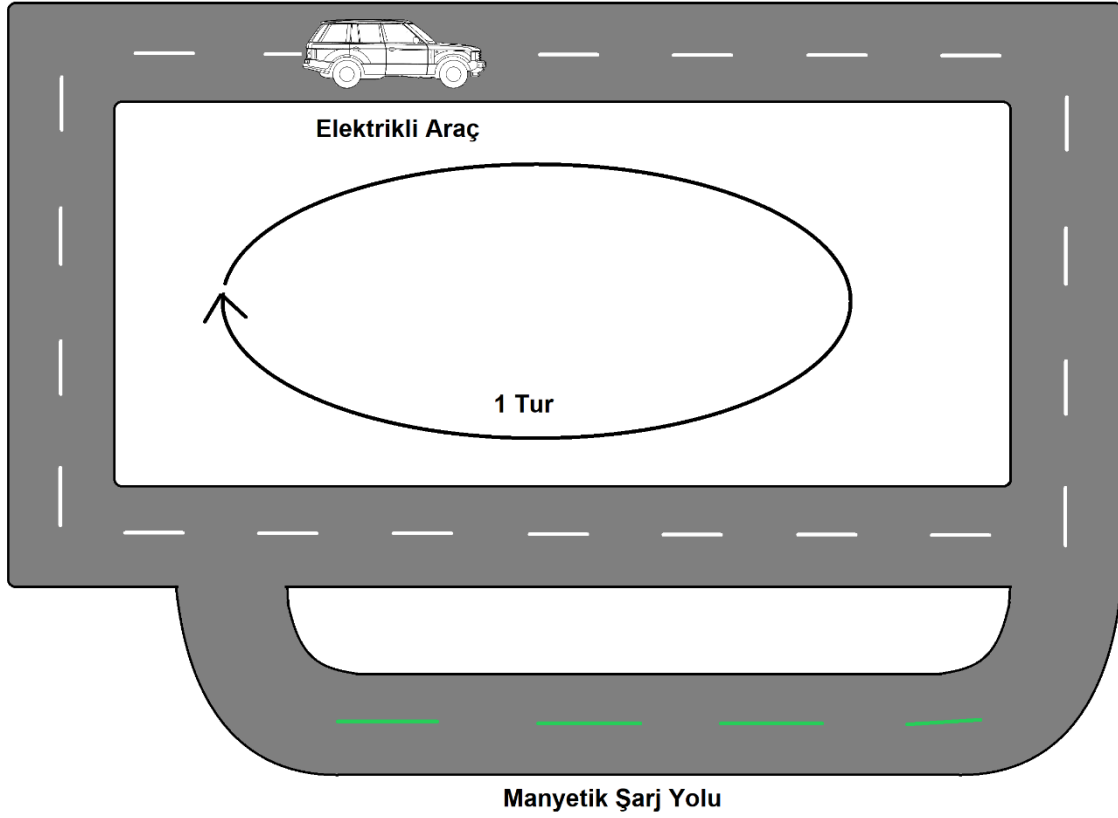
**Şekil 6** Kablosuz şarj alıcısı

Aracı şarj etmek için maksimum 5 Amper verebilen akıllı telefonlar için kullanılan manyetik şarj sistemi kullanılmıştır. Manyetik şarj sistemi ile araç duraksamadan şarj edilebilecek ve kesintisiz uzun süreli sürüş sağlanmış olacaktır. Yeterli şarj süresi sağlanması ve şarj verimliliği açısından araç manyetik şarj istasyonu boyunca sabit ve düşük hızla hareket ettirilmiştir. Manyetik şarj sistemi Şekil 7’de verilmiştir.



**Şekil 7** Manyetik şarj sistemi

Tasarlanan şarj yolu sistemi ve ultra kapasitörlü elektrik araç modeli ile birkaç saniyelik şarj ile aracın pist üzerinde aldığı yol değerlendirilmiştir. Aracın pist üzerinde harekete başlayıp, başladığı noktaya gelmesi 1 tur olarak değerlendirilmiştir. Araç 1 turunu 1 dakika altında tamamlamakta, dolayısıyla şarj bitimi sebebiyle hareketsiz kalma durumu yaşanmamaktadır. Şekil 8’de şematik olarak yol tasarımı gösterilmiştir.



*Şekil 8 Ultra kapasitörlü elektrikli araç ve manyetik şarj yolu*

## IV. SONUÇ

Araç da kullanılan 500 F ultra kapasitör 506mWh enerji depolayabilmekte olup, 2,8 V ve 1 A ile 3 dakikada tamamen dolduğu ölçülmüştür. Yapılan testler sonucu sert ve eğimsiz zeminde aracın ortalama 0,25 A akım çektiği gözlemlenmiş olup, 3 dakika manyetik şarj ile 30 dakika hareket kabiliyeti verdiği gözlemlenmiştir. Araç farklı akım değerleri ve sürelerde şarj edilmiş ve dairesel hareket sağlanarak deşarjı sağlanmıştır. Farklı akım değerlerine ilişkin şarj ve deşarj süreleri Tablo 2’de verilmiştir.

*Tablo 2 Farklı akım değerleri ile farklı sürelerde şarj-deşarj karakteristiği*

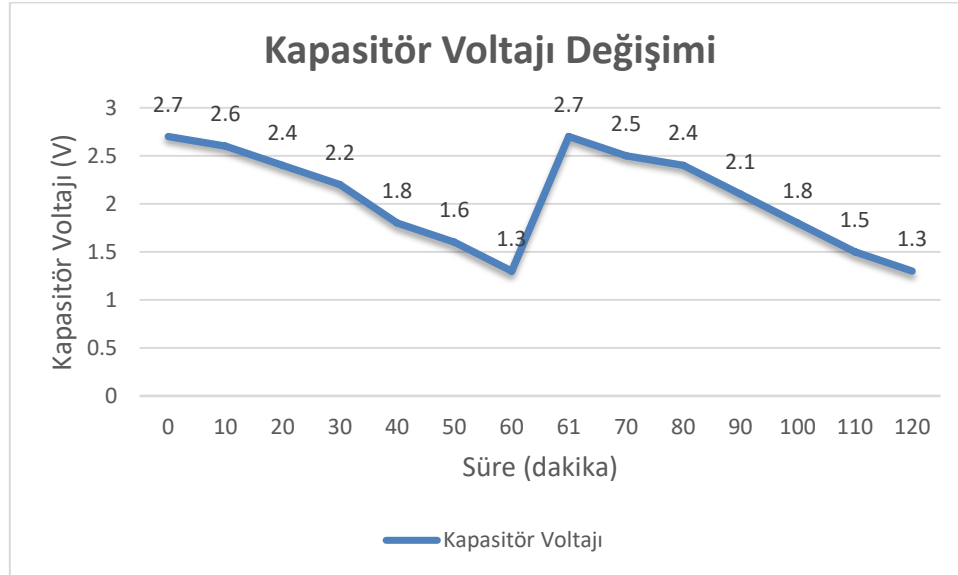
Şarj Akımı (Amper)	Tam dolum Şarj Süresi (Saniye)	Şarj Edilen Süre (Saniye)	Hareket Süresi (Dakika)
1A	195	180	20
2A	95	80	18
4A	48	40	18
5A	26 saniye	20 saniye	15 dakika

Ultra kapasitör şarj karakteristiği lineer olmadığından dolayı, 1 A şarj akımı değerinde (manyetik şarj sisteminin maksimum 1A akım vermesi sebebi ile) farklı sürelerde şarj ile elde edilen maksimum hareket süresi Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3** Farklı akım değerleri ile farklı sürelerde şarj-deşarj karakteristiği

Şarj Akımı (Amper)	Tam dolum Şarj Süresi (Saniye)	Şarj Edilen Süre (Saniye)	Hareket Süresi (Dakika)
1A	195	180	20
1A	195	80	11
1A	195	40	9
1A	195	20	3

Ultra kapasitörlerin seri ve paralel bağlanmasından kapasitör bankaları elde edilmiş olup, boyutlarının büyük olması araç içine montaj imkanını engellemiştir. Fakat hareketsiz ve yük altında yapılan testler sonucunda 1000 F, 5,4 V kapasitör bankası ile 60 saniye 5 amper şarj ile 1 saat kesintisiz hareket sağlanmıştır. Aracın şarjdeşarj sürelerine ilişkin veriler Şekil 9’da verilmiştir.



**Şekil 9** Ultra kapasitör zamana bağlı gerilim değişimi

Elektrikli araçlara bir diğer örnekte hidrojeni araçlardır. Hidrojenli araçlarda elektrik hidrojen ve oksijenin birleşmesinden elde edilmektedir [25, 26]. Hidrojenli araçlarda enerji geri kazanımı imkanı eklenen batarya sistemi ile yapılmaktadır. Ultra kapasitörler hızlı şarj özellikleri ile hibrit taşıtlarda enerji geri kazanımı sistemi olarak bataryalar yerine kullanılabilir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda elektrikli araçlarda ultra kapasitör sistemi kullanımı değerlendirilmiştir. Elektrikli araçlarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan 50 kW 200-230V’da çalışan elektrik motor değerlendirilmede kullanılmıştır [27]. Kullanılan motoru enerjilendirmek için ultra kapasitör bankası tasarlanacak olursa, 270V 100kWs kapasitenin uygun olacağı öngörülmüştür. Tesla firmasının batarya verileri incelendiğinde 3,75V 3100 mAh bataryalardan 7104 adet kullanıldığı bilinmektedir (74 paralel grup, 6 ve 16’lı seri gruplarla birleştirilir) [28]. Boyutları benzerliğinden yola çıkarak 7000 adet 500 F kondansatörü, 270 V elde edecek şekilde guruplarsak Tablo 4’deki verileri elde edilir.

*Tablo 4 7000 adet 500 farad kondansatörle 270V elde etmek*

	<b>Kapasitör Sayısı</b>	<b>Kapasite</b>	<b>Voltaj</b>
<b>Seri Bağlantı</b>	100 adet	506 mWh	270Volt
<b>Paralel Gurup</b>	70 adet	35,420 Wh	270Volt
<b>Toplam</b>	7000 adet	35,420 Wh	270 Volt

Elde edilen 270 V 35 Wh güç ünitesi ile 50kW'lık motorun 200 V altında 42 dakika kullanılabilceği ve 250 A akım çekeceği öngörülmektedir. Eğer güç ünitesi 270 V ve 2500 A ile beslenebilirse %80 dolulukta şarj süresinin 3 dakika olacağı görülmektedir.

## **V. TARTIŞMA**

Çalışmada kullanılan şarj sistemi iletken kesitleri artırılarak revize edilebilir. Bu sayede çok daha kısa sürelerde çok daha fazla enerji depolanabilecektir. Ayrıca kondansatör kapasitesi artırılabilir ve farklı model araçlar için yüksek voltajlı kondansatör üniteleri tercih edilebilir. Kapasitörlerin zaman içinde kendi kendine deşarj olması sistemin en büyük dezavantajıdır. Ayrıca aynı kapasitedeki bataryalardan büyük olması ve yüksek akım ile şarj gerektirmesi ultra kapasitörlerin kullanımını kısıtlayan etkiler olarak gözlemlenmiştir. Kapasitörlerin maksimum verebildikleri voltajın zamanla lineer azaldığı bilinmektedir. Bu nedenle kapasitörlerin şarj voltajının yarısına voltaj değerlerinde kullanılmaları uzun süreli sabit voltaj elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

Yapılan manyetik şarj sistemi ile aracı durdurmadan hareket halinde şarj imkanı sağlanabilir ve kesintisiz uzun menzilli sürüş sayesinde bataryalı araçlardan daha verimli kullanım süresi elde edilebilir. Günümüzde kullanılan elektrikli araçların en büyük kısıtlamalarından birinin kesintisiz menzil sorunu olduğu bilinmektedir [9]. Fakat şarj süresi boyunca sınırlı hızda gidilmesi gerektiği olup, şarj imkanı veren yollara gereksinim olunması üzerine çalışılması gereken bir diğer sorundur.

Ultra kapasitörlerin aynı kapasitedeki bataryalardan büyük olmaları ve yüksek şarj akımlarına çıkılması konusundaki zorluklardan dolayı henüz doğrudan bataryaların yerini alamayacakları düşünülmektedir. Fakat hızlı şarj edilebilme özellikleri ile alternatif stratejiler ile bataryaların yerine kullanılabilir.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] J. Li, "Compatibility and investment in the U.S. electric vehicle market," Job Market Paper, 23 Ekim, 2017.
- [2] The Electric Vehicle World Sales Database, 2016, Electric Vehicle Plug-in Sales for 2016 [Online]. Available: <http://www.ev-volumes.com/news/global-plug-in-sales-for-2016/>
- [3] S. M. Knupfer, "Electrifying Insights: How Automakers Can Drive Electrified Vehicle Sales and Profitability," (McKinsey & Company), 2017.
- [4] F. Güven, H. Rende, "Elektrikli Araçların Tasarımında Malzeme Seçiminin Önemi", Engineer and Machinery, vol.58, pp.81-95, 2017.

- [5] A. Khaligh, Z. Li, "Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art," *IEEE transactions on Vehicular Technology*, vol.59, no.6, pp. 2806- 2814, 2010.
- [6] L. V. Pérez, G. R. Bossio, D. Moitre, G. O. García, "Optimization of power management in an hybrid electric vehicle using dynamic programming," *Mathematics and Computers in Simulation*, vol.73, no.1-4, pp.244-254, 2006.
- [7] J. Singh, B. Singh, R. Chaurasia, S. Sachan, "Performance investigation of permanent magnet synchronous motor drive using vector controlled technique. In Power, Control and Embedded Systems," (ICPCES), 2nd International Conference on Aralık 2012.
- [8] H. Gualous, D. Bouquain, S. Berthon, J. M. Kauffmann, "Experimental study of supercapacitor serial resistance and capacitance variations with temperature," *Journal of Power Sources*, vol.123, no.1, pp.86-93, 2003.
- [9] R. Karimpour, M. Karimpour, "Development of Hybrid Propulsion System for Energy Management and Emission Reduction in Maritime Transport System," *Open Journal of Marine Science*, vol.6, pp.482-497, 2016.
- [10] J. Moreno, M. E. Ortuzar, L. W. Dixon, "Energy Management System for an Hybrid Electric Vehicle, Using Ultracapacitors and Neural Networks," *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, vol.53, no.2, pp.614-623, 2006.
- [11] H. Özbay, "Şebeke Etkileşimli Yenilenebilir Enerji Destekli Hızlı Batarya Şarj Sisteminin Gerçekleştirilmesi," *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ElektrikElektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük*; 2017.
- [12] G. M. Freeman, T. E. Drennen, A. D. White, "Can parked cars and carbon taxes create a profit? The economics of vehicle-to-grid energy storage for peak reduction," *Energy Policy*, vol.106, pp.183 190, 2017.
- [13] Y. A. Shirazi, D. L. Sachs, "Comments on Measurement of Power Loss During Electric Vehicle Charging and Discharging," *Notable Findings For V2G Economics*, 2018.
- [14] M. M. Morcos, "Battery Chargers for Electric Vehicles," *IEEE Power Engineering Review*, vol.20, no.11, pp. 8-11, 2000.
- [15] A. Aydın, C. Yılmaz, R. Demirci, "Çembersel Doğru Akım Motoru Tasarımı ve Manyetik Analizi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.7, ss 1351-1366, 2020.
- [16] E. Gören, "Hibrit ve elektrikli araçlar ile toplu ulaşımda enerji verimliliği," *National Energy Efficiency Forum, İstanbul, Türkiye*, ss.28-32, 2011.
- [17] Ü. Ağbulut, H. Bakır, "The Investigation on Economic and Ecological Impacts of Tendency to Electric Vehicles Instead of Internal Combustion Engines," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.7, ss.25-36, 2019.
- [18] W. Liu, "Hybrid electric vehicle system modeling and control," *New York, ABD, John Wiley & Sons*, 2017.
- [19] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, K. Ebrahimi, "Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles," *Florida, ABD, CRC press*, 2018.




- [20] J. Zhang, J. Yan, Y. Liu, H. Zhang, G. Lv, "Daily electric vehicle charging load profiles considering demographics of vehicle users," *Applied Energy*, 274, Article 115063, 2020
- [21] L. Wanga, X. Wamga, W. Yangd, "Optimal design of electric vehicle battery recycling network – From the perspective of electric vehicle manufacturers," *Applied Energy*, 275, Article 115328, 2020
- [21] H. Mehrjerdi, R. Hemmati, "Electric vehicle charging station with multilevel charging infrastructure and hybrid solar-battery-diesel generation incorporating comfort of drivers," *J Storage Mater*, vol.26, pp. 1009–1024, 2019.
- [23] H. Mehrjerdi, R. Hemmati, "Modeling and optimal scheduling of battery energy storage systems in electric power distribution networks," *J Cleaner Prod*, vol.234, pp.810–821, 2019.
- [24] L. Luo, W. Gu, S. Zhou, H. Huang, S. Gao, J. Han, "Optimal planning of electric vehicle charging stations comprising multi-types of charging facilities," *Appl Energy*, vol.226, no.1, pp.087–1099, 2018.,
- [25] M. Bornapour, R. A. Hooshmand, A. Khodabakhshian, M. Parastegari, "Optimal stochastic scheduling of CHP-PEMFC, WT, PV units and hydrogen storage in reconfigurable micro grids considering reliability enhancement," *Energy Convers Manage*, vol.150, pp.725–741, 2017.
- [26] H. Mehrjerdi, E. Rakhshani, "Correlation of multiple time-scale and uncertainty modelling for renewable energy-load profiles in wind powered system," *J Cleaner Prod*, 236, Article 117644, 2019.
- [27] C. Ulu, G. Komurgoz, "Elektrikli araç uygulamaları için 75 kW asenkron motor tasarımı," 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering, ELECO 2016 , Bursa, Turkey, pp.286-290, 2016
- [28] <http://teslaturk.com/tesla-bataryalarinin-gercek-kapasiteleri/> Erişim 10 Aralık 2020



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Sualtı Akustik Algılayıcı Ağlarda Onay Paketi (ACK) Sayısının Ağ Başarımına Etkileri

 Nükhet Sazak\*

\*Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: nsazak@sakarya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.810745

### ÖZET

Bu çalışmada sualtı akustik algılayıcı ağlar (SAAA'lar) için geliştirilen S-FAMA protokolü ile onun etkinliğini arttırmak için önerilen yaklaşımlardan olan Çoklu-ACK'daki onay (ACK) paket sayısının ağ başarımı üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Sualtı akustik algılayıcı ağlarda yüksek yayılım gecikmesi yüzünden bir onay (ACK) paketinin kaybının maliyeti yüksektir. Veri iletimi sırasında bir onay (ACK) paketi kaybolduğunda iletim sürecinin tekrarlanması enerji israfına neden olmaktadır. Bunu önlemek için önerilen yaklaşımlardan biri olan Çoklu-ACK sayesinde tek bir ACK yerine ACK dizisi kullanılarak bir onay paketinin başarıyla alınma olasılığı arttırılmaktadır. Bu çalışmada ACK dizisinde yer alan paket sayısının iş çıkarma oranı iyileştirmesi ve enerji verimliliği bakımından ağ başarımına etkileri matematiksel olarak analiz edilmektedir. Yapılan analiz sonucunda ACK paket sayısı değişiminin enerji verimliliği üzerinde kayda değer bir etkisi olduğu görülmektedir. Ancak enerji verimliliği ve iş çıkarma oranı iyileştirme yüzdelerinin aynı (%10.25) olması, bu ağ ölçütleri arasında bir ödünleşme olduğunu göstermektedir. Enerji tüketiminde %10.25'lik bir artışın iş çıkarma oranında %10.25 iyileştirme sağladığı sonucuna varılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** *Sualtı Akustik Algılayıcı Ağ, OEk Protokolleri, Çoklu-ACK, Enerji Verimliliği*

## The Impacts of the Number of Acknowledgment (ACK) Packets on Network Performance in Underwater Acoustic Sensor Networks

### ABSTRACT

In this study, the impacts of the number of acknowledgment (ACK) packets on network performance are discussed in S-FAMA protocol, developed for underwater acoustic sensor networks (UASNs), and Multi-ACK which is an approach proposed to improve its efficiency. In underwater acoustic sensor networks, the cost of losing an ACK packet is high due to high propagation delay. The repetition of the entire transmission process results in energy waste when an ACK packet is lost during the data transmission. Thanks to Multi-ACK, one of the approaches proposed to prevent that, the probability of an acknowledgment packet received successfully is increased by using the ACK train instead of a single ACK. The impacts of the number of packets in the ACK train on network performance in terms of throughput improvement and energy efficiency are analyzed mathematically in this paper. As a result of analysis, there is no significant effect of the number of ACK packets on energy efficiency. On the other hand, energy efficiency and throughput having the same percentage (10.25%) show that there is trade-off between these network criteria. The 10.25 % increase in energy consumption results in 10.25 % improvement in throughput.

**Keywords:** *Underwater Acoustic Sensor Network, MAC Protocols, Multi-ACK, Energy Efficiency*

# **I. GİRİŞ**

Bir sualtı akustik algılayıcı ağ (SAAA), işbirlikçi görevlerini yerine getirmek üzere akustik bağlantılarla bağlı sualtı algılayıcı düğümlerden oluşmaktadır [1]. SAAA'lar okyanuslarda veri toplama, kıyı ötesi araştırma, mayın keşif, kirlilik ve çevre izleme gibi bilimsel, askeri ve ticari amaçlı birçok uygulamada kullanılabilirler [2].

Karasal algılayıcı ağlar için geliştirilen ortam erişim kontrol (OEK) protokolleri, hem haberleşmede çoğunlukla radyo dalgalarını kullandığından hem de sualtı akustik algılayıcı ağların kendine has özellikleri yüzünden bu tür ağlar için uygun değildir. Sualtı ağlardaki kanal erişim kontrolü; band genişliğinin dar olması, yayılım gecikmesinin yüksek olması, bit hata oranının fazla olması, düğüm bağlantırlığındaki kayıplar, yoğun çok yollu yayılım (multipath), sönüm (fading) ve kanal asimetrisi dolayısıyla ilave zorluklar getirmektedir [1].

Sualtı akustik algılayıcı ağlara özel OEK çözümlerine ihtiyaç vardır ve literatürde bu amaçla geliştirilmiş protokoller bulunmaktadır. Bu protokoller, çekişmeye dayalı (ortogonal olmayan, çizelgesiz, rasgele) ve çekişmesiz (ortogonal, çizelgeli, deterministik) protokoller olarak ikiye ayrılmaktadır [3]. ALOHA, CSMA, MACA tabanlı protokoller çekişmeye dayalı iken TDMA, FDMA, CDMA, SDMA çekişmesiz protokol örnekleridir. Bu çalışmada ele alınan S-FAMA protokolü de bir çekişmesiz protokoldür.

S-FAMA protokolü, sualtı akustik algılayıcı ağlar için geliştirilen [4] protokollerden biridir. Çoklu-ACK mekanizmasının eklenmesinin S-FAMA protokolüne sağladığı yararların incelendiği çalışmalar mevcuttur [5,6]. Bununla birlikte söz konusu makalelerde ACK paket sayısı değişiminin ağ başarımı üzerindeki etkilerinin ele alınmadığı görülmüştür. Bu makalede ACK paket sayısı değiştirilerek iş çıkarma oranı ve enerji verimliliğindeki etkileri irdelenmektedir.

Bölüm II'de bazı OEK protokolleri ve işleyişlerinden söz edilmektedir. ACK paket sayısı değişiminin iş çıkarma oranındaki iyileştirme ve enerji verimliliği bakımından ağ başarımındaki etkileri bölüm III'deki matematiksel ifadeler ile analiz edilmektedir. Sonuçlara ilişkin yorumlar bölüm IV'de yer almaktadır.

## **II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR**

Karasal ağlarda popüler bir protokol olan Çarpışma Sakıncalı Çoklu Erişim (Multiple Access with Collision Avoidance, MACA) protokolünün sualtı ağlar için kullanımı [5]'de ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır. Karn [7], CSMA'nın sorunlarını gidermek için veri paketlerinin iletiminden önce bir el sıkışmanın (handshake) kullanıldığı MACA protokolünü önermiştir. Paket göndermek isteyen bir düğüm, hedef düğüme bir RTS (Request To Send, Gönderme Talebi) kontrol paketi gönderir. Hedef düğüm paketleri almaya hazır olduğunu göstermek üzere bir CTS (Clear To Send, Gönderme İzni) kontrol paketini kaynak düğüme gönderir. Böylece komşuluğundaki tüm düğümler haberdar edilerek olası çarpışmalar engellenmiş olur. CTS paketini alan kaynak düğüm veri paketlerini gönderir. Veri paketlerini alan hedef düğüm ACK kontrol paketini kaynak düğüme iletir. Kısacası MACA protokolünde iletişim RTS/CTS/VERİ KATARI/ACK şeklinde gerçekleşir. Her veri paketinden sonra

ACK gönderilen benzer protokoller RTS/CTS/VERİ/ACK/VERİ/ACK/... çift taraflı yayılım gecikmesi dolayısıyla sualtı ağlar için uygun değildir [5].

Bir düğüm, iletimi ile girişimde bulunabilecek bir ya da daha fazla düğümü algılayamadığında gizli terminal (hidden terminal) sorunu meydana gelir [4]. Her ne kadar MACA protokolünün ortaya çıkış amacı, CSMA'nın gizli terminal problemini çözmek olsa da bu 4 yönlü el sıkışma (4 way handshaking) bütün gizli terminal sorunlarını çözmez [8]. Bir düğümün biri çok yakın diğeri çok uzak komşularının olduğu durumlarda farklı paket gecikmeleri yüzünden MACA'da çarpışmalar meydana gelebilir. [9].

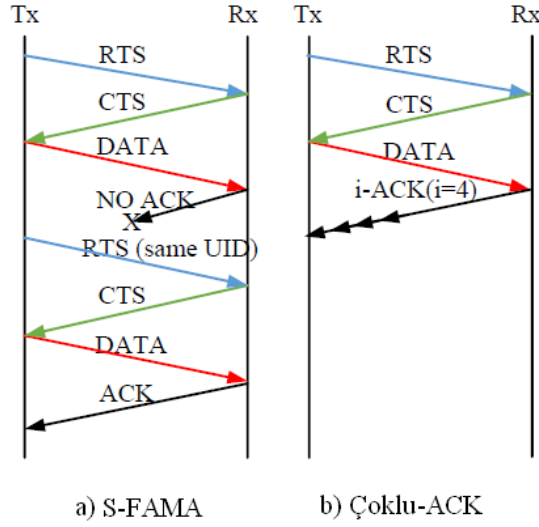
Bu sorunun üstesinden gelmek için FAMA protokolü önerilmiştir [8]. FAMA (Floor Acquisition Multiple Access), kaynak ve hedef arasında bir çarpışma sakınım diyalogu ve taşıyıcı algılamadan oluşan rezervasyon tabanlı bir OEK protokolüdür. MACA protokolünde olmayan taşıyıcı algılama özelliğine sahiptir. Fullmer ve Aceves yaptıkları çalışmada [8] çarpışma sakınımını garanti eden koşulları da ortaya koymuşlardır:

- a) RTS uzunluğu, maksimum yayılım gecikmesinden büyük olmalıdır.
- b) CTS uzunluğu, RTS uzunluğu artı maksimum yayılım gecikmesinin iki katı artı donanım iletim-alım geçiş zamanından büyük olmalıdır.

FAMA protokolünün temeli olan bu koşullar kanalda çarpışma olmamasını sağlamasına rağmen kontrol paketlerinin uzunluğu sualtı akustik kanallar için fazla olmaktadır. Bunun nedeni, sualtı akustik ağlarda çok yüksek olan yayılım süresine bağlı paket uzunluklarının enerji israfına yol açmasıdır [4]. Bu yüzden FAMA protokolü orijinal haliyle SAAA'lar için uygun değildir. Dilimleme (Slotting) ile etkinliği arttırılmak üzere S-FAMA (Slotted FAMA, Dilimli FAMA) geliştirilmiştir [4]. FAMA gibi S-FAMA da taşıyıcı algılamaya dayalıdır. S-FAMA protokolü, RTS/CTS/VERİ/ACK değişimi şeklinde 4 yönlü el sıkışma ile iletişimi düzenler. Kaynak düğüm, dilimin başlangıcında bir RTS paketi gönderir ve hedef düğüm, sonraki dilimin başında CTS paketini gönderir. Bir sonraki dilimde veri paketleri iletilir. Sonunda hedef düğüm paketlerin başarıyla alındığını gösteren ACK paketini gönderir [4]. S-FAMA protokolünde bir ACK paketi kaybolursa tüm RTS/CTS/VERİ döngüsü tekrarlanmalıdır. Bu döngünün tekrar edilmesinin maliyeti çok yüksektir ve enerji tüketicidir. Bu tekrarı ortadan kaldırmak için Çoklu-ACK'yı S-FAMA'da kullanma düşüncesi [5]'de incelenmiştir.

Shahabudeen vd.'nin ortaya koyduğu Çoklu-ACK mekanizmasında bir ACK paketi yerine i tane ACK paketi gönderilmektedir [5]. Ansari vd. S-FAMA protokolü ile Çoklu-ACK mekanizmasını birleştirerek MultiACK-SFAMA olarak adlandırdıkları protokolün matematiksel analizine yer vermişlerdir [6]. Bu sayede bir ACK'nın başarı ile alınma olasılığı artmaktadır. Çoklu-ACK'nın kullanımı ile S-FAMA'nın iş çıkarma oranı iyileştirilmekte, enerji tüketimi azaltılmaktadır [9].

S-FAMA ve Çoklu-ACK'nın veri iletim işleyişleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.(a) S-FAMA ve (b) Çoklu-ACK [6].

ACK'nın optimum sayısı [5]'deki benzetimlerde  $i=3$  olarak alınmış,  $i=2$  veya  $i=4$  ya da diğer değerlerin daha iyi sonuçlar verebileceği, ağ koşullarına göre bunun ayarlanabileceği belirtilmiştir. [6]'da ise  $i=4$  alınarak hesaplama ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu makalenin amacı, Çoklu-ACK mekanizmasındaki ACK sayısının S-FAMA protokolünün iş çıkarma oranına ve enerji verimliliğine etkilerini incelemektir.

### III. MATEMATİKSEL ANALİZ

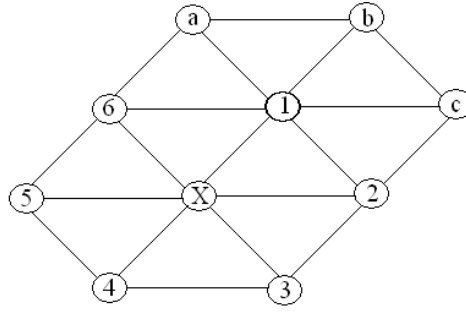
Aynı paketin tekrar iletilmesini gerektirdiğinden paket kaybı, büyük miktarda enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Bu yüzden gecikme ve paket kayıplarının göz önünde bulundurulması sualtı algılayıcı ağlarda oldukça önemlidir [10]. 4 yönlü el sıkışmanın kullanıldığı S-FAMA protokolünde bir ACK paketinin kaybı, iletim süreçlerinin tekrarlanmasına neden olmaktadır. Çoklu-ACK sayesinde bir ACK paketinin kaybolması yüzünden tüm sürecin tekrarlanması yerine ACK paketleri (ACK katarı) gönderilerek en azından bir ACK'nın alınma olasılığı arttırılmaktadır. Çoklu-ACK mekanizmasının adapte edilmesi sayesinde bu sorun ortadan kaldırılmakta, maliyet ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bunun enerji, iş çıkarma oranı, gecikme ve güvenilirlik üzerinde olumlu etkileri vardır [9]. Bu bölümde Çoklu-ACK'da kullanılan ACK paket sayısı değişiminin iş çıkarma oranındaki iyileştirme ve enerji verimliliği üzerindeki etkileri irdelenmek üzere matematiksel ifadelerle yer verilmektedir.

Bu makalede Şekil 2'de gösterilen [4]'deki ağ yerleşimi ele alınmaktadır. Kaynak düğüm X ile gösterilmekte olup  $N=6$  komşu düğümüne sahiptir. Ağda yer alan a, b, c düğümleri X düğümü için gizli terminallerdir. Bu makaledeki analizde gizli terminal sayısı sıfır ( $Q=0$ ) kabul edilmektedir.

Çoklu-ACK paketinin kontrol paketi boyutu ile aynı olduğu varsayılmaktadır.  $i$ , ACK paketlerinin sayısını göstermek üzere ACK dizisinin süresi ( $i \cdot T_{ACK}$ ), Eşit. 1'de ifade edildiği gibi  $T_{CTS}$  kontrol paketinin süresine eşittir;

$$i \cdot T_{ACK} = T_{CTS} \quad (1)$$

Bir ACK gönderilmesi ( $i=1$ ), Çoklu-ACK olmayan duruma eşdeğerdir.



Şekil 2. Ağ Yerleşimi [4].

## A. İŞ ÇIKARMA ORANI İYİLEŞTİRMESİ

S-FAMA ve Çoklu-ACK mekanizmalı S-FAMA iş çıkarma oranlarından “iş çıkarma iyileştirme faktörü (throughput improvement factor,  $IF_{MA}$ )” ifadesi elde edilmiştir [9]. Çoklu-ACK'nın sağladığı iyileştirme faktörü ( $IF_{MA}$ ), Çoklu-ACK'lı S-FAMA' da bir ACK'nın doğru biçimde alınma olasılığının S-FAMA'da bir ACK'nın doğru olarak alınma olasılığına oranı Eş. 2'de verilmiştir;

$$IF_{MA} = \frac{1 - \{1 - (1 - BER)^{L_{ACK-MA}}\}^i}{(1 - BER)^{L_{ACK}}} \quad (2)$$

İyileştirmeden söz edebilmek için  $IF_{MA} > 1$  olmalıdır.

$T_{Çoklu-ACK}$ , bir zaman dilimidir. S-FAMA'da kullanılan bir ACK paketi daha küçük boyutlu paketlere bölünmektedir. S-FAMA'da kullanılan ACK paket uzunluğu  $L_{ACK}$ , Çoklu-ACK'da kullanılan ACK paket uzunluğu  $L_{ACK-MA}$  olmak üzere aralarındaki ilişki Eş. 3'deki gibidir;

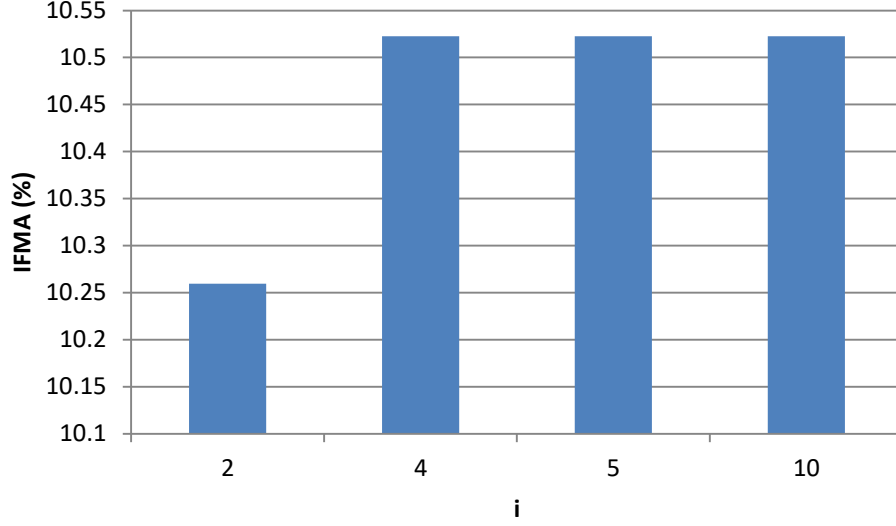
$$L_{ACK} = i * L_{ACK-MA} \quad (3)$$

Ansari vd. yaptıkları çalışmada [6] daha yüksek BER değerlerinde iş çıkarma oranında daha fazla iyileştirme elde edildiğini göstermişlerdir. Bu yüzden bu makalede BER değeri olarak  $10^{-3}$  kullanılmıştır. Analiz için [9]'daki senaryo I ele alınmıştır. Bu senaryoda ACK dizisinin süresi, kontrol paketininki ( $T_{CTS}$ ) ile aynıdır, bu yüzden bir zaman dilimi gerektirir. Analizde kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Parametreler

$L_{ACK}$ (bit)	$L_{ACK-MA}$ (bit)	i	BER
100	10, 20, 25, 50	2, 4, 5, 10	$10^{-3}$

Şekil 3'de ACK paketi sayısı değişiminin iş çıkarma oranı iyileştirmesindeki etkileri görülmektedir. Sonuçlardan görüldüğü üzere her biri 25 bitlik 4 tane ACK paketi gönderme ile 10 bitlik 10 tane ACK paketi gönderme arasında iş çıkarma oranında sağladıkları iyileştirmede fark yoktur. İkisi de iş çıkarma oranında %10,52 iyileştirme sağlamaktadır.



Şekil 3. İş Çıkarma Oranındaki İyileştirme Sonuçları

## B. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

N, sekme sayısı; P, iletim gücü;  $T_{tx}$ , veri iletim süresi ve K, paket sayısı olmak üzere S-FAMA'da başarılı iletimde harcanan toplam enerji Eş. 4'de verilmiştir [9];

$$E_{T1} = N * T_{tx} * K * P * (1 - P_e) \quad (4)$$

Benzer şekilde Çoklu-ACK'da başarılı iletimde harcanan toplam enerji Eş. 5'deki gibidir [9];

$$E_{T2} = N * T_{tx} * K * P * (1 - P_{eM}) \quad (5)$$

Enerji verimliliği Eş. 6'daki gibi hesaplanmaktadır;

$$\eta_{MA} = \left( \frac{E_{T1} - E_{T2}}{E_{T1}} \right) * 100 \quad (6)$$

Eş. 4 ve Eş. 5'deki enerji ifadeleri Eş. 6'da yerine konulup düzenlenince elde edilen enerji verimliliği Eş. 7'deki verildiği gibidir;

$$\eta_{MA} = \left( \frac{P_{eM} - P_e}{1 - P_e} \right) * 100 \quad (7)$$

S-FAMA'da bir veri paketindeki hata olasılığı ( $P_e$ ) Eş. 8'de verilmiştir [9];

$$P_e = 1 - (1 - BER)^{L_{DATA}} * (1 - BER)^{L_{ACK}} \quad (8)$$

Çoklu-ACK'da bir veri paketindeki hata olasılığı ( $P_{eM}$ ) ile Eş. 9'daki gibidir [9];

$$P_{eM} = 1 - [(1 - BER)^{L_{DATA}} * (1 - \{1 - (1 - BER)^{L_{ACK-MA}}\}^i)] \quad (9)$$

**Tablo 2** Enerji Verimliliği ve İş Çıkarma Oranındaki İyileştirme Sonuçları

$L_{ACK}$	$L_{ACK-MA}$	$i$	$P_e$	$P_{eM}$	$\eta_{MA}$	İş Çıkarma Oranı İyileştirmesi
(bit)	(bit)				(%)	(%)
100	50	2	0.18	0.097	-10.25	10.25
100	25	4	0.18	0.095	-10.52	10.52
100	20	5	0.18	0.095	-10.52	10.52
100	10	10	0.18	0.095	-10.52	10.52

Tablo 2’deki enerji verimliliği değerlerinin negatif çıkmasının nedeni, Çoklu-ACK’da harcanan enerjinin S-FAMA’dakinden fazla olmasıdır. Başka bir deyişle Çoklu-ACK’daki enerji tüketimi, S-FAMA’nın enerji tüketiminden yaklaşık % 10 daha fazladır. Tablo 2’deki sonuçlardan görüldüğü üzere iş çıkarma oranındaki iyileştirmede olduğu gibi ACK sayısı değişiminin enerji verimliliği üzerinde de kayda değer bir etkisi olduğu söylenemez. Öte yandan ACK paket sayısının değişimi ile elde edilen enerji verimliliği ile iş çıkarma oranı iyileştirme yüzdeleri aynıdır. Diğer bir ifade ile iş çıkarma oranında % 10.25’lik bir iyileştirme için % 10.25 daha fazla enerji tüketimi göze alınmalıdır. İş çıkarma oranı ve enerji verimliliği arasında ödünleşme (trade-off) söz konusudur.

## IV. SONUÇ

Sualtı akustik algılayıcı ağların kendilerine has özellikleri onlara özel protokol tasarımlarını gerektirmektedir. Literatürde SAAA’lar için geliştirilen bir OEK protokolü olan S-FAMA’nın etkinliğinin Çoklu-ACK mekanizması ile artırıldığını gösteren çalışmalar vardır. Bu makalede Çoklu-ACK’nın sağladığı ACK dizisi yaklaşımında ACK paket sayısının ağ başarımına etkileri ele alınmıştır. ACK paket sayısının artırılmasının daha fazla iyileştirme ya da daha fazla enerji verimliliği anlamına gelmediği sonucuna varılmıştır. Diğer yandan iş çıkarma oranı iyileştirmesi ve enerji verimliliği arasındaki ödünleşim ortaya konulmuştur. Ağ başarımı açısından iş çıkarma oranındaki iyileştirme daha önemli ise, daha fazla enerji tüketimi olacağı hesaba katılmalıdır.

Gelecek çalışmalarda sualtı akustik algılayıcı ağlar (SAAA’lar) için geliştirilen S-FAMA protokolü ile onun etkinliğini arttırmak için önerilen yaklaşımlardan olan Çoklu-ACK’daki onay (ACK) paket sayısının ağ başarımı üzerindeki etkileri, benzetim modelleri ile incelenebilir. Benzetim ve analiz ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

## V. KAYNAKLAR

- [1] I. F. Akyildiz, D. Pompili ve T. Melodia, “Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges,” *Ad Hoc Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 257–279, 2005.
- [2] D. Pompili ve I. F. Akyildiz, “Overview of Networking Protocols for Underwater Wireless Communications,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 1, pp. 97–102, 2009.
- [3] M. Chitre, S. Shahabudeen ve M. Stojanovic, “Underwater Acoustic Communications and Networking: Recent Advances and Future Challenges,” *Marine Technology Society Journal*, vol. 42, no. 1, pp. 103–116, 2008.







- [4] M. Molins ve M. Stojanovic, "Slotted FAMA: A MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks," *MTS/IEEE Oceans Asia Pacific*, pp. 1–7, 2006.
- [5] S. Shahabudeen, M. Motani ve M. Chitre, "Analysis of a High-Performance MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks," *IEEE Journal of Oceanic Engineering, Springer Journal*, vol. 39, no. 1, pp. 74-89, 2014.
- [6] S. Ansari, J. Poncela, P. Otero ve A. Ansari, "Performance Analysis of MultiACK-SFAMA for Underwater Acoustic Networks," *Wireless Personal Communications, Springer Journal*, 2019.
- [7] P. Karn, "MACA-A New Channel Access Method for Packet Radio," *ARRL/CRRL Amateur Radio 9th computer Networking Conference*, pp. 134–140, 1990.
- [8] C. L. Fullmer ve J.J.G.L. Aceves, "Floor Acquisition Multiple Access (FAMA) for Packet-radio Networks," *ACM SIGCOMM, Computer Communication Review*, vol. 25, no. 4, pp. 262–273, 1995.
- [9] S. Ansari, "Analysis of MAC Strategies for Underwater Applications," *Tesis Doctoral*, 2018.
- [10] M. E. Bayrakdar, "Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Aloha tabanlı Maliyet Etkin Ortam Erişim Protokolü", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c.19, s.1, ss.114-120, 2019.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Kıyaslamalı Performans Analizi için Web Tabanlı Hesaplama Araçlarının Geliştirilmesi

 Mahmut FIRAT <sup>a,\*</sup>,  Cansu BOZKURT <sup>b</sup>,  Selami KILIÇ <sup>c</sup>,  Salih YILMAZ <sup>d</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, TÜRKİYE,

<sup>b</sup> Teknik Bilimler MYO, Ardahan Üniversitesi, Ardahan, TÜRKİYE,

<sup>c</sup> Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi, Malatya, TÜRKİYE,

<sup>d</sup> Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi, Malatya, TÜRKİYE,

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [mahmut.firat@inonu.edu.tr](mailto:mahmut.firat@inonu.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.806934

### ÖZET

Uzun dönemli sürdürülebilir su ve atık su yönetimi için sistem bileşenlerinin düzenli olarak izlenmesi ve performans analizinin yapılması gerekir. Bunun için verisi ölçülebilir, uygun ve uygulanabilir göstergelerin kullanılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada su ve atık su yönetimi açısından; performans analizi ve kıyaslama yapılması amacıyla kullanılan göstergelerin, doğru ve sistematik bir şekilde hesaplanması için web tabanlı hesaplama aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu hesaplama aracı temel olarak IWA, AWWA, IBNET ve SUEN tarafından önerilen göstergeleri hesaplayan dört farklı modülden oluşmaktadır. Bu modüllerde hesaplanmak istenen ana ve alt göstergeler kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. Böylece sadece verisi olan, uygun ve uygulanabilir göstergelerin hesaplanması mümkün olmaktadır. Ayrıca seçilen ana ve alt göstergelerin etki düzeyi (ağırlık katsayısı) eşit bir şekilde dağıtıldığı gibi kullanıcı tarafından her bir gösterge için ağırlık tanımlaması da yapılabilmektedir. Hesaplama modüllerinde veriler ve ağırlık katsayıları çarpılarak ağırlıklı toplam puanlar hesaplanmakta ve sistem için toplam performans indisi elde edilmektedir. Bu hesaplama aracının bu özellikleriyle, Su İdarelerinde karar vericiler ve teknik personeller için referans oluşturma potansiyelinin olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Su ve atık su yönetimi, performans değerlendirme, kıyaslama, hesaplama aracı

## Development of Web Based Computing Tools for Comparative Performance Analysis in Water and Sewerage Administration

### ABSTRACT

For long-term sustainable water and wastewater management, system components should be regularly monitored and performance analysis should be made. For this, it is very important to use measurable, appropriate and applicable indicators. In this study, a web-based analysis tool was developed to calculate the indicators used for performance analysis and comparison in terms of water and wastewater management in an accurate and systematic way. This analysis tool developed is basically composed of four different modules that calculate the indicators suggested by IWA, AWWA, IBNET and SUEN. The main and sub indicators to be calculated in these modules can be selected by the user. Thus, it is possible to calculate suitable and applicable indicators with only data. In addition, the effect level (weight coefficient) of the selected main and sub indicators can be determined equally, and the user can also define the weight for each indicator by the user. In the calculation modules, the weighted total scores are calculated by multiplying the data and the weight coefficients, and the total performance index for the system is obtained. With these features of this analysis tool, it is thought that it has the

potential to create a reference for decision makers and technical personnel in Water Administrations.

*Keywords: Water and wastewater management, performance evaluation, benchmarking, calculation tool*

## **I. GİRİŞ**

Cabrera vd. [1], “*performans kıyaslama; sistematik arama, izleme ve en iyi uygulamaların uyarlanması yoluyla performansın iyileştirilmesi için bir araçtır*” şeklinde değerlendirmektedir. Dağıtım sistemlerinde su ve atık su hizmetinin sürdürülebilir bir şekilde yapılması için sistem bileşenlerinin en uygun parametrelere göre düzenli bir şekilde izlenmesi esastır. Böylece süreç içinde zayıf ve güçlü yönlerin belirlenmesi, odaklanması gereken bileşenlerin belirlenmesi, yatırım önceliğinin ortaya konulması ve kaynak verimliliğinin sağlanması mümkün olmaktadır. Literatürde performans analizi ve kıyaslama amacıyla çok farklı kuruluşlar ve araştırmacılar tarafından oldukça fazla sayıda gösterge veya indisin önerildiği görülmektedir [2-8]. Bu performans değerlendirme sistemleri incelendiğinde, Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından önerilen ve 170 göstergeye sahip olan sistemin oldukça kapsamlı verilere gereksinim duyduğu görülmektedir [5]. Burada, “çok fazla sayıda gösterge ile analiz yapmak” ya da “sistemin veri durumuna göre, uygulanabilir ve verisi ölçülebilir en uygun göstergeleri seçmek ve kullanmak” arasında tercih yapılması gerekir [2,5]. Allegre vd. [2] göstergelerin seçimi, tanımlanması ve kullanılmasında, amaç ve kısıtların belirlenmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. Ayrıca yazarlara göre, bileşenler net bir şekilde tanımlanmalı, veriler ulaşılabilir, denetlenebilir, evrensel, basit, anlaşılır ve ölçülebilir olmalıdır. Sonuç olarak, uygulayıcıların genellikle verilerin toplanması ve ölçülmesi sırasında doğruluğu, kalitesi, güvenilirliği açısından detaylı bilgiye sahip olmadığı ve bunun da göstergelerin hesaplanmasında yeterli güvenilirliği sağlayamadığı ifade edilmiştir. Mutikanga vd. [9], gelişmekte olan ülkelerde su dağıtım sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde, literatürde önerilen performans değerlendirme sistemlerinin uygulanabilirliğinin oldukça zor olduğunu belirtmiştir. Çalışma sonunda, gelişmekte olan ülkelerde performans değerlendirme için mevcut göstergeler arasından uygun olanlarının belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Haider vd.[8] çalışmasında, su dağıtım sistemlerinin performansını değerlendirmede en uygun göstergelere karar vermek için mevcut performans göstergelerini değerlendirmiştir. Çalışmada, literatürde önerilen mevcut göstergelerin genellikle büyük su idareleri ve dağıtım sistemleri için uygun olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, teknik ve ekonomik alt yapıya sahip olmayan küçük ve orta büyüklükteki su idarelerinin performansının değerlendirilmesinde ve karşılaştırılmasında mevcut göstergelerin uygun olmayacağı ifade edilmiştir. Ganjidoost vd. [10] su ve atık su yönetiminde 10 yıldan fazla süredir oldukça fazla sayıda performans göstergesinin önerildiğini ve uzun dönemli su ve atık su yönetimi için uygun göstergelerin kullanılması gerektiğini vurgulamıştır. Su ve atık su yönetimi için, alt yapı, sosyo-politik ve finansal ana başlıklarında performans göstergeleri bir arada değerlendirilmiştir. Akimov ve Simshauser [11] atık su ve su hizmetlerinin sürdürülebilir ve yönetilebilir bir şekilde gerçekleştirilmesi için, İdareler için kapsamlı performans analiz, değerlendirme ve raporlama sisteminin kurulmasının oldukça kritik ve önemli olduğunu ifade etmiştir. Cetrulo vd. [12], literatürde gelişmiş ülkelerde su idarelerinin performansının kıyaslanması amacıyla birçok değerlendirme sisteminin önerildiğini ve gelişmekte olan ülkeler için uygulanabilir göstergelere ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır.

Literatürden de görüldüğü üzere, sistem performansının değerlendirilmesinde, sistemi temsil edecek en uygun göstergelerin seçilmesi, verilerin ölçülebilir, doğru ve güvenilir olması, sistemin gereksinimlerine, amaç ve hedeflerine uygun göstergelerin tanımlanması, geliştirilecek stratejinin ve

uygulanacak yöntemlere göre sistem performansının doğru göstergelerle izlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca bu kadar detaylı analizlerin belli bir sistematikte yapılması, düzenli olarak izlenmesi ve analiz edilmesi için uygun hesaplama araçlarının kullanılması gerekir. Bu nedenle bu çalışmada, su ve kanal idarelerinde su ve atık su yönetimi kapsamında kıyaslamalı performans analizinin doğru ve sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesi için web tabanlı kıyaslamalı performans analizi hesaplama aracının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu hesaplama aracı, IWA, Amerikan Su Birliği (AWWA), Uluslararası Su İdareleri Kıyaslama Ağı (IBNET) ve Türkiye Su Enstitüsü (SUEN) tarafından önerilen ve kullanılan performans göstergelerinin düzenli olarak hesaplanması, ağırlık katsayılarının tanımlanması, ağırlıklı puanlarının hesaplanması ve sistem için performans indisinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Ayrıca, sistemde ölçülebilir veri durumuna göre uygulanabilir ana ve alt göstergelerinin seçiminde ve bunlara ait ağırlık katsayılarının tanımlanmasında önemli esneklik sağlamaktadır. Bu araç ile aynı anda dört farklı kuruma ait göstergelerin hesaplanması, farklı gösterge gruplarına göre sistem performansının detaylı analiz edilmesi ve kıyaslanması mümkün olmaktadır.

## **II. KENTSEL SU YÖNETİMİ VE KIYASLAMALI PERFORMANS DEĞERLENDİRME**

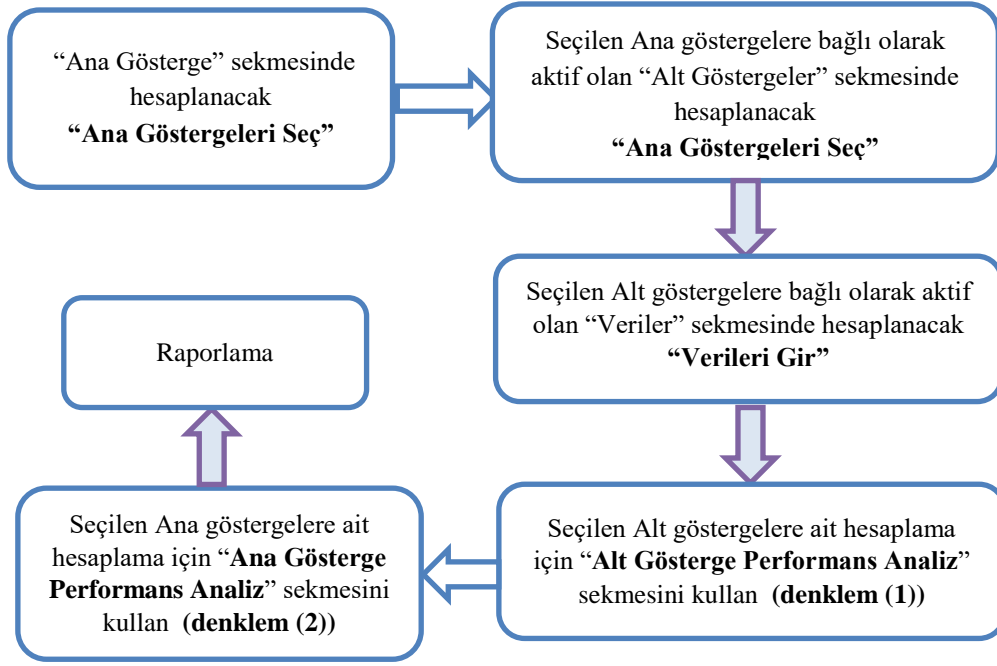
Kentsel su yönetiminde, yeterli miktarda ve kalitede suyun zamanında abonelere iletilmesi en temel prensip olmakla birlikte, atık suların çevreye zarar vermeden uzaklaştırılması ve arıtılması da oldukça önemlidir. Kentsel su ve atık su yönetimini, su kaynağı arayışı ve suyun üretilmesinden atık suların arıtılmasına kadar bir çevrim olarak düşünebiliriz. Bu çevrimin her aşamasında teknik, sosyal, çevresel ve ekonomik bileşenlerin göz önüne alınması oldukça önemlidir. Bu faaliyetlerin sürdürülebilir şekilde gerçekleştirilmesi için teknik, teknolojik ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanması gerekir. Örneğin, dağıtım sistemlerinde sızıntıların artmasına bağlı olarak mevcut kaynakların yetersiz kalması, yeni kaynak arayışının öne çekilmesine neden olmakta ve bunun sonucunda su ve enerji verimsizliği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca sızıntı oranının yüksek olması; sistemde arıza sayısının yüksek olması, şebeke işletme maliyetinin artması ve şebeke yönetiminde yenileme ya da lokal çözümlerden birinin tercih edilmesi gibi önemli sorunlara işaret etmektedir. Diğer taraftan, nüfusun artmasına bağlı olarak su tüketiminin arttığı sistemlerde, atık su toplama sistemlerinin ve mevcut arıtma tesislerinin kapasite yetersizliği ve yeni yatırım maliyetlerinin artması gibi önemli sorunların ortaya çıkması mümkündür. Bu nedenle, kentsel su yönetiminde tüm bileşenlerin bir bütünün parçası olduğu ve her bir parçanın diğer bileşenler üzerinde etkiye sahip olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bunu sağlamanın en temel yolu ise, sistemin sürekli olarak izlenmesi, en uygun göstergelere göre performans analizinin yapılması, zayıf ve güçlü yönlerinin belirlenmesi, öncelikli olarak odaklanması gereken bileşenlerin performans analizine göre belirlenmesi ve en önemlisi bu analizlerin sistematik bir şekilde yapılması gösterilebilir. Kentsel su ve atık su yönetiminde idarenin performansının analiz edilmesi ve izlenmesi amacıyla çeşitli kurumlar tarafından oldukça fazla sayıda gösterge önerildiği görülmektedir.

IWA sisteminde, su kaynakları (4), personel (26), servis kalitesi (34), işletme (44), fiziksel (15), ekonomik ve mali (47) gibi 6 alt başlıkta toplamda 170 gösterge bulunmaktadır [5]. Bu 170 göstergenin hesaplanması için 8 alt grupta toplam 232 veri kullanılmaktadır [5]. IBNET performans sisteminde, hizmet kapsamı (3), su tüketimi ve üretimi (11), gelir getirmeyen su (GGs) (3), ölçüm (2), şebeke performansı (1), servis kalitesi (5), faturalama ve tahsilat (20), varlıklar (1), finansal performans (2), süreç performansı (19), işletme maliyeti (12) ve uygun fiyat (1) olmak üzere 12 alt başlıkta toplam 80 gösterge önerilmiştir [13]. AWWA sisteminde, idari gelişim (11), müşteri ilişkileri (8), iş operasyonları (4) ve su operasyonları (8) başlıklarında toplam 31 gösterge önerilmiştir [14].

Ayrıca, Asya Dünya Bankası sisteminde, servis kalitesi ve çıktıları temel alan performans değerlendirme sistemi önerilmiştir [15]. Bu sistem, etki seviyesi (15) ve çıktı seviyesi (39) olmak üzere iki temel başlıktan oluşmaktadır. Allegre vd. [2] performans göstergelerinin net bir şekilde seçilmesi ve tanımlanması gerektiğini ayrıca verilerinin ölçülebilir ve izlenebilir olması gerektiğini ifade etmiştir. Literatürde bazı çalışmalarda, mevcut performans göstergelerinin oldukça karmaşık yapıya sahip olması nedeniyle teknik ve ekonomik alt yapısı yeterli sistemler için uygun olduğu ancak, teknik, personel ve ekonomik açıdan imkanları kısıtlı dağıtım sistemleri için uygulanabilir olmadığı vurgulanmıştır [6, 8, 9]. Ülkemizde, Türkiye Su Enstitüsü (SUEN), IWA ve diğer kuruluşlara tarafından önerilen ve genel olarak “su ve atık su yönetimi” değişkenlerini içeren göstergeleri kullanarak (133 gösterge) idarelerin yıllık faaliyetlerini izlemekte ve raporlamaktadır [16]. Burada yıllık raporlara göre idareler birbirlerine göre kıyaslanmakta ve değerlendirme yapılmaktadır. Bu hususta mevcutta önerilen veya kullanılan yaklaşımlarda verilerin idare tarafından tutulduğu ve doğru olduğu kabul edilmekte, yerinde inceleme ve değerlendirme yapılmadan performans göstergeleri hesaplanmaktadır. Ancak birçok idarede sistem giriş debisi, şebeke uzunluğu ve abone sayısı gibi en temel verilerin bile ölçülmediği/sağlıklı tutulmadığı göz önünde bulundurulursa mevcut performans değerlendirme yöntemlerinin uygulanabilirliği oldukça güç olmaktadır. Ayrıca, verilerin elde edilmesi ve sıklığı, güvenilirliği, teknik, ekonomik ve personel alt yapı durumuna bağlı olarak sistemden sisteme değişiklik göstermekte ve çoğu durumda aynı coğrafi bölgede yer alan sistemlerde bile performansın değerlendirilmesinde yeterli verilerin elde edilmesi mümkün olmamaktadır.

### **III. KIYASLAMALI PERFORMANS ANALİZİ İÇİN HESAPLAMA ARAÇLARININ GELİŞTİRİLMESİ**

Sistem performansının değerlendirilmesinde, en uygun göstergelerin seçilmesi, verilerin düzenli, doğru ve sistematik ölçülebilir olması, sistemin gereksinimlerine, amaca, hedeflere ve stratejiye uygun göstergelerin tanımlanması ve izlenmesi gerektiği vurgulanmıştır [2, 5]. Bu çalışmada kentsel su ve atık su yönetiminde su ve kanal idarelerinin performansının değerlendirilmesi, süreç performansının izlenmesi ve analiz edilmesi, zayıf ve güçlü yönlerinin ortaya konulması amacıyla çeşitli kurumlar tarafından önerilen performans göstergelerinin hesaplanması için geliştirilmiştir. Geliştirilen performans kıyaslama analiz modülleri temel olarak şu göstergeleri içermektedir: (i) IWA Performans Göstergeleri, (ii) IBNET performans göstergeleri, (iii) AWWA performans göstergeleri, (iv) SUEN performans göstergeleri. Hesaplama aracının genel olarak kullanım yapısı şu şekildedir (Şekil 1), (i) hesaplanacak ana gösterge seçimi (isteğe bağlı seçim), (ii) seçilen ana göstergeye bağlı alt göstergelerden hesaplanacak olanın seçimi, (iii) seçilen alt göstergelere göre aktif olan verilerin girilmesi, (iv) alt göstergeler için ağırlıklı puanların hesabı, (v) ana göstergeler için ağırlıklı puanların hesabı.



*Şekil 1. Performans analizi hesaplama aracı akış diyagramı*

Performans analizinde, gösterge hesabında kullanılacak veriler ve her bir değişken için ağırlık katsayısı olmak üzere iki önemli bileşenin doğru bir şekilde temin edilmesi ve tanımlanması gerekmektedir. Her bir modülde yer alan değişkenler için bu parametreler temin edildikten sonra, alt gösterge performans analizinin gerçekleştirilmesi için “her bir alt gösterge grubuna ait” ağırlıklı gösterge puanları denklem (1) kullanılarak hesaplanmaktadır. Ayrıca bu alt göstergenin ağırlık katsayıları ve denklem (1) yardımıyla hesaplanan puanlar dikkate alınarak sistem için ana gösterge performans analizi sonucunu veren “performans indisi” denklem (2) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$P_a = w_1 * D_1 + w_2 * D_2 + \dots w_n * D_n \quad (1)$$

$$PI = w_{a1} * P_{a1} + w_{a2} * P_{a2} + \dots w_{an} * P_{an} \quad (2)$$

Burada,  $P_a$ ; alt göstergeler için performans puanı,  $w_i$ ; alt gösterge gruplarında yer alan her bir gösterge için ağırlık katsayısı ( $i=1 \dots n$ ),  $PI$ ; sistem için performans indisi puanı,  $w_{ai}$ ; her bir alt gösterge grubuna ait ağırlık katsayısı ( $i=1 \dots n$ ) şeklinde ifade edilebilir. Geliştirilen hesaplama aracında her bir gösterge grubu için veri girişi ve gösterge alanları sade ve kullanışlı bir şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca seçilen ana gösterge grubuna göre sadece bağlantılı olduğu alt göstergeler aktif olmaktadır. Kullanıcı, alt göstergelerden hesaplamak istediğini seçebilmekte ve seçilen alt göstergelere bağlı veriler aktif olmaktadır. Böylece karmaşık bir yapı olmadan analiz imkânı sunulmaktadır. Kullanıcı ana ve alt gösterge gruplarında ağırlık katsayılarını eşit tanımlayabildiği gibi (gösterge sayısına göre dinamik değişmekte), farklı ağırlık katsayılarında (toplam 1 olacak şekilde) sisteme girilebilmektedir. Unutulmamalıdır ki, yapılan hesaplamaların doğru sonuç vermesi, verilerin sahadan, doğru ve sistematik olarak ölçülmesi ve en az tahmin verisinin kullanması ile mümkündür. Geliştirilen hesaplama aracına ulaşmak ve analiz yapmak için web sitesine (<https://sukayipyonetimi.com/Home/Login>) kayıt yapılması esastır.

## A. IWA PERFORMANS GÖSTERGE ANALİZ MODÜLÜ

Performans kıyaslama modülü kapsamında, IWA tarafından [5] önerilen performans göstergelerinin hesaplanması amacıyla IWA Performans Analiz modülü geliştirilmiştir. IWA tarafından, su temini sağlayan kurumların performansını değerlendirmek amacıyla önerilen sistemde, su kaynakları (4 gösterge), personel (26), servis kalitesi (34), işletme (44), fiziksel (15), finansal (47) gibi 6 alt başlıkta toplamda 170 gösterge bulunmaktadır [5]. Bu 170 adet performans göstergesinin hesaplanmasında temel olarak 6 alt grupta toplam 232 adet değişken kullanılmaktadır [5]. Hesaplama modülünde IWA ana göstergeleri ve bunların seçimi Şekil 2’de gösterilmiştir. IWA performans değerlendirme sisteminde su ve atık su hizmetleri kapsamında idarelerin performansının detaylı bir şekilde analiz edilmesi ve izlenmesi mümkün olmaktadır. Özellikle işletme verimliliği, su ve enerji verimliliği, su kayıpları, ekonomik analiz, arıza oranları, abone şikayetleri ve memnuniyeti, personel ve kapasite kullanımı çerçevesinde izlenmesi mümkün olmaktadır. Diğer taraftan bu kadar fazla sayıda göstergenin hesaplanması için sistemde oldukça fazla sayıda verinin sürekli ölçülmesi ve düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir. Özellikle küçük idarelerde veya teknik, ekonomik ve personel alt yapısı yetersiz idarelerde verilerin ölçülmesi ve izlenmesi mümkün olmamakta ve göstergelerin uygulanabilirliği azalmaktadır. Bu nedenle, IWA sisteminde, verisi ölçülebilir, amaca uygun ve gerekli olan göstergelerin seçilmesi analizin sürdürülebilir ve izlenebilir olması açısından oldukça önemlidir. Bu sistemde gerekli olan verilerin temin edilmesi ve düzenli izlenmesi için, iyi bir coğrafi bilgi sistemler alt yapısının olması, arıza ve abone yönetim sistemlerinin işlevsel olması oldukça önemlidir.

IWA Performans Ana Göstergeleri			
Gösterge Kodu	Gösterge Adı	Açıklama	<input type="checkbox"/> Onay
WR	Su Kaynağı	Bu gösterge su kaynağı verimliliği ile ilgili alt göstergeleri (4 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
PE	Personel	Bu gösterge personel verimliliği ile ilgili alt göstergeleri (26 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
PH	Fiziksel	Bu gösterge fiziksel elemanları ile ilgili alt göstergeleri (15 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
OP	İşletme	Bu gösterge sistem işletme bileşenleri ile ilgili alt göstergeleri (44 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
QS	Servis Kalitesi	Bu gösterge servis kalitesi ile ilgili alt göstergeleri (34 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
FI	Finansal	Bu gösterge finansal ve ekonomik durum ile ilgili alt göstergeleri (47 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>

IWA Performans Alt Göstergeleri Alanıdır.

Su Kaynağı (WR) Personel (PE) Fiziksel (PH) İşletme (OP) Servis Kalitesi (QS) Finansal (FI)

### WR(Su Kaynakları) ALT GÖSTERGELERİ

Alt Gösterge Kodu	Alt Gösterge Alt Grubu	Alt Gösterge Adı	Alt Gösterge Açıklaması	Alt Gösterge Hesaplama Formülü	Birim	Alt Gösterge Hesabında Kullanılan Veriler		Onay
						IWA Veri Kodu	IWA Veri Açıklama	
WR1	Su Kaynakları	Su Kaynakları veya Tüketim Verimsizliği	(Değerlendirme Süresince Fiziki Kayıp Hacmi / Değerlendirme Süresince Sistem Giriş Hacmi) x 100	$WR1=(A19/A3)*100$	%	A3,A19	A3: Sistem Giriş Hacmi A19: Fiziki Kayıp Hacmi	<input checked="" type="checkbox"/>
WR2	Su Kaynakları	Su Kaynaklarının Kullanılabilirliği	(Değerlendirme Süresince Sistem Giriş Hacmi X 365 / Değerlendirme Periyodu / (Öz Kaynakların Yıllık Üretim Kapasitesi + Müsaade edilen Yıllık diğer kaynak)) x 100	$WR2=(A3*365/H1)/(A1+A2)*100$	%	A1,A2,A3,H1	A1: Mevcut Kaynakların Yıllık Verim Kapasitesi A2: Yıllık Alınan Su Oranı A3: Sistem Giriş Hacmi H1: Değerlendirme Periyodu	<input checked="" type="checkbox"/>

Şekil 2. IWA Hesaplama modülü a) Ana göstergeler b) Alt göstergeler

Geliştirilen hesaplama modülünde gösterge seçimi ve analizi esnek bir yapıda olup kullanıcı hesaplamak istediği ana göstergeleri seçebilmektedir (Şekil 2). Seçilen ana göstergeye göre alt gösterge sayfasında ilgili alt göstergeler aktif olmaktadır. Yani kullanıcının tercihi göre seçimi yapılan ana göstergelerin bağlı olduğu alt göstergeler aktif olurken diğer alt göstergeler pasif olmaktadır. Ayrıca, kullanıcı aktif olan alt gösterge gruplarından hesaplamak istediğini seçebilmektedir. Bu alt göstergelerin seçimine bağlı olarak veri sayfasında sadece hesaplamada kullanılacak verilerin kullanıcı tarafından girilmesi gerekmektedir. Böylece, kurumda sadece verisi olan ana ve alt göstergelerin hesaplanması mümkün olmaktadır.

IWA Performans Alt Göstergeleri Veri Grupları

Not: Doğru veri gruplarına erişebilmek için lütfen alt göstergelerde etkileyecek alanları seçiniz.

A Grubu B Grubu C Grubu D Grubu E Grubu F Grubu G Grubu H Grubu

#### A Grubu Verileri İçermektedir

Veri Kodu	Veri Adı	Veri Açıklaması	Birim	Değer
A1	Mevcut Kaynakların Yıllık Verim Kapasitesi	Yasalar veya sözleşme kısıtlamalar göz önüne alınarak, mevcut kaynaklardan potansiyel olarak elde edilebilecek maksimum su hacmi	m3/yıl	100000000
A2	Yıllık Alınan Su Oranı	Ham ve işlenmiş olarak suyun maksimum oranı	m3/yıl	30000000
A3	Sistem Giriş Hacmi	Değerlendirme periyodu boyunca global sistemin su seviye girdisi	m3/yıl	100000000
A6	Üretilen Su Hacmi	Değerlendirme periyodu boyunca aynı tedarik alanından temin edilerek direkt olarak dağıtım sistemine veya su iletim hatlarına girdi yapabilmek için artılan su miktarı	m3/yıl	110000000
A19	Fiziki Kayıp Hacmi	*Değerlendirme periyodu boyunca basınç durumundaki sistemde, müşteri sayaçlarındaki ölçümler göz önüne alınarak tespit edilmiş toplam fiziksel su kayıp miktarı	m3/yıl	25000000

Şekil 3. IWA hesaplama modülünde veri girişi

Veri giriş ekranında karmaşıklığı azaltmak ve kullanıcı açısından kullanışlı bir yapı elde etmek için veriler IWA tarafından önerilen gruptandırma esas alınarak alt sekmeler halinde düzenlenmiştir. Kıyaslamalı performans analizinde ağırlıklı puanların hesaplanması için her bir göstergenin etki



seviyesini temsil eden gösterge ağırlık katsayılarının tanımlanması gerekir. Bu nedenle hesaplama modülünde gösterge ağırlık katsayılarının tanımlanmasında esnek bir yapı tasarlanmıştır. Bu yapıda ağırlık katsayı toplamı 1 olacak şekilde, seçilen ana veya alt gösterge sayısına göre katsayılar eşit dağıtılmaktadır (Şekil 4). Ayrıca literatürde yapılan çalışmalarda kıyaslamalı performans analizinde her bir göstergenin etki düzeyinin farklı olabileceği vurgulanmaktadır. Bu nedenle bu hesaplama modülünde kullanıcı tarafından göstergelere ağırlık katsayıları tanımlanabilmektedir. Bu durumda yine ağırlık katsayılarının toplamı 1 olmakta ve bu sınır aşıldığında sistem otomatik olarak uyarılmaktadır.

IWA Alt ve Ana Göstergelerin Performans Analizi Kısmıdır.

Alt Gösterge Analizi Ana Gösterge Analizi

Su Kaynağı (WR) Personel (PE) Fiziksel (PH) İşletme (OP) Servis Kalitesi (QS) Finansal (FI)

### WR(Su Kaynakları) ALT GÖSTERGELERİ

Alt Gösterge Kodu	Alt Gösterge Alt Grubu	Alt Gösterge Adı	Alt Gösterge Hesaplama Formülü	Birim	IWA Veri Kodu	Ağırlık Katsayısı	Gösterge Hesap Değeri	Ağırlıklı Gösterge Puanı
WR1	Su Kaynakları	Su Kaynakları veya Tüketim Verimsizliği	$WR1=(A19/A3)*100$	%	A3,A19	0.5000	25.00	12.50
WR2	Su Kaynakları	Su kaynaklarının Kullanılabilirliği	$WR2=(A3*365/H1*(A1+A2))*100$	%	A1, A2, A3, H1	0.5000	9.7087	4.8544
							<b>TOPLAM:</b>	<b>17.3544</b>

IWA Alt ve Ana Göstergelerin Performans Analizi Kısmıdır.

Alt Gösterge Analizi Ana Gösterge Analizi

Gösterge Kodu	Gösterge Adı	Açıklama	Ağırlık Katsayısı	Toplam Formül Sonucu	Ağırlıklı Puanı
WR	Su Kaynağı	Bu gösterge su kaynağı verimliliği ile ilgili alt göstergeleri (4 alt gösterge) içermektedir.	0.166	17.3544	2.893
PE	Personel	Bu gösterge personel verimliliği ile ilgili alt göstergeleri (26 alt gösterge) içermektedir.	0.166	10.4546	1.7428
PH	Fiziksel	Bu gösterge fiziksel elemanları ile ilgili alt göstergeleri (15 alt gösterge) içermektedir.	0.166	166.6667	27.7833
OP	İşletme	Bu gösterge sistem işletme bileşenleri ile ilgili alt göstergeleri (44 alt gösterge) içermektedir.	0.166	0.8333	0.1389
QS	Servis Kalitesi	Bu gösterge servis kalitesi ile ilgili alt göstergeleri (34 alt gösterge) içermektedir.	0.166	92.3077	15.3877
FI	Finansal	Bu gösterge finansal ve ekonomik durum ile ilgili alt göstergeleri (47 alt gösterge) içermektedir.	0.166	2.1429	0.3572
				<b>TOPLAM:</b>	<b>48.3029</b>

Şekil 4. IWA Hesaplama modülünde ana ve alt göstergelerin analizi

Hesaplama modülünde gösterge seçimine göre, gerekli veriler girildikten ve ağırlık katsayıları tanımlandıktan sonra her bir alt göstergeye ait ağırlıklı puan otomatik olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca alt gösterge analiz sayfasında her bir alt göstergenin ağırlıklı puanları toplanarak toplam puan elde edilmektedir. Tüm ana göstergelere ait alt göstergeler için bu hesaplamalar yapıldıktan sonra, ana gösterge analiz sekmesinde benzer hesaplamalar ana göstergeler için de yapılmaktadır. Alt gösterge grubuna ait toplam ağırlıklı puanlar ana gösterge sayfasına otomatik gelmektedir. Alt göstergelerde olduğu gibi ana göstergelerde de ağırlık katsayıları eşit olarak atanmakta veya kullanıcı tarafından her bir gösterge için ayrı ayrı girilebilmektedir. Bu ağırlıklar ve toplam ağırlıklı puanlar esas alınarak (çarpılarak) ana göstergeler için ağırlıklı puanlar hesaplanmaktadır. Ayrıca ana göstergelerin ağırlıklı

puanları toplanarak sistem için ağırlıklı performans indis puanı elde edilmektedir. IWA performans değerlendirme sisteminde 170 alt gösterge ve 232 değişkenin olduğu göz önüne alınırsa bu kadar fazla sayıda veriyi aynı anda elde etmek birçok durumda mümkün olmamaktadır. Bu nedenle geliştirilen bu modülde sadece düzenli, doğru ve sistematik bir şekilde ölçülebilen verilerin dikkate alınması ve buna bağlı göstergelerin hesaplanması idareler için önemli kolaylık sağlamaktadır.

## B. AWWA PERFORMANS GÖSTERGE ANALİZ MODÜLÜ

AWWA tarafından önerilen performans göstergelerinin hesaplanması amacıyla geliştirilen bu modülde, kurumsal gelişim (14), iş operasyonları (24), müşteri servisi (40), su operasyonları (20), atık su operasyonları (19) olmak üzere 5 alt başlıkta toplamda 117 alt gösterge bulunmaktadır. Bu 117 adet performans göstergesinin hesaplanmasında temel olarak 5 alt grupta toplam 116 adet değişken kullanılmaktadır (Şekil 5). IWA hesaplama modülünde anlatılan işletme adımlarının tamamı AWWA modülü için de geçerlidir. Bu modülde de kullanıcı tarafından ana ve alt göstergeler seçilmekte, buna göre gerekli veriler aktif olmakta, ağırlık katsayıları tanımlanmakta (eşit veya kullanıcı tarafından belirlenecek değerlerde) ve tüm göstergeler için ağırlıklı puanlar hesaplanmaktadır.

### BENCHMARKING AWWA PERFORMANS GÖSTERGELERİ OLUŞTURMA EKRANI

[Kullanıcı Rehberi](#) [AWWA Ana Göstergeler](#) [AWWA Alt Göstergeler](#) [AWWA Veriler](#) [Performans Analizi](#)

BAŞLANGIÇ TARİHİ: 01.01.2019  BITİŞ TARİHİ: 31.12.2019  TARİH ARALIĞI: 365 Gün

İl Seçin  Bölge Seçin

#### AWWA Performans Ana Göstergeleri

Gösterge Kodu	Gösterge Adı	Açıklama	<input type="checkbox"/> Onay
A	ORGANİZASYONEL GELİŞİM	Bu gösterge organizasyonel gelişim ile ilgili alt göstergeleri ( 14 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
B	İŞ OPERASYONLARI	Bu gösterge iş operasyonları ile ilgili alt göstergeleri (24 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
C	MÜŞTERİ SERVİSİ	Bu gösterge müşteri servisi ile ilgili alt göstergeleri (40 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
D	SU OPERASYONLARI	Bu gösterge su operasyonları ile ilgili alt göstergeleri (20 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
E	ATIKSU OPERASYONLARI	Bu gösterge atıksu operasyonları ile ilgili alt göstergeleri ( 19 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>

AWWA Performans Alt Göstergeleri alanıdır.

[Organizasyonel Gelişim \(A\)](#) [İş Operasyonları \(B\)](#) [Müşteri Servisi \(C\)](#) [Su Operasyonları \(D\)](#) [Atıksu Operasyonları \(E\)](#)

---

### BENCHMARKING AWWA PERFORMANS GÖSTERGELERİ OLUŞTURMA EKRANI

[Kullanıcı Rehberi](#) [AWWA Ana Göstergeler](#) [AWWA Alt Göstergeler](#) [AWWA Veriler](#) [Performans Analizi](#)

#### AWWA Performans Alt Göstergeleri Veri Grupları

Not: Doğru veri gruplarına erişebilmek için lütfen alt göstergelerde etkileyecek alanları seçiniz.

[OG Grubu](#) [IO Grubu](#) [MS Grubu](#) [SO Grubu](#) [AO Grubu](#)

AWWA Alt ve Ana Göstergelerin Performans Analizi Kısmıdır.

[Alt Gösterge Analizi](#) [Ana Gösterge Analizi](#)

[Organizasyonel Gelişim \(A\)](#) [İş Operasyonları \(B\)](#) [Müşteri Servisi \(C\)](#) [Su Operasyonları \(D\)](#) [Atıksu Operasyonları \(E\)](#)

Şekil 5. AWWA performans hesaplama modülü

AWWA performans değerlendirme sisteminde, personel, iş güvenliği, finansal yönetim, su ve atık su hizmet seviyesi ve sistem bakım-onarım çerçevesinde göstergelerin önerildiği görülmektedir. Bu sistemde özellikle arıza ve kayıp oranlarının analizi için göstergelerin sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle su ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesinde dikkate alınan temel göstergeler sınırlı sayıda ele alınmaktadır. Diğer taraftan IWA sisteminde olduğu gibi, tanımlanan göstergelerin hesaplanması için oldukça detaylı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum özellikle küçük idareler için uygulanabilir olmayan durum ortaya çıkarmaktadır. AWWA sisteminde göstergelerin düzenli bir şekilde analizi için çağrı merkezinin, abone ve faturalandırma sisteminin, yatırım izleme sisteminin işlevsel olması oldukça önemlidir.

## C. IBNET PERFORMANS GÖSTERGE ANALİZ MODÜLÜ

IBNET tarafından önerilen performans göstergelerinin hesaplanması amacıyla geliştirilen bu modülde, hizmet kapsamı (4 gösterge), su üretim ve tüketim verileri (11), gelir getirmeyen su (3), debimetreler (2), sistem performansı (2), işletim maliyeti ve personel durumu (17), hizmet kalitesi (8), faturalar ve tahsilatlar (27) ve finansal performans (5) olmak üzere 9 alt başlıkta toplamda 79 alt gösterge bulunmaktadır. Bu 79 adet performans göstergesinin hesaplanmasında temel olarak 83 adet değişken kullanılmaktadır (Şekil 6). IWA hesaplama modülünde anlatılan işletme adımlarının tamamı bu hesaplama modülü için de geçerlidir. Bu modülde de kullanıcı tarafından ana ve alt göstergeler seçilmekte, buna göre veriler aktif olmakta, ağırlık katsayıları tanımlanmakta ve tüm göstergeler için ağırlıklı puanlar hesaplanmaktadır.

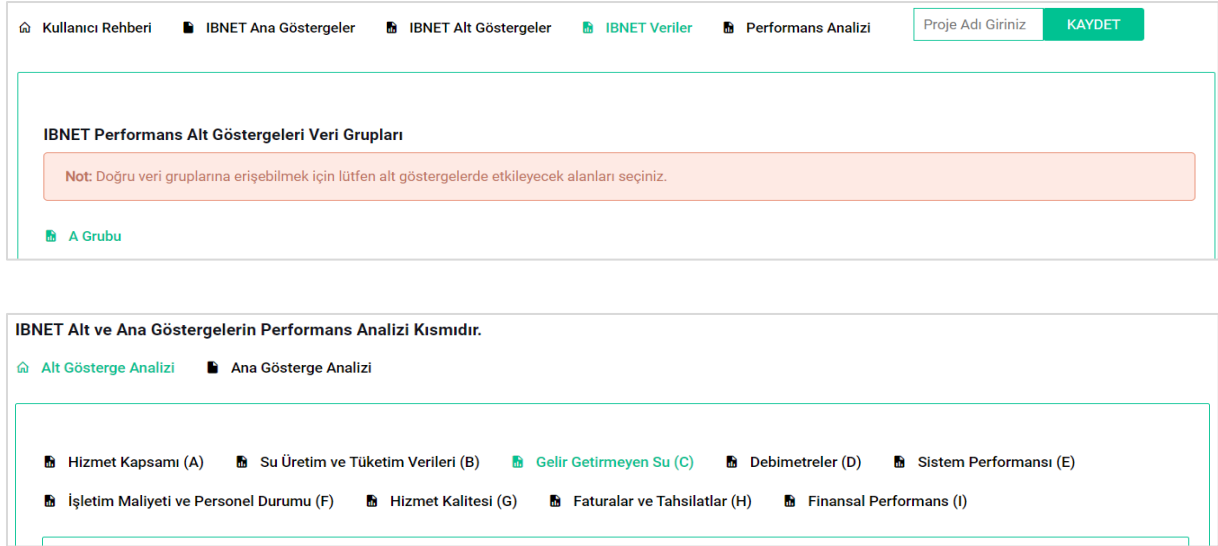
IBNET Performans Ana Göstergeleri			
Gösterge Kodu	Gösterge Adı	Açıklama	<input type="checkbox"/> Onay
A	Hizmet Kapsamı	Bu gösterge hizmet kapsamı ile ilgili alt göstergeleri (4 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
B	Su Üretim ve Tüketim Verileri	Bu gösterge su üretimi ve tüketimi ile ilgili alt göstergeleri (11 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
C	Gelir Getirmeyen Su	Bu gösterge gelir getirmeyen su ile ilgili alt göstergeleri (3 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
D	Debimetreler	Bu gösterge debimetre ile ilgili alt göstergeleri (2 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
E	Sistem Performansı	Bu gösterge sistem performansı ile ilgili alt göstergeleri (2 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
F	İşletim Maliyeti ve Personel Durumu	Bu gösterge işletme maliyeti ve personel durumu ile ilgili alt göstergeleri (17 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
G	Hizmet Kalitesi	Bu gösterge hizmet kalitesi ile ilgili alt göstergeleri (8 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
H	Faturalar ve Tahsilatlar	Bu gösterge faturalar ve tahsilatlar ile ilgili alt göstergeleri (27 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
I	Finansal Performans	Bu gösterge finansal performans ile ilgili alt göstergeleri (5 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>

[Kullanıcı Rehberi](#)
[IBNET Ana Göstergeler](#)
[IBNET Alt Göstergeler](#)
[IBNET Veriler](#)
[Performans Analizi](#)

**IBNET Performans Alt Göstergeleri alanıdır.**

Hizmet Kapsamı (A)
 Su Üretim ve Tüketim Verileri (B)
 Gelir Getirmeyen Su (C)
 Debimetreler (D)
 Sistem Performansı (E)

İşletim Maliyeti ve Personel Durumu (F)
 Hizmet Kalitesi (G)
 Faturalar ve Tahsilatlar (H)
 Finansal Performans (I)
 Süreç Göstergeleri



Şekil 6. IBNET performans hesaplama modülü

IBNET tarafından önerilen performans sisteminde, su tüketim verimliliğinin abone türü bazında analiz edildiği, gelir getirmeyen su oranının 3 gösterge esas alınarak izlendiği ve personel ile maliyet bileşenlerinin detaylı bir şekilde analiz edildiği görülmektedir. Ayrıca su ve atık su sistemlerinde, su kalitesi, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin detaylı bir şekilde izlenmesine imkân tanıyan çok sayıda gösterge önerilmiştir. Bu sistem incelendiğinde özellikle, su tüketimi ve verimliliği, su kalitesi, personel ve finansal verimlilik göstergelerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Ancak su kayıplarının izlenmesi, analiz edilmesi ve süreç içindeki değişimlere göre verimlilik analizi için gösterge sayısının sınırlı olduğu söylenebilir. Ayrıca bu sistemde tanımlanan göstergelerin hesabında kullanılan veriler incelendiğinde IWA ve AWWA sistemi ile ortak olan veriler olmakla birlikte diğer iki sisteme göre verilerin daha kolay toplanabilir nitelikte olduğu ifade edilebilir. Bu sistemde özellikle finansal ve personel verimliliği için iyi bir abone ve faturalandırma sisteminin olması gerekmektedir.

#### D. SUEN PERFORMANS GÖSTERGE ANALİZ MODÜLÜ

SUEN performans göstergelerinin hesaplanması amacıyla geliştirilen bu modülde, kurumsal (21), ekonomik finansal (25), müşteri hizmetleri (23), enerji verimliliği (12), içme suyu hizmetleri (39), kanalizasyon hizmetleri (29) ve çevresel (4) olmak üzere 7 alt başlıkta toplamda 133 alt gösterge bulunmaktadır. Bu 133 adet performans göstergesinin hesaplanmasında temel olarak 182 adet değişken kullanılmaktadır (Şekil 7). IWA hesaplama modülünde anlatılan işletme adımlarının tamamı bu hesaplama modülü için de geçerlidir. Bu modülde de kullanıcı tarafından ana ve alt göstergeler seçilmekte, buna göre veriler aktif olmakta, ağırlık katsayıları tanımlanmakta ve ağırlıklı puanlar hesaplanmaktadır.

Kullanıcı Rehberi
SUEN Ana Göstergeler
SUEN Alt Göstergeler
SUEN Veriler
Performans Analizi

Proje Adı Giriniz

KAYDET

BASLANGIÇ TARİHİ

BİTİŞ TARİHİ

TARİH ARALIĞI

 Gün

İl Seçin

Bölge Seçin

**SUEN Performans Ana Göstergeleri**

Gösterge Kodu	Gösterge Adı	Açıklama	<input type="checkbox"/> Onay
A	KURUMSAL	Bu gösterge hizmet kapsamı ile ilgili alt göstergeleri (21 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
B	EKONOMİK VE FİNANSAL	Bu gösterge hizmet kapsamı ile ilgili alt göstergeleri (25 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
C	MÜŞTERİ HİZMETLERİ	Bu gösterge hizmet kapsamı ile ilgili alt göstergeleri (23 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
D	ENERJİ VERİMLİLİĞİ	Bu gösterge hizmet kapsamı ile ilgili alt göstergeleri (12 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
E	İÇMESUYU HİZMETLERİ	Bu gösterge hizmet kapsamı ile ilgili alt göstergeleri (39 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
F	KANALİZASYON HİZMETLERİ	Bu gösterge hizmet kapsamı ile ilgili alt göstergeleri (29 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>
G	ÇEVRESEL	Bu gösterge hizmet kapsamı ile ilgili alt göstergeleri (4 alt gösterge) içermektedir.	<input type="checkbox"/>

Kullanıcı Rehberi
SUEN Ana Göstergeler
SUEN Alt Göstergeler
SUEN Veriler
Performans Analizi

Proje Adı Giriniz

KAYDET

**SUEN Performans Alt Göstergeleri alanıdır.**

KURUMSAL

EKONOMİK FİNANSAL

MÜŞTERİ HİZMETLERİ

ENERJİ VERİMLİLİĞİ

İÇMESUYU HİZMETLERİ

KANALİZASYON HİZMETLERİ

ÇEVRESEL

Kullanıcı Rehberi
SUEN Ana Göstergeler
SUEN Alt Göstergeler
SUEN Veriler
Performans Analizi

Proje Adı Giriniz

KAYDET

**SUEN Performans Alt Göstergeleri Veri Grupları**

Not: Doğru veri gruplarına erişebilmek için lütfen alt göstergelerde etkileyecek alanları seçiniz.

KB Grubu

KE - KF Grubu

KG Grubu

ISA - ISC Grubu

ISD - ISF - ISG Grubu

ASA - ASC Grubu

ASD - ASF Grubu

ASG - ASH Grubu

**SUEN Alt ve Ana Göstergelerin Performans Analizi Kısmıdır.**

Alt Gösterge Analizi
Ana Gösterge Analizi

KURUMSAL

EKONOMİK FİNANSAL

MÜŞTERİ HİZMETLERİ

ENERJİ VERİMLİLİĞİ

İÇMESUYU HİZMETLERİ

KANALİZASYON HİZMETLERİ

ÇEVRESEL

*Şekil 7. SUEN performans hesaplama modülü*

SUEN sistemi diğer kuruluşlar (IWA, AWWA ve IBNET) tarafından önerilen göstergeleri ve verileri kapsamaktadır. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi performans analizinde gösterge sayısının çok olmasından ziyade verisi ölçülebilir uygun göstergelerin kullanılması esastır. Bu nedenle SUEN sisteminin Ülkemiz koşullarında uygulanabilmesi için idarelerde verilerin düzenli bir şekilde ölçülmesi gerekir. Bu sistemde, personel ve iş kazası, yatırım ve işletme maliyetleri, içme suyu şebeke izleme-su kayıp değerlendirme, atık su hizmetlerinin izlenmesi gibi başlıkların ön plana çıktığı görülmektedir. SUEN sisteminde idarelerde bu göstergeler için gerekli olan verilerin düzenli tutulduğu kabul edilmekte ve her bir İdare için hesaplama yapılmaktadır.

Sonuç olarak, önceki bölümlerde detaylı bir şekilde verildiği gibi idarelerin performansının değerlendirilmesinde oldukça fazla sayıda gösterge önerilmiştir. Bu sistemlerde sadece göstergelerin

hesaplanması için gerekli veriler ve formüller önerilmiş olup alt gösterge gruplarında ve ana göstergeler için ağırlıklı puanlar hesaplanmamaktadır. Bu ağırlıklı puanların hesaplanmasında ağırlık katsayılarının tanımlanması ve bunun için uygun hesaplama aracının oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada geliştirilen hesaplama aracı, dört farklı kurum tarafından önerilen performans göstergelerinin belli bir sistematikte hesaplanmasını sağlamakta, göstergelerin seçilmesi ve ağırlıklarının belirlenmesinde esneklik/kolaylık sunmaktadır. Ayrıca her bir alt gösterge grubu ve sistem geneli için ağırlıklı performans puanları hesaplanacağından dolayı sistemin süreç içindeki performans değişiminin daha hassas izlenmesi mümkün olmaktadır. Böylece, dört farklı kuruluşa ait göstergelerin aynı anda hesaplanması ile karar vericiler ve teknik personel için farklı parametrelere göre kıyaslama altlığı sunulmaktadır. Örneğin, IWA sistemine ait veriler girildikten ve analiz yapıldıktan sonra diğer kuruluşlara ait göstergeler hesaplanmak istendiğinde ortak olan veriler otomatik olarak ekrana gelmektedir. Böylelikle ortak verilerin tekrar girilmesinin önüne geçilmekte, ortak veriler kullanılarak farklı göstergelerin hesaplanması sağlanmaktadır. Ayrıca dört farklı performans sistemi için aynı anda analiz yapılarak, farklı faaliyet başlıkları altındaki göstergeler ve veriler dikkate alınarak sistemin mevcut durumu izlenebilmekte ve süreç içinde değişimi analiz edilmektedir. Böylelikle su ve atık su hizmeti faaliyetlerinde verimlilik analizinin detaylı bir şekilde yapılmasına imkân tanınmaktadır. Sadece tek bir kuruma ait göstergelerin hesaplanması veya dikkate alınması durumunda idarenin faaliyet bileşenlerinin tamamının analiz edilememesi gibi olumsuzluklar ortadan kaldırılmış olacaktır. Örneğin, su kayıpları ve etkilerini içeren göstergelerin analiz edilmesi durumunda bu bileşenler için AWWA ve IBNET sistemlerinde gösterge sayısı sınırlı olmaktadır. Diğer taraftan IWA sisteminde sızıntılar, idari kayıplar ve arıza oranları daha detaylı ele alınmaktadır. Dolayısıyla su kayıp oranı performansının izlenmesinde bu hesaplama aracı ile her bir sistemdeki göstergelerin seçilmesi ve analiz edilmesi ile daha kapsamlı bir değerlendirme yapılacaktır.

Geliştirilen bu hesaplama modüllerinin su ve kanal idareleri için önemli katkılar sunacağı ve referans bilgi üreteceği düşünülmektedir. Hesaplama aracındaki göstergelerin saha verileriyle hesaplanması durumunda, sistemin mevcut durumu ortaya konulmakta, düşük performansa sahip ve iyileştirilmesi gereken faaliyet alanları tanımlanmaktadır. Böylelikle sistem verimliliğinin iyileştirilmesi için öncelikli olarak odaklanılması gereken bileşenler belirlenmiş olacaktır. Diğer taraftan sistem verimliliği üzerindeki etkili bileşenlerin iyileştirilmesi için uygulanan yöntemlerin etkisinin de analiz edilmesi ve izlenmesi mümkün olacaktır. Örneğin, yüzeye çıkan arızalar ve yüzeye çıkmayan sızıntılar için performans göstergelerinin hesaplandığı bir sistem düşünelim. Geliştirilen bu hesaplama aracı ile bu bileşenler için dört sistemde yer alan göstergeler hesaplanarak mevcut durumdaki oranlar, ekonomik etkiler, abone memnuniyeti ve şikâyetleri üzerindeki etkiler hesaplanmaktadır. Bu sistemde aktif kaçak kontrolü yaklaşımı ile yüzeye çıkmayan sızıntıların tespit edilip onarıldığı ve çağrı merkezi iyileştirilerek yüzeye çıkan arızalara müdahale süresinin kısaldığını düşünelim. Yapılan bu çalışmalar sonucunda yine göstergeler hesaplanarak, kayıp oranları, ekonomik ve sosyal etkileri izlenmektedir. Böylelikle yapılan çalışmaların işletme verimliliği üzerindeki etkisi izlenmekte ve idareler için önemli bilgiler sunmaktadır.

## **IV. SONUÇLAR**

Bu çalışmada, su ve kanal idarelerinde su ve atık su yönetimi kapsamında kıyaslamalı performans analizinin doğru ve sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesi için web tabanlı kıyaslamalı performans analizi hesaplama aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu hesaplama aracı, IWA, AWWA, IBNET ve SUEN tarafından önerilen performans göstergelerinin düzenli olarak hesaplanmasına imkân

tanılmaktadır. Farklı kuruluşlar tarafından önerilen performans değerlendirme sistemlerinde oldukça fazla sayıda gösterge yer almakta ve bunların hesabı için çok sayıda veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok kurumda bu verilerin düzenli olarak tutulmadığı veya teknik alt yapı eksikliğinden dolayı tutulamadığı göz önüne alınırsa, en uygun, uygulanabilir ve verisi ölçülen göstergelerin seçilmesi gerekir. Bu nedenle geliştirilen bu hesaplama modüllerinde, kurumda verisi ölçülebilen ve uygulanabilir ana ve alt göstergelerin seçilmesi ve hesaplanması mümkün olmaktadır. Ayrıca kurumun performans indisinin hesaplanması için her bir göstergeye ait ağırlık katsayısının tanımlanması gerekir. Geliştirilen bu hesaplama modüllerinde, seçilen gösterge sayısına göre ağırlık katsayıları eşit atanmakta veya kullanıcı tarafından her bir gösterge ağırlığı belirlenebilmektedir. Sonuç olarak, kıyaslamalı performans analizinin belli bir sistemle gerçekleştirilmesi amacıyla geliştirilen bu hesaplama modülü aşağıdaki özellikleriyle önemli avantajlar sağlamaktadır; (i) farklı kuruluşlar tarafından önerilen göstergelerin aynı anda hesaplanabilir olması, (ii) kullanıcı tarafından ana ve alt gösterge seçiminin yapılabilir olması, (iii) sadece verisi olan göstergelerin hesaplanmasına imkan tanınması, (iv) ana ve alt gösterge ağırlıklarının eşit veya kullanıcı tarafından tanımlanabilir olması, (v) hiyerarşik yapıya göre sistem için genel performans indisinin (ağırlıklı ana gösterge puan toplamı) hesaplanması. Bu hesaplama aracının bu özellikleriyle, su idarelerinde karar vericiler ve teknik personeller için referans oluşturma potansiyelinin olduğu düşünülmektedir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, (İÜ-BAP FOA-2018-626) tarafından desteklenmiştir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1]. E. Cabrera, P. Dane, S. Haskins, H. Theuretzbacher-Fritz, "Benchmarking Water Services: Guiding water utilities to excellence. IWA publishing. ISBN. 9781843391982. pp.186, 2011.
- [2]. H. Alegre, W. Hirnir, J. Baptista, R. Parena, "Performance Indicators for Water Supply Services". Second Edition. ISBN 9781843390510. pp312., 2006.
- [3]. R. Liemberger, K. Brothers, A. Lambert A, "Water Loss Performance Indicators", *Water 21*, pp.148–160, 2007.
- [4]. C. Van den Berg, A. Danilenko, "The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Blue Book". The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Washington, pp.176, 2011.
- [5]. H. Alegre, J. Baptista, E. Cabrera, "Performance Indicators for Water Supply Services: Second Edition". IWA Publishing. London, pp.310, 2012.
- [6]. V.R. Shinde, N. Hirayama, A. Mugita, S. Itoh, "Revising the existing Performance Indicator system for small water supply utilities in Japan", *Urban Water Journal*, vol. 10, no. 6, pp. 377-393, 2013.
- [7]. G. Orasanin, D. Ristic, D. Vlaski, B. Vucijak, "Development of methodology for evaluation and real water loss reduction in water supply systems in transition countries", *Tehnika*. vol. 69, pp. 167-174, 2014.

- [8]. H. Haider, R. Sadiq, S. Tesfamariam, “Selecting performance indicators for small and medium sized water utilities: Multi-criteria analysis using ELECTRE method”, *Urban Water Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 305-327, 2015.
- [9]. H. Mutikanga, S. Sharma, K. Vairavamoorthy, E. Cabrera, “Using performance indicators as a water loss management tool in developing countries”, *Journal of Water Supply: Research and Technology*, pp. 471-481, 2010.
- [10]. A. Ganjidoost, M.A. Knight, A. Unger, C. Haas, “Benchmark Performance Indicators for Utility Water and Wastewater Pipelines Infrastructure”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 144, no. 3, pp. 04018003, 2018.
- [11]. A. Akimov, P. Simhauser, “Performance measurement in Australian water utilities. Current state and future directions”, *Australian Journal of Public Administration*. vol.78, no 1, pp. 111-142, 2020.
- [12]. T.B. Cetrulo, D.F.C. Ferreira, R.C. Marques, T.F. Malheiros, “Water utilities performance analysis in developing countries: On an adequate model for universal access”, *Journal of Environmental Management*, vol.268, 110662, 2020.
- [13]. C. Van den Berg, A. Danilenko. “The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Blue Book: The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook”. *World Bank Publications; Illustrated edition (December 23, 2010)*. pp. 172.
- [14]. “AWWA Utility Benchmarking: Performance Management for Water and Wastewater 2019”. *American Water Works Association*, pp.136, 2019.
- [15]. “Data Book of Southeast Asian Water Utilities 2005”. *Asian Development Bank*. pp. 149, 2007.
- [16]. “Büyükşehir Su ve Kanalizasyon İdareleri arasında MUKAYESELİ DEĞERLENDİRME ÇALIŞMASI”. *Türkiye Su Enstitüsü*. 40s. 2019.





# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Benzetilmiş Tavlama Algoritması ile Fazör Ölçüm Birimlerinin Optimal Yerleşimi

 Emre ŞIK<sup>a,\*</sup>,  Salih TOSUN<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: emresk.3817@gmail.com.tr

DOI: 10.29130/dubited.847805

### ÖZET

Gelişen teknoloji ve artan nüfus ile birlikte elektrik enerjisine olan ihtiyaç ve talep her geçen gün artmaktadır. Enerji talebindeki artış güç sistemlerini kararlılık sınırlarına yakın bölgelerde çalışmaya zorlamaktadır. Bu durum güç sistemlerinde gerilim kararsızlığı ve gerilim çökmesi gibi sonuçlar doğurmaktadır. Güç sistemlerinin kararlılık durumunun gerçek zamanlı olarak takip edilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu sebeple güç sistemlerinin izlenebilirliği ve kontrolünü sağlayan sistemlere duyulan ihtiyaç da artmıştır. Fazör Ölçüm Birimi (FÖB) bu sistemlerden birisidir. FÖB'ler Global Positioning System (GPS) yardımıyla gerilim, akım ve faz açısının anlık olarak takip edilmesine imkan sağlamaktadır. Ancak maliyet kısıtı nedeniyle FÖB'ler iletim hatlarında tüm baralara yerleştirilememektedirler. Bu yüzden FÖB'leri şebekeye maksimum gözlenebilirliği sağlayacak optimal bir şekilde yerleştirmek önem arz etmektedir. Optimal yerleşim için literatürde pek çok yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada Benzetilmiş Tavlama Algoritması kullanılarak Enterkonnekte güç sisteminin bir kısmı olan Trakya Güç Sistemi'ne optimal FÖB yerleşimi yapılmıştır. Benzetilmiş Tavlama Algoritması ile elde edilen sonuçlar, Power System Analysis Toolbox (PSAT) programı ile FÖB yerleşim algoritmalarından çıkan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile sistemin tamamını anlık olarak takip edebilmek için kullanılan FÖB'lerin, Trakya Güç Sistemi'nde hangi baralara yerleştirilmesi gerektiği tespit edilmiş ve optimal yerleşim gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güç Sistemi, Fazör Ölçüm Birimi, Optimal FÖB Yerleşimi, Benzetilmiş Tavlama Algoritması.

## Optimal Placement of Phasor Measurement Units with Simulated Annealing Algorithm

### ABSTRACT

With the developing technology and increasing population, the need and demand for electrical energy is increasing day by day. The increase in energy demand, forces power systems to operate in regions close to stability limits. This situation gives results such as voltage instability and voltage collapse in power system. It is critical to monitor the stability of power systems in real time. For this reason, the need for systems that provide traceability and control of power systems has increased. Phasor Measurement Unit (PMU) is one of these systems. The PMUs provides to instantly monitor voltage, current and phase angle with the help of Global Positioning System (GPS). However, due to cost constraints, PMUs cannot be placed in all busbars in transmission lines. Therefore, it is important to place the PMUs in the grid in an optimal way to ensure maximum observability. Many methods are used in the literature for optimal placement. In this study, the optimal PMU placement was made on the Trakya Power System by using the Simulated Annealing Algorithm. The obtained results have been compared with the results obtained from the PMU placement algorithms in the Power System Analysis Toolbox (PSAT) program. With this study, the PMUs which are used to monitor the entire system momentarily, have been optimally placed in the Trakya Power System.

## **I. GİRİŞ**

Elektrik enerjisi günümüzde her alanda ve her anda kullanılan vazgeçilmez ihtiyaçlardan birisidir. Tüketicilere kesintisiz bir şekilde elektrik enerjisi aktarmak için yeni şebekeler devreye alınmakta ve alternatif enerji kaynakları aranmaktadır. Mevcut şebekeler de ihtiyacı karşılayabilmek için kararlılık sınırlarına yakın bölgelerde çalışmaktadırlar. Bu sebeple güç sistemlerinin anlık olarak takip edilmesi gerekmektedir.

Elektrik kontrol merkezleri güç sistemlerini izlemek için durum kestirimini kullanır. Durum kestirimi farklı trafo merkezlerinden alınan ölçümleri kullanarak güç sisteminin durumunu ortaya koyar [1]. Geniş alan ölçümleri uzun yıllardır güç sistemi operasyonlarının ayrılmaz bir parçası olmuştur. Uzak bağlantı hatları ve generatör çıkış güçleri üzerindeki güç akışlarını, gerçek zamanlı sağlayarak kontrol sistemlerinde kullanılmışlardır [2]. Yakın zamana kadar bu ölçümler trafo merkezlerinde kurulu olan uzak terminal birimlerinden (RTU) gerçek zamanlı ölçümleri toplayan denetleyici kontrol ve veri toplama (SCADA) sistemi aracılığıyla elde edilmekteydi [3]. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte Fazör Ölçüm Birimi (FÖB) gibi daha yeni sistemler kullanılmaya başlanmıştır.

Senkronize fazör ölçümleri (SPM), güç sistemini çalıştırmak, korumak ve kontrol etmek için verimli bir araç olarak tanımlanmaktadır. FÖB, küresel konumlandırma sistemi (GPS) ile senkronize edilmiş bir şekilde bağlandıkları baranın voltaj ve akım fazörlerinin senkronize ölçümlerini sağlamak ve geniş alan izleme sistemlerine uygulanmaları için 1990'larda tanıtılmıştır. FÖB'lerin ortaya çıkışı ölçümleri birkaç milisaniyede almayı mümkün kılmıştır. FÖB ölçümlerine dayalı bir durum tahmini, sistemin durumlarını saniyeden kısa bir sürede güncelleyebilmektedir. FÖB ölçümleri geleneksel SCADA ölçümlerinden daha doğru sonuç sağlamaktadır. FÖB'lerin ölçüm raporlama hızı 50 Hz sistemler için saniyede 50, 60 Hz sistemler için ise saniyede 60 defadır. Bu da SCADA ölçümlerinin raporlama hızından çok daha yüksektir [4-6].

Günümüzde FÖB teknolojisinden tam olarak yararlanılmış olmasa da kullanıldığı sistemler ve prototiplerde oldukça iyi sonuçlar verdiği ve güç sistemleri kontrolü için önemli bir bileşen olduğu görülmüştür [7].

Sistemin tam gözlenebilirliğini sağlayabilmek için teorik olarak güç sisteminin tüm baralarına FÖB yerleştirmek çözüm sağlayacaktır. Ancak FÖB'lerin yüksek maliyetleri nedeniyle güç sisteminin tamamına yerleştirilmesi maliyeti önemli ölçüde artırmaktadır. Bu sebeple FÖB'lerin sisteme optimal yerleştirilmesi gündeme gelmektedir. Literatürde kullanılan optimal FÖB yerleşim teknikleri FÖB sayısını en aza indirmek için önerilmiştir [8-9].

Literatürde FÖB'lerin optimal yerleşimi için matematiksel ve sezgisel yöntemler başlığı altında pek çok yöntem mevcuttur. Bunları inceleyecek olursak, Sodhi vd. FÖB'lerin optimal yerleşimi için sayısal gözlenebilirlik analizi ve topolojik gözlenebilirliğe dayalı iki aşamalı bir yöntem önermişlerdir [10]. Chakrabarti vd. Tamsayı Karesel Programlama Tekniği önererek IEEE test sistemlerinde optimal FÖB yerleşimleri gerçekleştirmişlerdir [11]. Marin vd. Genetik Algoritma tabanlı bir prosedür geliştirmişlerdir. Bu yöntem ile minimum sayıda FÖB kullanılması için ölçülmesi gereken fazör sayıları ilişkilendirilmiştir [12]. Haijan vd. tam gözlenebilirlik için Parçacık Sürü Optimizasyonu'na yeni bir yaklaşım getirerek İkili Parçacık Sürü Optimizasyonu önermişler ve IEEE test sistemlerinde elde ettikleri sonuçları literatürdeki çalışmalarla karşılaştırmışlardır [13]. Al-Mohammed vd. ve Peng vd. Diferansiyel Evrim Algoritması'nı baz alarak optimal FÖB yerleştirmesini gerçekleştirmişlerdir [14-15]. Abdelsalam vd. güç kayıplarını azaltmak için 33 baradan oluşan bir dağıtım sistemini Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile yeniden yapılandırarak, aynı sisteme Açgözlü Algoritması ile optimal

FÖB yerleşimi gerçekleştirmişlerdir [16]. Mandava vd. Ağaç Arama Tekniği ve Yayılan Ağaç Yaklaşımı ile 14 ve 30 baralılık sistemlerde FÖB'lerin optimal yerleşimini gerçekleştirmişlerdir [17]. Almunif vd. karma tamsayı doğrusal programlama ve doğrusal olmayan programlama olarak iki matematiksel programlama formülasyonu önererek IEEE test sistemleri ve Polonya Güç Sistemi üzerinde optimal FÖB yerleşimi gerçekleştirmişlerdir [18]. Johnson vd. ise FÖB'lerin optimal yerleştirilme üzerine kapsamlı bir literatür incelemesi gerçekleştirmişlerdir [19].

Bu çalışmada öncelikle kullanılan algoritma IEEE'nin 14 ve 30 baralılık test sistemlerinde denenmiş, sonrasında 89 baradan oluşan Trakya İletim Sistemi'nde Benzetilmiş Tavlama Algoritması kullanılarak optimal FÖB yerleşimi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar PSAT'ta bulunan FÖB yerleşim algoritmalarından çıkan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla, sistemin tamamını gözlemleyebilmek için FÖB'lerin yerleştirilmesi gereken baralar belirlenmiştir.

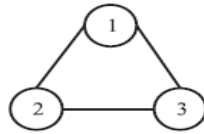
## **II. MATERYAL METOT**

### **A. FAZÖR ÖLÇÜM BİRİMİ YERLEŞTİRME KURALLARI**

FÖB'ler güç sistemlerinin gerilim ve akım fazörlerini ölçerek gözlenebilirliğini sağlamak amacıyla şebekeye yerleştirilen cihazlardır. Elektrik güç sisteminde, düğüm voltajı doğrudan ölçülebiliyorsa veya diğer voltaj fazörü ve akım fazörü ile hesaplanabiliyorsa, düğüm gözlemlenebilir denir. Şebeke gözlenebilirlik analizi için Sayısal Yöntem ve Topolojik Yöntem olmak üzere iki metot vardır [20].

FÖB bağlı olduğu baranın akım ve voltaj fazörlerini ölçme yeteneğine sahip olduğundan, komşu baraların gerilim ve akım fazörleri, Ohm Kanunu ve Kirşof Akım Yasası yardımıyla elde edilebilir. Bu bir kural dizisi olarak sıralanırsa;

- Kural 1: FÖB bağlı olan baranın gerilim fazörü ve tüm dal akımları bilinir.
- Kural 2: FÖB'ün yerleştirildiği baranın tüm komşu baralarının gerilimi Ohm Kanunu sayesinde hesaplanabilir.
- Kural 3: Bir dalın her iki ucundaki gerilim değeri biliniyorsa, dal akımı Ohm Kanunu kullanılarak hesaplanabilir.
- Kural 4: Bir düğüm noktasında akımı bilinmeyen dalın akım değeri Kirşof Akım Kanunu'yla hesaplanabilir.



*Şekil 1. Fazör ölçüm birimi yerleştirme kuralları*

Belirtilen kurallar Şekil 1. üzerinden incelenirse;

Şekil 1'de 1. baraya FÖB yerleştirildiğinde Kural 1'e göre 1. baranın gerilimi, 1-2 ve 1-3 hatları arasındaki akımlar elde edilir. Kural 2'ye göre 2. ve 3. baranın gerilimi bilinir. Kural 3'e göre gerilim değeri bilinen 2 baranın hat akımı hesaplanabilir [21, 22].

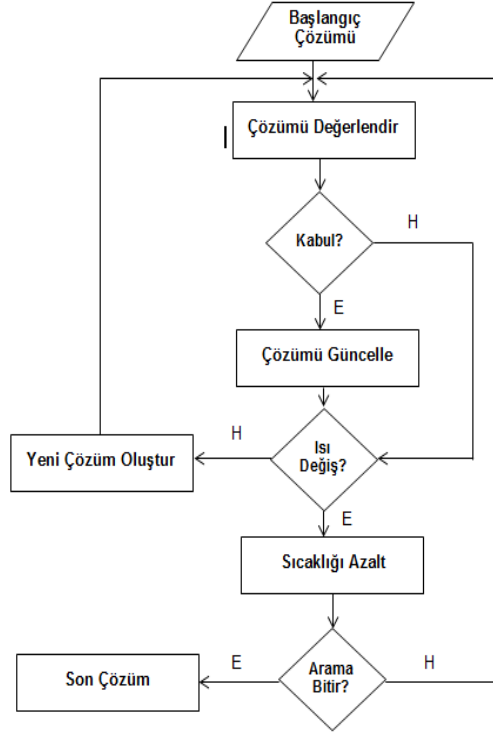
### **B. BENZETİLMİŞ TAVLAMA ALGORİTMASI**

1980'lerde Kirkpatrick vd. kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin maliyet fonksiyonunu en aza indirmek ile katının düşük enerjili temel duruma ulaşana kadar yavaş yavaş soğutulması arasında bir benzerlik olduğunu bularak yeni bir teknik geliştirmişlerdir. Bu tekniğe de benzetilmiş tavlama algoritması adını vermişlerdir. Bu algoritma metallerin tavlama işlemine benzediğinden bu adı

almıştır. Diğer sezgisel algoritmalar gibi en iyi çözümü en kısa sürede elde etmeyi amaç edinir. Benzetilmiş tavlama algoritması uygulandıkları mühendislik çözümlerinde başarılı sonuçlar vermiştir [23].

Benzetilmiş tavlama algoritması, yerel arama algoritmalarının yerel minimuma ulaştıktan sonra algoritmayı sonlandırıp global minimumu aramamasından kaynaklanan eksikliği gidermek için önerilmiş bir algoritmadır. Benzetilmiş tavlama bir noktada diğer yerel arama algoritmalarından ayrılır. Bu fark yerel minimum veya maksimumu bulduktan sonra mevcut çözümden daha iyi bir global minimum ve maksimumu aramasıdır.

Benzetilmiş tavlama algoritmasının akış şeması Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Benzetilmiş tavlama algoritması akış şeması

Benzetilmiş tavlama algoritmaları bir başlangıç çözümünün seçilmesi ve amaç fonksiyonunun hesaplanması ile başlar. Yeni veya komşu bir çözüm rastgele oluşturulur ve amaç fonksiyonu tekrar hesaplanır. Amaç fonksiyonundaki değişim değerlendirilir. Bu prosedür durdurma kriterine gelinceye kadar devam eder.

Temel bir benzetilmiş tavlama algoritmasının adımları aşağıda verilmiştir [24].

Bir başlangıç çözümü oluştur,  $s_0$ .

Bir başlangıç sıcaklığı oluştur,  $T_0$ .

$$T_0 > 0 \quad (1)$$

Rastgele bir komşu çözüm seç.

$$s \in N(s_0) \quad (2)$$

Amaç fonksiyonun değerindeki farkı hesapla.

$$\Delta = C(s) - C(s_0)' \quad (3)$$

Eğer;

$$\Delta > 0 \rightarrow s = s_0 \quad (4)$$

$s_0$  çözümü  $s$ 'ten daha iyi ise yeni çözüm olarak ata. Aksi takdirde mevcut çözümü kullan. Sıcaklığı güncelle. Sonuçları değerlendir. Durdurma kriteri sağlanana dek işleme devam et. Kriter sağlandığında elde edilen sonucu son çözüm olarak kullan.

### B.1. Benzetilmiş Tavlama Algoritmasının Optimal FÖB Yerleşimine Uygulanması

Benzetilmiş tavlama algoritmasının optimal FÖB yerleşimine uygulanması ilk olarak Baldwin vd. tarafından önerilmiş ve uygulanmıştır. Çalışmada minimum FÖB için hem modifiye edilmiş ikiye bölme metodu hem de benzetilmiş tavlama tabanlı bir yöntem kullanan ikili arama algoritması kullanılmıştır [25].

Bu yöntem sırasıyla sistemi gözlemlenebilir ve gözlemlenemez yapan FÖB'lerin sayısından oluşan üst ve alt limitlere sahip bir dizi arama aralığını dikkate alır. Her aralıkta yeni bir üst veya alt limit olmaya aday olarak bir nokta seçilir. Başlangıç alt limit  $\mathcal{V}_l$ , ilk başlangıç değeri  $\mathcal{V}_{init}$ , başlangıç üst limiti  $\mathcal{V}_u$  olarak tanımlanmıştır. Başlangıç alt sınırı "0" olarak belirlenmiştir.  $\mathcal{V}_{min}$  değerini bulmak için daha hızlı yöntem olarak  $\mathcal{V}_l$ 'nin "0" olduğu aralık için orta noktayı seçmek yerine 0.85  $\mathcal{V}_u$  değeri kullanılır.

Önerilen yöntem 6 adımdan oluşmakta ve 4. adımdan itibaren benzetilmiş tavlama algoritması süreci başlamaktadır. Önerilen yöntem bir E amaç fonksiyonun tanımlanıp minimize edilmesini, FÖB yerleşimi sağlayan rastgele üretici ve monoton olarak azalan T fonksiyonun tanımını gerektirir. Enerjiye benzer olan amaç fonksiyonu E, gözlenmeyen bara sayısı olan  $\phi$  (S) fonksiyonu olarak seçilmiştir. Fonksiyon,  $\mathcal{V}_{test}$  boyutundaki FÖB yerleştirme setlerinin arama alanı üzerinde minimize edilmiştir. Arama alanı, komşu setler arasından bir sonraki yerleştirme setini keyfi olarak seçen rastgele üreteç fonksiyonu kullanılarak sıralı olarak araştırılır. Bu sıra, kristal malzemelerin tavlama sürecindeki atomik hareketine benzer. Her bir yerleştirme seti, gözlemlenemeyen baraların sayısında bir azalma olup olmadığını belirlemek için önceki setle karşılaştırılır. Azalma varsa yeni yerleşim grubu eskisinin yerini alır. Aksi takdirde yeni yerleştirme seti soğutma sıcaklığına benzer bir fonksiyon olan T tarafından kontrol edilen olasılık fonksiyonuna göre eski setin yerini alacaktır.

Baldwin vd. yayınladıkları çalışmada benzetilmiş tavlama algoritmasını optimal FÖB yerleşimine uyarlayan bir kod parçacığı paylaşmışlardır. Kod Şekil 3'te paylaşılmış ve açıklanmıştır.

### Benzetilmiş Tavlama Araması

- 1) Fonksiyon Benzetilmiş Tavlama()
- 2) Giriş=  $\mathcal{V}_{test}$ , M
- 3) Çıkış= Yeni yerleşim, Sonuç yok
- 4) E = Yerleştirme uygulandığında gözlemlenemeyen bara sayısı
- 5) T=15
- 6) M = 0.002 x Bir seferde  $\mathcal{V}_{test}$ 'ten alınan PMU yerleştirme kombinasyonlarının sayısı
- 7) for i=1 to 40
- 8)     başla
- 9)         for j=1 to M
- 10)             başla
- 11)                 FÖB'ü rastgele bir baraya yerleştirin
- 12)                 Seçilen FÖB'ün bara konumunu kaydedin
- 13)                 FÖB olmayan rastgele bir bara seçin
- 14)                 FÖB'ü yeni baraya taşıyın
- 15)                 Değiştirilen yerleşimi değerlendirin
- 16)                  $E_{yeni}$  = Yeni yerleşim uygulandığında gözlemlenemeyen bara sayısı
- 17)                 Eğer  $E_{yeni} = 0$ 'sa Daha az PMU ile tüm sistemin gözlemlenebilirliğini sağlayacak daha etkili bir yerleşim bulun.
- 18)                  $\Delta E = E_{yeni} - E$
- 19)                 Eğer  $\Delta E > 0$ 'sa
- 20)                     başla
- 21)                          $\exp(-\Delta E/T)$  fonksiyonu ile rastgele bir kabul / red değeri üret
- 22)                         Eğer ret ise seçili FÖB'ü önceki barasına döndür
- 23)                     son
- 24)                 son
- 25)                 T= 0.879xT (Tavlama işlemi)
- 26)     son

**Şekil 3.** Benzetilmiş tavlama algoritması için kullanılan kod parçacığı

Algoritma grafik teorik prosedür tarafından bulunan belirli FÖB yerleştirme setinden başlayarak,  $\mathcal{V}_{test}$  FÖB yerleşimleri rastgele seçilir. Yeni yerleşim seçimi mevcut yerleştirme setinden rastgele bir FÖB seçilerek ve rastgele seçilen yeni bir baraya taşınarak bulunur. Daha sonra, hedef fonksiyon E yeni yerleştirme seti için yeniden değerlendirilir. Yeni FÖB yerleştirme setinin kabul edilip edilmeyeceğine ilişkin karar,  $\Delta E$  amaç fonksiyonunun artan değişikliğine ve T'nin değerine dayanmaktadır.  $\Delta E$  negatif olduğunda yeni yerleşim otomatik olarak kabul edilir. Aksi takdirde, T'nin kontrol sıcaklığı olduğu modifiye Boltzmann fonksiyonu tarafından verilen olasılıkla kabul edilir. Belirli bir sıcaklık değerlerinde birkaç adım denendikten sonra, sıcaklık (T) düşürülür ve ardından yeni bir dizi adım denenir. Benzetilmiş tavlama algoritmasının herhangi bir uygulamasında, belirli bir sıcaklıktaki adım sayısının nasıl düzenleneceği, sıcaklığın nasıl azaltılacağı ve ne zaman durdurulacağını belirlenmelidir.

$$P(\Delta E) = e^{(-\Delta E/T)} \quad (5)$$

Belirli bir sıcaklıkta değerlendirilen FÖB yerleştirme setlerinin sayısı M'dir ve arama alanının boyutuna bağlıdır. Arama alanında  $\binom{N}{\mathcal{V}_{test}}$  kadar yerleşim seti vardır. Sayısal deneylerden M değerinin en uygun değerinin,

$$M = 0.002 \binom{N}{\mathcal{V}_{test}} \quad (6)$$

olduğu belirlenmiştir.

Başlangıç sıcaklık değeri  $T_0$ ,  $\Delta E$ 'nin büyüklüğüne bağlıdır. Bir FÖB bara değiştirdiğinde 5 ya da daha az bara gözlemlenmesi beklenir. Bu değer şebekeye göre değişkenlik gösterir.  $T_0$  değeri ortalama mutlak değişim değerinin yaklaşık üç katına ayarlanır. Bu da  $T_0$  değerinin 15 °C olmasını sağlar. Başlangıç sıcaklığı, hedef fonksiyonun herhangi bir yerel minimumundan kaçmak ve FÖB yerleşimlerine geniş fırsatlar sağlamak için  $\Delta E$ 'nin maksimum değerinden daha büyük olacak şekilde sezgisel olarak seçilir. Benzetilmiş tavlama algoritmalarının kullanıldığı standart uygulamada olduğu

gibi kontrol sıcaklığı denkleme göre azaltılır.

$$T_i = T_0 \cdot \beta^i \quad (7)$$

$T_0$  = Başlangıç sıcaklığı

$\beta$  = Ölçekleme faktörü

$i$  = Algoritmadaki sıcaklık adımlarının yineleme sayısı

T parametresi 0,879'luk bir ölçeklendirme faktörü kullanılarak 15'ten 0,0869 değerine düşürülür. Algoritmadaki ölçeklendirme faktörü 40 olacak şekilde seçilmiştir.

Benzetilmiş tavlama algoritması üç durum ile karşılaşırna sona erer. İlk durdurma kuralı, gözlenemeyen bara sayısı olarak seçilen E fonksiyonunun minimum değere ulaşmasıdır. Böyle bir durum için sistem zaten gözlenebilir olmaktadır. İkinci durdurma kuralı belirli bir kontrol sıcaklığı için kabul edilecek bir FÖB yerleşim setinin olmamasıdır. Bu tavlama işleminde 'donma noktası' anlamına gelmektedir. İşleme devam etmek için kontrol sıcaklığı yükseltilerek yeni bir yerleşim elde edilmeye çalışılmalıdır. Üçüncü kural ise izin verilen minimum kontrol sıcaklığı  $T_L$ 'ye ulaşılmasıdır.  $T_L$ ,  $\Delta E$ 'nin amaç fonksiyonundaki değişiklik olduğu durumda, amaç fonksiyonunun değerini artıran yeni bir yerleştirme setini kabul etme olasılığı  $P_{acc}$  ile ilgilidir [25, 26].

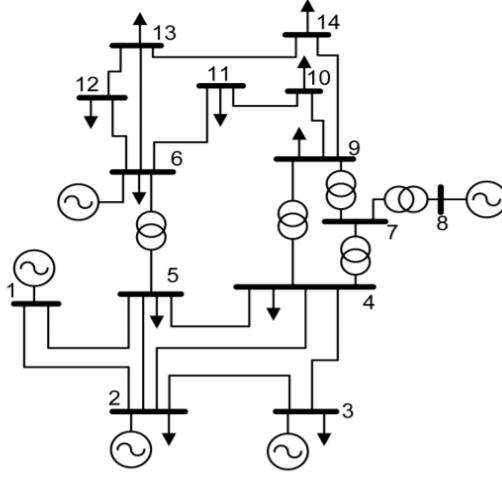
$$T_L = \frac{-1}{\ln(P_{acc})} \quad (8)$$

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

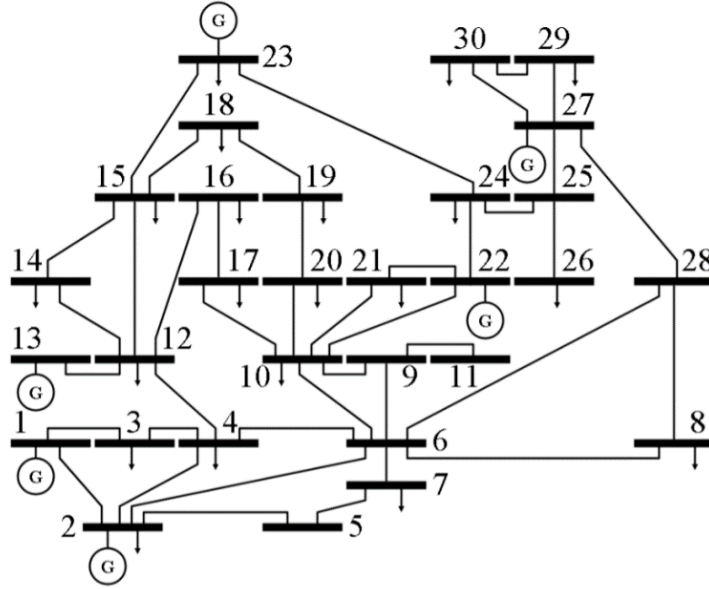
Bu çalışmada benzetilmiş tavlama algoritması ile FÖB'lerin optimal yerleşimi üzerine çalışılmıştır. Öncelikle kullanılan algoritmayı test etmek amacıyla IEEE'nin 14 ve 30 baralı sistemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, aynı sistem üzerinde farklı algoritmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve başarılı sonuçlar elde edildikten sonra algoritma, Trakya Güç Sistemi'ne uygulanmış ve sonuçlar PSAT'ın FÖB yerleştirme algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır.

#### **A. IEEE TEST SİSTEMLERE BENZETİLMİŞ TAVLAMA ALGORİTMASI İLE OPTİMAL FÖB YERLEŞİMİ**

IEEE'nin 14 ve 30 baralı sistemlerine optimal FÖB yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Test edilen sistemlerin tek hat şemaları aşağıda verilmiştir. Benzetiilmiş tavlama algoritması ve literatürdeki çalışmalarda elde edilen sonuçlar da aşağıdaki tablolarda verilmiştir.



Şekil 4. IEEE 14 baralı sistemin tek hat şeması



Şekil 5. IEEE 30 baralı sistemin tek hat şeması

Tablo 1. IEEE test sistemleri için gerekli FÖB sayıları

Kullanılan Algoritma	Test Sistemleri	
	14 Bara	30 Bara
Benzetilmiş Tavlama Algoritması	3	8
Diferansiyel Evrim Algoritması	4	10
Genetik Algoritma	4	10
Parçacık Sürü Optimizasyonu	4	10

IEEE 14 ve 30 baralı test sistemine yapılan optimal FÖB yerleştirme sonuçları için Tablo 1 incelendiğinde benzetilmiş tavlama algoritması, 14 baralı sistemde 3 ve 30 baralı sistemde 8 adet FÖB yerleştirerek sistemin tamamını gözlemlenebilir hale getirmektedir. Elde edilen sonuçları karşılaştırmak için literatürde incelenmiş diğer sezgisel algoritmaların sonuçları kullanılmıştır. 14 baralı sistem için sonuçlar incelendiğinde; diferansiyel evrim algoritması, genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonunun 4 adet FÖB kullanarak sistemi gözlemlenebilir hale getirdiği görülmüştür. 30 baralı sistem için sonuçlar incelendiğinde ise; diferansiyel evrim algoritması, genetik



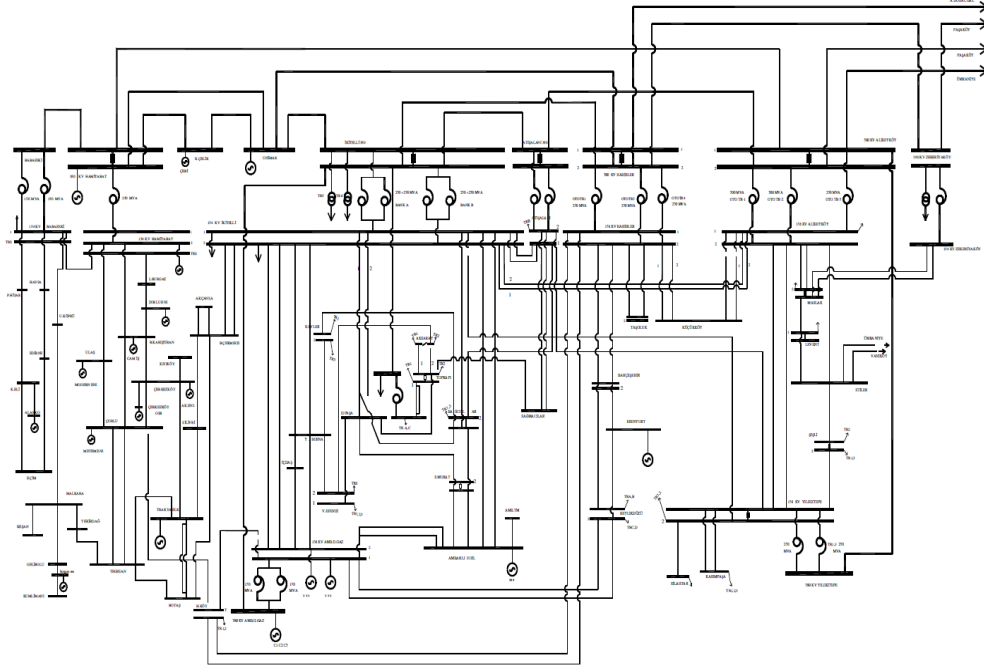
algoritma ve parçacık sürü optimizasyonunun 10 adet FÖB kullanarak sistemi gözlemlenebilir hale getirdiği görülmüştür. Test sistemi için sonuçlar incelendiğinde en iyi sonuçları benzetilmiş tavlama algoritmasının verdiği görülmektedir [14], [27], [28].

**Tablo 2.** IEEE test sistemleri için FÖB'lerin yerleştirilmesi gereken baralar

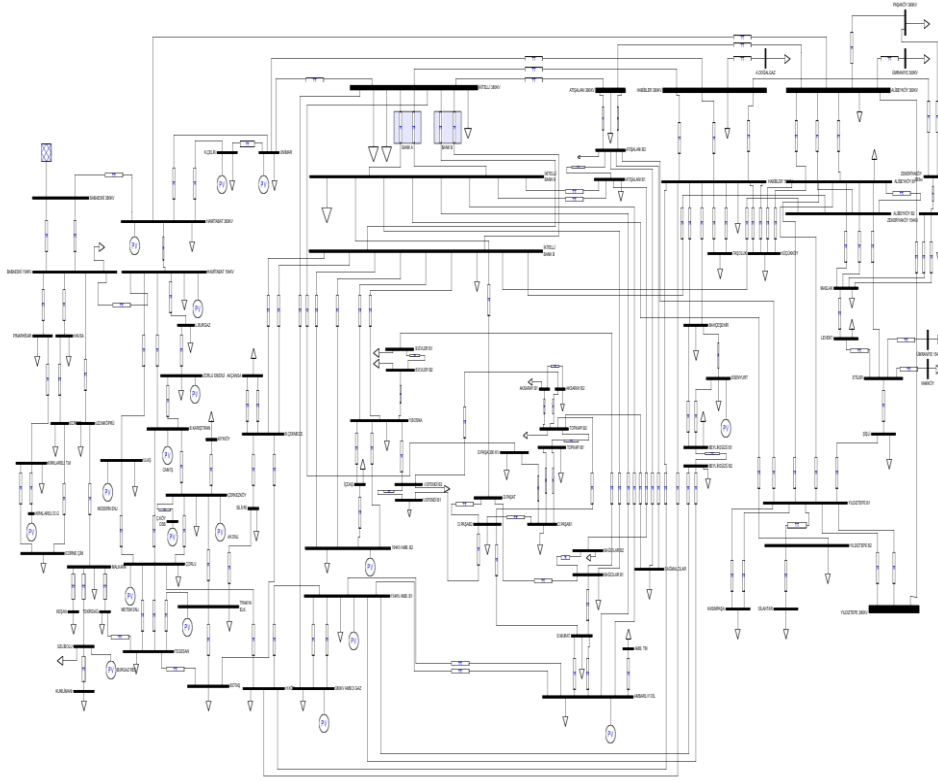
Kullanılan Algoritma	Test Sistemleri	
	14 Bara	30 Bara
Benzetilmiş Tavlama Algoritması	2, 6, 9	1, 5, 6, 10, 12, 18, 24, 27
Diferansiyel Evrim Algoritması	2, 6, 7, 9	1, 5, 6, 9, 10, 12, 18, 24, 25, 27
Genetik Algoritma	2, 6, 7, 9	2, 4, 6, 9, 10, 12, 15, 19, 25, 27
Parçacık Sürü Optimizasyonu	2, 6, 7, 9	1, 5, 6, 9, 10, 12, 15, 19, 25, 27

## B. TRAKYA GÜÇ SİSTEMİNE OPTİMAL FÖB YERLEŞİMİ

Trakya Güç Sistemi 154 ve 380 kV'luk 89 bara ve 161 iletim hattından oluşmaktadır [29]. Optimal FÖB yerleşimi için benzetilmiş tavlama algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçları karşılaştırmak için Trakya Güç Sistemi PSAT üzerinde Şekil 7'de gösterildiği gibi modellenmiştir. PSAT üzerinde graf teorisi, derinlik arama metodu ve minimum kapsayan ağaç metotları kullanılmıştır.



**Şekil 6.** Trakya güç sistemi



*Şekil 7. Trakya güç sisteminin PSAT'ta modellenmesi*

Optimal FÖB yerleşimi gerçekleştirildikten sonra elde edilen sonuçlar Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

*Tablo 3. Trakya güç sistemi için gerekli FÖB sayıları*

Kullanılan Algoritma	Yerleştirilmesi Gereken FÖB
	sayısı
Benzetilmiş Tavlama Algoritması	34
Derin Öncelikli Arama Metodu	37
Graf Teorisi Metodu	36
Minimum Kapsayan Ağaç Algoritması	42

Tablo 3'te sistemin tamamını gözlenebilir hale getirmek için yerleştirilmesi gereken FÖB sayıları verilmiştir. Benzetilmiş tavlama algoritması ile 34 adet FÖB kullanılarak Trakya Güç Sistemi'nin tamamı gözlenebilir hale gelmektedir. Karşılaştırma yapmak için PSAT FÖB yerleştirme algoritmaları kullanıldığında; derin öncelikli arama metodu 37, graf teorisi metodu 36, minimum kapsayan ağaç algoritması ise 42 adet FÖB yerleştirerek sistemin tamamını gözlenebilir hale getirmektedir. En iyi sonucu benzetilmiş tavlama metodu vermektedir.

Trakya Güç Sistemi için FÖB'lerin yerleştirilmesi gereken baralar numaralandırılarak Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Trakya güç sistemi için FÖB'lerin yerleştirilmesi gereken baralar

<b>Kullanılan Algoritma</b>	<b>FÖB'lerin Yerleştirilmesi Gereken Baralar</b>
Benzetilmiş Tavlama Algoritması	2, 3, 8, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 29, 32, 35, 38, 41, 44, 46, 49, 53, 56, 57, 61, 63, 65, 67, 71, 79, 81, 83, 86, 88
Derin Öncelikli Arama Metodu	2, 3, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 29, 32, 35, 38, 41, 45, 47, 49, 50, 54, 60, 62, 68, 72, 73, 74, 79, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 89
Graf Teorisi Metodu	2, 3, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 29, 32, 35, 38, 41, 45, 47, 49, 50, 54, 60, 62, 68, 72, 73, 74, 79, 84, 85, 86, 87, 88, 89
Minimum Kapsayan Ağaç Algoritması	2, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 20, 24, 26, 29, 32, 35, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 49, 53, 55, 56, 57, 59, 61, 62, 63, 64, 67, 70, 71, 73, 76, 79, 80, 81, 83

## **IV. SONUÇ VE ÖNERİLER**

FÖB'ler güç sistemlerinin durumu anlık olarak değerlendirmek için önem arz etmektedir. Güç sistemlerinde maliyet kısıtı nedeniyle tüm baralara FÖB birimi yerleştirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu da optimizasyon problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada optimal yerleşim için benzetilmiş tavlama algoritması seçilmiş, IEEE test sistemlerinde test edilerek Trakya Güç Sistemine uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde benzetilmiş tavlama algoritması diğer algoritmalara göre en az sayıda FÖB kullanarak tam gözlenebilirlik sağlamıştır. Maliyet kısıtı düşünüldüğünde en az sayıda FÖB ile tam gözlenebilirlik sağlamak büyük önem taşımaktadır. İlerleyen çalışmalarda sistem için önem arz eden kritik baralara FÖB yerleştirildiğinde ortaya çıkacak olan optimal yerleşim durumları incelenebilir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] A. G. Phadke, "Synchronized Phasor Measurements in Power Systems," *IEEE Computer Applications in Power*, vol. 6, no. 2, pp. 10-15, 1993.
- [2] A. G. Phadke, "System of Choice," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 6, no. 5, pp. 20-22, 2008.
- [3] N. M. Manousakis, G. N. Korres and P. S. Georgilakis, "Taxonomy of PMU Placement Methodologies," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, no. 2, pp. 1070-1077, 2012.
- [4] A. G. Phadke ve J. S. Thorp, "History And Applications of Phasor Measurements," *IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, Atlanta, Amerika, pp. 331-335, 2006.
- [5] K. Mazlumi ve H. Vahedi, "Optimal Placement of PMUs in Power Systems Based On Bacterial Foraging Algorithm," *18th Iranian Conference on Electrical Engineering*, Isfahan, İran, pp. 885-888, 2010.
- [6] K. E. Martin vd., "IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems," *IEEE Transactions*

on *Power Delivery*, vol. 13, no. 1, pp. 73-77, 1998.

- [7] D. Chouhan and V. Jaiswal, "A Literature Review on Optimal Placement of PMU and Voltage Stability." *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9, pp. 1-7, 2016.
- [8] K.P. Lien, C.W. Liu, C.S. Yu ve J.A. Jiang, "Transmission Network Fault Location Observability with Minimal PMU Placement," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, no. 3, pp. 1128-1136, 2006.
- [9] S. Chakrabarti ve E. Kyriakides, "Optimal Placement of Phasor Measurement Units for Power System Observability," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 1433-1440, 2008.
- [10] R. Sodhi, S.C. Srivastava, S.N. Singh, "Optimal PMU Placement Method for Complete Topological and Numerical Observability of Power System," *Electric Power Systems Research*, vol. 80, pp. 1154-1159, 2010.
- [11] S. Chakrabarti, E. Kyriakides ve D. G. Eliades, "Placement of Synchronized Measurements for Power System Observability," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 24, no. 1, pp. 12-19, 2009.
- [12] F. J. Martin, F. Garcia-Lagos, G. Joya, F. Sandoval, "Genetic Algorithms for Optimal Placement of Phasor Measurement Units in Electrical Networks", *IEEE Electronic Letters*, vol. 39, 2003.
- [13] M. Hajian, A. M. Ranjbar, T. Amraee ve A. R. Shirani, "Optimal Placement of Phasor Measurement Units: Particle Swarm Optimization Approach," *2007 International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems*, Toki Messe, Niigata, Japonya, pp. 1-6, 2007.
- [14] A. H. Al-Mohammed, M. A. Abido ve M. M. Mansour, "Optimal PMU Placement For Power System Observability Using Differential Evolution," *2011 11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, Cordoba, İspanya, pp. 277-282, 2011.
- [15] C. Peng, H. Sun, J. Guo, "Multi-Objective Optimal PMU Placement Using A Non-Dominated Sorting Differential Evolution Algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 32, no. 8, pp. 886-892, 2010.
- [16] H. A. Abdelsalam, A. Y. Abdelaziz and V. Mukherjee, "Optimal PMU Placement in a Distribution Network Considering Network Reconfiguration," *2014 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies*, Nagercoil, Hindistan, pp. 191-196, 2014.
- [17] S. Mandava, "A Spanning Tree Approach in Placing Multi-channel and Minimum Channel PMU's for Power System Observability," *International Journal of Electrical and Computer Engineering* c. 5, s. 3, ss. 518-524, 2015.
- [18] A. Almunif, L. Fan, "Optimal PMU Placement for Modeling Power Grid Observability with Mathematical Programming Methods," *Int Trans Electr Energ Syst.*, ss. 1-13 2020.
- [19] T. Johnson, T. Moger, "A Critical Review of Methods for Optimal Placement of Phasor Measurement Units," *Int Trans Electr Energ Syst.*, ss. 1-25, 2020.
- [20] P. Chunhua ve X. Xuesong, "A Hybrid Algorithm Based on Immune BPSO and N-1 Principle for PMU Multi-Objective Optimization Placement," *Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, Nanjing, Çin, ss. 610-614, 2008.
- [21] N. H. A. Rahman ve A. F. Zobaa, "Optimal PMU Placement Using Topology Transformation

Method in Power Systems,” *J. Adv. Res.*, vol. 7, no 5, pp. 625–634, 2016.

[22] M.A.M. İpek, “Elektrik güç sistemlerinde geniş alan ölçüm sistemi ve fazör ölçüm birimi yerleşiminin incelemesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.

[23] A. S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi, “Optimization by Simulated Annealing,” *American Association for the Advancement of Science Stable*, vol. 220, no 4598, pp. 671–680, 1983.

[24] A. Yılmaz, “Sonlu eleman modeli güncellemesi tekniğinde benzetilmiş tavlama algoritması kullanılarak mekanik sistemlerde hasar tespiti” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.

[25] T. L. Baldwin, L. Mili, M. B. Boisen ve R. Adapa, “Power System Observability with Minimal Phasor Measurement Placement,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 8, no. 2, pp 707-715, 1993.

[26] P. Xu ve B. F. Wollenberg, “Power System Observability and Optimal Phasor Measurement Unit Placement,” *University of Minnesota*, 2015.

[27] P. P. Bedekar, S. R. Bhide ve V. S. Kale, “Optimum PMU Placement Considering One Line/ One PMU Outage and Maximum Redundancy Using Genetic Algorithm,” *The 8th Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI)*, Khon Kaen, Tayland, pp. 688-691, 2011.

[28] S. Chakrabarti, G. K. Venayagamoorthy ve E. Kyriakides, “PMU Placement for Power System Observability Using Binary Particle Swarm Optimization,” *Australasian Universities Power Engineering Conference*, Sidney, Avustralya, pp. 1-5, 2008.

[29] O. Uslu, “Türkiye elektrik iletim şebekesinin trakya bölümünün kontrollü çalışma bölgelerine ayrılmasının incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Samsun, Bayburt ve Mersin İllerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Modellenmesi

 Sezai AKKAYA <sup>a,\*</sup>,  Sibel AKKAYA OY <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisi, Mersin, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Ordu Üniversitesi, Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Bilimleri Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Ordu, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sezai.akkaya52@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.785908

### ÖZET

Enerjinin temel kaynağı olan güneşi insanoğlu geçmişten günümüze doğrudan veya dolaylı olarak kullanmıştır. Sanayi devrimi ile birlikte insanoğlu bu enerji ihtiyacını yüzyıllar boyunca fosil kaynaklar ile gidermiştir. Ancak bu fosil kaynaklar çok büyük çevre problemlerine (küresel ısınma, buzulların erimesi, canlı türlerinin yok olması vs.) yol açmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların kullanılması ile enerji yönünden devamlılığın sağlanması imkansızdır. Bütün bu sebepler yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde etmeyi zorunlu kılmıştır. Bu çalışmada; Farklı güneş radyasyon verilerine sahip olan Türkiye'nin İki farklı bölgesinde bulunan Samsun, Bayburt (Karadeniz Bölgesi) ve Mersin (Akdeniz Bölgesi) şehirlerine şebekeye bağlı 3 kW, 5 kW ve 10 kW kurulu güce sahip çatı tipi güneş enerji santrali modellemesi yapılmıştır. Ayrıca 7,224 kWh günlük enerji talebini karşılayacak şebekeden bağımsız çatı tipi Güneş Enerjisi Santrali (GES) modellemesi de yapılmıştır. Bu modellemeler, PVGIS, PVsyst ve HOMER simülasyon programları ile yapılmıştır. Çatı tipi GES modellemelerinin üretim ve maliyet analizleri yapılarak yatırım yapılabilirlik seviyeleri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi, Çatı Tipi GES, Maliyet Analizi, PVGIS, PVsyst, HOMER

## Modelling of Solar Power Plants that can be Installed in Samsun, Bayburt and Mersin Provinces of Turkey

### ABSTRACT

Mankind have used the sun as the main source of energy directly or indirectly from past to present. With the industrial revolution, mankind have met this energy need with fossil sources for centuries. However, these fossil sources cause enormous environmental problems (global warming, melting of glaciers, extinction of living species, etc.). In addition, it is impossible to achieve energy sustainability by using fossil fuels. All these reasons make it compulsory to obtain energy from renewable energy sources. In this study; roof type solar power plant modeling is performed those installed capacity with 3 kW, 5 kW and 10 kW and connected to the city electrical network in two different regions of Turkey, which have different solar radiation data as Samsun, Bayburt (Black Sea region) and Mersin (Mediterranean region). In addition, off-grid roof type SPP (Solar Power Plant) modeling has been performed to meet the daily energy demand of 7,224 kWh. These models were made with PVGIS, PVsyst and HOMER simulation programs. The investment feasibility levels of the roof type SPP models are examined by making production and cost analyzes.

**Keywords:** Solar Energy, Roof Type SPP, Cost Analysis, PVGIS, PVsyst, HOMER

# I. GİRİŞ

Günümüzde insan medeniyetinin ihtiyaç duyduğu enerjinin %80'inden fazlası fosil yakıtlardan karşılanmaktadır [1]. Ciddi çevresel sorunlara neden olmasına rağmen fosil yakıtların azalması enerji güvenliği açısından ciddi endişelere yol açmıştır [2]. Bütün bu sebepler yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde etmeyi zorunlu kılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal ortamdaki enerji döngüsünde, sürekli veya tekrarlanır akımdan elde edilen enerji veya kullanıldıkları hızda yeri doldurulan enerji akışları olarak tanımlanır [3]. Yenilenebilir enerji kaynakları: Hidrolik, güneş, biyokütle, rüzgar, jeotermal, dalga (Gel-Git) ve hidrojenidir. Güneş enerjisi, kurulum ve kullanım kolaylığı olmasının yanı sıra çevreyi kirletmemesi ve zararlı atık oluşturmaması gibi özelliklere sahip bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin avantajlarından biri de küçük güçlerde santral tasarımına imkan vermesidir.

Güneş enerjisi santral bileşenleri; güneş paneli, invertör, akü, AG dağıtım panosu, kablo, konnektör, çift yönlü sayaç, topraklama kazığı, sigorta, kaçak akım rölesi ve çatı konstrüksiyonundan vb. oluşmaktadır [3,4].

Petrol ve doğal gaz rezervleri bakımından fakir bir konumda bulunan ülkemiz, enerji ham maddeleri ithalatı maliyeti 2012 yılında 60 milyar Dolar, 2013 yılında 55.9 milyar Dolar, 2014 yılında 54.9 milyar Dolar, 2015 yılında 37.8 milyar dolar, 2016 yılında 27.2 milyar Dolar ve 2017 yılında ise 36.8 milyar Dolar seviyelerinde olmuştur [4,5].

17 Ocak 2018 tarihinde çıkarılan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile çatı ve cephe uygulamalı elektrik üretim tesisi kurulumunun ve ihtiyaç fazlası üretilen elektriğin Devlet'e satılması yasal dayanağa dayandırılmıştır [6]. Meskenlerde bağlantı anlaşma gücü aşılmaması kaydı ile 10 kW'a kadar (10 kW dahil) GES kurulumunun önü açılmıştır [6]. 10.05.2019 tarihli 30770 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 1044 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı ile üretilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi için EPDK tarafından ilan edilen kendi abone grubuna ait perakende tek zamanlı aktif enerji bedeli, tesisin işletmeye giriş tarihinden itibaren on yıl süreyle uygulanır maddesi ile ihtiyaç fazlası elektrik için uygulanacak fiyat tarifesi belirlenmiştir [7].

Güneş enerjisi sistemlerinde modelleme, maliyet analizi gibi simülasyonları gerçekleştirebilmek için birçok yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımları; SAM, PVSyst, PVSol, PVWatt, HOMER, RETScreen, PVDesign-Pro ve TRNSYS diye sıralayabiliriz [8].

Bu çalışmada, üç (3) farklı simülasyon programı (PVGIS, PVSyst ve HOMER) ve şebekeden bağımsız tasarımlarda matematiksel modelleme kullanarak elde edilen bulgular ve veriler hem karşılaştırılıp hem de birleştirilerek daha verimli bir sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır.

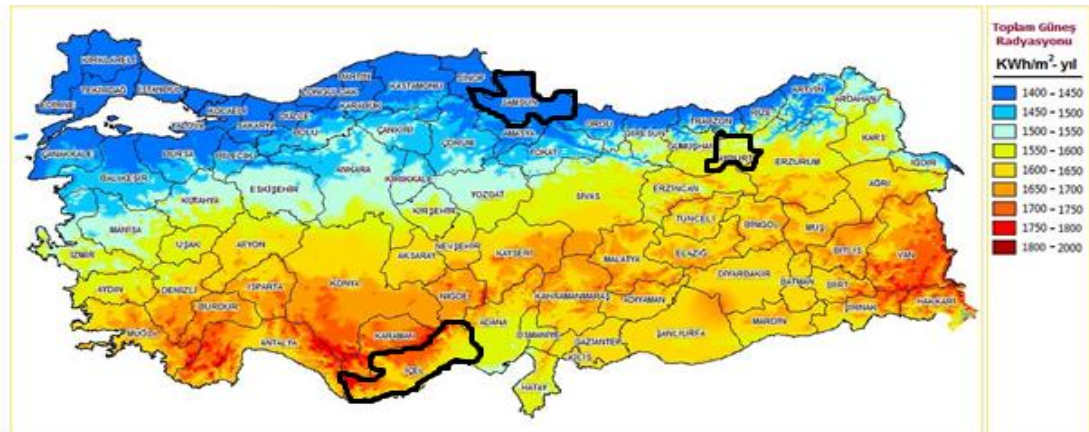
Literatürde simülasyon programlarını kullanarak birçok GES tasarımı ve analizi yapılmıştır. Çakmak ve Altaş (2016), yayımladıkları makalede Trabzon'un güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyelini PVGIS, GEPA ve 2 farklı veri tabanı kullanarak ele almış ve Almanya ile karşılaştırmışlardır [9]. Haydaroğlu ve Gümüş (2016), yayımladıkları makalede Dicle Üniversitesi bünyesinde kurulmuş olan 250 kW'lık güneş enerji santralini simülasyonu ve performans analizini PVSyst programı ile yapmışlardır [10]. Nurunnabi ve Roy (2015), yayımladıkları makalede Bangladeş'in güney kırsal bölgelerinde (Lobon, Chora, Khulna) şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız hibrit (FV ve Rüzgar türbini) santral tasarımlarının HOMER programı ile üretim ve ekonomik analizini yapmışlardır. Yapılan çalışmaya göre şebekeye bağlı hibrit santral tasarımı daha ekonomik bulunmuştur [11]. Rohani ve ark. (2010), yayımladıkları makalede elektrik şebekesinin ulaşamadığı yerler için FV ve Rüzgar türbini ana enerji kaynağı, jeneratör ve aküler yedek enerji kaynağı olacak şekilde HOMER programında şebekeden ayırık santral modellemesinin ekonomik ve çevresel etkilerini incelemişlerdir [12]. Yadav ve ark. (2015), yayımladıkları makalede Hindistan'ın Hamirpur, Himachal ve Pradesh lokasyonlarında 1 kW kurulu güce sahip güneş enerjisi santrali tasarımını PVSyst kullanarak simüle etmişlerdir [13]. Kandasamy ve

ark. (2013), yayımladıkları makalede Tamilnadu'nun güneyinde bazı yerlere 1 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının kurulmasının uygulanabilirliğinin PVsyst kullanarak santralin enerji üretimi ve kurulum maliyetinin geri dönüşüm süreleri incelenmiştir [14]. Psomopoulos ve ark. (2015), yayımladıkları makalede Yunanistan'da bulunan 9,6 kW çatı tipi GES, 105,6 kW GES ve 98,4 kW kurulu güce sahip 2(iki) açılı güneş takip mekanizmalı santrallerin 24 aylık üretim verileri ile PVGIS, PVWatts ve RetScreen programlarından elde edilen verilerin karşılaştırmasını yapmışlardır [15]. Ceylan ve Taşdelen (2018), yayımladıkları makalede simülasyon ortamında PV\*SOL, Helioscope, Polysun ve PVGIS PV simülasyon programları kullanılarak iklim verilerinin, yük taleplerinin ve temel sistem bileşenlerinin simülasyonu yapıp, kurulu 1MW güneş enerjisi santralının elektrik üretim verileri ile karşılaştırması yapılmıştır. Simülasyon verileri ile gerçek verilerin tutarlılığı analiz edilmiştir [16]. Dondariya ve ark. (2018), yayımladıkları makalede Hindistan, Ujjain'de bir ev için şebekeye bağlı çatı tipi GES tasarımının, PV\*SOL, PVGIS, SOLARGIS ve SISIFO FV simülasyon yazılımları ile üretim ve performans analizini yapmışlardır [17]. Literatürde yer alan çalışmalar yukarıda görüldüğü üzere daha çok modelleme, performans analizi ve gerçek bir santralle simülasyon programında elde edilen üretim değerlerinin karşılaştırması şeklindedir.

Bu nedenlerle bu çalışmada çatı tipi GES modellemelerinin üretim ve maliyet analizleri yapılarak yatırım yapılabilirlik seviyeleri incelenmiştir. Bu modelleme verileri ile güneş radyasyon verileri Türkiye ortalamasının altında olan Samsun şehri, güneş radyasyon verileri Türkiye ortalamasına yakın olan Bayburt ve güneş radyasyon verileri Türkiye ortalamasının üzerinde olan Mersin şehirlerindeki yatırım yapılabilirlik seviyeleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Güneş radyasyon verileri Türkiye ortalamasının altında, Türkiye ortalamasına eşit ve Türkiye ortalamasının üzerinde iller seçilerek Türkiye'nin 7(yedi) bölgesini kapsayacak verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

## **II. SAMSUN, BAYBURT VE MERSİN İLLERİNİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ**

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresinin 2.741 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisinin 1.527 kWh/m<sup>2</sup> (günlük toplam 4,18 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir [18,5]. Türkiye global radyasyon değerleri Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında en yüksek seviyede olurken, ortalama güneşlenme süreleri Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek seviyede olmaktadır. Global radyasyon değerleri bölgelere göre incelendiğinde; İlk sırada Güneydoğu Anadolu Bölgesi ikinci sırada Akdeniz Bölgesi ve son sırada Karadeniz Bölgesi gelmektedir. Güneş enerjisinde öncü ülkelerden olan Almanya'nın aldığı en fazla ışınım değeri olan yıllık 1200 kWh/m<sup>2</sup>, Türkiye'nin en az ışınım alan bölgesi olan Karadeniz Bölgesi'nin ışınım değeriyle hemen hemen aynıdır [5].



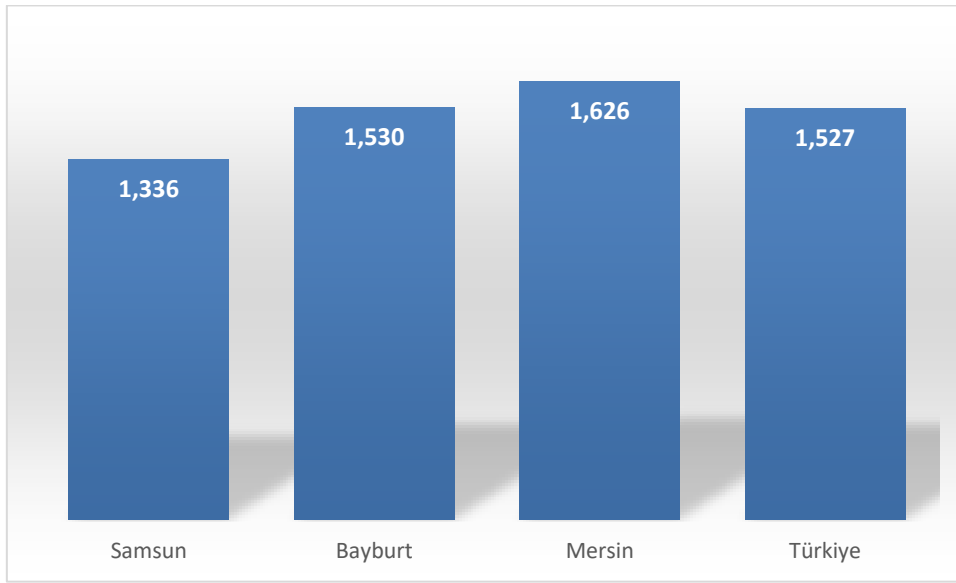
*Şekil 1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası(GEPA) [18].*



Şekil 1’de görüldüğü üzere Samsun ili GEPA’ya göre 1.336 kWh/m<sup>2</sup>-yıl toplam güneş radyasyonu ile Türkiye ortalamasının altındadır. Bayburt ili GEPA’ya göre 1.530 kWh/m<sup>2</sup>-yıl toplam güneş radyasyonu ile Türkiye ortalamasına yakındır. Mersin ili GEPA’ya göre 1.626 kWh/m<sup>2</sup>-yıl toplam güneş radyasyonu ile Türkiye ortalamasının üzerindedir [18,19].

### **III. TASARIMLARI YAPILAN ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

İllerin yıllık toplam güneş radyasyonu ortalaması karşılaştırıldığında Mersin Türkiye ortalamasının üzerinde, Bayburt Türkiye ortalamasına yakın ve Samsun Türkiye ortalamasının altında kaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 2). Bayburt ili Samsun ilinden yaklaşık %14,5 yıllık toplam güneş radyasyonuna sahipken, Mersin ili Bayburt ilinden yaklaşık % 6,3 yıllık toplam güneş radyasyonuna sahiptir (Şekil 2).



*Şekil 2. GEPA’ya göre illerin yıllık toplam güneş radyasyonu ortalaması [kWh/m<sup>2</sup>]*

12.05.2019 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan; Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ile aylık mahsuplaşma düzenlemesi yapılmıştır [20]. Böylece günlük mahsuplaşmadan aylık mahsuplaşmaya geçilerek GES üreticilerinin elde ettiği gelir arttığından santralin geri ödeme süresi azalmıştır. Aylık mahsuplaşma sisteminde bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücüne (Hanelerde bağlantı anlaşma gücü genelde 5 kW olmaktadır [19].) kadar üretim tesisi kurulmasına imkan tanınıyor [19]. Simülasyon yapılan illerde seçilen hanelerin günlük ortalama elektrik tüketimi 7,224 kWh ve yıl boyunca sabit kabul edilmiş ve tesis kullanım süresince günlük tüketimin değişmediği farz edilmiştir. 01.05.2019 tarihinde kurulan GES’lerde, 01.04.2019 EPDK elektrik tarifesi birim fiyatları kullanılmıştır. 01.05.2020 tarihinde kurulum yapılan GES’lerde, 01.04.2020 EPDK elektrik tarifesi birim fiyatlarının yıllar içinde değişmediği farz edilmiştir. Yıl boyunca meskenlerin iç tüketimlerinin yarısını şebekeden yarısının da güneş enerjisinden yaptığı farz edilmiştir. Şebekeden çekilen enerji miktarı dağıtım firmasına ödenecek çekiş yönlü dağıtım bedeli hesaplanırken kullanılmaktadır.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından 12 Mayıs 2019 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ile:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak gerçek veya tüzel kişiler tarafından kurulan ve işletilen üretim tesislerinde aylık mahsuplaşma sonucunda her fatura döneminde şebekeye verilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi görevli tedarik şirketi tarafından, on yıl süreyle satın alınacaktır [20].

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunca (EPDK) tarafından 26 Haziran 2019 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren güneş enerjisinde dayalı çatı ve cephe uygulamaları için aylık mahsuplaşmayla ilgili dağıtım tarifeleri ile:

- Mahsuplaşma kapsamındaki tüketim karşılığı üretim için tüketim tesisinin abone grubuna özgü tüketici dağıtım tarifelerinden %50 indirim
- Mahsuplaşma sonucu, tüketimin üretime eşit veya tüketimin üretimden fazla veya az olduğu durumlarda veriş yönünde dağıtım bedeli üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren 10 yıl süre ile %100 indirimli uygulanacak
- Çekiş yönlü sistem kullanım bedellerinde ise tüketimin üretime eşit veya tüketimin üretimden düşük olduğu durumlar için % 50 indirim uygulanacak iken, tüketimin üretimi aşan kısmı için ise ilgili tüketici grubu için belirlenmiş çekiş yönlü tüketici dağıtım bedelinde herhangi bir indirim uygulanmayacaktır [21].

Meskenlerde tüketilen enerji bölgelere göre farklılık göstermekte ve birçok etkene göre değişkenlik göstermekte olduğundan 2017 Ekim ayından beri ikamet etmiş olduğum konutun elektrik tüketim değerleri baz alınarak 3 il için de aynı tüketim değerleri yapıldığı farz edilerek kullanılmıştır. Modellemelerde baz olarak kullanılan Mersin’de 2 kişinin yaşadığı mesken, 2019 yılında ortalama 6,262 kWh/gün, en düşük tüketim Haziran ayında 2,95 kWh/gün ve en yüksek tüketim Eylül ayında 11,18 kWh/gün olarak gerçekleşmiştir. Samsun ve Bayburt illeri için de aynı tüketim değerleri yapıldığı farz edilmiştir. 2018,2019 ve 2020 yılındaki tüketim değerleri incelendiğinde; Ocak, Şubat, Ağustos ve Eylül aylarında en yüksek elektrik enerjisi tüketimi gerçekleşmiştir. Ayrıca 3 il için de üretim değerleri incelendiğinde Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında güneş enerjisinden en düşük elektrik üretimi gerçekleşmiştir [19].

## A. ŞEBEKEYE BAĞLI ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

İllere yapılan şebekeye bağlı çatı tipi 3 kW, 5 kW ve 10 kW GES tasarımlarında geri dönüş süresi hesaplanırken yıllık mahsuplaşma kullanılmıştır. Aylık mahsuplaşma olarak tasarımları yapmış olsaydık; Samsun yıl boyunca günlük tüketim 7,224 kWh/gün olduğu durumda sadece 3 kW GES tasarımında, Kasım, Aralık ve Ocak ayları hariç GES üretim değeri tüketilen enerjiden fazla olacak, yıl içinde tüketim değeri değişkenlik gösterdiği durumda ise Ocak ve Şubat ayları hariç GES üretim değeri tüketilen enerjiden fazla olarak gerçekleşecektir. Bayburt ve Mersin illerinde ise günlük tüketim 7,224 kWh/gün olduğu durumda 12 ay boyunca GES üretim değeri tüketilen enerjiden fazla olacak, yıl içinde tüketim değeri değişkenlik gösterdiği durumda ise Şubat ayı hariç GES üretim değeri tüketilen enerjiden fazla olarak gerçekleşecektir [19]. Hanelerin elektrik tüketim değerleri GES üretim değerlerini aştığı durum sadece 2-3 ayla sınırlı kaldığı ve üretim ile tüketim arasındaki fark çok olmadığından işlem kolaylığı açısından yıllık mahsuplaşma tercih edilmiştir [19].

1 Nisan 2020 itibariyle EPDK tarafından belirlenen elektrik tarifelerine göre alçak gerilim (AG) mesken abonelerinin aktif tüketim perakende birim fiyatı 0,348202 TL/kWh, dağıtım bedeli birim fiyatı 0,225831 TL/kWh’dir [22]. Yaklaşık %22 vergi vb. eklenince 1 kWh = 0,71 TL olmaktadır. Çekiş yönünden dağıtım bedeli fiyatı 0,113 TL/kWh’dir. İhtiyaç fazlası üretilen elektriğin satış bedeli 0,348202 TL/kWh’dir [7]. Dolayısıyla mevcut yatırım maliyetleri ve elektrik fiyatları dikkate alındığında özellikle güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için kişilerin aylık tüketimlerini karşılayacak büyüklükte üretim tesisi kurmasının yatırımın geri dönüş süresi açısından avantajlı olacaktır.

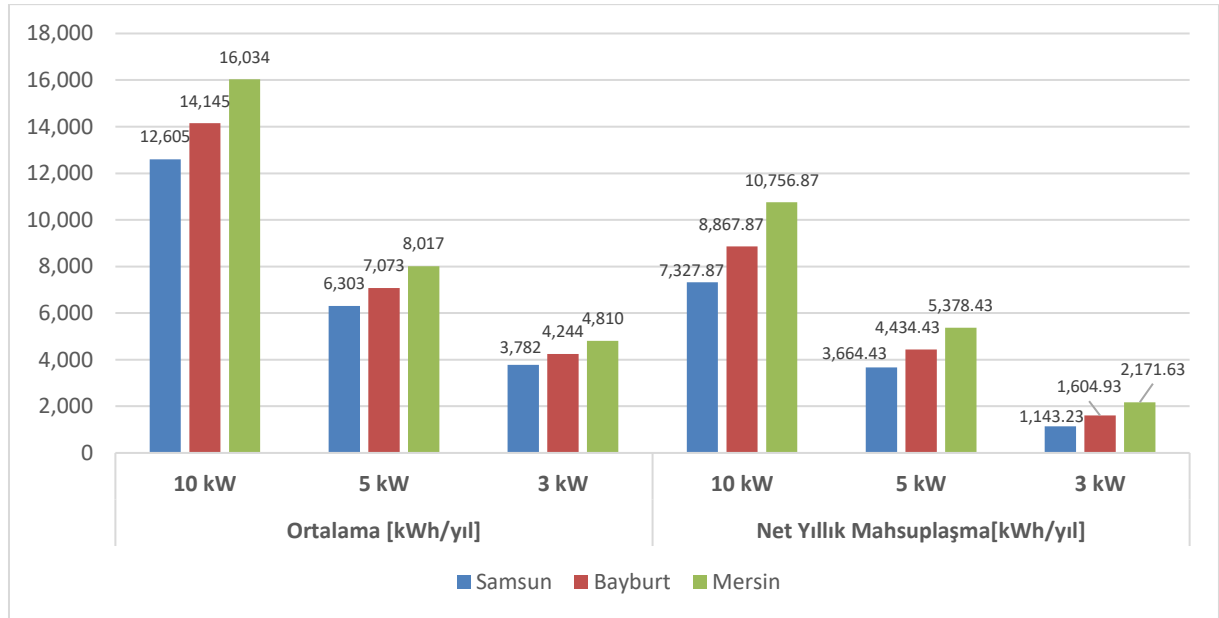
$$SYNK = YTTE*0,71 + YTNM*0,348202 - YTŞÇE*0,113 \quad (1)$$

$$SGÖS = TKM / YNG \quad (2)$$

SYNK: Santralin Yıllık Net Kazancı [TL]  
 YTTE: Yıllık Toplam Tüketilen Enerji [kWh]  
 YTNM: Yıllık Toplam Net Mahsuplaşma [kWh]  
 YTŞÇE: Yıllık Toplam Şebekeden Çekilen Enerji [kWh]  
 SGÖS: Santralin Geri Ödeme Süresi [Yıl]

01.05.2020 tarihinde seçilen illere kurulan şebekeye bağlı 3 kW, 5 kW ve 10 kW kapasiteli çatı tipi GES'lerin üretimleri, tüketimleri ve ürettiklerinden tükettiklerini çıkararak yapılan mahsuplaşma ile bulunduğu bölgede bulunan enerji dağıtım firmasına satıp gelir elde ettikleri üretim miktarları karşılaştırıldığında; En fazla üretim sırasıyla Mersin, Bayburt ve Samsun'da olduğu gözlemlenmiştir. Bayburt, Samsun'dan yaklaşık %12'lik bir oranda daha fazla elektrik üretmekte, Mersin ise Bayburt'tan yaklaşık %13'lük bir oranda daha fazla elektrik üretmektedir (Şekil 3).

Çatı tipi GES kurulumu yapılan illerde seçilen hanelerin günlük ortalama elektrik tüketimi 7,224 kWh/yıl boyunca sabit kabul edilmiş ve tesis kullanım süresince günlük tüketimin değişmediği farz edilmiştir. Şebekeye bağlı 3 kW ve 5 kW GES'lerde tek hanenin yıllık toplam tüketilen enerjisi 2.638,566 kWh/yıl ve şebekeye bağlı 10 kW GES'lerde 2(iki) hanenin yıllık toplam tüketilen enerjisi 5.277,132 kWh/yıl olmaktadır.



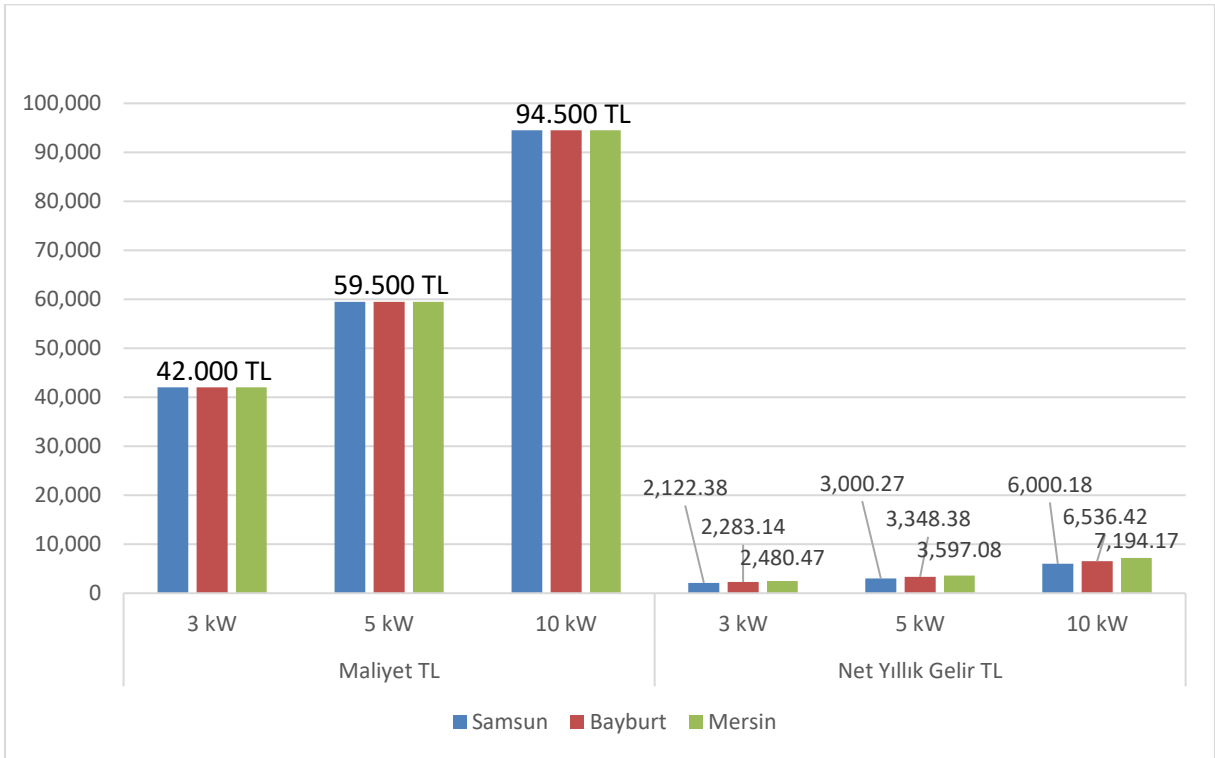
Şekil 3. İllerin yıllık güneş enerjisi üretim ve mahsuplaşma ortalaması [kWh/yıl]

Şekil 3'te verilen GES'lerin yıllık ortalama elektrik üretim değerleri PVGIS, PVsyst ve HOMER programlarından elde edilen üretim değerlerinin ortalamasıdır [19]. Şekil 3'te elde edilen verilere göre; Mersin iline kurulan şebekeye bağlı GES, Bayburt iline kurulan GES'e göre yaklaşık % 13 daha fazla elektrik üretmektedir. Bayburt iline kurulan GES ise Samsun iline kurulan GES'e göre yaklaşık % 12 daha fazla elektrik üretmektedir. Şekil 2 ve Şekil 3 karşılaştırıldığında yıllık güneş radyasyon ortalaması fazla olan ilin yıllık ortalama daha fazla elektrik ürettiği ve iller arasındaki ortalama üretim değerleri farkının çok fazla olmadığı sonucuna varılmaktadır. Şekil 3'te elde edilen verilere göre; Mersin iline kurulan şebekeye bağlı GES, Bayburt iline kurulan GES'e göre yaklaşık % 21 daha fazla net yıllık mahsuplaşma elde edilir. Bayburt iline kurulan GES ise Samsun iline kurulan GES'e göre yaklaşık % 21 daha fazla net yıllık mahsuplaşma elde edilir. Mersin iline kurulan GES ile Samsun iline kurulan GES karşılaştırıldığında ise Mersin iline kurulan GES yıllık ortalama yaklaşık % 27 daha fazla elektrik üretmekle birlikte yaklaşık % 47 daha fazla net yıllık mahsuplaşma elde edilir.

Yapılan piyasa araştırmasına göre Türkiye'nin herhangi bir ilinde bulunan evin çatısına üretime hazır şekilde her şey dahil 3 kW kurulu güce sahip santral tasarımının maliyeti KDV dahil 6.000 Dolar, 5 kW

kurulu güce sahip santral tasarımının maliyeti KDV dahil 8.500 bin Dolar iken 10 kW kurulu güce sahip santral tasarımının maliyeti KDV dahil 13.500 bin Dolar seviyelerinde olmaktadır. Dolayısıyla 3 kW kurulu güce sahip santralin birim maliyeti 2.000 Dolar/kW, 5 kW kurulu güce sahip santralin birim maliyeti 1.700 Dolar/kW ve 10 kW kurulu güce sahip santralin birim maliyeti 1.350 Dolar/kW olmaktadır. Buradan kurulu güç arttıkça birim maliyetin düştüğü ortaya çıkmaktadır. GES kurulumu yapan firmalardan edinilen bilgiye göre santrallerin 3 ayda 1 işletme bakımı ortalama 5 Dolar/kW olmaktadır. Buradan hareketle 3 kW santralin 60 Dolar/Yıl, 5 kW santralin 100 Dolar/Yıl ve 10 kW santralin 200 Dolar/Yıl bakım maliyetleri olmaktadır. Santralin daha verimli çalışması için periyodik bakımlarının yaptırılması önerilmektedir. Periyodik bakımlar, geri dönüş süreleri hesaplanırken ilk yatırım maliyetinin içinde olmadığı için hesaba katılmamıştır.

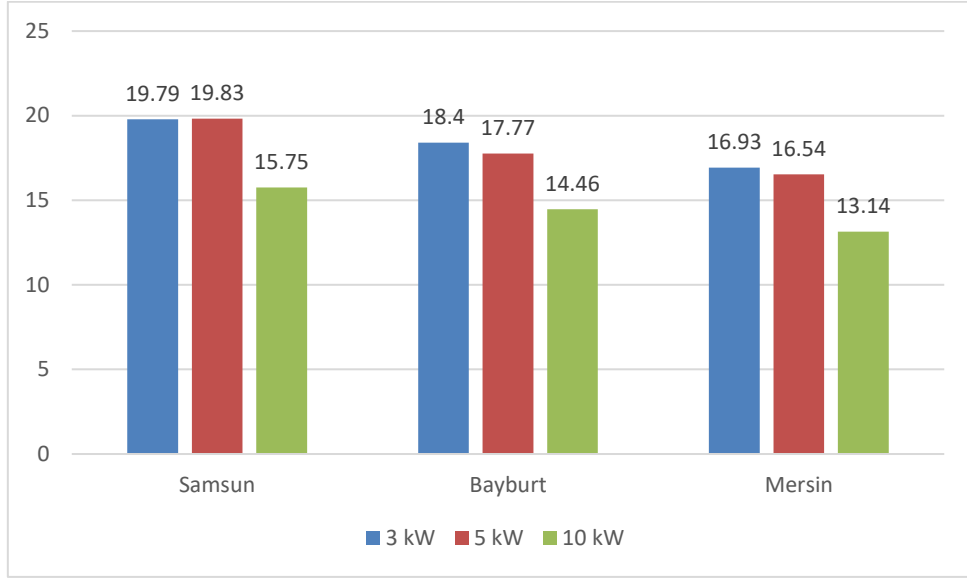
01.05.2020 tarihli dolar kuruna göre 1 dolar = 7 Türk Lirasıdır. 01.05.2020 tarihi itibariyle kurulumu yapılan şebekeye bağlı 3 kW GES yatırım maliyeti yaklaşık 42.000 TL, 5 kW GES yatırım maliyeti yaklaşık 59.500 TL ve 10 kW GES yatırım maliyeti yaklaşık 94.500 TL olmaktadır (Şekil 4). İlgili hesaplamalar sonucu iller arası geri dönüşüm yılları azdan çoğa sırasıyla; Mersin, Bayburt ve Samsun olduğu tespit edilmiş ve iller arası geri ödeme süreleri farkı 1-2 yıl olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5).



**Şekil 4.** İllere tasarlanan şebekeye bağlı santrallerin yaklaşık maliyet ve net yıllık geliri [TL]

Şekil 4 incelendiğinde Mersin iline kurulan şebekeye bağlı GES'ten elde edilen net yıllık gelir, Bayburt iline kurulan şebekeye bağlı GES'ten elde edilen net yıllık gelire göre yaklaşık % 10 daha fazla olmaktadır. Bayburt iline kurulan şebekeye bağlı GES'ten elde edilen net yıllık gelir ise Samsun iline kurulan şebekeye bağlı GES'ten elde edilen net yıllık gelire göre yaklaşık % 9 daha fazla olmaktadır. Mersin iline kurulan şebekeye bağlı GES'ten elde edilen net yıllık gelir, Samsun iline kurulan şebekeye bağlı GES'ten elde edilen net yıllık gelire göre yaklaşık % 20 daha fazla olmaktadır.

Şekil 5 incelendiğinde illere kurulan 10 kW kurulu güce sahip santrallerin geri ödeme sürelerine göre daha iyi olduğu ve en avantajlı ilin Mersin olduğu ortaya çıkmıştır. Geri ödeme süresi en az olan Mersin, geri ödeme süresi en fazla olan Samsun'a göre yaklaşık 2,5 yıllık bir avantaja sahip olması iller arasında çok ciddi bir farkın olmadığını ortaya çıkarmaktadır.



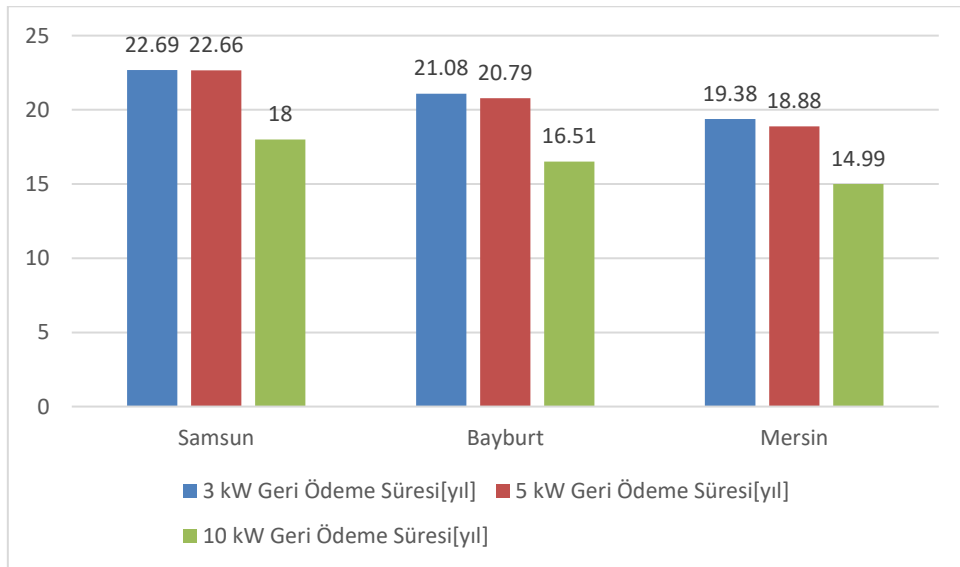
Şekil 5. İllere tasarlanan şebekeye bağlı santrallerin geri ödeme süresi [Yıl]

01.04.2019 itibariyle EPDK tarafından belirlenen elektrik tarifelerine göre AG mesken abonelerinin aktif tüketim perakende birim fiyatı 0,263304 TL/kWh ve dağıtım bedeli birim fiyatı 0,171147 TL/kWh'dir [23]. Çekiş yönünden dağıtım bedeli fiyatı 0,0855735 TL/kWh'dir [7]. Yaklaşık %22 vergi vb. eklenince 1 kWh = 0,53 TL olmaktadır. İhtiyaç fazlası üretilen elektriğin satış bedeli 0,263304 TL/kWh'dir.

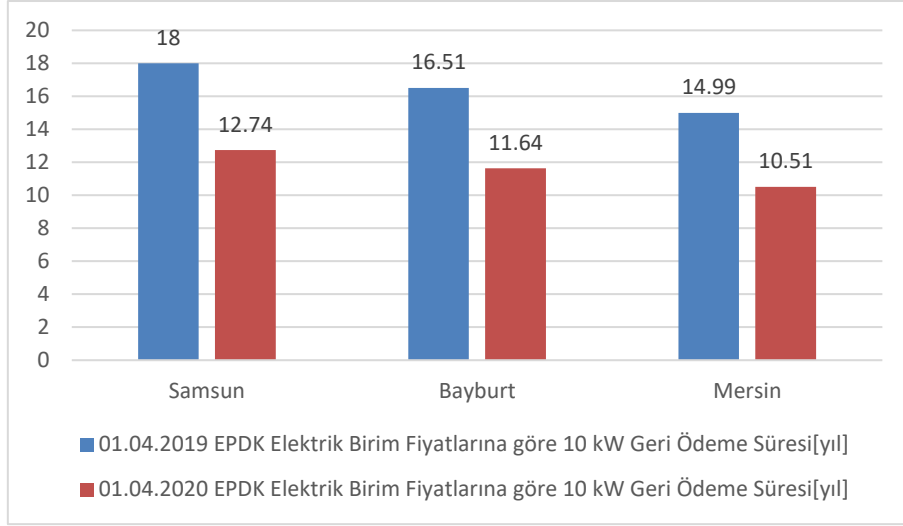
01.05.2019 tarihli dolar kuruna göre 1 dolar = 6 Türk Lirasıdır [19]. 01.05.2019 tarihi itibariyle kurulumu yapılan şebekeye bağlı 3 kW GES yatırım maliyeti yaklaşık 36.000 TL, 5 kW GES yatırım maliyeti yaklaşık 51.000 TL ve 10 kW GES yatırım maliyeti yaklaşık 81.000 TL olmaktadır.

$$SYNK = YTTE*0,53 + YTNM*0,3263304 - YTŞÇE*0,0855735 \quad (3)$$

$$SGÖS = TKM / YNG \quad (4)$$



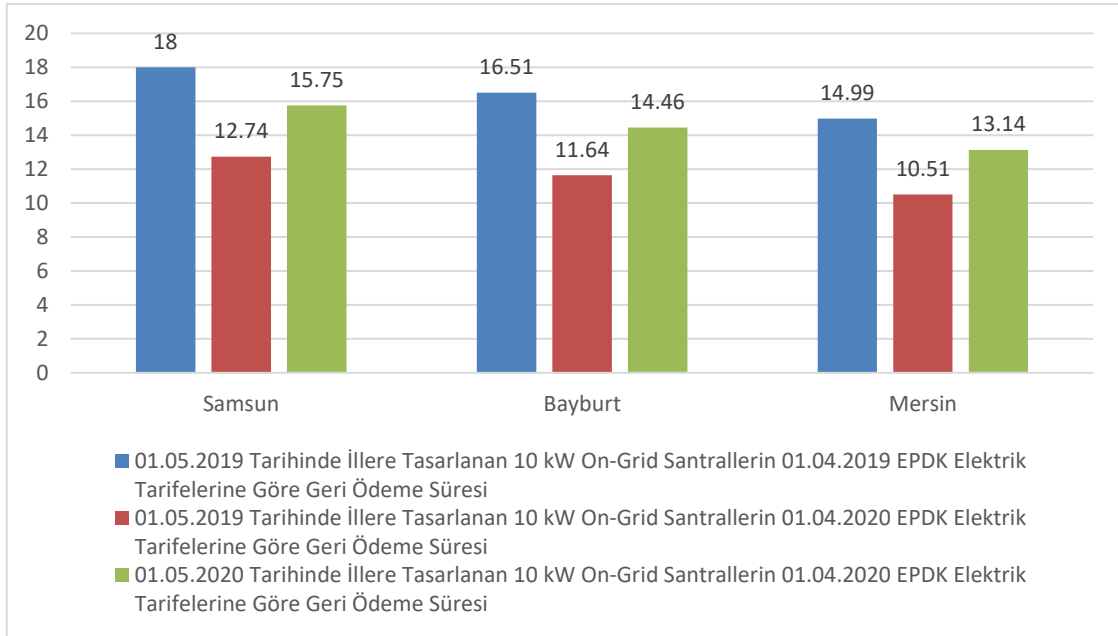
Şekil 6. 01.05.2019 tarihinde illere tasarlanan şebekeye bağlı santrallerin geri ödeme süreleri [Yıl]



**Şekil 7.** 01.05.2019 tarihinde illere tasarlanan şebekeye bağlı 10 kW santralin 1 yıllık süreçteki geri ödeme sürelerinde meydana gelen değişim [Yıl]

01.05.2019 ve 01.05.2020 tarihlerinde yapılan tasarımlar karşılaştırıldığında 3 il için de aylık ve yıllık mahsuplaşma için en ideali 10 kW'lık şebekeye bağlı GES tasarımı olduğu tespit edilmiş fakat 3 kW GES ile 5 kW GES'lerin geri dönüş sürelerinin yakın olmasının sebebi 5 kW GES tasarımı yapılan hanenin tükettiği enerjiden fazla enerji üretilmesinden kaynaklıdır (Şekil 5, Şekil 6). Ayrıca 10 kW GES tasarımı yapılan hanelerde yıllar içinde tüketilen enerji miktarı düşerse santralin geri ödeme süresi artacaktır. Dolayısıyla güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için kişilerin aylık tüketimlerini karşılayacak büyüklükte üretim tesisi kurmasının yatırımın geri dönüş süresi açısından avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 7'de elde edilen veriler incelendiğinde Samsun, Bayburt ve Mersin illerine 01.05.2019 tarihinde yapılan santral tasarımlarında 1(bir) yıllık süreçte geri ödeme süresinde yaklaşık % 41-42'lik düşme meydana gelmiştir. Bunun sebebi 1(bir) yıllık süreçte elektrik tarifelerinde meydana gelen yaklaşık % 34'lük artış ve 01.05.2019 tarihinde kurulumu yapılan GES'lerin sahipleri bu artış nedeniyle santralin elde ettiği net yıllık gelir artmıştır.

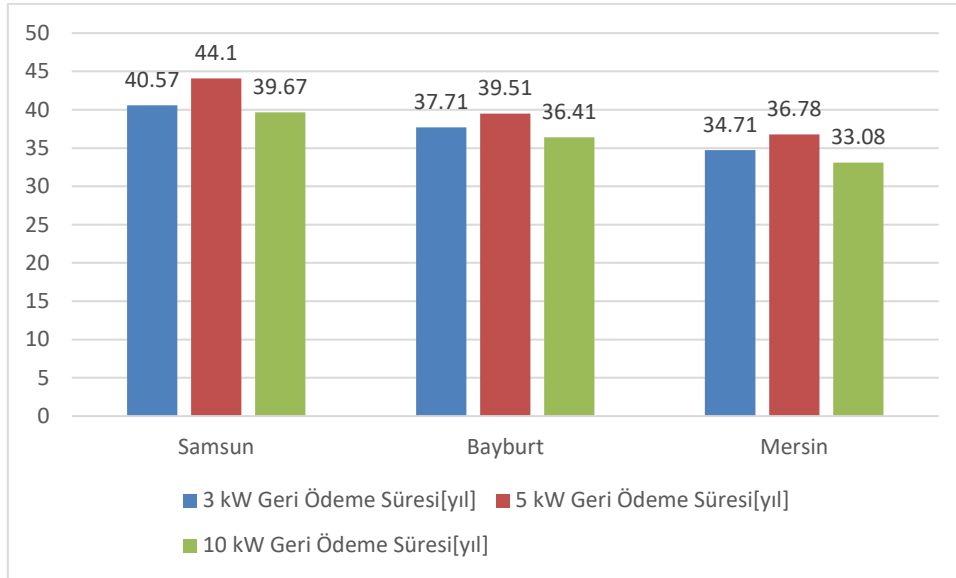


**Şekil 8.** İllere tasarlanan şebekeye bağlı 10 kW santrallerin geri ödeme sürelerinin karşılaştırılması [Yıl]

Şekil 8’de elde edilen veriler incelendiğinde Samsun, Bayburt ve Mersin illerine 01.05.2019 tarihinde yapılan santral tasarımları, 01.05.2020 tarihinde yapılan santral tasarımlarına göre yaklaşık % 23-25 oranında geri ödeme sürelerinde avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi 1 yıllık süreçte doların yaklaşık % 17’lik artış göstermesi, elektrik tarifelerinde meydana gelen yaklaşık % 34’lük artıştır. 01.05.2019 tarihinde kurulumu yapılan GES’lerin sahipleri döviz kurunun ve elektrik tarifelerinde meydana gelen yükselmeden olumlu etkilenmiştir. 01.05.2020 tarihinde kurulumu yapılan GES’ler dövizde meydana gelen artıştan olumsuz etkilenmiştir.

Bir yıllık süredeki dolarda ve enerji fiyatlarındaki değişimler dikkate alındığında, döviz kurunun artması santral tasarım maliyetini arttırmakta fakat enerji fiyatlarındaki artış üreticinin gelirini ve tasarrufunu artıracığından geri ödeme süresini düşürmektedir.

Simülasyon programlarına göre 01.05.2020 tarihinde tasarlanan, 3 kW şebekeye bağlı GES maliyeti 12.300 Dolar (86.100 TL), 5 kW şebekeye bağlı GES maliyeti 18.900 Dolar (132.300 TL) ve 10 kW şebekeye bağlı GES maliyeti ise 34.000 Dolar (238.000 TL) olmaktadır [19]. Dolayısıyla 3 kW kurulu güce sahip santralin birim maliyeti 4.100 Dolar/kW, 5 kW kurulu güce sahip santralin birim maliyeti 3.780 Dolar/kW ve 10 kW kurulu güce sahip santralin birim maliyeti 3.400 Dolar/kW olmaktadır. Matematiksel olarak daha önce yapılan işlemler uygulanırsa Şekil 9’daki geri ödeme süreleri elde edilir.

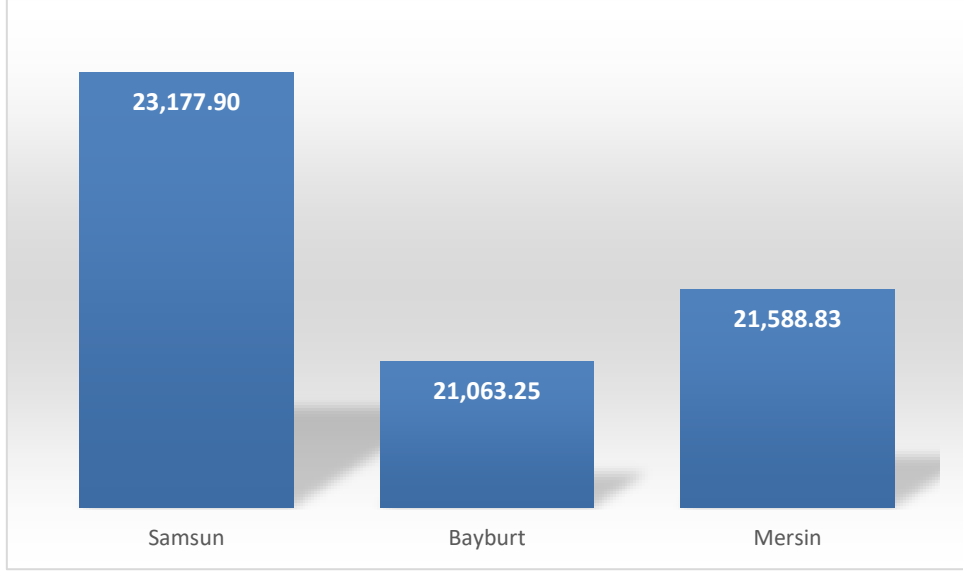


Şekil 9. Simülasyon programlarında illere tasarlanan şebekeye bağlı santrallerin geri ödeme süresi [Yıl]

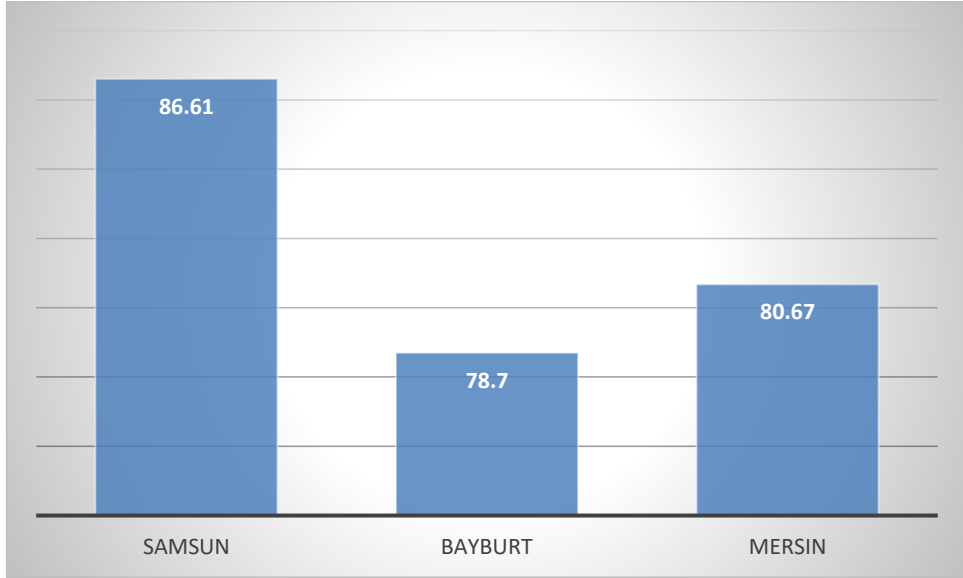
Kullanılan program sonuçlarına göre geri ödeme süresi en düşük sırasıyla; Mersin, Bayburt ve Samsun olmuştur [19]. Şekil 9 incelendiğinde en ideal santral tasarımı 10 kW ve Samsun ile Mersin arasındaki geri ödeme sürelerinin farkı yaklaşık %20 olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 9’da görüldüğü üzere kullanılan simülasyon programları ile yapılan piyasa araştırması sonuçları karşılaştırıldığında geri ödeme sürelerinde 2-3 katlık bir fark olduğu tespit edilmiştir [19].

## B. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Simülasyon programlarına göre 01.05.2020 tarihinde tasarlanan, şebekeden bağımsız GES’lerin yaklaşık maliyet ve geri ödeme süreleri Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir.



**Şekil 10.** Simülasyon programlarında illere tasarlanan şebekeden bağımsız santrallerin yaklaşık maliyeti [Dolar] [19]



**Şekil 11.** Simülasyon programlarında illere tasarlanan şebekeden bağımsız santrallerin geri ödeme süreleri [Yıl]

Şekil 10 ve Şekil 11 incelendiğinde geri ödeme sürelerine göre en ideal şebekeden bağımsız santral Bayburt iline tasarlanan santral olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi Bayburt iline yapılan santral tasarımının maliyetinin daha düşük olmasıdır [19].

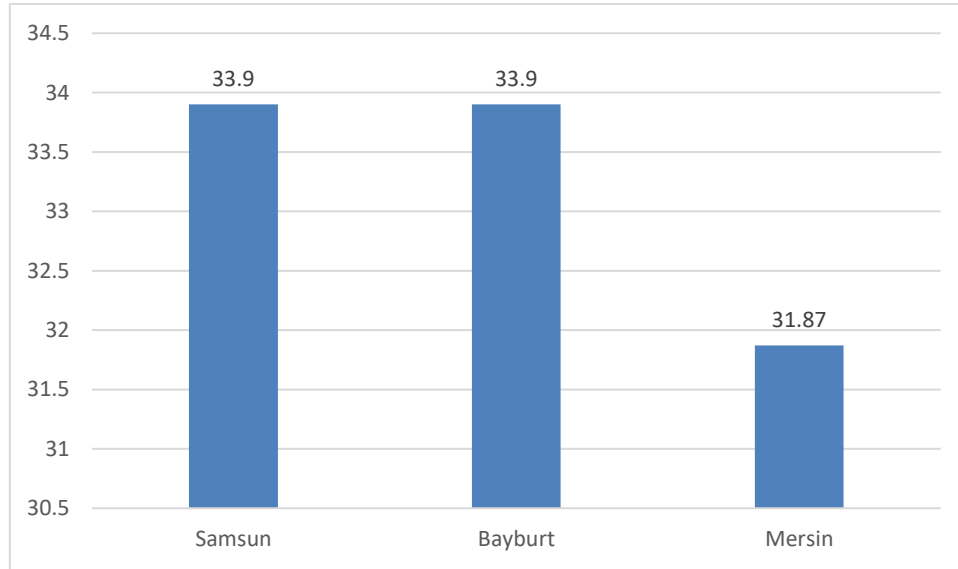


**Tablo 1. Matematiksel Modelleme Olarak Tasarlanan Şebekeden Bağımsız Santraller İçin Seçilen Cihazlar**

Cihaz	Kapasite	Adet			Birim Fiyat	Toplam Fiyat		
		Samsun	Bayburt	Mersin		Samsun	Bayburt	Mersin
<b>FV Modül</b>	270 W (Nominal 24 V çıkışlı)	12	12	8	950	11.400	11.400	7.600
<b>Şarj Regülatörü</b>	48 V girişli 50 A	1	1	1	2.500	2.500	2.500	2.500
<b>Akü</b>	12 V 200 Ah	12	12	12	2.800	33.600	33.600	33.600
<b>Off-Grid invertör</b>	5000 W/5000 VA	1	1	1	6.000	6.000 TL	6.000	6.000
<b>Kablo, konnektör,montaj ,nakliye vb.</b>		1	1	1	10.000	10.000	10.000	10.000
<b>TOPLAM</b>					22.250 TL	63.500 TL	63.500 TL	59.700 TL

Tablo 1 incelendiğinde şebekeden bağımsız santral tasarımlarında toplam maliyetin yaklaşık % 43-47'lik kısmını aküler oluşturmaktadır.

Matematiksel olarak şebekeden bağımsız santral tasarımlarında illerin kış güneşlenme süreleri hesaba katılarak ve en az 2 gün bulutluluk olduğu varsayılarak güneş paneli, akü ve invertör hesaplamaları yapılmıştır [19]. Samsun ilinde kış güneşlenme süresi ortalama 3,6 saat, Bayburt ilinde 3,53 saat ve Mersin ilinde 4,99 saat olmaktadır [4,19]. Santrallerde kurulu olan 12 adet akü toplam 28.800 Wh / gün elektrik enerjisini depolayabilmektedir.



**Şekil 12. 01.05.2020 tarihinde illere tasarlanan şebekeden bağımsız santrallerin geri ödeme süreleri (matematiksel modelleme)**

1 hanenin günlük 7,224 kWh'lik tüketimini karşılayacak şebekeden bağımsız santral tasarımları daha optimum sonuç almak için 9 kWh/gün seçilmiştir. Şekil 11 ve Şekil 12'de görüldüğü üzere 1 hanenin günlük 7,224 kWh'lik tüketimini karşılayacak şebekeden bağımsız santrallerin geri dönüş süreleri yatırım yapılabilir seviyeden uzak kalmaktadır [19]. Ortalama maliyete yıllık bakım maliyetleri ve ortalama 5-6 yılda bir değişecek akülerin maliyetleri ilk kurulum maliyetinin içinde olmadığı için

eklenmemiştir. Bu verilere göre şebekeden bağımsız santraller, şebekeye bağlı santrallere göre düşük verimli bulunmuşlardır.

## **IV. SONUC**

Samsun, Bayburt ve Mersin illerine PVGIS, PVsyst ve HOMER programları ile çeşitli güçlerde şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız çatı tipi GES tasarımları yapılmıştır. Güneş radyasyon oranı en yüksek olan sırasıyla Mersin, Bayburt ve Samsun illerinde elektrik üretim miktarları da aynı sırayla gerçekleşmektedir. Bayburt ili Samsun ilinden yaklaşık %14,5 yıllık toplam güneş radyasyonuna sahipken, Mersin ili Bayburt ilinden yaklaşık % 6,3 yıllık toplam güneş radyasyonuna sahiptir. Yıllık GES'lerin üretimleri ve geri dönüş sürelerine bakıldığında; iller arasındaki yıllık net toplam elektrik üretimi arasındaki fark sırasıyla % 12 – 13, geri ödeme süreleri arasındaki fark sırasıyla 1 – 2 yıl olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla Türkiye'nin 7(yedi) bölgesi de güneş enerjisi alanında verimli bulunmuştur. Güneş enerjisi alanında lider ülkelerden biri olan Almanya'nın güneş radyasyon oranı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan illere yakın olduğu düşünüldüğünde Türkiye güneş enerjisi potansiyelini tam olarak kullanamadığı ortaya çıkmaktadır. Güneş enerjisi karbon salınımı olmayan ve sürekliliği olan yenilenebilir enerji olduğu için elektrik üretiminde bu alana yatırım yapılması zorunluluktur.

Yapılan simülasyon ve matematiksel tasarımlar karşılaştırıldığında 3 il için de aylık ve yıllık mahsuplaşma için en ideali 10 kW'lık şebekeye bağlı GES tasarımı olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için kişilerin aylık tüketimlerini karşılayacak büyüklükte ve birim maliyeti düşük olan üretim tesisi kurmasının yatırımın geri dönüş süresi açısından avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan simülasyon programlarında elde edilen yaklaşık maliyet, yapılan piyasa araştırması sonucu elde edilen maliyetin 2-3 katı olduğu tespit edilmiştir. Elektrik tüketimi yüksek olan haneler için şebekeden bağımsız GES verimsiz olduğu tespit edilmiş fakat şebekenin olmadığı ve düşük güçte tüketimin olduğu meskenler için ideal bir çözüm olarak değerlendirilebilir bulunmuştur.

01.05.2019 ve 01.05.2020 tarihlerinde yapılan piyasa araştırmasına göre tasarlanan GES'ler incelendiğinde; 01.05.2019 tarihinde tasarlanan GES'ler geri ödeme süreleri açısından daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi döviz kurunun artması 01.05.2020 tarihinde kurulan santral tasarım maliyetini arttırması ve enerji fiyatlarındaki artışın üreticinin gelirini ve tasarrufunu arttırdığından geri ödeme süresini düşürmesidir. İllere tasarlanan 10 kW GES'lerin geri ödeme süreleri 01.05.2020 tarihi itibarıyla 10-16 yıl aralığında olduğundan yatırım yapılabilir seviyeden uzak kalmaktadır.

Döviz kurlarının artması, GES bileşenlerinin ithalata bağımlı olması ve Ülkemizde güneş enerjisi AR-GE çalışmalarının istenilen seviyede olmaması nedeniyle ilk girdi maliyetinin artması yatırımları olumsuz etkilemektedir. Enerji fiyatlarındaki enflasyondan etkilenilmeyeceğinden yıllar içinde geri ödeme sürelerinde düşüş yaşanacak olması cazip yanıdır.

Çatı ve cephe tipi GES'e yönelimlerin artması için; GES teknolojisi alanında AR-GE yatırımları desteklenerek ilk yatırım maliyetlerinde en yüksek paya sahip olan FV modül ve invertör fiyatlarının düşmesine katkı sağlanmalı, GES bileşenlerinin dövizle olan bağımlılığı azaltılmalı, ithalatın azalması ve geri ödeme sürelerinin 5-6 yıl seviyelerine düşmesi gerekmektedir.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini istenilen düzeyde kullanamadığı tespit edilmiş ve vatandaşların güneş enerjisine katkısının en kolay yolu olan çatı ve cephe tipi GES'ler incelenmiştir. Bu alanın gelişmesi için çeşitli öneriler verilmiştir. Bu çalışma ile yatırımların Türkiye geneline yayılmasına, enerji arz güvenliği sağlanmasına ve güneş enerjisinin gelişmesine katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] "IEA World Energy Outlook 2013," International Energy Agency (IEA), 2013.
- [2] "BP Energy Outlook 2017 Edition," British Petroleum (BP), 2017.
- [3] H. Öztürk ve D. Kaya, *Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi : Fotovoltaik Teknoloji*, 1. baskı, Kocaeli, Türkiye: Umuttepe Yayınları, 2013, ss. 1-417.
- [4] A. Yiğit ve İ. Atmaca, *Güneş Enerjisi Mühendislik Uygulamaları*, 2. baskı, Bursa, Türkiye: Dora Yayıncılık, 2018, ss. 1-263.
- [5] Makine Mühendisleri Odası (MMO), "Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018," MMO Yayın No 691, 2018.
- [6] *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik*, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2018. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-92/elektriklisanssiz-uretim>
- [7] *10.05.2019 Tarih ve 30770 Sayılı Resmi Gazete*, T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2019. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190510.pdf>
- [8] T. K. Geoffrey ve T. S. Joshua, "Models Used to Assess the Performance of Photovoltaic Systems," *Sandia Rep.*, c. SAND2009-8258, 2009.
- [9] R. Çakmak, ve İ. H. Altaş, "Solar energy potential of eastern black sea region of Turkey: A case study for Trabzon Province," in *2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering*, Bursa, Turkey, 2016, ss. 86-90.
- [10] C. Haydaroğlu ve B. Gümüş, "Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralının PVsyst İle Simülasyonu Ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi," *Mühendislik Dergisi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, c. 7, s. 3, ss. 491-500, 2016.
- [11] Md. Nurunnabi ve N.K. Roy, "Grid Connected Hybrid Power System Design Using HOMER," *Proceedings of 2015 3rd International Conference on Advances in Electrical Engineering*, Dhaka, Bangladesh, 2015, ss. 18-21.
- [12] A. Rohani, K. Mazlumi ve H. Kord, "Modeling of a hybrid power system for economic analysis and environmental impact in HOMER," *Proceedings of ICEE*, 2010, ss. 818-822.
- [13] P. Yadav, N. Kumar ve S.S. Chandel, "Simulation And Performance Analysis Of A 1 kw Photovoltaic System Using Pvsyst," *International Conference On Computation Of Power, Energy, Information And Communication*, 2015, ss. 358-363.
- [14] C.P. Kandasamy, P. Prabu ve K. Niruba, "Solar Potential Assessment Using PVSYST Software," *2013 International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy (ICGCE)*, 2013, ss. 667-672.
- [15] C.S. Psomopoulos, G.C. Ioannidis, S.D. Kaminaris, K.D. Mardikis ve N.D. Katsikas, "A Comparative Evaluation Of Photovoltaic Electricity Production Assessment Software (PVGIS, PVWATTS And RETSCREEN)," *Department of Electrical Engineering, Piraeus University of Applied Sciences*, Greece, 2015, ss. 175-189.




- [16] O. Ceylan ve K. Taşdelen, “İsparta İli İçin Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 18, s. 3, ss. 895-903, 2018.
- [17] C. Dondariya, D. Porwal, A. Awasthi, A.K. Shukla, K. Sudhakar, M.S.R. Monahar ve A. Bhimte, “Performance Simulation Of Grid-Connected Rooftop Solar PV System For Small Households: A Case Study Of Ujjain, India,” *Energy Reports*, c. 4, ss. 546-553, 2018.
- [18] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2020, 15 Mayıs). “Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA).” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
- [19] S. Akkaya, “Samsun, Bayburt ve Mersin illerine kurulabilecek güneş enerjisi santrallerinin modellenmesi”, Yüksek lisans tezi, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Ordu Üniversitesi, Ordu, Türkiye, 2019.
- [20] *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği*, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2019. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-92/elektriklisanssiz-uretim>
- [21] *Dağıtım Lisansı Sahibi Tüzel Kişiler Ve Görevli Tedarik Şirketlerinin Tarife Uygulamalarına İlişkin Usul Ve Esaslarda Değişiklik Yapılması Hakkında Karar*, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2019. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-10284/dagitim-lisans-sahibi-tuzel-kisiler-ve-gorevli-t>
- [22] *26.03.2020 Tarih ve 9270 Sayılı Kurul Kararı*, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/03/20200331-4.pdf>
- [23] *27.03.2019 Tarih ve 8518 Sayılı Kurul Kararı*, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2019. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.lexpera.com.tr/mevzuat/kurul-kararlari/enerji-piyasasi-duzenleme-kurulunun-27-03-2019-tarihli-ve-8518-sayili-karari-8518-1>



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

## Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Üretilen Elektrik Enerjisi Teşvik Yöntemlerinin İncelenmesi

 Uğur YÜCEL <sup>a,\*</sup>,  Engin ÖZDEMİR <sup>b</sup>,  Murat AYZAZ <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Mekatronik Programı, Hereke Asım Kocabyık MYO, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Enerji Sistemleri Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Elektrik ve Enerji Bölümü, Uzunçiftlik Nuh Çimento MYO, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: uyucel@kocaeli.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.774963

### ÖZET

Enerji ihtiyacımızı karşılarken yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak, çevresel sorunların azalmasını ve enerji üretimi için kullanılan kaynakların gelecek nesillere aktarılmasına imkân sağlamaktadır. Toplumların çevresel sorunlara ilgisinin artması, devletlerin enerji politikalarının şekillenmesine katkı sağlamış ve enerji verimliliği ile beraber yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak enerji üretimi konusunda yatırımlar hız kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde edilen temiz enerjinin maliyetleri her ne kadar azalmışsa da fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında hala pahalı bir teknolojidir. Maliyet yüksekliği dönüşüm hızını düşüren bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Bazı yenilenebilir enerji teknolojilerinin düşen maliyetleri fosil yakıtlarla enerji üretim maliyetlerine çok yakın olsalar da hala birçok teknoloji rekabet edebilecek seviyede değildir. Birleşmiş Milletler ve Avrupa Birliği gibi Uluslararası kurumlarda, üye devletlerin ortak kararları ile fosil yakıtların düşük maliyetlerine karşı, yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinin teşvik edilmesi kararları alınmış ve belli hedefler konulmuştur. Temiz enerji üretimi için ihtiyaç olan sermayenin salt devletler tarafından karşılanması yatırım hızını düşüren bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Yönetimler temiz enerjiye yatırım yapmak isteyen kişi ve kuruluşlara teşvikler sağlayarak enerji dönüşümünün mali yükünü paylaşma yöntemini benimsemiştir. Devletler coğrafi koşulları, ekonomik ve teknolojik altyapılarına bağlı olarak enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş için farklı politikalar geliştirmektedir. Bu çalışmada farklı ülkelerde ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının genel durumu ve bu kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi için verilen teşvik yöntemleri incelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji, Enerji Teşvikleri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları

## Investigation of Incentive Methods for Electricity Produced from Renewable Energy Sources

### ABSTRACT

Utilizing renewable energy resources to meet energy needs allows the reduction of environmental problems and the transfer of resources used for energy generation to future generations. The increasing interest of societies in environmental problems has contributed to form the energy policies of the states and investments in energy production by using renewable energy resources have accelerated. Although the costs of clean energy obtained from the renewable energy sources have decreased, it is still an expensive technology compared to fossil fuels. High cost is a factor that reduces the transformation rate. Although the decreasing costs of some renewable energy technologies are very close to the cost of generating energy from fossil fuels, many renewable energy technologies are still not at a competitive level. In the international institutions such as the United Nations and the European

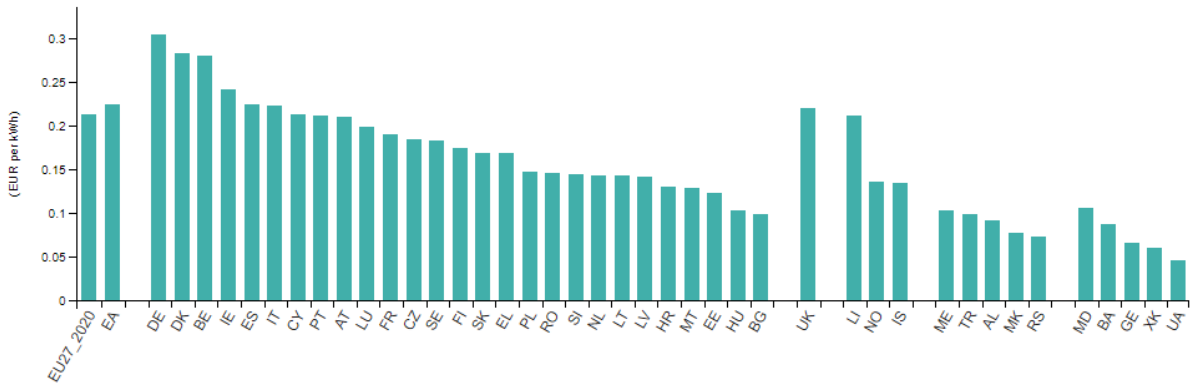
Union, decisions have been taken to encourage renewable energy generation technologies against the lower cost fossil fuel sources and certain targets have been set. The fact that the capital required to produce clean energy is met only by the states is a factor that reduces the investment rate. The administrations have adopted the method of sharing the financial burden of the energy transformation by providing incentives to individuals and organizations that want to invest in clean energy. States develop different policies for transition to renewable energy sources in energy production, depending on their geographical conditions, economic and technological infrastructure. In this study, the overall situation of renewable energy sources and incentives for electric energy production from these sources in different countries and in Turkey, has been discussed.

**Keywords:** Renewable Energy, Energy Incentives, Energy Sources

## I. GİRİŞ

Ana enerji kaynağımız olan fosil yakıt kaynakları yüksek bir hızla tükenmekte ve bu yakıtlar kullanılarak enerji üretimi yapılması çevresel sorunlar oluşmasına sebep olmaktadır [1]. Fosil yakıt kullanmanın telafi edilemeyecek çevresel zararlara yol açması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir [2]. Fosil yakıtların oluşturduğu çevre kirliliği, küresel ısınma ve iklim değişikliği etkilerine karşı, 1997 yılında Birleşmiş Milletler Çerçeve Sözleşmesi kapsamında 192 ülke Kyoto Protokolü imzalanmıştır [3]. Alınan kararda ülkeler sera gazı salımını %80 oranında azaltmayı taahhüt etmişlerdir [4,5]. Avrupa Birliği Parlamentosu, Kyoto protokolünün hayata geçirilmesi amacı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik, 27 Eylül 2001 tarih ve 2001/77 / EC sayılı Avrupa Parlamentosu Konsey Direktifini yayınlamıştır [6,7]. Avrupa Parlamentosu 31 Ocak 2008 tarihinde onayladığı kararla, 2020 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılarak üretilen enerjinin oranını %20'ye çıkarılmasına karar vermiştir [8]. 2019 yılında dünya üzerinde üretilen elektrik enerjisi bir önceki yıla göre %1,5 artışla 27.004,7 TWh olarak gerçekleşmiştir. Bu enerjinin, %36,4'ü kömürden, %26'sı yenilenebilir enerji kaynaklarından, %23,3'ü doğalgazdan, %9,3'ü nükleer kaynaklardan ve %5'i diğer kaynaklardan elde edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu %26'lık dilimin, %15,6'lık kısmı hidroelektrik santraller ve %10,4'lük kısmı ise rüzgar, güneş, biyokütle gibi gelişmekte olan diğer kaynaklardan elde edilen elektrik enerjini temsil etmektedir [9]. Mevcut durumda yenilenebilir enerji kaynakları elektrik enerjisi içinde ciddi bir paya sahip olmakla beraber, birincil kaynak durumuna gelmesi zaman alacaktır.

2020 yılının ilk yarısında AB'de hane halkı elektrik fiyatları, Almanya'da 0,3043 €/kWh ile en yüksek, 0,0997 €/kWh ile Bulgaristan'da en düşük değere sahiptir. Bölge ülkesi Türkiye'de ise hane halkı elektrik fiyatı 0,0995 €/kWh'tir. Avrupa bölgesinde en düşük hane halkı fiyatı 0,0466 €/kWh ile Ukrayna'dadır. 2020 yılı ilk yarısı Avrupa Bölgesi hane halkı tüketicileri elektrik fiyatları Şekil 1'de görülmektedir [10].



**Şekil 1.** 2020 yılı ilk yarısı Avrupa Bölgesi hane halkı tüketicileri için vergiler dahil elektrik fiyatları

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin etkileri temelde ekonomik düzeyde incelenmektedir. Mevcut konvansiyonel enerji sistemlerinin, yenilenebilir enerjiye dönüştürülmesi yeni bir ekonomik sektörün oluşmasını sağlamaktadır. Yatırım kararları ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin sürdürülebilirliği, ekonomiyi kademeli olarak dönüştürmektedir. Kullanılmakta olan enerji tedarik modellerinin ekonomik büyümeye olan katkısının yerini, çevreyi ön planda tutan bir ekonomi almaktadır. Yeni iş tanımları ve kaynakların oluşması ekonomik ivmelenmeyi desteklemektedir [11,12].

Dünya üzerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının, toplam enerji kaynakları içindeki oranı sürekli artmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin hükümetler ve düzenleyici kurumlar tarafından karma enerji grubuna girmesini teşvik etmek amacı ile çeşitli politik kararlar alınmakta ve destek mekanizmaları geliştirilmektedir [13]. Martin ve Arkadaşları Almanya, Avusturya ve İsviçre'de Yenilenebilir Enerji yatırımı yapan firmaların, yatırım gerekçelerini incelemiştir. Yatırımlar Almanya'da uygulanan vergi avantajlarının, İsviçre'de talebe bağlı faktörlerin ve Avusturya'da kamu sübvansiyonlarının yatırımcıyı yönlendirdiği tespit edilmiştir [14,15].

Coğrafi koşullar yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) olarak kabul edilen rüzgâr, güneş, biyokütle, jeotermal, hidro enerji ve okyanus enerjilerinin kullanımında belirleyici unsurdur [16,17,18]. Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak, konvansiyonel kaynaklar olarak bildiğimiz fosil yakıtlar yönünden kısıtlı imkanlara sahip olan ülkelerin enerji bakımından dışa bağımlılıklarının azalmasını sağlar [19].

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin ekonomik büyüme ve gelişme, sürdürülebilir "yeşil" büyüme, istihdamın ve yeni iş fırsatlarının oluşması, yerel ekonomilerin geliştirilmesi, yeni anlayışların gelişmesi, teknolojik gelişim, ithalatın azalması, ticaret dengesinin iyileştirilmesi, kırsal alanlarda elektrik üretim kapasitesinin artırılması, imalat sanayinin ve diğer ilgili sanayilerin gelişimi, üretimin geliştirilmesi olarak özetlenebilir. Negatif ekonomik etkileri; büyük finansal teşviklere ihtiyaç duyması, enerji üretim maliyetinin yüksek olması, biyoyakıt üretimi için daha fazla gıda kullanılmasının gıda fiyatlarında artışa sebep olması, doğal özellikleri nedeniyle, yenilenebilir kaynakların coğrafi koşullara bağlı olarak değişkenliği ve öngörülemezliği arz güvenliğini azaltmaktadır. Güvenilir verimli yüksek enerji arzı ve gelişmiş bir enerji sektörü, ekonominin gelişmesini ve rekabet gücünün artmasını sağlar [20].

Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş sürecinde, dağıtılmış yenilenebilir enerji (DRE) sistemlerinin teşvik edilmesi enerji güvenli açısından önem arz etmektedir. Enerji güvenliği açısından dağıtılmış yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımı nedeniyle kullanıcılara ekstra maliyetler getirecektir [21].

Yenilenebilir enerji projelerinin finansmanında teşvikler yer alıyor ise, proje karlılığının arttığını ve projenin geri ödeme süresinin kısa olduğunu tespit edilmiştir [22]. Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ekonomik ve teknolojik kavramlar olduğu gibi, aynı zamanda sosyal ve politik kavramlardır. Enerji geçişlerini başarıyla yönetmek için vatandaşların kabulü ve desteği şarttır [23]. Kişilerin çevresel kaygılarının çevre yanlısı davranış üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır [24]. Yerel halkı fotovoltaik ve rüzgar enerjisi üretiminde yatırımcı haline getirmek, iklimin korunmasında ve halkın ekonomik gelişimine katkı sunmada etkili olacaktır. Toplumun enerji üretimine katkı sunması sağlanacak olan teşviklere bağlıdır [25]. 2015 Paris Sözleşmesi karbon emisyon hedefine ulaşmak için 2015-2050 yılları arasında 44 trilyon \$ yatırım yapılması gerekmektedir. Devletlerin ve kurumların yatırım bütçelerindeki kısıtlılık farklı sermaye gruplarının yatırım yapmaya teşvik edilmesi ile karşılanabilir. Finansal kurumlar, kamu hizmetleri veya işletmeler gibi geleneksel yatırımcılar düşük karbon teknolojileri (LCT) için sermaye sağlayıcıları olmakla birlikte, yerel halkında yatırımcı olarak sorumluluk üstlenmesi sağlanmalıdır [26]. Yerel yatırımcıların kuracağı tesisler 50 MW'tan küçük güçte ve dağıtılmış bir yapıya sahiptir [27]. Yenilenebilir enerji teknolojilerini yatırım yapan bölgesel yatırımcılar, diğer bölgesel aktörlerin yatırım kararı almasında örnek teşkil etmektedir [28].

Yenilenebilir enerji teknolojilerine geçiş faktörleri aşağıdaki etkenlere bağlıdır [29]:

- Bölgenin yenilenebilir enerji teknolojilerine geçiş oranına
- Bölgenin çevresel sorunlara karşı duyarlılığı

- Yenilenebilir enerji sağlayıcılarının bölge sanayileşmesindeki payına
- Yönetmelik veya sübvansiyonlar yoluyla verilen devlet desteklerinin büyüklüklerine
- Enerji maliyetlerindeki artışlara
- Yenilenebilir enerji sağlayıcılarının sosyal sorumluluk anlayışına

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi için teknolojik imkânlar ve ekonomik düzeylerinden kaynaklı farklar nedeniyle tek bir teşvik yapısı uygulanamaz. Ülkelerin, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik uyguladıkları teşvikler vergi teşviklerini de kapsayan mali teşvikler ve üretim teşvikleri şeklinde gruplandırılmaktadır [30].

Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi alanında yatırımcı firmaların dikkat ettiği bir konuda, yatırımlar esnasında sağlanan vergi muafiyetlerinin yanında, muafiyet sonrası uygulanacak vergi oranlarıdır. Bazı ülkeler yenilenebilir enerji alındaki yatırımları teşvik için, uygulanacak vergi oranlarını düşürmeye veya tamamen ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar başlatmıştır [31].

Ülkelerin yenilenebilir enerji teşvik sistemleri Zuraidah ve arkadaşları tarafından 6 maddede özetlenmiştir [32,33];

1. Sabit fiyatla prim tarifesi: Üreticilerinin ürettikleri elektriği şebekeye belirli bir fiyattan satabileceklerini garanti eden sabit fiyatlı tarifeye sahip bir destekleme yöntemi (Feed in Tariff-FIT) veya üreticiler tarafından alınan toptan piyasa fiyatına bir bonus ekleyen prim tarifesidir (Feed in Premium-FIP).
2. Maliyet Dağıtımı: Yenilenebilir enerji sağlayıcısı ile enerji üretimi için sözleşme imzalanır. Maliyet ve gerçek piyasa fiyatı arasındaki fark, son kullanıcılara yansıtılır veya genellikle devlet bütçelerinden ödenir.
3. Maliyet Sınırlama: Her yıl bir destek politikası kapsamında verilebilecek toplam kapasiteyi veya toplam tarifeleri sınırlamaktadır.
4. Kontrat Süresi: Teşviklerin tedarikçiye ödenme süresi ülkeler arasında farklılıklar göstermektedir. Bazı ülkeler 10 yıl gibi bir süre için yüksek bir tarife sunarken, diğer ülkeler 25 yıla kadar daha düşük bir tarife sunmaktadır.
5. Tarife tutarı: Teşvik tarifesi belirlenirken üretim maliyeti, konum, sistem boyutu, enerji kaynağı, teknoloji gibi faktörler dikkate alınmaktadır.
6. Azalan Oran: Teşvikler zaman içinde azaltılarak yenilenebilir enerji teknolojilerinin ekonomik uygulanabilirliğine uyum sağlanmaktadır.

Kota zorunluluğu, sertifika sistemi ve vergilendirme sistemi ile yenilenebilir enerji teşvik edilebilir. Yenilenebilir enerji üretimi yapan kişi ve kurumlar, her birim enerji miktarı kadar sertifika almaktadır. [34]. Kota zorunluluğu, enerji üreticilerinin ürettikleri enerjinin belli bir kısmını yenilenebilir kaynaklardan tedarik etmesi yükümlülüğüdür. Yenilenebilir kaynak kullanarak üretilen enerjinin kota miktarını aşması durumunda, enerjinin fazla kısmı, kota miktarını dolduramayan üreticilere satılabilir [35].

Artımlı destek politikalarının önemi azalmaktadır. Enerji üretimi için verilen teşviklerin enerji piyasası risklerine karşı korunma amacıyla kullanılması ön plana çıkmaktadır [36].

Teşvik sistemlerinde FIT ve FIP en sık rastlanan programlardır. Ancak açık artırma planlarının son dönemde ön plana çıktığı görülmüştür. Avrupa Komisyonu, FIT'lerin cazip bir teşvik yöntemi olmaktan uzak olduğunu ifade etmekte ve piyasa fiyatını baz alan FIP gibi teşvik yöntemlerinin kullanılmasını önermektedir [37]. Maliyeti daha fazla olan yenilenebilir enerji teknolojilerine, daha yüksek teşvik uygulanması, ekonomik açıdan tezat teşkil etmektedir. Ancak yüksek maliyetli teknolojilerin zamanla popüler üretim sistemlerine dönüşebileceği öngörülmüş ve maliyeti yüksek olsa bile teşvik edilmesi gerektiği ifade edilmiştir [38]. Fosil yakıtlara verilen teşviklerin kaldırılması, yenilenebilir enerji teknolojileri için rekabet ortamını iyileştirmektedir [39].

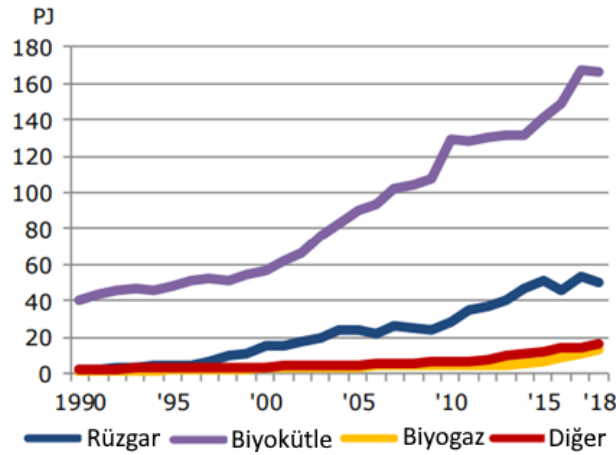


## II. YÖNTEM

Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi için verilen teşvikler ülkelerin çevre politikalarına, mali kaynaklarına, teknolojiye erişimlerine ve yerel enerji kaynaklarına bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada farklı ülkelerin ve Türkiye’de yenilenebilir kaynaklar ile elektrik enerjisi üretimine yaklaşımları ve uyguladıkları teşvik sistemleri incelenmektedir. Isı üretimi ve nakliye için verilen teşvikler incelemenin dışında tutulmuştur.

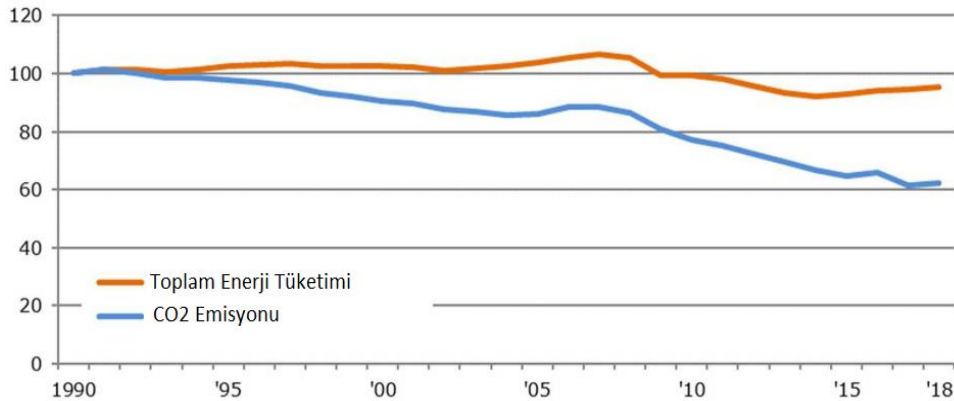
### A. DANİMARKA’DA UYGULANAN ENERJİ TEŞVİKLERİ

Danimarka 2018 yılı toplam enerji üretimi 586.574 TJ’ken, bu enerjinin 172.771 TJ değerindeki kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu değer toplam enerjinin %29’una karşılık gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak enerji üretiminde Danimarka örnek ülke olma durumuna gelmiştir. Şekil 2’de Danimarka yenilenebilir enerji üretimi grafiği görülmektedir.



Şekil 2. Danimarka yenilenebilir enerji üretimi grafiği

Danimarka’nın bina, tarım ve ulaşımda yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artışı ve petrol bazlı kaynakların kullanımının azalmasından dolayı sera gazı emisyonlarını %20 azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 3’te Danimarka’nın 1990-2018 yılları arasında elektrik üretimi ve CO<sub>2</sub> emisyonu gösterilmiştir [40].



Şekil 3. Danimarka elektrik üretimi ve CO<sub>2</sub> emisyonu miktarının değişimi

Danimarka’da uygulanan ilk teşvik, 1979 yılında rüzgar türbininin maliyetinin %30’una hibe şeklinde verilmesidir. 1980’li yıllarda rüzgar enerjisi uygulamalarına 38 milyon Avro hibe olarak verildi ve teşvikler 1989’dan itibaren kademeli olarak azaltıldı. 1993 yılında sabit bir teşvik tarifesi yayınladı.

1997 yılında rüzgar enerjisi kooperatiflerine katılan bireyler için rüzgar enerjisi üretiminden elde edilen gelir için vergi iadesi verildi. 2008 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teşvik Edilmesi Yasası ile üreticiler lehine yapılan değişiklikler, 2009 yılında rüzgar enerjisi üretiminin artması şeklinde etkisini gösterdi [41].

Danimarka enerji modelinde yaklaşım, sektörel bileşenlere ve kavramlara odaklanmak yerine, sektörler arası ve kendi aralarında sinerji oluşturan sistemler arasındaki bağı kurmaktır. Kamu-özel iş birliği, yenilik ve atılımları desteklemektedir. Danimarka enerji modelinin üç esas unsura dayanır; enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve elektrik dağıtım sisteminin geliştirilmesi [42]. 2015 yılında Danimarka hükümeti 2050 yılında fosil yakıtları terk etmeyi taahhüt etmiştir. Danimarka iklim politikaları ile ilgili hedefleri kısmen belirli ulusal emellere ilişkin kararlardan ve kısmen de AB ve BM'deki enerji alanındaki bir dizi uluslararası anlaşmaya uyma yükümlülüğünden kaynaklanmaktadır [43]. Danimarka'da, yenilenebilir kaynaklardan gelen elektrik, esas olarak prim tarifesi ve net ölçümleme yoluyla teşvik edilmektedir. Rüzgar ve güneş enerjisi PV kurulumları için prim tarifesi ihaleler yoluyla verilir. Ayrıca Danimarka ayrı bir devlet fonu aracılığıyla pilot rüzgar türbinlerin inşasını da desteklemektedir.

Danimarka'da uygulanan teşvikler:

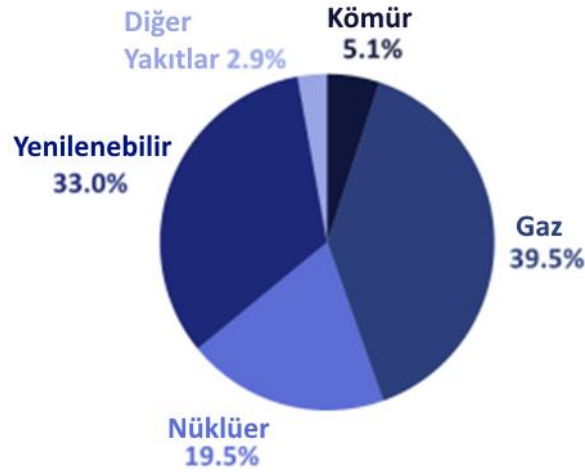
1. İhale Teşvikleri: İhaleler, Danimarka Enerji Bakanlığı tarafından düzenlenmektedir. 2018-2019 yılı 136 milyon € bütçe ayrılmış olup, kWh başına 2 € ct'tir.
2. Prim tarifesi: Deniz aşırı rüzgar tribünlerinin kurulması durumunda 3 € ct bonus verilirken, 6.600 tam yük saati ve 5.6 MW güç için maksimum 8 € ct olarak 20 yıl süre ile ödenmektedir. Gücü 10 kW'a kadar Rüzgar Enerjisi tesisleri için 12 yıl boyunca 28 € ct / kWh, gücü 10 kW-25 kW arasında olan tesisler 18 € ct / kWh prim ödenir. Gazlaştırmadan saf biyogaz veya gaz kullanan tesisler için belirlenen maksimum sübvansiyon 11 € ct / kWh'tır. Biyogazın yanmasından üretilen elektrik oranı için 2020 yılında kWh başına 1,5 € ct/ kWh garanti bonus verilmektedir. [44] Hidroelektrik tesisler şebekeye bağlanma tarihinden itibaren 20 yıl süre ile 1 € ct/kWh'lik sabit destek alır.
3. Net-Ölçümleme: Danimarka'da tüketiciler, Kamu Hizmeti Yükümlülüğü (PSO) olarak adlandırılan bir ücret ödemekle yükümlüdür. Elektrik üreticileri tamamen veya kısmen Kamu Hizmeti Yükümlülüğü'nü ödemekten muafır.
4. Kredi garantileri: Rüzgar ve güneş enerjisi santrali sahipleri santralinin inşasına kadar yürütülen fizibilite çalışmaları için 67.260 € kredi garantisi alabilir.
5. Vergi indirimleri: Yenilenebilir enerji kaynakları ile ısıtma ve soğutma işlemleri yapan tedarikçilere vergi teşviki uygulanmaktadır. Vergi indirimi tutarı, şahıslardan muaf tutulan vergi oranına eşittir.[45, 46]

## B. İNGİLTERE'DE UYGULANAN ENERJİ TEŞVİKLERİ

İngiltere 2018 yılı toplam elektrik üretimi 352 TWh olmuştur. Toplam gücün %33'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmakta olup, bu oran 116,16 TWh'lik enerjiye karşılık gelmektedir. Şekil 4'te İngiltere'nin elektrik üretim kaynakları grafiği görülmektedir [47]. İngiltere, solar PV ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji teknolojilerini hayata geçirmede geç kalmıştır. 1990'da yerel olarak sahip olunan yenilenebilir enerji üretimi yok denecek kadar azken, 2000 yılından sonra yerel halk üretici olarak sisteme dahil edilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. 2014 yılında elektrik üretiminin %19'u yenilenebilir kaynaklardan üretilmiştir. Toplam üretim değerinin %9'u rüzgardan ve %1'den azıda solar PV'den üretilmiştir. İngiltere'de özel sektör rüzgar enerjisi uygulamalarına odaklanmıştır .

2010 yılında yürürlüğe giren Enerji Yasası ile farklı teşvikler (FiT) ile enerji topluluklarının üretimdeki payı arttı. 2015 yılında küçük ölçekli yenilenebilir enerji üretim sınırı 5 MW'tan, 10 MW'a yükseltildi. Fizibilite değerlendirmeleri için yaklaşık 26.000 € hibe ve ön araştırma ve hazırlıklar için 167.000 €'ya kadar kredi verilmiştir [41,48].

İngiltere 2002 yılında yenilenebilir enerjiye geçiş için 2020 yılına kadar bir takvim hazırladı. İngiltere Yenilenebilir enerjiye geçiş programı, yıllık %56-76 arasında değişen düşük oranda gerçekleşmiştir. Program 2014 yılında revize edildi ve 2037 yılına kadar teşvikler devam ettirilmesine karar verildi. 5 MW'ın altında kapasiteye sahip küçük ve orta ölçekli RES'ler için 2010 yılında bir teşvik (FiT) programı başlatılmıştır [49].



Şekil 4. İngiltere 2018 yılı elektrik üretim kaynakları

FiT'den yararlanmalarının yanı sıra, solar PV sahipleri doğal olarak enerjilerinin bir kısmını veya tamamını kullanır veya fazlalığı elektrik şebekesine geri satabilir. Ev tipi güneş enerjisi sisteminin 30 kW'tan daha az bir güce sahip olması durumunda, ev sahibi üretim tarifesi üzerinden bir besleme primi alır. Hane halkı PV güneş enerjisi sisteminin gücü 30 kW'tan fazlaysa, hane halkı fazlalığı toptan eşya fiyatını kullanarak elektrik piyasasında satabilir. Sabit şebeke tarifeleri ve yükümlülüklerle bağlı olarak PV enerjinin çok fazla kullanılmasının hane halkı bütçesine çok yüksek katkı yaptığı tespit edilmiştir [23,50].

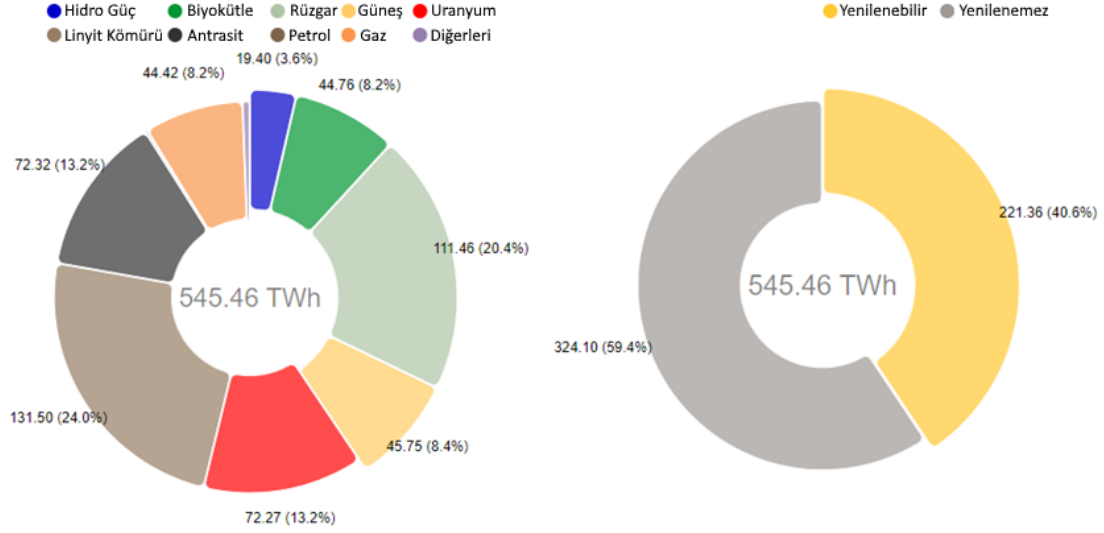
Birleşik Krallık'ta, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi, kota zorunluluğu, sertifika sistemi ve vergi mekanizması açısından tarife sistemi, Fark Sözleşmeleri sistemi kombinasyonu ile desteklenmektedir [51]. Besleme tarifesine göre, tesisleri 5 MW'tan daha az kapasiteye sahip olan akredite üreticiler, elektriklerini Gaz ve Elektrik Piyasası Kurumu (Ofgem) tarafından belirlenen sabit tarife oranlarında satabilirler. Bu plan sadece İngiltere, Galler ve İskoçya için geçerlidir.

İngiltere'de teşvikler 3 ana başlıkta toplanmaktadır. Teşvik tarifesi (FiT), Vergi düzenleme mekanizması ve ihaleler (Fark Sözleşmeleri)

1. Teşvik tarifesi (FiT): Rüzgar enerjisinde gücü 100 kW-1,5 MW olan tesisler için kWh başına 1,94 € ct ve gücü 1,5 MW'ın üzerinde olan tesisler için 0,94 € ct olarak belirlenmiştir. Güneş enerjisinde gücü 250 kW-1 MW arasında olan tesisler için kWh başına 1,56 € ct, gücü 1 MW'tan büyük tesisler için kWh başına 0,22 € ct'tir. Hidroelektrik sistemlerde gücü 500 kW-2 MW arasında olan tesisler için kWh başına 6,98 € ct ve gücü 2 MW'tan büyük tesisler için 6,98 € ct'tir.
2. Vergi düzenleme mekanizması: Yenilenebilir enerji üretimi vergi indirimleri ile teşvik edilmektedir. 250-1.000 kW arasında kurulu gücü bulunan solar enerji üretim tesisi vergi indirim oranı %1,59'dur. 500 - 2000kW arasında kurulu gücü bulunan hidroelektrik tesisinin vergi indirimi oranı %6,06'dır. Kurulu gücü 100 - 1500kW arasında olan bir rüzgar santrali için uygulanan vergi indirim oranı %5,12'dir [52].
3. İhale desteği: Fark sözleşmesi (CfD) olarak isimlendirilmekte olup İngiltere Hükümeti adına Düşük Karbon Sözleşmeleri Şirketi (LCCC) ile, yenilenebilir enerji kaynağından elektrik (RES-E) enerjisi üreten üretici arasında yapılan bir hukuk sözleşmesidir. CfD, piyasa fiyatı ile üreticinin satış fiyatı arasındaki farka dayanmaktadır. Üretici satış fiyatı, piyasa fiyatından düşük olması durumunda, RES-E üreticisine fiyat farkı ödenir [53].

### C. ALMANYA'DA UYGULANAN ENERJİ TEŞVİKLERİ

Almanya'da 2019 yılında toplam 545,46 TWh elektrik üretilmiş olup, bunun 221,36 TWh'lik kısmı yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji üretiminin %40,6'lık kısmına karşılık gelmektedir. Almanya'da elektrik üretimi için kullanılan kaynak çeşitliliği Şekil 5'te gösterilmiştir. [54].



Şekil 5. 2018 yılı Almanya Elektrik Üretim Kaynakları

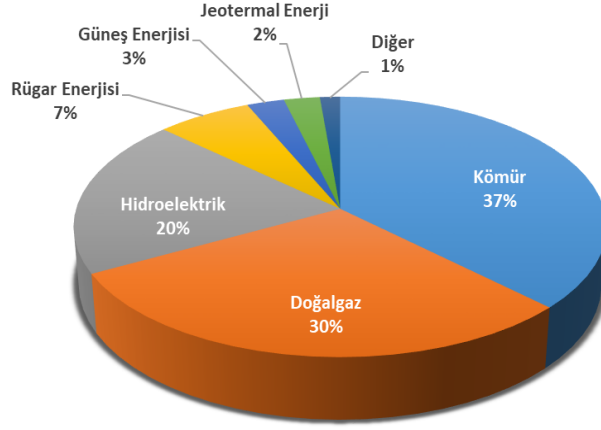
Almanya'da enerji dönüşümünde 3 parametre referans alınmaktadır. Bunlar enerji sisteminin maliyetleri, CO<sub>2</sub> emisyonu ve temel enerji kaynağı tipidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından Biyokütle, rüzgar enerjisi ve PV kaynaklar, enerji üretiminde en büyük değere sahip olacak ana kaynaklardır. Biyokütle potansiyeli tüm ülke için ortak kaynaktır. 2015 yılında fosil yakıtlardan üretilen enerji miktarı 2500 TWh / yıl'dır. Aynı tarihte biyokütle'den 235 TWh / yıl, karadaki rüzgar santrallerinden 526 TWh / yıl (%24), denizdeki rüzgar santrallerinden 242 TWh / yıl (%42,5) ve Fotovoltaik kaynaklardan üretilen elektrik miktarı 316 TWh / yıl (%12) olarak tespit edilmiştir [55,56].

Almanya'da uygulanan destek programları [57, 58]:

1. Standart Yenilenebilir Enerji Programı: Elektrik üretim tesislerinde yapılan yatırımlar için 10 yıllık sabit ve düşük faizli (%1,05) krediler sağlamaktadır.
2. Açık Deniz Rüzgar Enerjisi Programı: Sunulan kredi düşük faizli ve 3 yılı geri ödemesiz olmak üzere, 20 yıl vadelidir. Genel dış sermaye gereksiniminin yüzde 50'sine kadar, proje başına maksimum 400 milyon €, 70'ine kadar, proje başına maksimum 700 milyon €.
3. Enerji ve Çevre Konsorsiyumu Kredi Programı: Kıyıdaki rüzgar santralleri ve foto voltaik tesisler için 4 milyar Avro'ya kadar bir konsorsiyum kredisi sunmaktadır.
4. Yenilenebilir Enerjide Depolama Programı: PV üretim sisteminin 30 kW'a kadar sabit batarya depolama sistemlerinin kurulmasına %100 oranında kredi desteği verilir.
5. İnovasyon Programı: Yenilenebilir enerji teknolojilerine yapılan yatırımların toplam yatırım maliyetlerinin %70'ine kadar kredi, %30'una kadar sübvansiyon sağlar. Destek ilk 5 yıl geri ödemesiz olup, kredi vadesi 30 yıldır.
6. Teşvik (FiT) Tarifesi: Tarife miktarı kanunla belirlenir ve genellikle 20 yıl boyunca ödenir. Karada kurulu rüzgar enerjisi için kWh başına 4,66-8,38 € ct, denizde kurulu rüzgar tesisleri için kWh başına 3,9-1,4 € ct, güneş enerjisinde için kWh başına 8,91-12,70 € ct, hidroelektrik sistemlerde kWh başına 3,47-12,40 € ct, biyokütle ile enerji üretiminde 5,71-13,32 € ct teşvik ödemesi yapılmaktadır.
7. İhale Yapısı: 750 kW'dan başlayan kara ve deniz rüzgar, güneş enerjisi projeleri, 150 kW'dan başlayan biyokütle tesisleri enerji üreticilerine ihale ile verilmektedir. Verilecek teşvikler ihale esnasında üreticilere bildirilir.

## D. TÜRKİYE'DE UYGULANAN ENERJİ TEŞVİKLERİ

Türkiye'nin 2019 yılı elektrik enerjisi kurulu gücü 90.421 MW'tır. 2018 yılında 303,9 milyon MWh elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Toplam elektrik üretiminin %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğal gazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden ve %1,4'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir [59]. Türkiye 2018 yılı elektrik enerjisi üretim oranları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Türkiye 2018 yılı elektrik enerjisi üretim oranları

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesi amacı ile, 5346 numaralı, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun", 18.05.2005 tarih ve 25819 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir [60].

Ayrıca Bakanlar Kurulu 2013 yılında 5625 sayılı karar ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyeti gösteren tesisler için uygulanacak fiyat ve süreleri belirlemiştir. 5346 numaralı kanun ve 5625 sayılı yönetmelikte, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi için üreticilere ödenecek teşvikler belirlenmiştir. Hidrolik veya rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesislerinde üretilen elektrik enerjisi için kWh başına 7,3 \$ ct, jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi için kWh başına 10,5 \$ ct, biyokütle veya güneş enerjisine dayalı üretim tesisi kWh başına 13,3 \$ ct teşvik verilmesi kararlaştırılmıştır. Teşvikler 18/5/2005 tarihi ile 31/12/2020 tarihleri arasında işletmeye alınmış veya alınacak olan Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizmasına (YEKDEM) tabi ve YEK Belgeli üretim lisansı sahiplerine 10 yıl süre ile uygulanmaktadır [61].

2016 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten tesislerde kullanılan yerli aksamın desteklenmesi başlıklı yönetmelik yayımlandı. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten tesislerde kullanılmak üzere Türkiye'de üretilen aksamın veya parçaların belgelendirilmesi, üretilmesi, denetlenmesi ve teşvik miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yerli üretim teşviği kapsamında 18/5/2005 ile 31/12/2020 tarihleri arasında lisanslı tesislerde kullanılmakta olan mekanik ve elektromekanik malzemelerin en az yönetmelikte tanımlanan oranlarda yerli üretim olması durumunda, tesiste üretilecek elektrik enerjisi için 5 yıl süreyle ilave fiyat verilmektedir. Tesisin herhangi bir ünitesinde kullanılan yerli malzeme oranının tesisin diğer tüm kısımlarında da aynı olması zorunludur. Tablo 1'de yerli aksam ve bileşenleri kullanılarak elektrik üreten hidroelektrik, rüzgâr ve fotovoltaik santrallerde kWh başına verilen teşvik miktarı \$ ct olarak gösterilmiştir [62].

5346 sayılı kanunda yenilenebilir enerji kaynakları ile üretim santrallerin kurulu bulunduğu arazilerden, ulaşım yollarından, lisanslarında, enerji nakil hatlarındaki yatırımın ve işletme giderlerinin ilk on yılında

izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerinde %85 indirim uygulanmaktadır. Hidroelektrik üretim tesislerinin kurulu bulunduğu su biriktirme alanlarının Hazine'ye ait kısımları bedelsiz olarak üreticinin kullanımına verilmektedir. Kendi ihtiyacına yönelik Yenilenebilir enerji kaynakları ile 1000 kV'a kadar elektrik gerçek ve tüzel kişilerden projeler için DSİ veya Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hizmet bedelleri alınmamaktadır [60].

**Tablo 1.** Yenilenebilir enerji üretiminde (Hidroelektrik, Rüzgar, Fotovoltaik) kullanılan aksan ve parçaları için verilen yerli üretim teşvikleri

Santral Tipi	İmal Edilen Aksam	Bütünleştirici Parçalar	Parça Aksan İçindeki Oranı	Yerli Katkı İlavesi (\$ ct/kWh)	
Hidroelektrik Santraller	1.Türbin	1.1 Salyangoz veya türbin muhafaza gövdesi ve dağıtıcı boru	%15	1,3	
		1.2 Türbin Çarkı ve varsa Türbin Mili	%35		
		1.3 Ayar kanatları veya nozul	%20		
		1.4 Servomotor ve varsa ayar çemberi	%10		
		1.5 Governor (Hız regülâtörü)	%10		
		1.6 Emme borusu veya zemine bağlantıları	%10		
2.Jeneratör ve güç elektroniği	2.1 Jeneratör	2.1 Jeneratör	%70	1,0	
		2.2 Güç elektroniği	%30		
Rüzgâr Santralleri	1. Kanat	1.1 Kanat ve rotor göbeği bağlantıları	%100	0,8	
		2.1 Jeneratör	%70		
	2. Jeneratör ve güç elektroniği	2.2 Güç elektroniği	2.2 Güç elektroniği	%30	1,0
			3.1 Rotor ve Nasel gruplarını taşıyan kule	%80	
	3. Türbin kulesi	3.2 Kule Bağlantı Elemanları	3.2 Kule Bağlantı Elemanları	%20	0,6
			4.1 Rotor göbek bloğu	%15	
	4. Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı	4.2 Nasel ve Rotor göbek bloğu dış kabinleri	4.2 Nasel ve Rotor göbek bloğu dış kabinleri	%5	1,3
			4.3 Kanat yönlendirme sistemi	%10	
			4.4 Nasel yönlendirme mekanizması	%10	
			4.5 Ana veya sabit mil	%10	
			4.6 Ana mil yatağı ve varsa yatak bloğu	%5	
			4.7 Şase	%10	
4.8 Mekanik ve aerodinamik fren diskleri ve hidrolik kontrol sistemleri			%5		
4.9 Dişli kutulu hız dönüştürücüsü	%30				
Fotovoltaik Güneş Santralleri	1. PV panel montaj mekaniği	1.1 Taşıyıcı yapı	%55	0,8	
		1.2 Elektriksel bağlantılar	%45		
	2.PV modülleri	2.1 Kristal esaslı PV modüller	2.1 Kristal esaslı PV modüller	%100	1,3
			2.2 Odaklayıcı PV modüller(CPV)	%100	
	3.PV modülü hücreleri	3.1 Kristal esaslı PV hücreler	3.1 Kristal esaslı PV hücreler	%100	3,5
			3.2 İnce film esaslı PV hücreler	%100	
			3.3 Odaklayıcı PV hücreler	%100	
	4. İntertör	4.1 İntertör	4.1 İntertör	%100	0,6
	5. Odak malzeme	5.1 Odak malzeme	5.1 Odak malzeme	%100	0,5

6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'na göre yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretmek için lisans başvurusunda ödenmesi gereken bedelin %10'u ödenir. Tesis tamamlanma tarihini takip eden sekiz yıl süresince yıllık lisans bedeli ödemesi yapılmamaktadır. Ar-ge faaliyetleri yürüten tüzel kişilere TEİAŞ ve/veya dağıtım lisansı sahibi tüzel kişilerin uygun bulması ve üretilecek elektriğin ticarete konu olmaması şartı ile lisanssız elektrik üretimi yapabilmesi için izin verilmektedir. 31 Aralık 2020 tarihine kadar ilk defa işletmeye girecek üretim lisansı sahibi tüzel kişilere ait üretim tesislerinin, işletmeye giriş tarihinden itibaren 5 yıl süresince iletim sistemi, sistem kullanım bedellerinde yüzde 50 indirim yapılır. [63].

2012 yılında kabul edilen 3305 sayılı Bakanlar Kurulu kararına göre Türkiye gelişmişlik açısından 6 bölgeye ayrılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi konusunda yapılacak yatırımlara verilecek teşviklerde bu bölgeler referans olarak alınmakta ve uygulanan teşvik yöntemleri bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. Tablo 2’de 1 Ocak 2021’den itibaren geçerli olacak yatırım teşvik bölgelerindeki iller ve teşvik süreleri görülmektedir [64].

*Tablo 2. Türkiye yatırım teşvik bölgeleri, illeri ve süreleri [65]*

1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge	6. Bölge
2 Yıl Süreli	3 Yıl Süreli	5 Yıl Süreli	6 Yıl Süreli	7 Yıl Süreli	10 Yıl Süreli
Ankara	Aydın	Adana	Afyonkarahisar	Bayburt	Adıyaman
Antalya	Balıkesir	Burdur	Aksaray	Çankırı	Ağrı
Bursa	Bilecik	Düzce	Amasya	Erzurum	Ardahan
Eskişehir	Bolu	Gaziantep	Artvin	Giresun	Batman
İstanbul	Çanakkale	Karaman	Bartın	Gümüşhane	Bingöl
İzmir	Denizli	Kırkkale	Çorum	Kahramanmaraş	Bitlis
Kocaeli	Edirne	Kütahya	Elazığ	Kilis	Diyarbakır
Muğla	Isparta	Mersin	Erzincan	Niğde	Hakkari
Tekirdağ	Karabük	Samsun	Hatay	Ordu	Iğdır
	Kayseri	Trabzon	Kastamonu	Osmaniye	Kars
	Kırklareli	Rize	Kırşehir	Sinop	Mardin
	Konya	Uşak	Malatya	Tokat	Muş
	Manisa	Zonguldak	Nevşehir	Tunceli	Siirt
	Sakarya		Sivas	Yozgat	Şanlıurfa
	Yalova				Şırnak
					Van

Türkiye yatırım teşvik bölgelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi için uygulanan yöntemler 4 başlık altında gruplandırılmaktadır. Tablo 3’te bölgesel teşvikler görülmektedir [66];

*Tablo 3. Türkiye’de uygulanan teşvik yöntem uygulamaları*

1. Genel Teşvik Uygulamaları	2. Bölgesel Teşvik Uygulamaları	3. Büyük Ölçekli Yatırımların Teşviki	4. Stratejik Yatırımların Teşviki
KDV İstisnası	KDV İstisnası	KDV İstisnası	KDV İstisnası
Gümrük Vergisi Muafiyeti	Gümrük Vergisi Muafiyeti	Gümrük Vergisi Muafiyeti	Gümrük Vergisi Muafiyeti
-	Vergi İndirimi	Vergi İndirimi	Vergi İndirimi
-	Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği	Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği	Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği
Gelir Vergisi Stopajı Desteği (6. bölge için geçerli)	Gelir Vergisi Stopajı Desteği (6. bölge için geçerli)	Gelir Vergisi Stopajı Desteği (6. bölge için geçerli)	Gelir Vergisi Stopajı Desteği (6. bölge için geçerli)
-	Sigorta Primi Desteği (6. bölge için geçerli)	Sigorta Primi Desteği (6. bölge için geçerli)	Sigorta Primi Desteği (6. bölge için geçerli)
-	Faiz Desteği (3,4,5 ve 6. bölgeler için geçerli)	-	Faiz Desteği (3,4,5 ve 6. bölgeler için geçerli)
-	Yatırım Yeri Tahsisi	Yatırım Yeri Tahsisi	Yatırım Yeri Tahsisi
-	-	-	Sabit yatırım tutarı 500 Milyon TL üzerinde olan 1. Ve 2. Bölgelerde 1 milyon ₺, 3.,4.,5. Ve 6. Bölgelerde 500 bin ₺

Türkiye'nin kurulu elektrik gücü 19 yılda %334,7 oranında artarak 2019 yılında 91.267 MW'a ulaşmıştır. Aynı dönem içinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi artış oranı %395,6'dır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak gerçekleştirilen elektrik üretimindeki hızlı yükseliş yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretim miktarının toplam elektrik üretimindeki payını %48,6'ya çıkmasını sağlamıştır. Türkiye'de yenilenebilir kaynaklarından üretilen güç ve toplam elektrik gücü Tablo 4'te görülmektedir [71].

**Tablo 4. Türkiye yenilenebilir kaynaklı kurulu elektrik gücü ve toplam toplam güç (MW)**

Yıllar	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Biyokütle	Yenilenebilir Kurulu Gücü	Toplam Kurulu Güç	Yenilenebilir Enerji Payı
2000	11.175,2	17,5	18,9		10,0	11.221,6	27.264,1	%41,2
2001	11.672,9	17,5	18,9		10,0	11.719,3	28.332,4	%41,4
2002	12.240,9	17,5	18,9		13,8	12.291,1	31.845,8	%38,6
2003	12.578,7	15,0	18,9		13,8	12.626,4	35.587,0	%35,5
2004	12.645,4	15,0	18,9		13,8	12.693,1	36.824,0	%34,5
2005	12.906,1	15,0	20,1		13,8	12.955,0	38.843,5	%33,4
2006	13.062,7	23,0	59,0		19,8	13.164,4	40.564,8	%32,5
2007	13.394,9	23,0	147,5		21,2	13.586,6	40.835,7	%33,3
2008	13.828,7	29,8	363,7		38,2	14.260,4	41.817,2	%34,1
2009	14.553,3	77,2	791,6		65,0	15.487,1	44.761,2	%34,6
2010	15.831,2	94,2	1.320,2		85,7	17.331,3	49.524,1	%35,0
2011	17.137,1	114,2	1.728,7		104,2	19.084,2	52.911,1	%36,1
2012	19.609,4	162,2	2.260,6		147,3	22.179,5	57.059,4	%38,9
2013	22.289,0	310,8	2.759,7		178,0	25.537,5	64.007,5	%39,9
2014	23.643,2	404,9	3.629,7	40,2	227,0	27.945,0	69.519,8	%40,2
2015	25.867,8	623,9	4.503,2	248,8	277,1	31.520,8	73.146,7	%43,1
2016	26.681,1	820,9	5.751,3	832,5	363,8	34.449,6	78.497,4	%43,9
2017	27.273,1	1.063,7	6.516,2	3.420,7	477,4	38.751,1	85.200,0	%45,5
2018	28.291,4	1.282,5	7.005,4	5.062,8	621,9	42.264,0	88.550,8	%47,7
2019	28.503,0	1.514,7	7.591,2	5.995,2	791,3	44.395,3	91.267,0	%48,6

## **IV. SONUÇ VE ÖNERİ**

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar CO<sub>2</sub> emisyonunun ve olumsuz çevresel etkilerin azalmasına katkı sunacaktır. Hükümetlerin yüksek maliyetli yenilenebilir enerji üretim sistemlerine mali kaynak yaratması doğrudan enerji fiyatlarına ve dönüşüm hızına olumlu etki etmektedir. Özel sektörün enerji üretimi, enerji teknolojilerine yatırım yapması bu dönüşüme ivme kazandırmaktadır.

Teşvikler genel olarak doğrudan üreticiden satın alınan elektrik miktarına bağlı olarak sabit prim (FiT) şeklinde verilse de son dönemde rekabeti artırma etkisine sahip olan sabit primin üzerine ekstra prim verilmesi (FiP) cazip hale gelmiştir. Sabit veya primli sistemlerle satın alma garantileri verilerek yatırımcılar korunmaktadır.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen teşviklerin hedefine ulaştığını, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik miktarının, toplam elektrik üretimi içindeki payının %48,6'ya ulaşmasından anlaşılmaktadır.

Enerji üretiminde yerel kaynakların kullanılması, dağıtılmış enerji çeşitliliğini arttırmakta ve ülkelerin dışa bağımlılığı azalırken, enerji güvenliğini arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak yatırım ile yeni çalışma alanları oluşmakta ve elektrik enerjisi arzını karşılamanın yanı sıra dolaylı olarak ekonomik katkı yapacak kanallar geliştirilmektedir. Danimarka, İngiltere ve Almanya örneklerinde



olduğu gibi tüm vatandaşların elektrik üreticisi konumuna geçirilmesi hane gelirine katkı sunarken, hükümetlerin enerji ve iletim yatırımlarından tasarruf etmesini sağlamaktadır.

Günümüzün en rekabetçi teşvik sistemi ihale yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde de YEKA olarak hayata geçirilen ihale yöntemi ile enerji ihtiyacı piyasa değerinden çok daha ucuza sağlanırken, enerji piyasası aktörlerinin yeni alanlarda faaliyet gösterme gayreti teşviklerle desteklenmekte ve yüksek yatırım maliyetlerine katlanan girişimcilerin yatırımları güvence altına alınmaktadır.

Yenilenebilir enerji yatırımlarının artması için hükümetler coğrafi koşulları dikkate alarak enerji yatırımcılarına kredi, vergi indirimi, sübvansiyon ve hibe desteği gibi teşvikler sunmalıdır.

Ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretimi oranının artırılması çevresel kazanımlarımızın yanında, kaynaklarımızın çeşitlendirilmesini sağlarken, ithal menşeli doğalgaza olan bağımlılığımızı azaltmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi ve gerekli teknolojilerin geliştirilmesi için teşviklerin planlı şekilde devam etmesi sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerji teknolojilerine yapılan yatırımlar ile yerleşmenin sağlanması, gelecekte dünya pazarından pay almamızı sağlayacaktır.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] O. Ellabban, H. Abu-Rub, F. Blaabjerg, “Renewable Energy Resources: Current Status, Future Prospects And Their Enabling Technology,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 39, ss. 748-764, 2014.
- [2] B. K. Bose, "Global Warming: Energy, Environmental Pollution, And The Impact Of Power Electronics," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, c. 4, s. 1, ss. 6-17, 2010.
- [3] M. Babiker, J.M. Reilly, H.D. Jacoby, “The Kyoto Protocol And Developing Countries,” *Energy Policy*, c. 28, s. 8, ss. 525-536, 2000.
- [4] The Kyoto Protocol - Status of Ratification, UNFCCC Sites And Platforms. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/status-of-ratification> Erişim Tarihi: 01.12.2019.
- [5] D. Gielen, F. Boshell, D. Saygin, M.D. Bazilian, N. Wagner, R. Gorini, “The Role Of Renewable Energy In The Global Energy Transformation,” *Energy Strategy Reviews*, c. 24, ss. 38-50, 2019.
- [6] EU, Directive 2001/77/EC on the Promotion of Electricity Produced from Renewable Energy Sources in the Internal Electricity Market, (27 Ekim, 2001). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32001L0077>
- [7] A. Acaravci, S. Erdoğan, “Environment and Economic Growth Nexus: An Empirical Analyses for Selected Countries,” *Eskişehir Osmangazi University Journal of Economics and Administrative Sciences*, c. 13, s. 1, ss. 53-64, 2018.
- [8] EU, Directive 2009/28/EC On The Promotion Of The Use Of Energy From Renewable Sources And Amending And Subsequently Repealing Directives 2001/77/EC And 2003/30/EC. 5 Haziran, 2006. [Çevrimiçi]. Erişim <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028>
- [9] BP, Statistical Review of World Energy 2020 | 69th edition, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>

- [10] Eurostat Statistics Explained, “Electricity Price Statistics,” [Çevrimiçi]. Erişim: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics) Erişim Tarihi: 06.12.2020.
- [11] S. Jenniches, “Assessing The Regional Economic Impacts Of Renewable Energy Sources – A Literature Review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 93, ss. 35-51, 2018.
- [12] S. Bell, “The Renewable Energy Transition Energy Path Divergence, Increasing Returns and Mutually Reinforcing Leads in the State-Market Symbiosis,” *New Political Economy*, c. 25, s. 1, ss. 57-71, 2020.
- [13] Z. Ngadiron, N.H. Radzi, “Feed-In-Tariff And Competitive Auctions As Support Mechanism For Renewable Energy: A Review,” *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, c. 11, s. 14, ss. 8939-8946, 2016.
- [14] M. Woerter, T. Stucki, S. Arvanitis, C. Rammer, M. Peneder, “The Adoption Of Green Energy Technologies: The Role Of Policies In Austria, Germany And Switzerland,” *Green Energy*, c. 14, s. 14, ss. 1192–1208, 2017.
- [15] T.N. Sequeira, M.S. Santos, “Renewable Energy And Politics: A Systematic Review And New Evidence,” *Journal of Cleaner Production*, c. 192, ss. 553-568, 2018.
- [16] A. Çelikkaya, “Dünyada Yenilenebilir Enerji Yatırımlarına Sağlanan Vergi Teşviklerinin Değerlendirilmesi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 20, s. 1, ss. 357-384, 2018.
- [17] A.J. Armstrong, J. Hamrin, “The Renewable Energy Policy Manual,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea79e/oea79e.pdf> Erişim Tarihi: 10.12.2019.
- [18] W. Saad, A. Taleb, “The Causal Relationship Between Renewable Energy Consumption And Economic Growth: Evidence From Europe,” *Clean Techn Environ Policy*, c. 20, ss. 127–136, 2018.
- [19] Engin Özdemir, H. Emre Bağırın, “Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminde Ülkemizde ve AB Ülkelerinde Verilen Teşvikler”, Türkiye 12. Enerji Kongresi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [20] D. Maradin, L. Cerović, T. Mjeda, “Economic Effects of Renewable Energy Technologies,” *Naše gospodarstvo/Our Economy*, c. 63, s. 2, ss. 49–59, 2017.
- [21] R. Sioshansi, “Retail Electricity Tariff And Mechanism Design To Incentivize Distributed Renewable Generation,” *Energy Policy*, c. 95, ss. 498-508, 2016.
- [22] H. H. Yıldırım, “Yenilenebilir Enerji Yatırımlarındaki Teşviklerin Yatırım Performansları Üzerine Etkisi”, *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, c. 4, s. 3, ss. 330-345, 2019.
- [23] W. Strielkowski, E. Volkova, L. Pushkareva, D. Streimikiene, “Innovative Policies For Energy Efficiency And The Use Of Renewables In Households,” *Energies*, c. 12, s. 7, ss. 1392-1409, 2019.
- [24] B.J. Kalkbrenner, J. Roosen, “Citizens Willingness To Participate In Local Renewable Energy Projects: The Role Of Community And Trust In Germany,” *Energy Research & Social Science*, c. 13, ss. 60–70, 2016.
- [25] H. Kenneth, B.V. Mathiesen, I.R. Skov, “Full Energy System Transition Towards 100% Renewable Energy In Germany In 2050,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 102, ss. 1-13, 2019.

- [26] A. McCabe, D. Pojani, A.B.V. Groenou, "Social Housing And Renewable Energy: Community Energy In A Supporting Role," *Energy Research & Social Science*, c. 38, ss. 110-113, 2018.
- [27] J. Curtin, C. McInerney, B.Ó. Gallachóir, "Financial Incentives To Mobilise Local Citizens As Investors In Low-Carbon Technologies: A Systematic Literature Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 75, ss. 534-547, 2017.
- [28] R. Hannesson, "How Much Do European Households Pay For Green Energy?," *Energy Policy*, c. 131, ss. 235-239, 2019.
- [29] J. Horbach, C. Rammer, "Energy Transition In Germany And Regional Spill-Overs: The Diffusion Of Renewable Energy In Firms," *Energy Policy*, c. 121, ss. 404-414, 2018.
- [30] A. Ulusoy, C. Daştan, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yönelik Vergisel Teşviklerin Değerlendirilmesi," *Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, c. 7, s. 17, ss. 123-160, 2018.
- [31] M. Samancı, "Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Arttırılmasına Yönelik Vergisel Teşvikler: Türkiye ve Seçilmiş Bazı Ülkeler Arasında Karşılaştırma," *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 55-69, 2020.
- [32] Z. Ngadiron, N. H. Radzi, "Feed-In-Tariff And Competitive Auctions As Support Mechanism For Renewable Energy: A Review," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, c. 11, s. 14, ss. 8938-8946, 2016.
- [33] F. Polzin, F. Egli, B. Steffen, T.S. Schmidt, "How Do Policies Mobilize Private Finance For Renewable Energy?-A Systematic Review With An Investor Perspective," *Applied Energy*, c. 236, ss. 1249-1268, 2019.
- [34] S. Abolhosseini, A. Heshmati, "The Main Support Mechanisms to Finance Renewable Energy Development," *IZA Discussion Paper*, Bonn, Germany, c. 8182, 2014.
- [35] S. Şen, "Yenilenebilir Enerji Üretiminde Maliye Politikası Aracı Olarak Teşvikler: Seçilmiş Bazı Avrupa Ülkelerinin Deneyimleri," *Journal of Life Economics*, c. 11, ss. 59-76, 2017.
- [36] K. Neuhoff, N. May, J. Richstein, "Incentives For The Long-Term Integration Of Renewable Energies: A Plea For A Market Value Model, DIW Economic Bulletin," *Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)*, c. 7, s. 46/47, ss. 467-476, 2017.
- [37] E.R. Asensio, D.B. Diez, J. Juan, B. Peiró, A.P. Hoyos, A.C. Santos, "Review Of Wind Energy Technology And Associated Market And Economic Conditions In Spain," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 101, ss. 415-427, 2019.
- [38] K. Lancker, M.F. Quaas, "Increasing Marginal Costs And The Efficiency Of Differentiated Feed-In Tariffs," *Energy Economics*, c. 83, ss. 104-118, 2019.
- [39] A. Ülgen, "Yenilenebilir Enerji Kullanımını Teşvik Yolları Üzerine Bir Değerlendirme," Yüksek Lisans Tezi, Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı, Hacettepe Üniv., Ankara, 2018.
- [40] Danish Energy Agency, "Energistatistik 2018," [Çevrimiçi]. Erişim: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/energistatistik\\_2018.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/energistatistik_2018.pdf) Erişim Tarihi: 14.12.2019.
- [41] J. Curtin, C. McInerney, L. Johannsdottir, "How Can Financial Incentives Promote Local Ownership Of Onshore Wind And Solar Projects? Case Study Evidence From Germany, Denmark, The UK And Ontario," *Local Economy*, c. 33, s. 1, ss. 40-62, 2017.

- [42] Danish Energy Agency, “Danish Energy Model,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ens.dk/en/our-responsibilities/global-cooperation/danish-energy-model> Erişim Tarihi: 15.12.2019.
- [43] Danish Energy Agency, “Energy and Climate Politics,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ens.dk/en/our-responsibilities/energy-climate-politics> Erişim Tarihi: 14.12.2019.
- [44] Avrupa Birliği Komisyonu, “State aid: Commission approves €550 million Danish scheme to support electricity production from biomass installations”, [Çevrimiçi]. Erişim: [https://ec.europa.eu/info/news/state-aid-commission-approves-eu550-million-danish-scheme-support-electricity-production-biomass-installations-2020-may-19\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/state-aid-commission-approves-eu550-million-danish-scheme-support-electricity-production-biomass-installations-2020-may-19_en) Erişim Tarihi: 06.12.2020
- [45] K. Wikberg, “Promotion in Denmark,” Legal Sources On Renewable Energy, 1 Haziran, 2019. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.res-legal.eu/search-by-country/denmark/single/s/res-e/t/promotion/aid/premium-tariff-law-on-the-promotion-of-renewable-energy/lastp/96>
- [46] J. Curtin, C. McInerney, L. Johannsdottir, “How can financial incentives promote local ownership of onshore wind and solar projects? Case study evidence from Germany, Denmark, the UK and Ontario,” *Local Economy*, c. 33, s. 1, ss.40-61, 2018.
- [47] UK Government, *Digest of UK Energy Statistics-Dukes*, (30 Temmuz, 2020). [Çevrimiçi]. Erişim <https://www.gov.uk/government/statistics/electricity-chapter-5-digest-of-united-kingdom-energy-statistics-dukes>
- [48] Ofgem, “Feed-In Tariff (FIT) Rates,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.ofgem.gov.uk/environmental-programmes/fit/fit-tariff-rates> Erişim Tarihi: 22.01.2020.
- [49] Energypedia, “Renewable Energy Quota and Certificate Schemes,” [Çevrimiçi]. Erişim: [https://energypedia.info/wiki/Renewable\\_Energy\\_Quota\\_and\\_Certificate\\_Schemes](https://energypedia.info/wiki/Renewable_Energy_Quota_and_Certificate_Schemes) Erişim Tarihi: 09.12.2019.
- [50] UK Government, *Feed-In Tariffs: Get Money For Generating Your Own Electricity*,” 3 Şubat, 2020. Erişim: <https://www.gov.uk/feed-in-tariffs>
- [51] W. Eadson, M. Foden, “State, Community And The Negotiated Construction Of Energy Markets: Community Energy Policy In England,” *Geoforum*, c. 100, ss. 21-31, ISSN 0016-7185, 2019.
- [52] UK Government, *Feed-In Tariffs*, 29 Temmuz, 2020. Erişim: <https://www.fitariffs.co.uk/>
- [53] G. Maroulis, Renewable energy policy database and support, Legal Sources On Renewable Energy. 09 Ocak, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.res-legal.eu/search-by-country/united-kingdom/tools-list/c/united-kingdom/s/res-e/t/promotion/sum/204/lpid/203>
- [54] Energy Charts, “Net public electricity generation in Germany in 2018,” [Çevrimiçi]. Erişim: [https://www.energy-charts.de/energy\\_pie.htm?year=2018](https://www.energy-charts.de/energy_pie.htm?year=2018) Erişim Tarihi: 15.12.2019.
- [55] K. Hansen, B.V. Mathiesen, I.R. Skov, “Full energy system transition towards 100% Renewable energy in Germany in 2050,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 102, ss. 1-13, 2019.
- [56] BMW, “Energiedaten: Gesamtausgabe, Bundesministerium Für Wirtschaft Und Energie,” Germany, 2012, [Çevrimiçi] Erişim: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energiedaten-gesamt-pdf-grafiken.pdf?blob=publicationFile&v=40>

- [57] T. Sternkopf, “Germany Support schemes,” Legal Sources On Renewable Energy, [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.res-legal.eu/search-by-country/germany/summary/c/germany/s/res-e/sum/136/lpid/135> Erişim Tarihi: 15.12.2019.
- [58] Y. Bayraktar, H. İ. Kaya, “Yenilenebilir Enerji Politikaları ve Rüzgâr Enerjisi Açısından Bir Karşılaştırma: Çin, Almanya ve Türkiye Örneği”, *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, c. 2. S. 4, ss. 1-18, 2016.
- [59] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Elektrik”, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> Erişim Tarihi: 01.12.2019.
- [60] 5346 Sayılı Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik, *Resmî Gazete*, Sayı: 25819, 18 Mayıs 2005.
- [61] T.C. Bakanlar Kurulu, (2013, Kasım 18), “5625 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararı”, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/12/20131205-8.htm> Erişim Tarihi: 06.12.2020.
- [62] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Yerli Aksamın Desteklenmesi Hakkında Yönetmelik, *Resmî Gazete*, Sayı: 29752, 24 Haziran 2016.
- [63] 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu, *Resmî Gazete*, Sayı: 28603, 30 Mart 2013.
- [64] T.C. Bakanlar Kurulu, (2012 Haziran 12), “3305 Sayılı Yatırımlarda Devlet Yardımı Hakkında Bakanlar Kurulu Kararı”, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/06/20120619-1.htm> Erişim Tarihi: 06.12.2020
- [65] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, (2020 Ağustos), “Yatırım Teşvik Uygulamaları Sunumu”, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.sanayi.gov.tr/destek-ve-tesvikler/yatirim-tesvik-sistemleri/md0103011615> Erişim Tarihi: 06.12.2020
- [66] T.C. Kalkınma Bakanlığı, (2018), “11. Kalkınma Planı Enerji Üretiminde Yerli Üretim Çalışma Grubu Raporu”, [Çevrimiçi], Erişim <https://sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/EnerjiTecnolojilerindeYerliUretimCalismaGrubuRaporu.pdf> Erişim Tarihi: 06.12.2020
- [67] O. Yılmaz, H. Hortunluoğlu, “Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye”, *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 74-97, 2015.
- [68] T. Sternkopf, “Turkey: Summary of support schemes,” Legal Sources On Renewable Energy, [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.res-legal.eu/search-by-country/turkey/single/s/res-e/t/promotion/aid/feed-in-tariff-7/lastp/207/> Erişim Tarihi: 15.12.2019.
- [69] M. Ertürk, “The Evaluation Of Feed-In Tariff Regulation Of Turkey For Onshore Wind Energy Based On The Economic Analysis,” *Energy Policy*, c. 45, ss. 359-367, 2012.
- [70] O. Lecuyer, P. Quirion, “Interaction Between CO2 Emissions Trading And Renewable Energy Subsidies Under Uncertainty: Feed-In Tariffs As A Safety Net Against Over-Allocation,” *Climate Policy*, c. 19, s. 8, ss. 1002-1018, 2018.
- [71] TEİAŞ, (2019), “Türkiye’nin Yenilenebilir Kaynaklarına Ait Kurulu Gücünün Toplam Kurulu Güç İçindeki Payının Yıllar İtibariyle Gelişimi”, [Çevrimiçi] Erişim: <https://webapi.teias.gov.tr/file/6ec2f3a6-6c02-4da8-ac5c-6659ae2f3ce2?download> Erişim Tarihi: 06.12.2020.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Bir Dizel Motoruna Etanol Fumigasyonunun Enerji Dağılımına Etkisi

 Ömer Faruk YILDIZ <sup>a,\*</sup>,  Yusuf ÇAY <sup>b</sup>,  Vezir AYHAN <sup>b</sup>,  İdris CESUR <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: omerfaruk.yildiz.90@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.634631

### ÖZET

Enerji ihtiyacını karşılamak için ülkemizde olduğu gibi dünya genelinde de hâlihazırda petrol türevli yakıtlar kullanılmaktadır. Artan sanayileşme ve nüfus yoğunluğu ve buna bağlı olarak taşıt miktarı ile birlikte petrole olan eğilim daha da artmakta, bu durum kaynakların tükenmesine yol açmaktadır. Petrol rezervlerinin gün geçtikçe azalması ve petrolün çevreye olan olumsuz etkileri göz önüne alındığında alternatif yakıtlara olan yönelim artmaktadır. Bu çalışmada su soğutmalı, tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda farklı yakıt karışımları kullanılarak motorun enerji değişimleri incelenmiştir. Motorun 1200 d/d ile 2400 d/d arasında 200'er d/d aralıklarla farklı devir sayıları için dört farklı yakıtla çalıştırıldığı durumdaki enerji analizleri yapılmıştır. Öncelikle yakıt olarak standart dizel (STD) kullanılmıştır. Sonra sırası ile hacimsel olarak %20 etanol (E20), %25 etanol (E25) ve %30 etanol (E30) olacak şekilde etanol emme manifoldundan elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi yardımıyla püskürtülmüştür. Dizel motorun bu yakıtlarla kullanılmasının enerji analiz parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda; motor performansında düşüşler, özgül yakıt sarfiyatında artış gözlemlenmiştir. Standart dizel, E25 ve E30 yakıtları için en verimli devir 1400 d/d iken, E20 yakıtı için 1600 d/d olarak tespit edilmiştir. 2000 d/d ve üst devirler için E30 yakıtının standart dizele alternatif olarak kullanılabilceği görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Etanol, Fumigasyon, Enerji analizi

## Investigation of The Effect of Ethanol Fumigation on Energy Distribution in a Diesel Engine

### ABSTRACT

In order to meet the energy need, petroleum-derived fuels are already being used throughout the world as in our country. With increasing industrialization and population density and consequently the amount of vehicles, the tendency towards oil increases, which leads to depletion of resources. Considering the decrease in oil reserves and the negative effects of oil on the environment, the tendency towards alternative fuels increases. In this experiment, thermodynamic analyzes were performed for a water-cooled, single-cylinder direct injection diesel engine. Energy analyzes were carried out when the engine was operated with four different fuels at different speeds between 1200 rpm and 2400 rpm by increasing 200 rpm. First, standard diesel (STD) was used as direct fuel injection. Then 20% ethanol (E20, 25% ethanol (E25 and 30% ethanol (E30) is sprayed from the intake manifold by means of electronical controlled ethanol injection system. The effect of diesel engine with these fuels on the energy analysis parameters was investigated. As a result of this study; overall improvements in emissions and reductions in engine performance were observed. While the most efficient speed for standard diesel, E25 and E30 fuels is 1400 rpm, it is determined as 1600 rpm for E20 fuel. It is seen that E30 fuel can be used as an alternative to standard diesel for 2000 rpm and higher cycles

**Keywords:** Ethanol, Fumigation, Energy analysis

# I. GİRİŞ

Ülkelerin refah, gelişme ve kalkınmalarını sağlamak için en önemli araç olan enerji, son zamanlarda küresel sistemde en stratejik araçlardan biri haline gelmiştir. Bundan dolayı ülkeler enerji politikalarını planlarken; kısa vadede enerji kaynaklarının küresel pazarlara güvenle ulaşması, fiyatlandırma ve arzı göz önünde bulundururken, uzun vadede enerji politikaları ve kalkınma planlamaları önem arz etmektedir. OPEC (Petrol İhraç Eden Ülkeler) 2017 raporuna göre fosil yakıtların 2015'te %81 olan küresel enerjideki payı 2020'de %80'e, 2030'da %78'e ve 2040'ta ise %74'e düşmesi öngörülmektedir. Aynı rapora göre fosil yakıtların küresel enerjideki payında düşüş olsa da petrol ve doğalgazın küresel enerji ihtiyacının %50'sinden fazlasını karşılamaya devam edeceği tahmin edilmektedir. Bu durum gelecekteki birkaç on yıl içinde petrol ve doğalgaz rezervleri açısından bir sorun teşkil etmiyor olsa da yeni kaynakların bulunması, aranması veya üretilmesi gibi konular, küresel ilişkileri etkileyen problemlerden biridir. Türkiye'nin enerji kaynakları bakımından kendine yetebilmesi açısından alternatif enerji kaynaklarının kullanımı kaçınılmazdır [1].

Bu çalışmada azalan kaynaklara alternatif olabilecek yakıtlardan etanolün dizel yakıtla karşılaştırılması ve etanolün dizele alternatif yakıt olup olamayacağı tespit edilmek istenmiştir. Bunun için literatürler taranmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Şenveli [2] yaptığı çalışmada etanolün dizel yakıt ile değişken sıkıştırma oranları ve farklı oranlarda kullanılması durumunu inceleyerek silindir içi basınç ve egzoz emisyonlarının nasıl değiştiğini irdelemiştir. Tek silindirli test motorunu 900 d/d ve yüksüz olarak çalıştırmış ve sırasıyla %100 dizel, hacimsel olarak %5, %10 ve %15 etanol katkılı dizel yakıtı deneyini gerçekleştirmiştir. Bu deney sonucunda etanol katkısının motor moment ve güç değerlerini sürekli azalttığını, özgül yakıt tüketimini ise arttırdığını gözlemlemiştir.

Gündüz [3] yaptığı çalışmada kızartma yağlarından biyodizel elde etmiş ve yakıtta etanol katarak bir dizel motorunda test etmiştir. Dizeli, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile farklı motor devirlerinde egzoz emisyonu ve motor performansını gözlemek amacıyla test etmiştir. Bu deney sonucunda biyodizel ve etanol katkılı biyodizelin moment ve güç değerlerinin dizel yakıtta göre düşük çıktığını, yakıt sarfiyatının yüksek çıktığını, NO<sub>x</sub> değerlerinin dizele göre yüksek çıktığını gözlemlemiştir.

Ayaz [4] yaptığı çalışmada biyodizel ve biyoetanol katkılı yakıtları 3 silindirli ve direk püskürtmeli dizel motorda denemiştir. Çalışmasını sabit devirde (1500 d/d) ve değişik yük şartları altında yapmıştır. Bunun sonucunda yakıt tüketiminin yüklerle birlikte arttığını, özgül yakıt tüketiminin yükün artmasıyla düştüğünü, motor efektif veriminin yükün artmasıyla orantılı arttığını, CO emisyonlarında yükün artışıyla birlikte artış olduğunu gözlemlemiştir.

Sayın [5] yaptığı çalışmada tek silindirli dizel motoru için 1000-3000 d/d arasında 200'er devir arttırarak %5 biyoetanolle farklı oranlarda dizel ve biyodizel karıştırarak ekserji ve enerji analizini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda efektif gücün en çok dizel yakıtta olduğunu, biyodizel oranının artmasıyla motor gücünün azaldığını, maksimum torkun 1500 d/d dizel için, diğer yakıtlar içinse 1400 d/d olduğunu, maksimum gücün ise 2800 d/d'da olduğunu gözlemlemiştir.

Özdemir [6] çalışmasında direkt püskürtmeli bir dizel motorda etanol ve biyodizelin çeşitli oranlarda karışımlarının emisyonlar ve motor performansına etkisini 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 d/d için araştırmıştır. Bu çalışma sonucunda motor moment ve gücünde dizel ve biyodizel karışımında azalma olduğunu, dizel, biyodizel ve etanol karışımlarında yanma veriminin arttığını gözlemlemiştir. Yine bu çalışmada özgül yakıt tüketiminin bütün karışımlarda arttığını bu değişimin ise motor momentini ve gücüyle alakalı olduğunu tespit etmiştir.

Çaylar [7] çalışmasında buji ateşlemeli bir motora etanol katkısının motorun emisyon ve performansına etkisini incelemiştir. Bu çalışmasını 4 silindirli benzinli bir motorda 1000-5000 d/d'lar arasında 1000'er devir arttırarak ve benzin, E5, E10, E20 ve E100 yakıtlarını kullanarak tamamlamıştır. Çalışma

sonucunda motor gücünün azaldığını, yakıt tüketiminin arttığını, CO ve NO emisyonlarının azaldığını, HC emisyonlarının ise arttığını gözlemlemiştir.

Bu çalışma tek silindirli bir dizel motorunda sırasıyla standart, hacimsel olarak %20 etanol, %25 etanol ve %30 etanol katılarak tam yük altında alınan sonuçlar tek boyutlu olarak incelenmiş ve yorumlanmıştır. Deneyler tüm yakıtlar için sabit devir ve yük altında yapılmıştır. Değişken olarak yakıtların hacmi ve miktarı kullanılmıştır.

## **II. MATERYAL VE METOT**

Deney düzeneği genel olarak; tek silindirli bir dizel motor, radyatör, dinamometre, elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi, 25 cm<sup>3</sup>’lük ölçüm yapılabilen bir yakıt kabından oluşmaktadır. Deney düzeneğine ait veriler Tablo 1’de, deney düzeneği şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.

*Tablo 1. Deney düzeneğine ait teknik veriler*

<b>Motor Tipi</b>	<b>Tek Silindirli Dizel Motor</b>
Strok (mm)	100
Strok Hacmi (dm <sup>3</sup> )	0.92
Piston Çapı (mm)	108
Silindir Sayısı	1
Güç, 2200 d/d, (kW)	13
Enjektör Açma Basıncı (bar)	225
Sıkıştırma Oranı	17
Püskürtme Avansı (Krank açısı)	29
Maksimum Devir (d/d)	2500
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon
Piston Tipi	Çanak

Tek silindirli dizel motor olarak Süperstar motor kullanılmıştır. Motora enerji analizini uygulamadan önce hesaplamaların basitleştirilmesi amacıyla aşağıdaki varsayımlar yapılmaktadır.

- Motor, kararlı durumda çalışmaktadır.
- Motorların termodinamik davranışlarını belirleyebilmek için sistemin açık sistem olduğu kabul edilir. Dinamometreyi de içine alan tüm motor, kontrol hacmini oluşturmaktadır.
- Yanma havası ve egzoz gazının ideal gaz karışımı olduğu kabul edilmektedir.
- Kütle giriş ve çıkış akımlarının potansiyel ve kinetik enerjilerdeki değişimleri ihmal edilmektedir [8].

Deneyde kullanılan diğer ekipmanlar ve hassasiyetleri aşağıdaki gibidir.

Deneyel çalışmalar sırasında motoru yüklemek için 50 kg yük tutma kapasiteli hidrolik ESIT marka dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin koluna motorun ürettiği gücü tespit etmek için 0,1 kg hassasiyetle çalışan S tipi Loadcell bağlanmıştır. Deneyler öncesinde Loadcell’in kalibrasyonu yapılmıştır. Dinamometreye ait özellikler Tablo 2’de gösterilmiştir.

*Tablo 2. Dinamometre özellikleri*

<b>Marka</b>	<b>ESIT</b>
Model	STCS 200 kg C3
Frenleme Şekli	Hidrolik
Seri	4901
Çıkış	2 mV/V



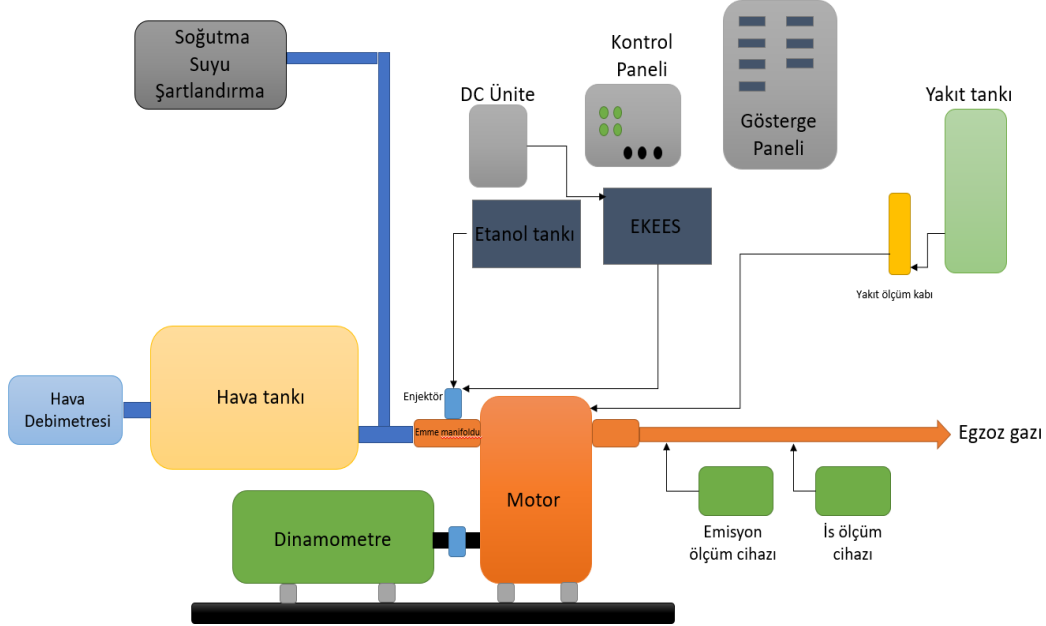
Deneyler sırasında her bir adımda yakıt sarfiyatının ölçülebilmesi için 25 ve 50 cm<sup>3</sup>'lük ölçüm haznesi olan yakıt ölçer kullanılmıştır. Yakıt ölçümü hacimsel olarak ve bir kronometre yardımıyla yapılmıştır. Deneyler esnasında ortam sıcaklığı, egzoz gaz sıcaklığı ve soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları NiCr-Ni tipi termokupullar kullanılarak ölçülmüştür. Bu termokupullar Elimko 680 marka 8 kanallı bir sıcaklık göstergesine bağlanmıştır.

Deneyel çalışmalarda emisyonların ölçülebilmesi için Bosch BEA 060 marka bir egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Emisyon ölçüm sistemi aşağıda gösterilmiştir.

Bu cihaz sayesinde NO<sub>x</sub>, HC, CO<sub>2</sub> ve CO emisyonlarının egzozdaki miktarları yüzde (%) ve ppm olarak ölçülmüştür. İS (duman koyuluğu) emisyonlarının ölçümü için aşağıda gösterilen Bosch BEA "070 marka bir cihaz kullanılmıştır. Cihaz, İS ölçümünü yüzde veya K faktörü şeklinde yapmaktadır. Emisyon cihazlarına ait teknik özellikler Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3. Emisyon cihazları özellikleri**

Ölçüm	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
CO(% Hacimce)	0-10	%0.001
CO <sub>2</sub> (% Hacimce)	0-18	%0.01
HC(ppm)	0-9999	+1,-1
O <sub>2</sub> (% Hacimce)	0-22	%0.01
Hava Fazlalık Katsayısı	0.5-9.999	0.01
İS(% Hacimce)	0-100	% 1
NO(ppm)	0-5000	Ölçülen Değerin %5'i



**Şekil 1. Deney düzeneği şeması.**



*Şekil 2. Enjektör Kontrol Paneli*

Özgül yakıt tüketimi,  $OYT = \frac{\dot{m}_{yakıt}}{p_f}$  formülasyonu ile hesaplanır.

Efektif güç, hidrolik dinamometre kullanılarak elde edilen verilerden yola çıkarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [9].

$$P_f = M_d * \omega = F * l * \omega = F * l * 2 * \pi * n / 60 \quad (1)$$

Burada  $M_d$ ; motor döndürme momenti (Nm),  $n$ ; motor devri (d/d),  $F$ ; dinamometrede okunan su freni yük değeri (N),  $l$ ; kol uzunluğu (m) ve  $\omega$  ise açısal hızı ifade etmektedir.

Hava enerjisi;

$$\dot{Q}_{hava} = \dot{m}_{hava} * h_{hava} \quad (2)$$

Bağıntısından bulunur. Burada  $h_{hava} = c_p * T$  yerine konulursa denklem;

$$\dot{Q}_{hava} = \dot{m}_{hava} * c_p * T \quad (3)$$

Şeklinde düzenlenir.  $c_p$  ise;

$$c_p = 1.04841 - \frac{3.83719}{10^4} * T + \frac{9.45378}{10^7} * T^2 - \frac{5.49031}{10^{10}} * T^3 + \frac{7.92981}{10^{14}} * T^4 \quad (4)$$

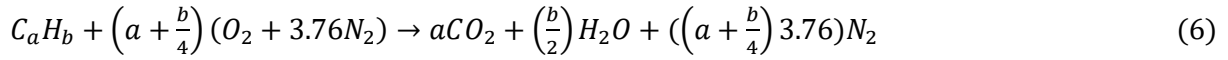
Bağıntısıyla bulunur [10]. Burada  $c_p$ ; özgül ısıyı (kJ/kg.K) ve  $T$ ; sıcaklığı (K) ifade eder.

Kontrol hacmindeki enerji girişinin yalnızca yakıtın kimyasal enerjisinden ibaret olduğu varsayımını yaparsak, yakıt enerji akımının yakıtın alt ısı değeri ( $H_u$ ) ile debisinin ( $\dot{m}_{yakıt}$ ) fonksiyonu olduğunu bulabiliriz. Kontrol hacmindeki enerji girişinin yakıtın kimyasal enerjisi ile oluştuğunu varsayalım. Bu durumda yakıt enerjisi;

$$\dot{Q}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} * H_u \quad (5)$$

Bağıntısından elde edilir. Bu bağıntı için  $\dot{m}_{yakıt}$ ; yakıtın kütleli debisini (kg/s),  $H_u$ ; yakıtın alt ısı değerini (kJ/kg) temsil etmektedir. Bu bağıntıda yakıtın alt ısı değerinin kullanılmasının nedeni yanma sonu sıcaklığının çok yüksek olmasından dolayı yanma sonunda suyun buhar fazında olmasıdır.

Deneyde yanma havasının içinde su buharı bulunmadığı ve molar olarak %79 azot ve %21 oksijen içerdiği varsayılır. Genel bazda bir hidrokarbonun (CaHb) teorik yanma denklemi;



Şeklinde ifade edilir. Bu denklem kullanılan yakıtta uygulandığında da, yakıtın yanma denklemi elde edilir. Bu işlem içinde havadaki N<sub>2</sub>'nin NO<sub>x</sub> ve NO gibi gazlara dönüşmediği ve yanmamış hidrokarbonların emisyon miktarlarının düşük olduğu varsayılarak denklemde HC'ye yer verilmemektedir.

Deneyde kullanılan yakıtlar olan etanol ve dizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 4.** Etanol ve dizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

ÖZELLİKLER	BİRİM	ETANOL	DİZEL
Kimyasal formül	-	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>14</sub> H <sub>25</sub>
Karbon içeriği	% Kütleselel	52,2	87,1
Hidrojen içeriği	% Kütleselel	13,1	12,9
Yoğunluk (285 K)	kg/m <sup>3</sup>	809,9	829
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	273 K	423	220
Kaynama noktası	273 K	78	170-390
Alt ısııl değer	kJ/kg	42640	27000

Deneyde önce standart verileri almak için dizel yakıt kullanılmıştır. İlk deney için öncelikle soğutma suyu açılmıştır. Yağ seviyesi kontrol edilmiştir. Yağ ısıtıcı çalıştırılarak yağ sıcaklığı 80°C'ye gelene kadar beklenilmiştir. Emisyon cihazlarının filtreleri değiştirilmiş ve emisyon cihazları açılmıştır. 1800 d/d'da lambda değeri 1,48-1,52 olacak şekilde motorda lambda ayarı yapılmıştır. Devir 1200 d/d'ya getirilerek motor kararlı hale geldikten sonra veriler alınmıştır. Motor 1400 d/d'ya dinamometre yük kolu kullanılarak getirilmiştir. Bu şekilde 2400 d/d'da dâhil olmak üzere veriler standart olarak alınmış ve STD olarak grafiklerde gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada fumigasyon yöntemlerinden etanol yakıtının emme manifoldundan direk havanın içine püskürtülmesi kullanılmıştır. Etanol miktarı ve süresi elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi ile kontrol edilerek ayarlanmıştır. Etanol parametrelerini belirlemek için bir düzenek kurulmuştur. Bu düzenek etanol tankı, pompa, enjektör, ortak hat sistemi ve hassas teraziden oluşmuştur. Etanol tankının içine pompa koyulmuştur. Düzenek 3 bar'a sabitlenmiştir.

Elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi 500 palsa ayarlanmıştır. Uygulanan her bir mili saniye için 500 palsta püskürtülen yakıt miktarı, 0,01 gram hassasiyette olan terazi yardımıyla bulunmuştur. Emme manifolduna etanol püskürtmek için enjektör konumlandırılmıştır. Enjektör, emme zamanında Üst Ölü Nokta 5° iken püskürtmeye başlamaktadır. Enjektör püskürtme cihazı DC güç kaynağına bağlanmış ve 20V güçte çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Enjektör ölçümleri için gerekli olan encoder motora bağlanmıştır. Encoderin üst ölü nokta ve Z pals noktalarını doğru olarak tanımladığını kontrol etmek için motor el ile döndürülmüştür. El ile döndürme sırasında enjektör kontrol paneli ile karşılaştırma yapılmıştır.

1200 d/d'da önceki okunan güç değerinin %10'u kadarı çıkartılarak 1200 d/d'da standart verilere göre %90 yüke göre motor dinamometre ve gaz kolu yardımıyla ayarlanmıştır. Elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi çalıştırılarak standart verilere göre %100 yüke gelene kadar enjektör ppm sayısı artırılmış ve gerektiğinde dinamometre yük kolu ile oynanarak motor 1200 d/d ve %100 yüke getirilmiştir. Motor kararlı hale gelene kadar beklenilmiş ve sonrasında veriler not edilmiştir. Örneklendirmek gerekirse STD verilerde X devri için dinamometrede 10 kg ölçüldüğü farz edildiğinde

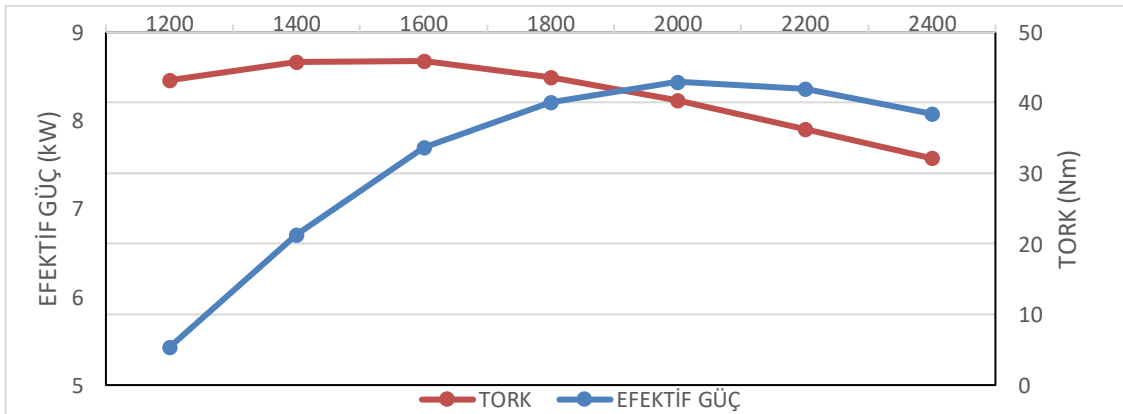
%90 yük için 9 kg dinamometrede ölçülmesi gerekmektedir. Motor STD yakıtla dinamometrede 9 kg okunana kadar devir değiştirilir. 9 kg ölçüldükten sonra etanol ilavesine başlanır. Sadece etanol kullanılarak devir X devrine ve güç ise 10 kg okunana kadar etanol ilavesi yapılır. Bu işlemler sonucunda etanolden 1 kg güç alabilmek için harcanan etanol, aynı gücü sağlayan STD yakıtı göre hacimsel olarak daha fazla gerekmektedir. Yani STD dizelin %10 ile sağladığı gücün etanol ile %20 (E20) hacimle sağlandığı tespit edilmiştir. Bu sonuçla da STD ile 100X kadar hacimde yakıt kullanılması gerekirken 110X etanol ve STD dizel karışımı kullanılması gerekmektedir. Bu da kullanılması gereken havanın daha fazla gerekmesine neden olmuştur. Bu işlemler sonucunda %15 düşük güç için hacimsel olarak %25 (E25) etanol ve %20 düşük güç için %30 (E30) etanol gerektiği tespit edilmiştir. Bu tespitler sonucunda tüm deney E20, E25 ve E30 için 1200-2400 devir aralıklarında 200'er artacak şekilde yapılarak tamamlanmıştır.

### **III. ARAŞTIRMA BULGULARI**

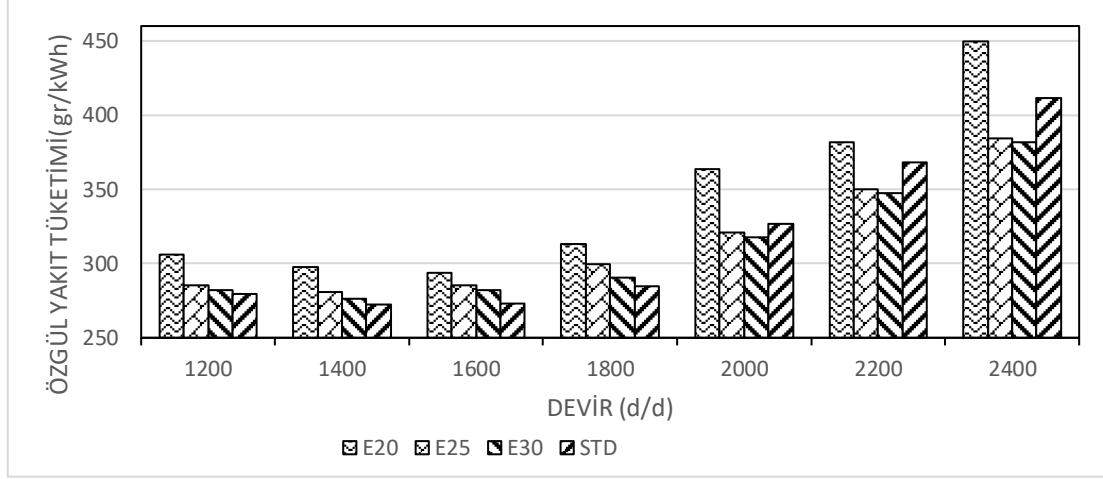
Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motoruna referans olarak dizel yakıtı ve sonrasında ise emme manifoldundan hacimce %20, %25 ve %30 olmak üzere etanol püskürtülerek deneyler tamamlanmıştır. Çalışma sonucunda enerji analizleri yapılmıştır.

Efektif güç ve motor tork grafiği Şekil 3.'de verilmektedir. Motor efektif gücün maksimum seviyesine 2000 d/d'da ulaşmıştır. Güç sabit tutulduğundan tüm yakıtlar için efektif güç değeri aynıdır. Motor torku ise yükün en yüksek olduğu devir olan 1600 d/d'da maksimuma ulaşmaktadır.

Özgül yakıt tüketimi grafiği Şekil 4.'te gösterilmektedir. Motor verim eğrisine göre ters orantılı bir grafik sergilemektedir. Özgül yakıt tüketimi öncelikle motorun optimum devrine kadar düşüş sonrasında ise artış göstermiştir. En yüksek tüketim E20 yakıtında görülmüştür. En düşük tüketim ise 2000 d/d'ya kadar standart dizelde, sonrasında ise E30 yakıtında görülmüştür. Bu sonuçlara bakıldığında yüksek devirler için E30 yakıtı standart dizel yakıtına tercih edilebilir. Motorun maksimum tork ürettiği devir olan 1600 d/d'da E20 yakıtı standart dizele oranla %7'lik bir yakıt tüketimi artışına neden olmuştur. Maksimum gücün elde edildiği devir olan 2000 d/d'da ise %13'lük bir yakıt tüketimi artışı gerçekleşmiştir. Özgül yakıt tüketimi motorun en verimli devri olan 1600 d/d'da en düşük olarak ölçülmüş sonrasında ise devir artışına bağlı olarak artan yakıt ihtiyacına göre artış gözlemlenmiştir.

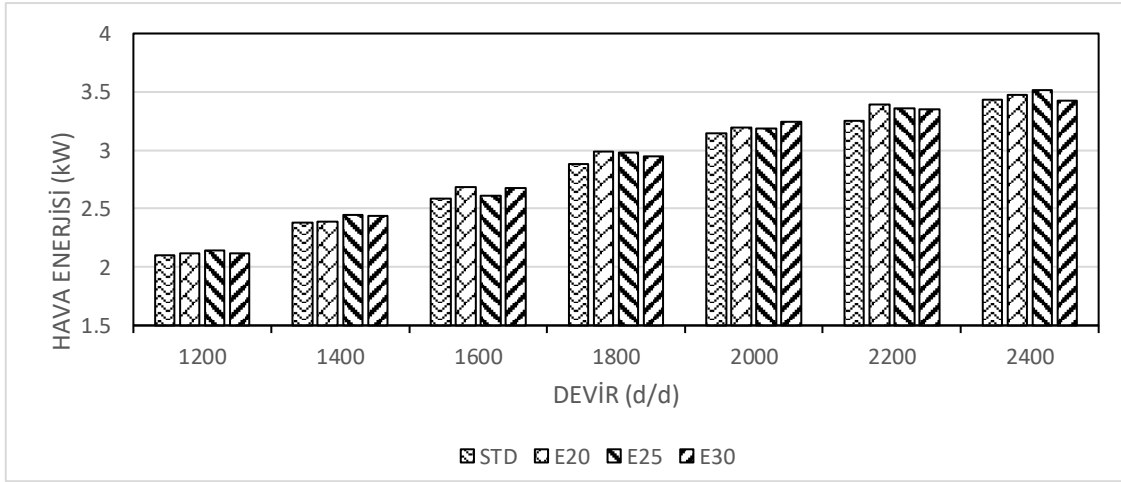


*Şekil 3. Efektif güç ve motor torku.*



Şekil 4. Motor devrine göre özgül yakıt tüketimi.

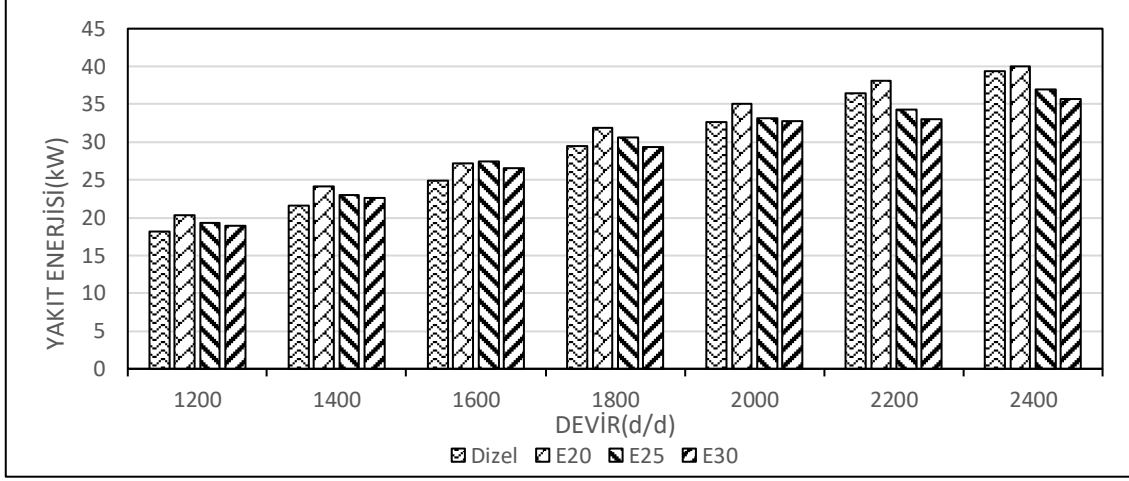
## A. ENERJİ ANALİZİ



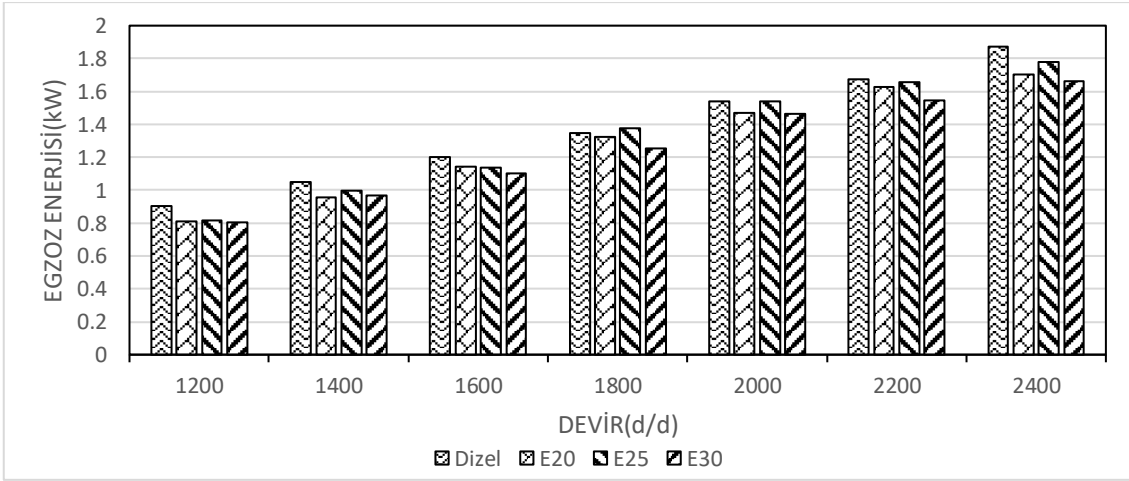
Şekil 5. Motor devrine göre hava enerjisi (kW).

Hava enerjisi Şekil 5'te gösterilmektedir. Hava enerjisine bakıldığında bütün yakıt türlerinde devir sayısına göre bir artış görülmektedir. Bunun sebebi devir sayısı arttıkça daha fazla yakıt hava karışımının yakılmak istenmesi olabilir. Yakıtlar kendi aralarında devir sayısına göre karşılaştırıldıklarında en az hava enerjisine sahip yakıt standart dizeldir. Maksimum tork elde edilen devir olan 1600 d/d'da maksimum ve minimum hava enerji farkı %4 olarak ölçülmüştür. Maksimum gücün sağlandığı devir olan 2000 d/d için ise aradaki fark benzer şekilde %4 olarak gözlemlenmiştir.

Yakıt enerjileri grafiği Şekil 6.'de gösterilmiştir. Yakıt enerjileri devir arttıkça artmıştır. 2000 d/d'ya kadar en düşük yakıt enerjisine sahip yakıt türü, standart dizeldir. 2000 d/d ve sonrasında ise E30 yakıtı en düşük enerjiye sahiptir. En yüksek enerjiye sahip yakıt ise E20 yakıtıdır. Grafiğe bakıldığında standart dizel yerine tercih edilebilecek yakıt olarak E30 yakıtı söylenebilir. 1600 d/d için yakıt enerjisindeki yakıtlar arasındaki fark %10, 2000 d/d için ise %7 olarak bulunmuştur. Yakıt enerjileri de devir sayısı arttıkça oluşan daha fazla yakıt ihtiyacı sonucu artmıştır.



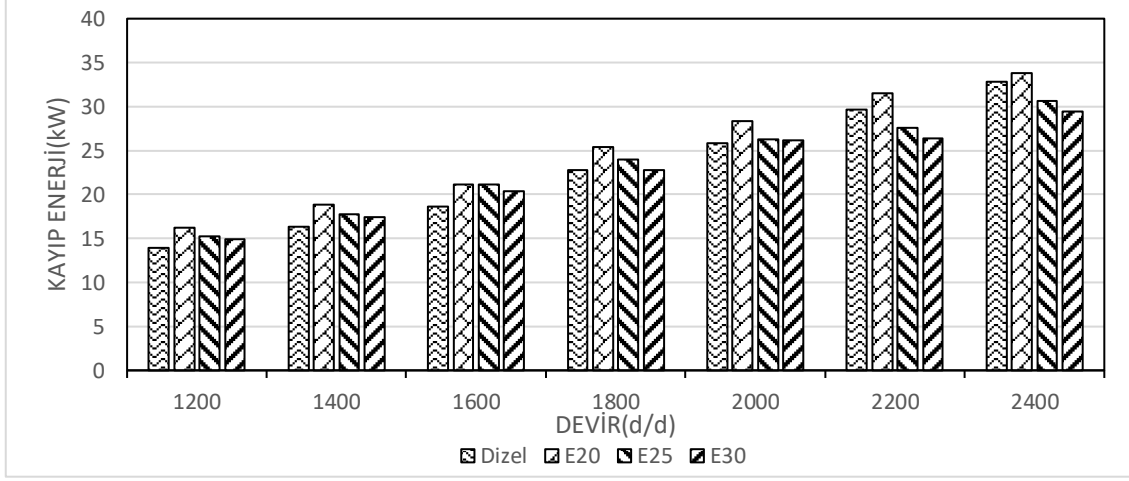
Şekil 6. Motor devrine göre yakıt enerjisi (kW).



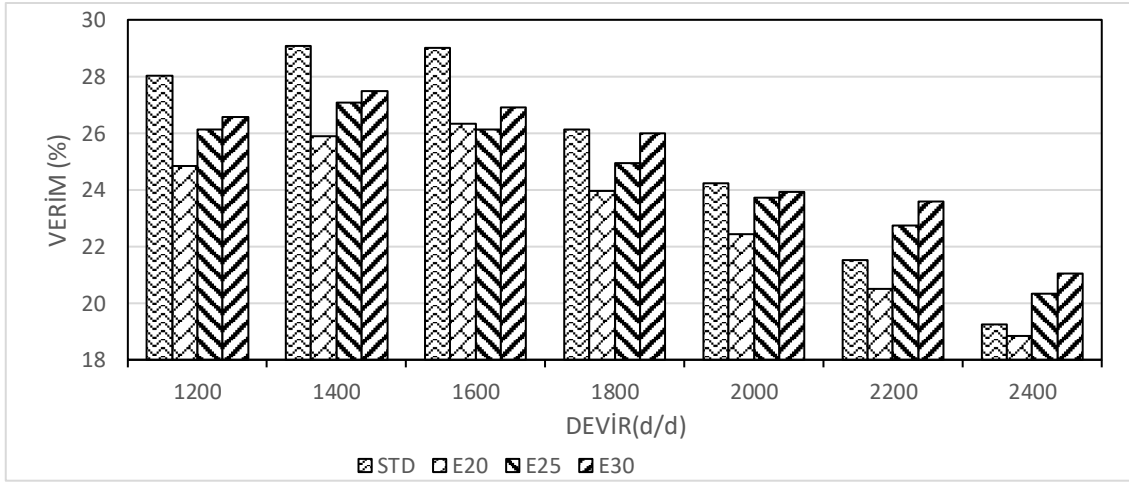
Şekil 7. Motor devrine göre egzoz enerjisi (kW).

Egzoz enerjileri Şekil 7’de gösterilmektedir. Egzoz enerjisine bakıldığında bütün yakıt türlerinde devir arttıkça enerjinin arttığı görülmektedir. Bağımsız olarak incelendiğinde ise enerjisi en yüksek yakıt standart dizel yakıt olarak görülmektedir. Bunun nedeni standart dizelin özgül ısısının karışım yakıtlardan daha yüksek olması olarak söylenebilir. En düşük egzoz enerjisine sahip olan yakıt ise E30 yakıtıdır. Dizele en yakın egzoz enerjisine sahip olan yakıt türü ise E25 olarak görülmektedir. Bu çalışmaya benzer sonuçlar B. Sayın [5] tarafından da tespit edilmiştir. 1600 d/d için yakıtlar arasındaki egzoz enerjisi farkı %9 iken, 2000 d/d için bu fark %7 olarak gözlemlenmiştir. Genel olarak artan devir sayısı ile birlikte artan hava-yakıt ihtiyacı sonucu devir sayısı arttıkça daha fazla egzoz enerjisi oluşmaktadır.

Kayıp enerjisi grafiği aşağıda Şekil 8’de gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde görüldüğü üzere devir sayısına göre kayıp enerji artmaktadır. Yakıt bazında bakıldığında tüm devirlerde en düşük kayıp enerjiye sahip yakıt standart dizeldir. Bu sonuca B. Sayın [5] tarafından da ulaşılmıştır. En yüksek kayıp enerjisine sahip yakıt türü ise E20 yakıtıdır. Kayıp enerjisi için 1600 d/d incelendiğinde %12’lik bir fark varken, 2000 d/d için bu fark %9’a düşmektedir. Artan devir sayısı ve hava-yakıt karışımı ile artan egzoz enerjisi ve motorun en verimli devirden uzaklaşması sonucu motorda oluşan kayıplar artmıştır.



Şekil 8. Motor devrine göre kayıp enerjisi (kW).



Şekil 9. Motor devrine göre enerji efektif verimi.

Enerji verimi için grafik Şekil 9’da verilmiştir. Enerji verimi E20 yakıtı için 1600 d/d’ya kadar, standart dizel, E25 ve E30 için ise 1400 d/d’ya kadar artış ve sonrasında azalma olarak gözlemlenmektedir. 2000 d/d’ya kadar en verimli yakıt standart dizel olarak söylenebilirken, 2000 d/d ve sonraki devirlerde E30 yakıtı olduğu söylenebilir. Tüm yakıt türlerinde verimi en az olan yakıt ise E20’dir. Enerji analizi olarak baktığımızda verim, yakıt sarfiyatı ve performans değerleri standart dizel en yakın yakıt türü E30’dur. E30 yakıtı 2000 d/d sonrasında ise standart dizelden daha mantıklı bir çözüm olarak görülmektedir. Maksimum torkun elde edildiği devir olan 1600 d/d için verimde %10 fark, maksimum gücün elde edildiği devir olan 2000 d/d için ise %8 fark görülmektedir.

## IV. SONUÇ

Bu çalışmada tek silindirli su soğutmalı direk enjeksiyonlu bir dizel motor için enerji analizleri yapılmıştır. Öncelikle standart dizel yakıtıyla farklı devirlerde tam yükte ve sonra sırasıyla hacimsel olarak %20-%25-%30 oranlarında emme manifolduna etanol püskürtülerek deney tamamlanmış ve veriler alınmıştır.

- Motor efektif gücün maksimum seviyesine 2000 d/d’da ulaşmıştır. Motor torku ise yükün en yüksek olduğu devir olan 1600 d/d’da maksimuma ulaşmaktadır.
- Özgül yakıt tüketimi öncelikle motorun optimum devrine kadar düşüş sonrasında ise artış göstermiştir. En yüksek tüketim E20 yakıtında görülmüştür.

- Bütün yakıtlar için havanın sahip olduğu enerji, devir sayısı arttıkça çevrim sayısının artmasının bir sonucu olarak artmıştır.
- Yakıt enerjisi devir sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Devir sayısı arttıkça ihtiyaç duyulan hava-yakıt karışımı artmakta bunun sonucu olarak yakıt enerjisini de arttırmaktadır. Yakıt türlerinin içinde genel olarak yakıt enerjisi en yüksek yakıt türü E20 karışımıdır.
- Egzoz enerjisi devir sayısı ile orantılı olarak artmakla birlikte enerjisi en yüksek yakıt türü standart dizel olarak görülmüştür. Bunun sebebi olarak dizelin alt ısı değerinin etanolden yüksek olması gösterilebilir. Egzoz enerjisindeki devir sayısına bağlı artışın genel sebebi, devir sayısı ile birlikte motora giren hava-yakıt karışımının artmasıdır.
- Kayıp enerji devir sayısına bağlı olarak artmakla birlikte en yüksek kayıp enerjiye neden olan yakıt E20, en düşük kayıp enerjiye sahip yakıt ise 2000 d/d'ya kadar standart dizel sonrasında ise E30 yakıtı olarak görülmektedir. Kayıp enerjideki artışın sebebi ise yine devir sayısının artışı ile yakılan hava-yakıt orasının artışına bağlı olarak daha fazla enerjinin kaybolmasıdır.
- Enerji veriminde E20 yakıtı için 1600 d/d'ya kadar diğer yakıt türleri içinse 1400 d/d'ya kadar artış sonrasında ise azalma görülmüştür. 2000 d/d'ya kadar en verimli yakıt standart dizel olarak söylenebilirken, 2000 d/d ve sonraki devirlerde E30 yakıtıdır. Verimi en düşük yakıt ise E20 olarak tespit edilmiştir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] B. Demir, “Küçük Ölçekli Bir Biyodizel Sisteminin Oluşturulması, Elde Edilen Pamuk Yağı Metil Esterinin Motor Performans testleri, Enerjetik ve Ekserjetik Değerlendirilmesi,” Doktora Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2009.
- [2] E. Şenveli, “Etanol Katkılı Yakıt Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [3] İ. Ayaz, “Dizel Motorlarda Biyo-Etanol, Biyo-Dizel ve Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Yüküne Bağlı Olarak Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [4] İ. Gündüz, “Etanol Katkılı Atık Kızartma Yağlarının Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2017.
- [5] B. Sayın, “Biyo-yakıt Kullanan Bir Dizel Motor İçin Enerji ve Ekserji Analizi Üzerine Bir Deneysel Çalışma,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2014.
- [6] M. Özdemir, “Bir Dizel Motorda Biyo-dizel ve Etanol Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2011.
- [7] G. Çaylar, “İçten Yanmalı Motorlarda Yakıtta Etanol Katkısının Motor Emisyon ve Performansına Etkisi,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [8] M. E. Tat, “Cetane Number Effect On The Energetic And Exergetic Efficiency Of A Diesel Engine Fuelled With Biodiesel,” *Fuel Processing Technology*, c. 92, ss. 1311-1321, 2011.
- [9] Ü. Ünver, Ö. Kaynaklı ve M. Kılıç, “İçten Yanmalı Motorlarda Ekserji Analizi Üzerine Bir Çalışma,” *Otomotiv Kongresi Dergisi*, ss. 161-167, 2002.
- [10] M. J. Moran, H. N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 3. baskı, John Wiley & Sons, New York.





# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Mikroyapı, Sertlik ve Asidik Ortamdaki Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi

 Kubilay KARACI<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Metaller ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Hitit Üniversitesi, Çorum, TÜRKİYE*

\* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: kubilaykaracif@hitit.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.799862

### ÖZET

Titanyum alaşımları, üstün özellikleri nedeni ile birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alaşımlardan yapılan imalat işlemlerinde veya sonrasında kaynak ile birleştirme yapılmaktadır. Bu çalışmada kaynak ile birleştirilen Ti6Al4V titanyum alaşımının mikroyapı, sertlik ve asidik ortamdaki korozyon özellikleri incelenmiştir. Asidik ortamdaki korozyon özelliğinin incelenmesinin amacı, kaynaklı titanyum alaşımlarından yapılan imalatların kimya, petrokimya ve benzeri alanlarda asidik ortamlarda kullanılmasıdır. Ti6Al4V titanyum alaşımının kullanıldığı çalışmada Tungsten İner Gaz (TIG) kaynak yöntemi ile birleştirme yapılmıştır. Optik mikroskop ile mikroyapılar incelenmiş, Vickers yöntemi ile sertlik testleri yapılmıştır. Asidik ortamdaki korozyon davranışının belirlenmesinde potansiyodinamik yöntem ile elektrokimyasal korozyon deneyleri uygulanmıştır. Mikroyapı sonuçlarına göre TIG kaynağı ile Ti6Al4V titanyum alaşımı parçalarda iyi bir birleşmenin gerçekleştiği, kaynak metalinin hem ince uzun morfolojide asiküler  $\alpha$  fazı hem de büyük boyutlu  $\beta$  fazı tanelerinden oluştuğu görülmüştür. Isı tesiri altındaki kaynak bölgesinde kaynak metaline yaklaşıldıkça sertlik artmıştır. Kaynak metali sertliği de esas metale göre oldukça yüksektir. TIG kaynaklı titanyum alaşımının asidik ortamdaki korozyon hızı kaynaklı titanyum alaşımına göre daha yüksek olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** *Titanyum, kaynak, mikroyapı, sertlik, korozyon*

## Investigation of Microstructure, Hardness and Acidic Corrosion Properties of TIG Welded Ti6Al4V Titanium Alloy

### ABSTRACT

Titanium alloys are used in many areas due to their superior properties. Welding can be done in the manufacturing processes made of these alloys or afterwards. In this study, microstructure, hardness and acidic corrosion properties of Ti6Al4V titanium alloy joined by welding were investigated. Since the titanium alloys parts can be used in chemical, petrochemical and similar fields in acidic environments, the corrosion properties have been examined in acidic environment. In the study Ti6Al4V titanium alloy parts were joined by Tungsten Inert Gas (TIG) welding method. The microstructures were examined by optical microscope, and hardness tests were performed using the Vickers method. Electrochemical corrosion experiments were performed by using potentiodynamic method to determine the corrosion behavior in acidic environment. According to the results of the microstructure, it was observed that a good combination was achieved between Ti6Al4V titanium alloy parts by TIG welding and the weld metal consisted of both thin and long morphology  $\alpha$  phase grains and very large sized  $\beta$  phase grains. The hardness increased in the heat affected zone and weld metal than base metal. The corrosion rate of TIG welded titanium alloy in acidic environment was higher than the unwelded titanium alloy.

**Keywords:** *Titanium, welding, microstructure, hardness, corrosion*

## I. GİRİŞ

Titanyum ve alaşımları düşük yoğunluk, yüksek mekanik dayanım, çok iyi özgül dayanım, düşük termal genleşme gibi üstün özelliklere sahip metalik malzemelerdir. Bu özelliklere ilave olarak, farklı çevresel ortamlarda titanyum ve alaşımları, yüzeylerinde oluşan oksit filmi sayesinde çok iyi pasifleşmekte ve korozyona karşı çok iyi direnç göstermektedir. Ayrıca titanyum ve alaşımlarının insan vücudu içerisinde bu üstün özelliklerini koruyabilmesi yani biyoyumluluk özelliği de diğer bir avantajlı özelliktir. Bu avantajlı özellikleri nedeniyle titanyum ve alaşımları, havacılık, otomotiv, denizcilik, nükleer, petrokimya ve sağlık alanlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu üstün özelliklerden dolayı titanyum alaşımlarının kullanım alanları ve kullanım oranları da sürekli olarak artış göstermektedir [1-8].

Titanyum alaşımlarından yapılacak olan imalatlarda veya imalat sonrası tamir işlemlerinde kaynaklı imalat önemli yer tutmaktadır. Titanyumun kendine özgü özellikleri nedeni ile kaynak işleminde zorluklar çıkmakta, bu zorlukları aşmak için bazı tedbirlerin alınması, uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kaynak ile birleştirilecek titanyum alaşımına göre uygun kaynak yönteminin seçimi, uygun elektrot ve ilave metal seçimi, kaynak bölgesi temizliği ve koruyucu gaz kullanımı alınacak tedbirlerden en önemli olanlarıdır. Titanyum ve alaşımlarının kaynak işlemini zorlaştıran en önemli faktör, titanyumun oksijene olan afinitesidir. Yüksek oksijen afinitesi sonucunda titanyum yüzeyinde hızlı bir şekilde oksit filmi oluşmaktadır. Kaynaklı imalat esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklarda oksit filmi oluşumu çok daha hızlı olmaktadır. Oluşan oksit filminin özellikleri titanyumdan farklı olduğu için kaynak işleminde süreklilik zorlaşmakta, hem oksit parçacıkları hem de havadan kaynak havuzuna giren azot, hidrojen gibi gazlar kaynak metaline geçebilmektedir. Bu geçişler kaynak metalinin mekanik dayanımının azalmasına, kırılmalara ve sonuç olarak kötü bir kaynaklı birleştirmeye neden olmaktadır [1, 5, 6, 8-10]. Titanyum alaşımlarının kaynaklı birleştirme işlemlerinde lazer ışını kaynağı, lazer hibrit kaynağı, elektron ışın kaynağı, sürtünme kaynağı gibi farklı kaynak yöntemleri kullanılmakla birlikte TIG kaynak yöntemi tercih edilen bir yöntemdir [1, 2, 9, 11]. TIG kaynak yönteminin tercih edilmesinde, düşük maliyet, yöntemin basitliği, otomasyona uygunluk en önemli etkenlerdir [3, 12-14].

Kimyasal bileşim ve üretim şartlarına bağlı olarak oluşan mikroyapı titanyum alaşımlarının özelliklerinin oluşmasında temel faktördür. Sertlik, dayanım gibi mekanik özellikler ve korozyon gibi elektrokimyasal özellikler, titanyum alaşımlarının mikroyapısından ve üretimde veya üretim sonrası uygulanan ısı işlemlerden etkilenmektedir. Titanyum ve alaşımlarının kaynaklı birleştirme işlemlerinde ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar, kaynak bölgesinin mikroyapısını esas metale göre oldukça farklılaştırmaktadır. Bu yüksek sıcaklıklar sebebi ile kaynak metalini kimyasal bileşiminde ve mikroyapısında lokal olarak homojensizlikler oluşabilmektedir. Kaynak metalini olarak adlandırılan ergime bölgesinde ve kaynak metalini yanındaki ergime olmayan ısıdan etkilenen bölgede mikroyapısal olarak tane büyümesi olmaktadır. Esas metal ve kaynak bölgesinin farklı mikroyapılarda olması titanyum alaşımlarının korozyon özelliğine etki edebilmektedir [15-18].

Titanyum ve alaşımlarının farklı asidik ortamlardaki korozyon davranışları ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [19-28]. Bu çalışmalarda ticari saflıkta titanyum ve farklı titanyum alaşımlarının nitrik asit, sülfürik asit, oksalik asit, laktik asit, kromik asit, formik asit, fosforik asit gibi çözücü ortamlarında korozyon davranışları incelenmiştir. Atmosferik ve tuzlu ortamlarda titanyuma iyi bir korozyon dayanımı sağlayan yüzeyde oluşan pasif oksit filminin, asidik ortamlarda da benzer davranışı gösterdiği yapılan çalışmaların sonuçlarında bildirilmektedir. Kaynak ile birleştirilmiş titanyumun korozyon davranışının incelendiği az sayıda çalışma vardır. İki farklı çalışmada [13, 15] kaynak ile birleştirilmiş titanyumun lityum bromür çözültisindeki korozyon davranışı incelenmiş, kaynak işlemi ile mikroyapının büyük ölçüde değiştiği, malzeme bileşiminde bölgesel farklılıklar oluştuğu ve bu değişimlerin korozyon dayanımını azalttığı belirtilmiştir. Tuzlu su ortamında korozyon davranışının incelendiği başka çalışmalarda da [14, 16] titanyum alaşımının ergitmeli yöntemler ile kaynaklı birleştirmesinde kaynak metalinin oldukça büyük boyutlu kolonsal tanelerden oluştuğu, bu yapının korozyon dayanımını olumsuz etkilediği bildirilmiştir.

Saf titanyum ve titanyum alaşımının mikroyapı, mekanik ve korozyon özellikleri hakkında çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Kaynak ile birleştirilen titanyumun mikroyapı ve mekanik özellikleri ile ilgili çalışmalar da mevcuttur. Fakat kaynak ile birleştirilmiş titanyum alaşımının korozyon davranışları ile ilgili özellikle de asidik ortamlardaki korozyon davranışları ile ilgili çalışma çok az sayıdadır. Halbuki kaynaklı birleştirme ile imal edilen titanyum alaşımı parçalar çeşitli kimya, petrokimya ve benzeri endüstriyel alanlarda asidik ortamlarda kullanılmaktadır. Dolayısı ile kaynaklı titanyum alaşımının asidik korozyon davranışının belirlenmesi önemlidir. Bu alışmada TIG kaynağı ile birleştirilen Ti6Al4V titanyum alaşımının asidik ortamdaki korozyon özellikleri incelenmiş, kaynak işleminin asidik korozyon davranışına etkileri belirlenmiştir. Bunun yanında malzeme özelliklerinde önemli etkisi olan mikroyapı ve malzemelerin mekanik davranışları hakkında genel bilgi veren sertlik özellikleri de incelenmiştir.

## **II. DENEYSEL ALIşMALAR**

TIG kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde Tablo 1’de kimyasal bileşimi verilen Ti6Al4V titanyum alaşımı kullanılmıştır. Titanyum alaşımının kalınlığı 2 mm olup, parçaların ince olması nedeniyle kaynak ağzı açılmadan birleştirme yapılmıştır. TIG kaynağı işlemi, argon koruyucu gaz atmosferinde, 2.4 mm çapında tungsten elektrot, 1.5 mm çapında AMS4954 ilave kaynak teli ve 75 amper akım kullanılarak 200 mm/dak kaynak hızında yapılmıştır.

*Tablo 1. Titanyum alaşımının kimyasal bileşimi (Ağ. %)*

Al	V	Fe	C	Ti
6	4	0.25	0.08	Kalan

Kaynak işlemi sonrası mikroyapı ve sertlik incelemeleri için 20×20 mm ölçüsünde kesilen 2 mm kalınlığındaki kaynaklı parçalara sıcak kalıplama, zımparalama ve parlatma metalografik hazırlık işlemleri uygulanmıştır. Parlatılan numunelerin dağlanmasında Kroll reaktifi (2 ml HF+4 ml HNO<sub>3</sub>+100 ml H<sub>2</sub>O) kullanılmıştır. Mikroyapı görüntüleri Nikon Eclipse LV150N optik mikroskop ile incelenerek, esas metal, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak metali (dikişi) mikroyapı görüntüleri alınmıştır.

TIG kaynağı ile birleştirilen Ti6Al4V titanyum alaşımında sertlik değişimini belirlemek için esas metal ve yanındaki kaynak bölgelerinden (ITAB ve kaynak metali) sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik testlerinde Metkon Duroline sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Vickers yöntemine göre sertlik ölçümünde 30 saniye süresince 1 kg yük uygulanarak sertlik değişimi belirlenmiştir.

TIG kaynağı ile birleştirilen Ti6Al4V titanyum alaşımının ve kaynaksız alaşımın asidik ortamdaki korozyon davranışlarının incelenmesi için ayrı ayrı 25×80 mm ölçüsünde kesilen 2 mm kalınlığındaki parçalardan 2×25 mm ölçüsünde yüzey açıkta kalacak şekilde soğuk kalıplama yöntemi ile elektrokimyasal incelemelerde kullanılacak çalışma elektrotları hazırlanmıştır. Elektrokimyasal çalışmalarda asidik ortam olarak 1 M HCl özeltisi, karşı elektrot olarak platin, referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot kullanılmıştır. Ivium marka potansiyostat cihazı ile yapılan korozyon çalışmalarında potansiyodinamik yöntem ile polarizasyon ve Tafel polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Tafel polarizasyon eğrilerinden korozyon potansiyeli, korozyon akımı ve korozyon hızı belirlenmiştir.

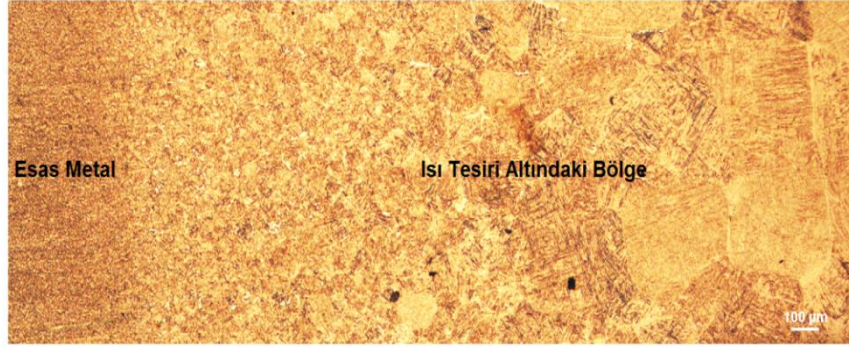
## **III. SONUÇLAR VE TARTIşMA**

### **A. MİKROYAPISAL İNCELEME SONUÇLARI**

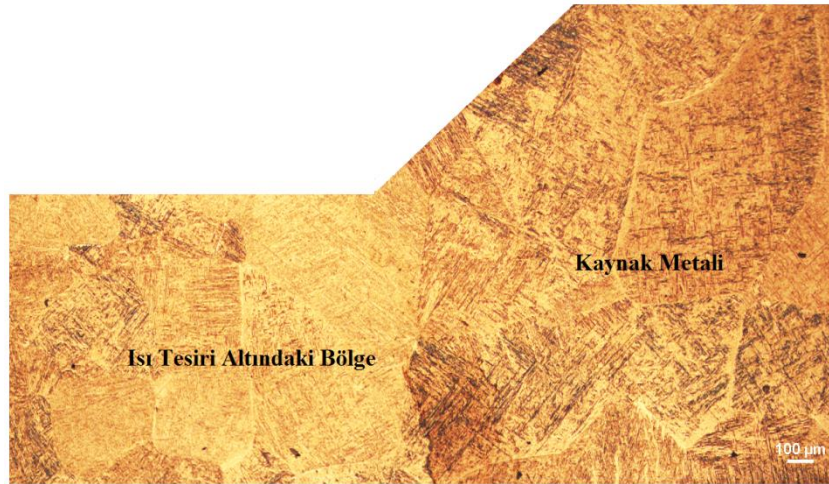
Optik mikroskop ile yapılan metalografik incelemeler sonucunda, kaynak bölgelerine göre elde edilen mikroyapı görüntüleri şekil 1-3’de verilmektedir. Bu görüntülerde esas metal, ısı tesiri altındaki bölge ve kaynak metali mikroyapıları görülmektedir. şekil 1’deki mikroyapı görüntülerinde, haddeleme ile imal edilmiş olan Ti6Al4V titanyum alaşımı malzemede kaynak ısısından etkilenmeyen esas metalin

oldukça küçük boyutlu eşksenel tanelerden oluştuğu görülmektedir. Ti6Al4V titanyum alaşımı başlangıçta orijinal alfa ( $\alpha$ ) ve beta ( $\beta$ ) fazlarından oluşmaktadır.

Esas metalin hemen yanında yeniden kristalleşme sonucu oluşan küçük tane yapısına sahip ısı tesiri altındaki kaynak bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgenin tane boyutu esas metal tane boyutundan biraz daha büyüktür. Bu bölgenin yanında kaynak metaline yakın olan ve yüksek ısı nedeniyle tane irileşmesinin olduğu büyük tane yapısına sahip ısı tesiri altındaki bölge mevcuttur. Bu bölgedeki büyük boyutlu taneler  $\beta$  fazı olup ortalama 300  $\mu\text{m}$  tane boyutundadır. İnce uzun morfolojideki asiküler yapıdaki  $\alpha$  fazı taneleri az miktarda da olsa mevcuttur.



*Şekil 1. Esas metal ve ısı tesiri altındaki bölge mikroyapısı*



*Şekil 2. Isı tesiri altındaki bölge ve kaynak metali mikroyapısı*

Şekil 2’de büyük tane boyutlu ısı tesiri altındaki bölge ve kaynak metali birlikte görülmektedir. Ti6Al4V alaşımının TIG yöntemi ile yapılan kaynak işleminde iyi bir birleşmenin olduğu, kaynak metali ile ısı tesiri altındaki bölge ara yüzeyinde herhangi bir boşluk, çatlak gibi hataların olmadığı görülmektedir. Kaynak metali, kaynak dikişi olup ısının en yüksek seviyelere ulaştığı, kaynak işlemi sırasında ergime ve devamında tekrar katılaşmanın olduğu bölgedir. Bu bölgede tane yapısı ısı tesiri altındaki tanelere göre çok daha büyük boyutlu  $\beta$  fazı tanelerinden ve ince uzun morfolojide asiküler  $\alpha$  fazı tanelerinden oluşmaktadır. Esas metalden kaynak metaline doğru ilerledikçe alaşımın tane yapısının kaynak ısısı etkisiyle sürekli olarak büyüdüğü görülmektedir. Büyük boyutlu  $\beta$  fazı taneleri içerisinde bulunan asiküler  $\alpha$  fazı taneleri kaynak metalinin hızlı soğuması sonucu oluşan bir yapı olup bu faz bazı çalışmalarda  $\alpha'$  martenzit olarak da adlandırılmaktadır [2, 12, 14]. Titanyumun örtülü elektrot, TIG, MIG gibi ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde kaynak metali büyük boyutlu  $\beta$  fazı taneleri ile karakterize edilmektedir. Bazı çalışmalarda kaynak metalini oluşturan büyük boyutlu  $\beta$  fazı tanelerinin kaynak işleminde ortaya çıkan termal koşullar nedeniyle oluştuğu bildirilmektedir. Büyük tane

boyutuna sahip  $\beta$  fazı taneleri, kaynak ısısının soğuma yönünde uzayan kolonsal taneler olup, bu yapının kaynak metalinin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir [14, 16].

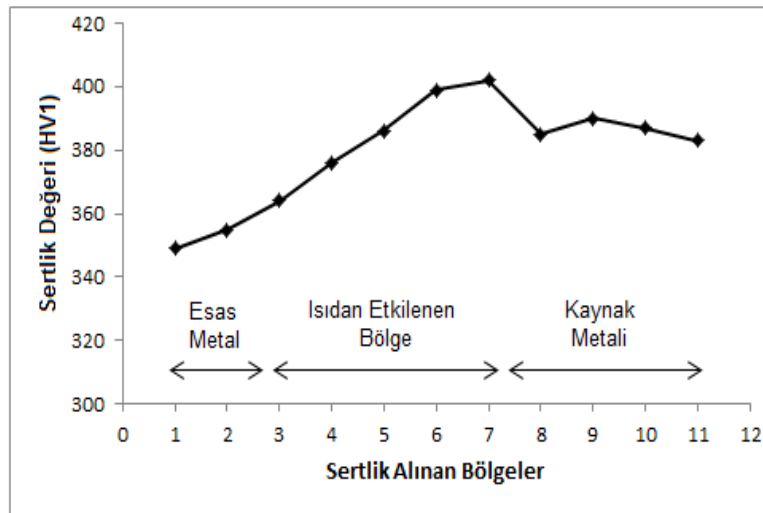


Şekil 3. Kaynak metal mikroyapısı

Şekil 3’de kaynak metal mikroyapısı verilmektedir. Büyük tane boyutlu  $\beta$  fazı yapısı ve farklı yönlendirmelerdeki asiküler  $\alpha$  fazı yapısı bu mikroyapıda daha iyi görünmektedir. Ti6Al4V alaşımının kullanıldığı bazı çalışmalarda [2, 14] asiküler  $\alpha$  fazının ilk olarak  $\beta$  fazı sınırlarında çekirdeklenmeye başladığı,  $\beta$  fazı içerisine doğru büyüdüğü, benzer şekilde büyüyen diğer asiküler  $\alpha$  fazına temas edene kadar büyümenin paralel plakalar şeklinde devam ettiği belirtilmektedir. Soğuma hızı arttıkça asiküler  $\alpha$  taneleri daha ince bir morfolojide oluşmaktadır.

## B. SERTLİK İNCELEME SONUÇLARI

Esas metal, ısı tesiri altındaki bölge ve kaynak metal sertlik ölçüm sonuçlarına göre Ti6Al4V alaşımının sertlik değişimi Şekil 4’te verilmektedir. Sertlik grafiğine göre, esas metal sertlik değeri yaklaşık 350 HV değerinde iken, ısıdan etkilenen bölge sertliği 364-402 HV aralığında ve kaynak metal sertliği 380-390 HV seviyelerindedir.



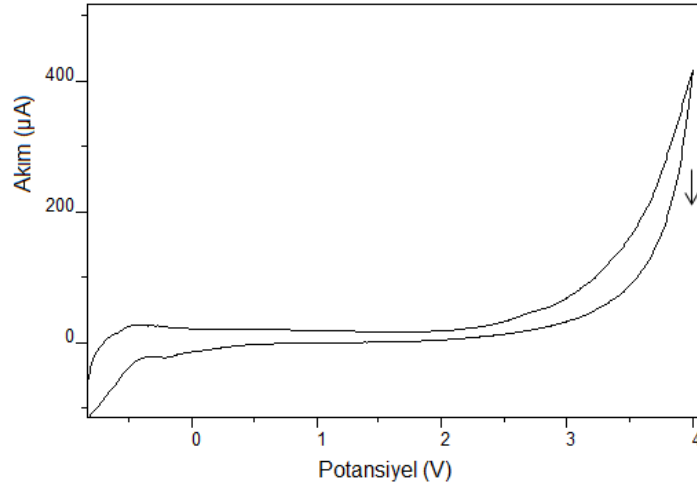
Şekil 4. Kaynak bölgelerine göre sertlik değişimi

TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen Ti6Al4V titanyum alaşımında esas metalden kaynak metaline doğru ilerledikçe sertlikte sürekli bir değişim olduğu görülmektedir. Kaynak metaline kadar ısı tesiri altındaki bölge sertliği sürekli artmaktadır. Kaynak metalinde ise sertlik değerlerinde bir miktar azalma olmuştur. Bu şekilde sertlik değişiminin en önemli nedeni, kaynak işlemi ile birlikte titanyum alaşımında

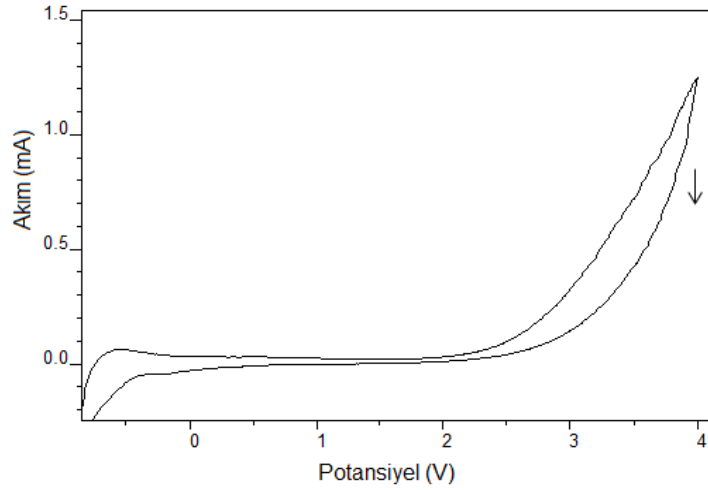
mikroyapısal bir farklılığın oluşmasıdır. Grafiğe göre malzeme sertliğinin en düşük olduğu bölge esas metaldir. Bu bölge, haddeleme ile üretilmiş olan malzemede orijinal  $\alpha$  fazı ve  $\beta$  fazından oluşmakta olup, bu bölgede kaynak sırasında ortaya çıkan ısıdan yapısal olarak etkilenme olmamaktadır. Bu nedenle en düşük sertlik değeri esas metalde elde edilmiştir. Esas metalden ısının tesiri altındaki bölgeye geçildiğinde sertlik değerinde sürekli artış olduğu görülmektedir. Sertlik değerleri kaynak metaline yaklaşıldıkça artmaktadır. Isı tesiri altındaki bölgenin başlangıcında sertlik değeri 364 HV iken kaynak metalinin sınırında sertlik değeri 402 HV seviyelerindedir. Bu bölge ergimenin olmadığı fakat yüksek sıcaklıklara ulaşılan kaynak bölgesidir. Özellikle kaynak metaline bitişik sınır bölgeleri alaşımın katı durumda bulunduğu en yüksek sıcaklık bölgesidir. Yüksek sıcaklıklardan hızlı soğuma sonucu oluşan çok ince yapıdaki asiküler  $\alpha$  fazı bu bölgede bulunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı sertlik değerleri bu bölgede yüksektir. Kaynak metalinde ise sertlik biraz azalmakla birlikte esas metale göre yüksek seviyelerdedir. Kaynak metalini, kaynak sırasında sıcaklığın en yüksek seviyelere ulaştığı, ergime ve sonrasında soğuma sonucu bölgesel katılaştırmanın olduğu bölge olup, mikroyapı olarak ince yapıdaki asiküler  $\alpha$  fazının en fazla olduğu bölgedir. Sonuçta esas metalden kaynak metaline doğru sertlik artışında yapıda bulunan asiküler  $\alpha$  fazı temel etkenlerdendir. Ticari saflıktaki alüminyum ve titanyum alaşımlarının TIG kaynağı ile ilgili çalışmalarda da [6, 9] sertlik değişimi benzer şekilde bulunmuş, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak metalinde en yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmalarda, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak metalini mikroyapısında bulunan çok büyük boyutlu  $\beta$  fazı tanelerinin sertlik özelliğinde etkili olmadığı belirtilmiştir. Kaynak sonrası hızlı soğuma ile oluşan çok ince tane yapısındaki asiküler  $\alpha$  fazının malzemede sertlik artışının temel nedeni olduğu bildirilmiştir. Ayrıca kaynak ısı girdisinin azalması ile kaynak metalini sertliğinin arttığı da belirlenmiştir.

### C. ELEKTROKİMYASAL İNCELEME SONUÇLARI

Kaynaksız ve kaynaklı Ti6Al4V titanyum alaşımının asidik ortamdaki elektrokimyasal incelemelerinde elde edilen polarizasyon eğrileri Şekil 5 ve Şekil 6'da, Tafel polarizasyon eğrileri Şekil 7'de, bazı sayısal korozyon sonuçları Tablo 2'de verilmektedir.

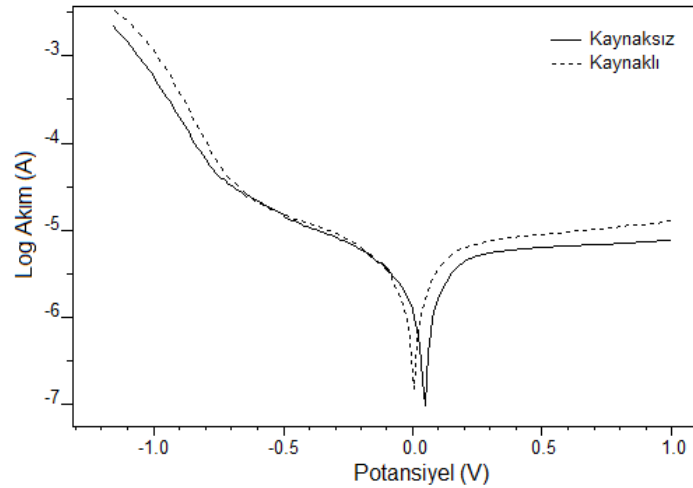


Şekil 5. Kaynaksız Ti6Al4V titanyum alaşımının polarizasyon eğrisi



**Şekil 6.** Kaynaklı Ti6Al4V titanyum alaşımının polarizasyon eğrisi

Asidik ortamda yapılan elektrokimyasal çalışmalarda, kaynaksız ve kaynaklı Ti6Al4V titanyum alaşımlarına, 1 M HCl çözeltisinde  $-1.5$  V ile 4 V arasında potansiyel uygulanarak alaşımdan geçen akım değişimi takip edilmiştir. Korozyonun olmayacağı çok düşük seviyelerdeki potansiyel, daha yüksek seviyelere çıkarılmış, bu şartlarda dahi akım artışı çok düşük seviyelerde olmuştur. Uygulanan geniş bir potansiyel aralığında akım sıfır seviyesinde devam etmiştir. Bu pasif davranışını sağlayan, titanyum alaşımı yüzeyinde oluşan kararlı titanyum oksit filmidir. Bu film genellikle  $TiO_2$  esaslı bir film olup, titanyum ile çevresel ortam arasında bariyer etkisi yaparak pasifleşmeyi sağlamaktadır [21, 23, 25, 28]. Kaynaksız titanyum alaşımında yaklaşık 2 V potansiyel değerinde akım artışı başlarken, kaynaklı titanyum alaşımında ise daha erken şekilde yaklaşık 1.5 V gibi daha düşük potansiyel değerinde akım artışı başlamaktadır. Kaynaklı titanyum alaşımında daha düşük potansiyel değerinde pasifliğin bozulması yapılan kaynak işleminin elektrokimyasal dayanımı olumsuz etkilediğini göstermektedir. Uygulanan en yüksek potansiyel değerinde kaynaklı titanyum alaşımından geçen akım değeri, kaynaksız titanyum alaşımına göre biraz daha yüksek olmuştur. Kaynaksız titanyum alaşımında 4 V potansiyel uygulandığında akım değeri yaklaşık  $400 \mu A$  iken, aynı potansiyel değerinde kaynaklı titanyum alaşımından geçen akım değeri 1.3 mA seviyelerindedir. Polarizasyon eğrilerinde ok ile gösterildiği gibi dönüş eğrisi alttaki egridir. Bu da yüzeyde elektrokimyasal bozulmanın olmadığına işaret etmektedir.



**Şekil 7.** Kaynaksız ve kaynaklı Ti6Al4V titanyum alaşımının Tafel polarizasyon eğrileri

**Tablo 2.** Kaynaksız ve kaynaklı Ti6Al4V titanyum alaşımının korozyon verileri

	<b>Korozyon Potansiyeli (mV)</b>	<b>Korozyon Akımı (A/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Korozyon Hızı (mm/y)</b>
Kaynaksız Ti6Al4V	+33	5.086.10 <sup>-6</sup>	0.089
Kaynaklı Ti6Al4V	-25	7.274.10 <sup>-6</sup>	0.127

Tablo 2’de verilen Tafel polarizasyon eğrilerinden elde edilen elektrokimyasal veriler incelendiğinde, kaynaklı titanyum alaşımının korozyon potansiyelinin negatif yönde değiştiği görölmektedir. Kaynaksız titanyum alaşımında 33 mV olan korozyon potansiyeli değer, kaynaklı titanyum alaşımında -25 mV olarak belirlenmiştir. Buna göre kaynak işlemi ile korozyon potansiyeli 58 mV negatif yönde değişmiştir. Korozyon potansiyelinin negatif yönde değişimi elektrokimyasal dayanımın azalmasının göstergesi olabilmektedir. Korozyon akımı ve korozyon hızı değerleri kaynaksız titanyum alaşımına göre kaynaklı titanyum alaşımında artış göstermiştir. Kaynaksız titanyum alaşımında 5.086.10<sup>-6</sup> A/cm<sup>2</sup> olan korozyon akım yoğunluğu, kaynaklı titanyum alaşımında 7.274.10<sup>-6</sup> A/cm<sup>2</sup> değerine, kaynaksız titanyum alaşımında 0.089 mm/y olan korozyon hızı ise kaynaklı titanyum alaşımında 0.127 mm/y değerine yükselmiştir. Buna göre bu çalışmada yapılmış olan TIG kaynak işlemi Ti6Al4V titanyum alaşımının korozyon akımını ve bunun sonucunda korozyon hızını artırmaktadır. Zaten elektrokimyasal olarak korozyon akımı ve korozyon hızı birbirleri ile doğru orantılıdır. Metallerde korozyon akımının artması ile korozyon nedeniyle çözünen madde miktarı da artmaktadır. özünen madde miktarının artması korozyonun daha hızlı olması demektir. Kaynak işlemi ile Ti6Al4V titanyum alaşımının korozyon hızının artması yani korozyon dayanımının azalmasında kaynaklı birleştirme sonucu ortaya çıkan yapısal değerini etkili olduğu düşünülmektedir. Kaynaksız titanyum alaşımı küçük tane boyutunda malzemenin her tarafında homojen bir yapıda orijinal  $\alpha$  fazı ve  $\beta$  fazından oluşurken, kaynaklı titanyum alaşımı esas metalden farklı olarak homojen olmayan bir tane boyutu ve morfolojisine sahiptir. Kaynaklı titanyum alaşımında esas metalden kaynak metaline doğru sürekli büyüyen tane boyutu ve kaynak sonrası hızlı soğuma sonucu oluşan asiküler  $\alpha$  fazı taneleri bulunmaktadır. Kaynaklı titanyum alaşımında bu şekilde homojen olmayan mikroyapının varlığu, korozyon hızını artırıcı, korozyon direncini düşürücü etki yapmaktadır. Darbeli TIG kaynağu ile birleştirilen titanyum alaşımının tuzlu su ortamındaki korozyon davranışının incelendiğu çalışmalarda [14, 16], yüksek değerlerdeki kaynak sıcaklığu sonucu oluşan çok büyük tane boyutuna sahip  $\beta$  fazının titanyum alaşımının korozyon direncini olumsuz yönde etkilediğu bildirilmiştir. Kaynak ile birleştirilmiş ticari saflıkta titanyumun lityum bromür çözeltilisindeki korozyon özelliklerinin incelendiğu başka iki çalışmada da [13, 15], eşeksenli ve küçük boyutlu  $\alpha$  fazı ile  $\beta$  fazından oluşan saf titanyumun kaynak işlemi sonrasında  $\alpha$  fazının plakalı yapıdaki widmanstatten  $\alpha$  fazına dönüştüğu ve bu yapının titanyumun korozyon davranışını olumsuz etkilediğu bildirilmiştir. Bu çalışmalarda da kaynaksız saf titanyuma göre kaynaklı saf titanyumun korozyon potansiyelinin negatif yönde değerildiğu, korozyon akımının ve korozyon hızının arttığu belirlenmiştir.

#### **IV. ÇIKARIMLAR**

TIG kaynağu ile birleştirilen Ti6Al4V titanyum alaşımı malzemenin mikroyapı, sertlik ve asidik ortamdaki korozyon özelliklerinin incelendiğu bu çalışmada aşağdaki çıkarımlar elde edilmiştir:

- Mikroyapısal incelemelere göre Ti6Al4V titanyum alaşımının TIG kaynağu ile birleştirilmesi, esas metal ve kaynak metali ara yüzeyinde boşluk, çatlak ve benzeri hatalar olmayacak şekilde elde edilmiştir.
- Esas metalden kaynak metaline doğru tane boyutu sürekli artmıştır. En büyük tane boyutu kaynak metalinde  $\beta$  fazı olarak görölmüştür. Kaynak metalinde, kaynak sonrası hızlı soğuma



sonucunda oluşan ince uzun morfolojide asiküler  $\alpha$  fazı taneleri bulunmaktadır. Asiküler  $\alpha$  fazı, kaynak metali yanında bulunan ısı tesiri altındaki bölgede düşük oranlarda mevcuttur.

- Esas metale göre ısıdan etkilenen bölge ve kaynak metali sertliği daha yüksek olmuştur. Bu sertlik artışında hızlı soğuma sonucu oluşan ince uzun paralel plakalar şeklindeki asiküler  $\alpha$  fazı etkili olmaktadır.
- Ti6Al4V titanyum alaşımının TIG kaynaklı birleştirme işlemi sonucunda elektrokimyasal özelliklerde değişim olmuştur. Kaynaklı titanyum alaşımında korozyon akımı ve korozyon hızı artmış, korozyon potansiyeli negatif yönde değişmiştir. Buna göre kaynak işlemi ile Ti6Al4V alaşımının korozyon dayanımında azalma olmuştur. Bu olumsuz değişimde kaynak sonucu oluşan homojen olmayan mikroyapı etkili olmaktadır.
- Bu çalışmada uygulanan TIG kaynak işleminde kaynak parametreleri sabit tutulmuştur. Başka çalışmalarda farklı kaynak parametreleri kullanılarak bu parametrelerin mikroyapı, sertlik ve korozyon davranışına etkileri incelenebilir. Ayrıca, Ti6Al4V titanyum alaşımı farklı kaynak yöntemleri ile birleştirilerek, elde edilen özellikler karşılaştırılabilir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] Q. Yunlian, D. Ju, H. Quan, Z. Liying, “Electron Beam Welding, Laser Beam Welding and Gas Tungsten Arc Welding of Titanium Sheet,” *Mater. Sci. Eng. A*, c. 280, ss. 177–181, 2000.
- [2] Z. Xu, Z. Dong, Z. Yu, W. Wang, J. Zhang, “Relationships Between Microhardness, Microstructure, and Grain Orientation in Laser-Welded Joints with Different Welding Speeds for Ti6Al4V Titanium Alloy”, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, c. 30, ss. 1277–1289, 2020.
- [3] C. Xu, G. Sheng, H. Feng, X. Yuan, “Tungsten Inert Gas Welding Brazing of AZ31B Magnesium Alloy to TC4 Titanium Alloy”, *J. Mater. Sci. Technol.*, c. 32, ss. 167–171, 2016.
- [4] Y. Zhang, J. Huang, Z. Ye, Z. Cheng, “An Investigation on Butt Joints of Ti6Al4V and 5A06 Using MIG/TIG Double-Side Arc Welding-Brazing”, *J. Manuf. Process.*, c. 27, ss. 221–225, 2017.
- [5] R. Bendikiene, S. Baskutis, J. Baskutiene, A. Ciuplys, T. Kacinskas, “Comparative Study of TIG Welded Commercially Pure Titanium”, *J. Manuf. Process.*, c. 36, ss. 155–163, 2018.
- [6] A. Karpagaraj, N.S. Shanmugam, K. Sankaranarayananasamy, “Some Studies on Mechanical Properties and Microstructural Characterization of Automated TIG Welding of Thin Commercially Pure Titanium Sheets”, *Mater. Sci. Eng. A*, c. 640, ss. 180–189, 2015.
- [7] L. Shixiong, Q. Cui, Y. Huang, X. Jing, “Influence of Zr Addition on TIG Welding–Brazing of Ti–6Al–4V to Al5A06”, *Mater. Sci. Eng. A*, c. 568, ss. 150–154, 2013.
- [8] B.H. Choi, B.K. Choi, “The Effect of Welding Conditions According to Mechanical Properties of Pure Titanium”, *J. Mater. Process. Technol.*, c. 201, ss. 526–530, 2008.
- [9] M. Junaid, M.N. Baig, M. Shamir, F.N. Khan, K. Rehman, J. Haider, “A Comparative Study of Pulsed Laser and Pulsed TIG Welding of Ti-5Al-2.5Sn Titanium Alloy Sheet”, *J. Mater. Process. Technol.*, c. 242, ss. 24–38, 2017.
- [10] Q. Chu, M. Zhang, J. Li, C. Yan, Z. Qin, “Influence of Vanadium Filler on the Properties of Titanium and Steel TIG Welded Joints”, *J. Mater. Process. Technol.*, c. 240, ss. 293–304, 2017.
- [11] X.L. Gao, L.J. Zhang, J. Liu, J.X. Zhang, “A Comparative Study of Pulsed Nd:YAG Laser Welding and TIG Welding of Thin Ti6Al4V Titanium Alloy Plate”, *Mater. Sci. Eng. A*, c. 559, ss. 14–21, 2013.

- [12] J. Xiong, S. Li, F. Gao, J. Zhang, “Microstructure and Mechanical Properties of Ti6321 Alloy Welded Joint by GTAW”, *Mater. Sci. Eng. A*, c. 640, ss. 419–423, 2015.
- [13] E.B. Tamarit, A.I. Munoz, J.G. Anton, D.G. Garcia, “Corrosion Behaviour and Galvanic Coupling of Titanium and Welded Titanium in Libr Solutions”, *Corros. Sci.*, c. 49, ss. 1000–1026, 2007.
- [14] M. Balasubramanian, V. Jayabalan, V. Balasubramanian, “Effect of Pulsed Gas Tungsten Arc Welding on Corrosion Behavior of Ti–6Al–4V Titanium Alloy”, *Mater. Design*, c. 29, ss. 1359–1363, 2008.
- [15] E.B. Tamarit, A.I. Munoz, J.G. Anton, D.M. Garcia, “Galvanic Corrosion of Titanium Coupled to Welded Titanium in Libr Solutions at Different Temperatures”, *Corros. Sci.*, c. 51, ss. 1095–1102, 2009.
- [16] M. Balasubramanian, V. Jayabalan, V. Balaubramanian, “Modeling Corrosion Behavior of Gas Tungsten Arc Welded Titanium Alloy”, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, c. 17, ss. 676–680, 2007.
- [17] P. Ferro, F. Berto, F. Bonollo, L. Romanin, G. Salemi, “Post Welding Heat Treatment Improving Mechanical Properties on Ti-6Al-4V”, *Procedia Struct. Integrity*, c. 26, ss. 11–19, 2020.
- [18] J. Shi, G. Song, J. Chi, “Effect of Active Gas on Weld Appearance and Performance in Laser-TIG Hybrid Welded Titanium Alloy”, *Int. J. Lightweight Mater. Manuf.*, c. 1, ss. 47–53, 2018.
- [19] Z.B. Wang, H.X. Hu, Y.G. Zheng, W. Ke, Y.X. Qiao, “Comparison of the Corrosion Behavior of Pure Titanium and Its Alloys in Fluoride-Containing Sulfuric Acid”, *Corros. Sci.*, c. 103, ss. 50–65, 2016.
- [20] S. Ningshen, M. Sakairi, K. Suzuki, T. Okuno, “Corrosion Performance and Surface Analysis of Ti–Ni–Pd–Ru–Cr Alloy in Nitric Acid Solution”, *Corros. Sci.*, c. 91, ss. 120–128, 2015.
- [21] A. Robin, H.R.Z. Sandim, J. Rosa, “Corrosion Behavior of the Ti-%4Al-%4V Alloy in Boiling Nitric Acid Solutions”, *Corros. Sci.*, c. 41, ss. 1333–1346, 1999.
- [22] A.M. Fekry, “The Influence of Chloride and Sulphate Ions on the Corrosion Behavior of Ti and Ti-6Al-4V Alloy in Oxalic Acid”, *Electrochim. Acta*, c. 54, ss. 3480–3489, 2009.
- [23] Z.B. Wang, H.X. Hua, C.B. Liu, Y.G. Zheng, “The Effect of Fluoride Ions on the Corrosion Behavior of Pure Titanium in 0.05 M Sulfuric Acid”, *Electrochim. Acta*, c. 135, ss. 526–535, 2014.
- [24] M. Koike, H. Fujii, “The Corrosion Resistance of Pure Titanium in Organic Acids”, *Biomater.*, c. 22, ss. 2931–2936, 2001.
- [25] Z. Jiang, X. Dai, H. Middleton, “Investigation on Passivity of Titanium under Steady-State Conditions in Acidic Solutions”, *Mater. Chem. Phys.*, c. 126, ss. 859–865, 2011.
- [26] I. Gurrappa, D.V. Reddy, “Characterisation of Titanium Alloy, IMI-834 for Corrosion Resistance under Different Environmental Conditions”, *J. Alloy Compd.*, c. 390, ss. 270–274, 2005.
- [27] J.S. Lu, “Corrosion of Titanium in Phosphoric Acid at 250 °C”, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, c. 19, ss. 552–556, 2009.
- [28] G. Mabilieu, S. Bourdon, M.L.J. Guillou, R. Filmon, M.F. Basle, D. Chappard, “Influence of Fluoride, Hydrogen Peroxide and Lactic Acid on the Corrosion Resistance of Commercially Pure Titanium”, *Acta Biomater.*, c. 2, ss. 121–129, 2006.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## *Hypericum* spp. Bitki Ekstraktlarının *Rhizoctonia Solani* Üzerine Antifungal Etkisi

 Cennet YAMAN <sup>a,\*</sup>,  Sevim ATMACA <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cennet.yaman@bozok.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.768656

### ÖZET

Bu çalışmada, önemli tıbbi ve aromatik bitki olan *Hypericum* türlerinin *Rhizoctonia solani* üzerine antifungal aktivitesi incelenmiştir. *Hypericum* türlerinin (*H. heterophyllum*, *H. scabrum* ve *H. perforatum*) çiçek, gövde ve yapraklarının bazı çözücülerdeki (metanol, etanol, aseton ve kloroform) ekstraktlarının %2'lik konsantrasyonu *Rhizoctonia solani*'ye karşı test edilmiştir. Ekstraktların antifungal aktiviteleri bu patojen ile mücadelede kullanılan ve sentetik fungusit olan Captan ile kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre; *R. solani* patojeni üzerine en etkili ekstraktların her üç türünde kloroformda çözünen gövde ekstraktlarında gözlenmiş, tüm örnekler içerisinde ise en yüksek engelleme oranı %68.5 ve %68.1 ile *H. scabrum* türlerinin sırasıyla kloroformlu ve asetonlu gövde ekstraktlarında belirlenmiştir. Ayrıca, etkili bulunan bu ekstraktların *in vitro* şartlarda *R. solani* patojeni ile bulaştırılan patates yumrusunda etkisi araştırılmış, kontrol ve Captan fungusiti uygulamalarında misel oluşumu gözlenirken, ekstrakt uygulanan ortamlarda saptanmamıştır. Sonuç olarak, *Hypericum* bitkisinin gövde kısımlarında *R. solani* patojenine karşı etkili olan bileşik veya bileşiklerin olduğu, aseton ve kloroform tarafından daha etkili formda çözüldüğü tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Antifungal, *Rhizoctonia solani*, *H. heterophyllum*, *H. scabrum*, *H. perforatum*

## Effect of Solvent and Plant Part on *Rhizoctonia solani* Fungus of *Hypericum* Extracts

### ABSTRACT

In this study, plant extracts (2% concentration) from different parts (flower, leaf and stem) of *Hypericum* species (*H. heterophyllum*, *H. scabrum* ve *H. perforatum*), obtained with various organic solvents (methanol, ethanol, acetone and chloroform) were tested against the fungus *Rhizoctonia solani*. The antifungal activities of the extracts were compared with Captan, a synthetic fungicide used to combat this pathogen. According to the results, the most effective extracts on the *R. solani* pathogen were found stem parts that dissolve in chloroform for all three *Hypericum* species. Of all the extracts, the stem extracts with chloroform and acetone of *H. scabrum* species had the highest inhibition value with 68.5% and 68.1%, respectively. In addition, the effects of these extracts, which were found to be effective, on potato tuber contaminated with the *R. solani* pathogen *in vitro* conditions were investigated. Although the micelle formation was observed on the control and Captan fungicide applications, it was not detected on extract application. As a result, it has been determined that the stem parts of the *Hypericum* species have compound or compounds that have high antifungal activity against *R. solani* pathogen, and are dissolved in more effective form by acetone and chloroform.

**Keywords:** Antifungal, *Rhizoctonia solani*, *H. heterophyllum*, *H. scabrum*, *H. Perforatum*

# I. GİRİŞ

*Rhizoctonia solani* Kühn. (Basidiomycota: [Telemorf evresi, *Thanatephorus cucumeris* (Fr) Donk] toprak kökenli bir fungal hastalık etmeni olup, geniş bir konukçu listesine sahiptir. Çevresel koşullara uyumu oldukça yüksek olduğu için dünyada yaygınlığı fazladır [1, 2]. Bu patojen bitkilerde gövde ve taç kanseri, yaprak ve kın yanıklığı, cüceleşme gibi etkiler ile tohum, kök, sap ve meyve çürüklüğüne neden olmaktadır. Konukçuları arasında patates, şeker pancarı, domates gibi birçok kültür bitkisi yer almaktadır. Bu gibi ekonomik önemi yüksek bitkilerde görünmesi ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır. *R. solani*'nin zirai mücadelesi olarak kültürel mücadelede konukçusu olmayan kültür bitkileri ile rotasyonu önerilmektedir. Biyolojik mücadele olarak *Rhizoctonia solani*'ye karşı çoğunlukla *Trichoderma* spp., *Gliocladium* spp., binükleat *Rhizoctonia* suşları, *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Streptomyces* spp. gibi antagonistlerle çalışılmaktadır [3]. Patojenin kimyasal mücadelesi zordur ve ancak sınırlı alanlarda kısmen başarılı olabilmektedir [4]. Thiram, Captan, Bakır oksiklorid, Azoxystrobin, Metalaxyl, Fludioxonil gibi etken maddeli fungusitler *Rhizoctonia* kök çürüklüğü ve fide çökerten kontrolünde kullanılmaktadır. Kimyasal mücadelenin ekosisteme verdiği zararlar dolayısıyla son yıllarda daha çevreci yöntemler araştırılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda doğal ürün olarak bitki ekstraktları önem kazanmıştır. Birçok araştırmada çeşitli bitki ekstraktlarının ve sekonder metabolitlerinin yüksek antifungal aktivite sergilediği tespit edilmiştir [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Bu çalışma kapsamında önemli tıbbi ve aromatik bitki olan *Hypericum* türlerinin *R. solani* üzerine antifungal aktivitesi incelenmiştir. *Hypericum* türleri arasında birçok biyolojik aktivitelerinden dolayı dünyaca yaygın ve popüler olan en önemli türü *Hypericum perforatum* L.'dir. Eski çağlardan beri bu tür geleneksel tıp dünyasında antimikrobiyal etkinliğinden dolayı aktif olarak kullanılmaktadır. *Hypericum* türlerinin yüksek antimikrobiyal aktivitelerinin bünyelerindeki naftodiantron (hiperisin, psödohiperisin, protohiperisin vb.), flavonoid (kamferol, rutin, kuersetin, kuersetin, luteolin, hiperin, hiperosid vb.), fenolik asit (klorojenik asit vb.), floroglusinol (hiperforin, furohiperforin vb.), ksanton ve türevleri ile uçucu yağlar gibi önemli sekonder metabolitlerin varlığından kaynaklanmaktadır [11, 12].

Yapılan birçok çalışmada *Hypericum* türlerinin güçlü antifungal aktivite gösterdiği rapor edilmiştir. Örneğin, *H. japonicum* Thunb. türünün floroglusinol türevlerinin çeşitli fungustlara karşı yüksek aktivite sergilediği bildirilmiştir [8]. *H. hyssopifolium* Chaix ve *H. heterophyllum* türlerinin uçucu yağlarının antifungal aktiviteleri  $\alpha$ -terpineol ve  $\beta$ -caryophyllene oxide bileşiklerinden çok düşük etki gösterdiğini hatta bazı fungusların gelişimine pozitif etki sergilediği rapor etmişlerdir [13]. Yapılan başka bir çalışmada, bazı *Hypericum* türlerinin birçok fungusu karşı fungusidal etki gösterdiği kaydedilmiştir [14].

Buna ek olarak, bitkiler çiçek, gövde ve sap kısımlarında farklı fitokimyasal içermeleri ve bu bileşenleri farklı konsantrasyonlarda biriktirmelerinden dolayı değişik oranda antifungal aktivite göstermektedir [15]. Türkiye endemiği olan *H. havvae* Güner türünde kök ve yaprakların bir aradaki antifungal aktivitesinin ayrı ayrı değerlendirilmesinden daha etkili olduğunu rapor edilmiştir [16]. Kök ve yapraklardaki bileşiklerden iki veya daha fazlasının bir araya gelmesi ile sinerjik etki oluşturduğu düşünülebilir. Ayrıca bitkilerin antifungal aktivitelerinin değişiminde etkili olan diğer bir parametre ise kullanılan çözücüdür. Her bileşik her çözücüde daha etkin bir şekilde çözünmemektedir. Bu yüzden ekstraksiyon işlemlerinde kullanılan çözücüler de antifungal aktivitelerde farklı etkiler sergilemektedir [17, 18].

Bu zaman kadar ekstraktların ve kimyasalların antifungal taraması için genelde besin ortamına belirli oranlarda katılması ile elde edilen zehirli kültür ortamı tekniği kullanılmaktadır [19, 20]. Bu çalışmada ise arazi uygulamalarına benzer olarak belirli konsantrasyonlar besin ortamı üzerine yayılarak/püskürtülerek yapılmıştır. Buradaki amaç arazi uygulamalarına daha yakın bir uygulama yapmaktır. Deneyin sağlıklı olup olmadığını kıyaslamak için en etkili çıkan ekstrakt örneklerin *in vitro* şartlarda patates yumrusu üzerinde antifungal aktivitesi incelenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma kapsamında, *Hypericum* ekstraktlarının *R. solani* patojeni üzerine bitki kısımlarının ve bazı çözücülerin etkileri araştırılmıştır. Üç farklı *Hypericum* (*H. heterophyllum*, *H. scabrum* ve *H. perforatum*) türlerinin

çiçek, yaprak ve gövde kısımları kullanılmış ve bu örneklerin metanol, etanol, aseton ve kloroform çözücülerinde ekstraktları elde edilmiştir. Kapsamlı bir çalışma olup, *R. solani* üzerine *Hypericum* türlerin ve kısımlarının bazı çözücülerdeki etkisi ilk kez bu çalışmada değerlendirilmiştir.

## **II. MATERYAL VE YÖNTEM**

### **A. MATERYAL**

*H. heterophyllum* Vent., *H. scabrum* L. ve *H. perforatum* L. türlerinin toprak üstü kısımları doğal ortamlarından %100 çiçeklenme döneminde, her bir türden 30 adet olacak şekilde toplanmıştır (Tablo 1). Bitkilerin toplanması 11:00 ile 13:00 saatleri arasında yapılmıştır. Bitkilerin çiçek, yaprak ve sap kısımlarını ayırdıktan sonra  $20 \pm 2$  °C’de gölgede kurutulmuştur. Bitki materyalleri Prof. Dr. Osman Tugay (Selçuk Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Botanik Bölümü) tarafından teşhis edilmiş ve KNYA herbaryumunda (Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Konya, Türkiye) depolanmıştır.

*Tablo 1. Hypericum türlerinin yaşam alanı ve toplama durumu.*

<b>Türler</b>	<b>Lokasyon</b>	<b>Toplama zamanı</b>	<b>Enlem (N)</b>	<b>Boylam (E)</b>	<b>Rakım (m)</b>
<i>H. heterophyllum</i> <sup>1</sup>	Yozgat, Bozok Üniversitesi Kampüsü	04.07.2017	39°46’42	34°47’51	1332
<i>H. perforatum</i>	Çorum, Bayat	01.07.2017	40°41’16	34°7’51	1372
<i>H. scabrum</i>	Yozgat, Gelin Kayası	13.06.2017	39°50’20	34°45’44	1401

<sup>1</sup>Türkiye için endemik.

### **B. YÖNTEM**

#### **B.1. Ekstraksiyon İşlemi**

Ekstraksiyon için *Hypericum* türünün toprak üstü kısımları (çiçek, yaprak ve gövde) kullanılmıştır. Bu kısımlar gölgede kurutulmuş ve bir karıştırıcı ile mekanik olarak öğütülmüştür. Her öğütülmüş bitki materyalinden 4 g örnek tartılmış, 40 ml çözücü (% 100 metanol, etanol, aseton ve kloroform) içerisinde 40 °C’de 24 saat boyunca ayrı ayrı özümlemişdir. Nihai çözeltiler, whatman kâğıdı ile süzülerek çözücüler 40 °C’de evaporator yardımıyla uzaklaştırılmıştır [21]. Elde edilen ekstraktlardan metanollü ekstraktlar su, diğer çözücü ekstraktları ise aseton ile çözümlenerek stok solüsyonlar oluşturulmuştur.

#### **B.2. *R. solani* Misellerin İzolasyonu ve Besi ortamı**

Çalışmada patojen olarak kullanılan *R. solani* Adana Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü’nden temin edilmiştir. Bu fungusun izolatları, Adana ili ekim alanlarında hastalıklı patates bitkilerinin kök ve kök boğazlarından izole edilen koleksiyondan temin edilmiştir. İlk olarak *R. solani* izolatu Patates Dekstroz Agar (PDA) ortamı üzerine aşılanmış ve  $23 \pm 1$  °C’de 12 saat aydınlık (yakın ultraviyole ışık) / 12 saat karanlık fotoperiyot rejimi içeren inkübasyon odasında 7 gün süreyle geliştirilerek aktifleştirilmiştir. Daha sonra gelişen izolattan patojen diskleri alınarak çalışmalarda kullanılmıştır.

#### **B.3. *R. solani* Miselleri Üzerine Organik Ekstraktların Uygulanması**

*Hypericum* türlerinin farklı kısımlarından elde edilen ekstraktlarının %2'lik konsantrasyonu *R. solani*'e karşı kullanılmıştır.

PDA besi ortamı otoklavda 121 °C'de 20 dakika sterilize edilmiştir. PDA besi ortamı her bir steril petriye (60 mm çap) yaklaşık 10 ml dökülmüştür. Önceki çalışmada yapılan metodoloji revize edilerek; başlangıçta dozları ayarlanan ekstrakt solüsyonundan 100 µl alınarak PDA besin ortamına yayılmıştır. Önceden PDA besi yerlerinde geliştirilen patojen kültürlerinden birer disk (4 mm) alınarak ortamın tam ortasına tabi tutulmuştur. İnokulasyondan sonra petrilerin etrafı parafilm ile kapatılıp, 24±1°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Negatif kontrol olarak su ve aseton çözücüleri ekstrakt yerine kullanılmıştır. Pozitif kontrol olarak Captan etkili maddeli ticari fungusit denemedeki dozda (%2) hazırlanarak aynı uygulama şekliyle patojenlere karşı denenmiştir.

#### **B.4. Etkin Ekstraktların *In Vitro* Ortamda Antifungal Potansiyelinin Saptanması**

*Hypericum* ekstraktlarından en yüksek antifungal aktivitesi sergileyen *H. scabrum* türünün gövdesinin kloroform ve aseton ekstraktlarının *in vitro* şartlarda *R. solani* patojenine karşı antagonistik etkileşimlerini ölçmek için taze patates (*Solanum tuberosum* L.) yumrusu üzerinde etkisi araştırılmıştır. Başlangıçta bu patates yumrularının kabuğu soyulmuş ve yaklaşık olarak 1.0-0.5 cm kalınlığında enine kesilmiştir. Steril petri kabının (120 mm çapındaki) içine steril kurutma kağıtları konularak 1 ml distile saf su ile nemlendirilmiştir. Kesilen patates diskleri petrilerin merkezine yerleştirilmiştir. Sonra, üzerine örnek solüsyonların %2.5'lik konsantrasyonları, steril kabin içerisinde, 10 cm mesafeden 1 ml çözücü içerecek şekilde sprey yoluyla patates disklerinin üzerine homojen bir şekilde püskürtülmüştür. Ekstraktların etkisinin kıyaslanabilmesi için negatif kontrol (sadece aseton çözücüsü) ve pozitif kontrol (Captan) kullanılmıştır. Daha sonra, PDA besi yerinde 7 gün süre ile geliştirilen patojen kültürlerinden birer disk (4 mm) alınarak patates diskinin tam ortasına bırakılmıştır. İnokulasyondan sonra petrilerin etrafı parafilm ile kapatılıp, 24±1°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Her gün kontrol edilerek kurutma kağıtlarının nemlendirilmesi sağlanmıştır. İnkübasyondan 5 gün sonra kontrol uygulamasında patojen gelişimi patates diskinin tüm yüzeyini kapladığında tüm uygulamanın misel ölçümleri yapılmıştır. Deneme 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur.

#### **B.5. Deneme Deseni ve İstatistik Analiz**

Deneme 3 tekerrürlü ve her bir tekerrür 2 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Günlük olarak patojenin gelişimi izlenerek kontrol örneklerinde koloni çapları petriyi kapladığı gün (5 gün), diğer kaplarda da fungal koloni çapları ölçülmüştür. Burada koloni çapının birbirine dik iki yönde ölçülen değerlerin ortalaması şeklinde yapılmıştır. Kontrole göre bitki ekstraktlarının engelleme oranları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E = 100 (K - M) / K \quad (1)$$

E = Engelleme oranı (%)

K = Kontrolde koloni çapı (mm)

M = Muamelede koloni çapı (mm)

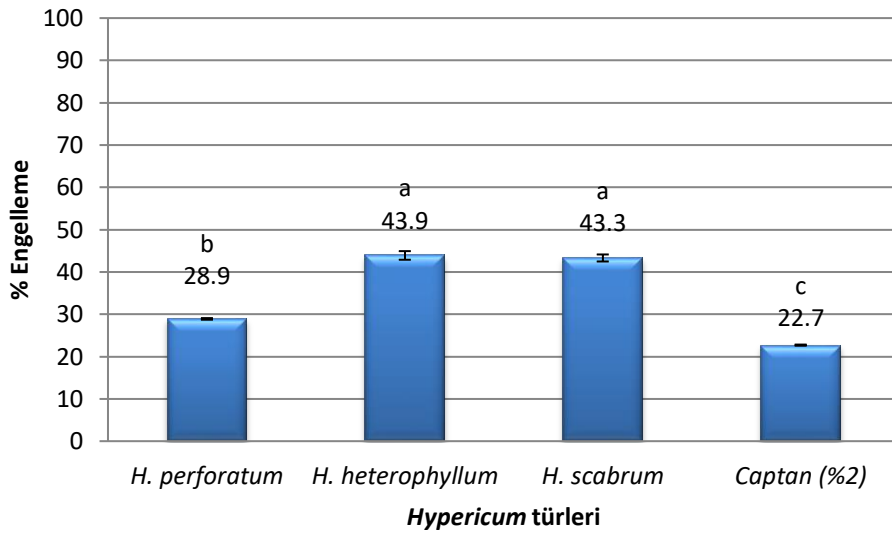
Veriler ortalama ± standart hata (SH) olarak verilmiştir. Denemelerde ortalamalar arasındaki farklılıkların önem dereceleri varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiş ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile kıyaslanmıştır.

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

*Hypericum* türlerinin farklı kısımlarından bazı çözücüler kullanılarak hazırlanan ekstraktların *R. solani* patojeni üzerine antifungal aktivitesi araştırılmış ve Captan etkin maddeli fungusit ile kıyaslanmıştır. Ekstraktların ve fungusit arasındaki etkinlik farkının belirlenebilmesi için tek doz (%2 konsantrasyonu) taraması yapılmış, funguslar üzerine etkileri misel çapı (mm) ve engelleme oranı (%) olarak

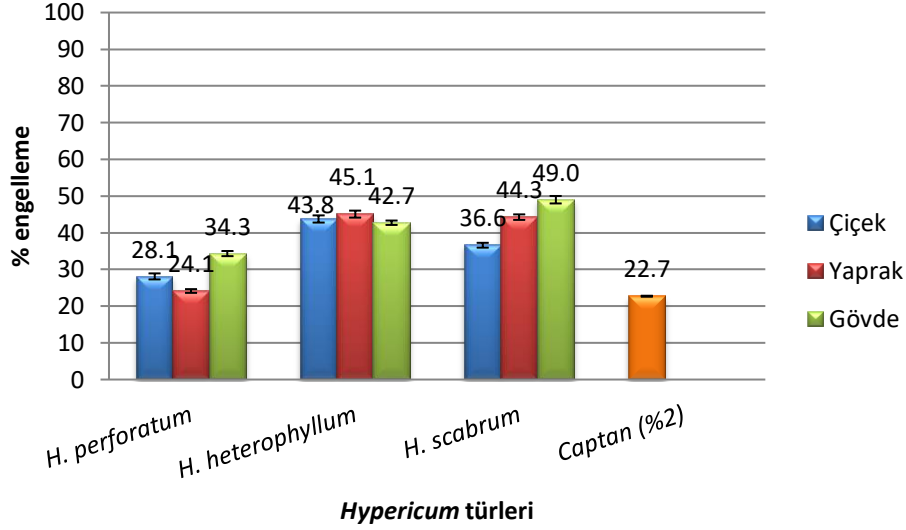
belirlenmiştir. Misel çapı ile engelleme aktivitesi (%) ters orantılı olup, yüksek engelleme düzeyine sahip ekstraktların patojenle mücadelede etkili olduğu gözlemlenmiştir.

*Hypericum* türlerinin *R. solani* patojeni üzerine engelleme etkisi verileri Şekil 1’de sunulmuş ve Captan fungusitinden (%22.7) daha yüksek antifungal aktivite sergilediği tespit edilmiştir. Türler arasında en yüksek engelleme oranı %43.9 ile Türkiye endemiği olan *H. heterophyllum* türünde görüldüğü, bunu %43.3’le *H. scabrum* türünün takip ettiği gözlenmiş ve aralarında istatistiksel olarak fark olmadığı kaydedilmiştir. En düşük etki %28.9 ile *H. perforatum* türünde bulunmuştur. Benzer olarak, *Hypericum* türlerin bazı funguslara karşı etkileri arasında fark olduğu ve bu farkın türlerin sergilediği fitokimyasal çeşitliliğinden kaynaklandığı rapor edilmiştir [22]. Bazı bitki türlerinin *R. solani* patojeninin misel gelişimi üzerine yüksek engelleme aktivitesi sergilediğini, bunun da türlerin yüksek oranda sekonder metabolit içeriğine sahip olmalarına atfedilmiştir [19].



Şekil 1. Farklı *Hypericum* türlerine ait ekstraktlarının *Rhizoctonia solani* fungusuna etkisi.

*Hypericum* türlerinin farklı bitki kısımlarının *R. solani* fungusuna karşı etkisi incelenmiş ve Şekil 2’de engelleme oranları sunulmuştur. Her türün çiçek, yaprak ve gövde kısımları kendi aralarında farklı etkilere sahip olmakla birlikte Captan fungusitinden daha yüksek aktivite göstermişlerdir. Her bir *Hypericum* türlerinin farklı kısımları arasında en yüksek engelleme değerine *H. perforatum* ve *H. scabrum* için gövde ekstraktları, Türkiye endemiği *H. heterophyllum* için ise yaprak ekstresi sahip olmuştur. Ayrıca, Şekil 2’deki gibi *R. solani* fungusu üzerine antifungal etkisi açısından bitki kısımları arasında en düşük varyasyona *H. heterophyllum* türü (%42.7-45.1) sahip olmuştur. Tüm *Hypericum* türlerinin bitki kısımları arasındaki en yüksek engelleme oranı %49.0 ile *H. scabrum* türünün gövde ekstraktında kaydedilmiş, sırasıyla *H. heterophyllum* ve *H. scabrum* türlerinin yaprak kısımları (%45.1 ve 44.3) takip etmiştir. Türlerin bitki kısımları arasında en düşük engelleme %24.1 ile *H. perforatum* türünün yaprak kısmında saptanmıştır.

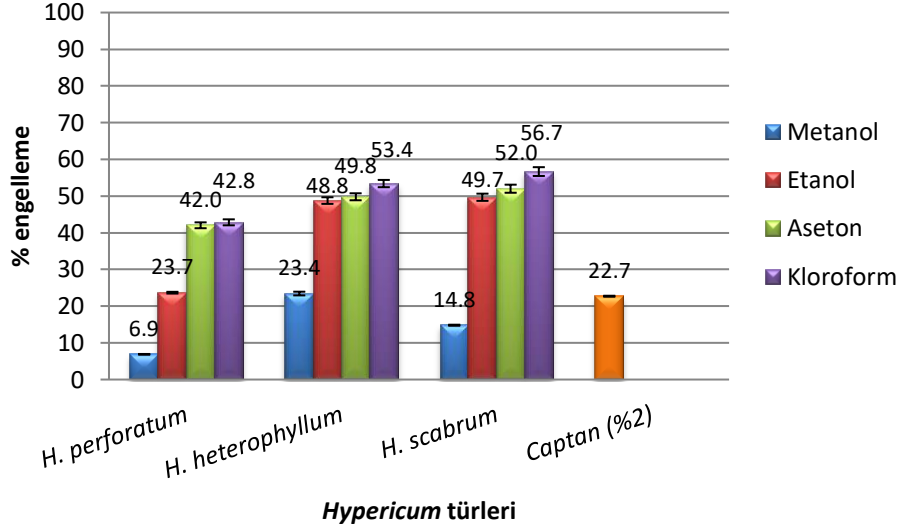


Şekil 2. *Hypericum* türlerin farklı bitki kısımlarının *Rhizoctonia solani* fungusuna karşı etkisi.

*R. solani* patojeni üzerine çözücü etkisinin engelleme oranları incelendiğinde, tüm *Hypericum* türleri içinde benzer olduğu ve en yüksekten aza doğru sırasıyla kloroform, aseton, etanol ve metanol olarak değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 3). Çözücülerin sergilemiş olduğu engelleme oranları *H. perforatum* için %6.9-42.8, *H. scabrum* için %14.2-56.7 ve *H. heterophyllum* için ise %23.4-53.4 arasında değişmiştir. Bu çalışmaya benzer olarak, *H. linarioides* Boss. türünün bazı funguslar üzerine farklı çözücü ekstraktların farklı etkiler sergilediği rapor edilmiştir [5]. Bir bitkinin veya bir bitki kısmının bazı çözücülerde farklı etki sergilemesi, çözücülerin bitki bünyesindeki fitokimyasalları çözebilme kabiliyetiyle ilişkilendirilebilir. Çünkü funguslar üzerine etki gösteren ya bir bileşik ya da birkaç bileşimin sinerjik etkisine atfedilebilir [16].

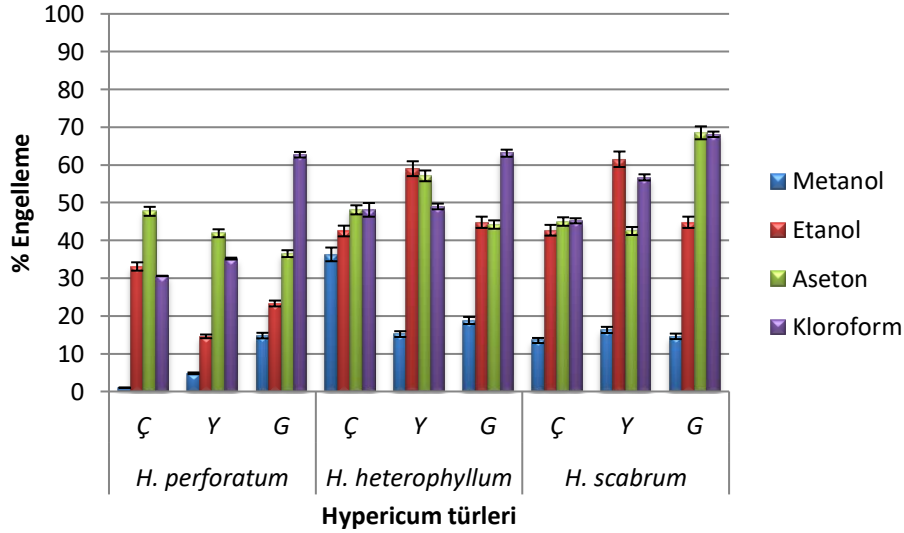
Şekil 3’de görüldüğü gibi, *R. solani* patojeni üzerine *H. scabrum* ve *H. perforatum* türlerinin metanol ekstraktları hariç (sırasıyla %14.8 ve %6.9) diğer tüm ekstraktlar Captan fungusitinden daha yüksek % engelleme aktivitesi göstermiştir (Şekil 3). En yüksek aktivite sırasıyla %56.7 ile *H. scabrum* ve %53.4’le *H. heterophyllum* türlerinin kloroform ekstraktlarından sonra *H. scabrum* türünün aseton ekstraktlarında (%52.0) gözlenmiştir. En zayıf antifungal aktivite gösteren *H. perforatum* türünün en yüksek engelleme oranı kloroform çözücüsünde %42.8 olarak gözlenmiştir. Önceki bir literatürde, *H. perforatum* türünün *R. solani* üzerine artan etanol ekstrakt konsantrasyonlarının (1-20 ml/l) etkisi denenmiş, miselyumun ortalama büyüme oranı % 6.6’dan % 52.6’ya kadar yükseldiği kaydedilmiştir [6].





Şekil 3. Hypericum ekstraktlarının Rhizoctonia solani fungusuna karşı çözücü etkisi.

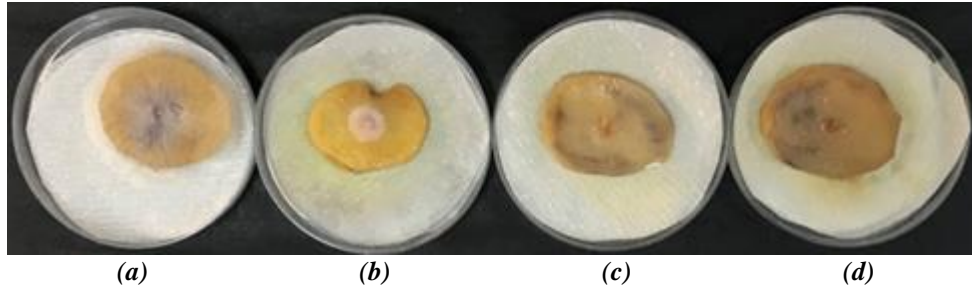
Bu çalışmadaki Hypericum türlerine ait tüm ekstraktların *R. solani* fungusiti üzerine engelleme değerleri Şekil 4'de sunulmuştur. Ekstraktların patojene karşı engelleme oranı %68.5 ile %1.0 arasında değişmiştir. En yüksek değere % 68.5 ve %68.1 ile *H. scabrum* türünün sırasıyla kloroform ve asetonlu gövde ekstraktlarında gözlenmiş, bunu sırasıyla %63.1 ile *H. heterophyllum* ve %62.7 ile *H. perforatum* türlerinin kloroformlu gövde ekstraktları takip etmiştir. Ayrıca, *H. heterophyllum* türünün yaprak kısmının etanol ve aseton ekstraktları (%59.0 ve 57.1) ile *H. scabrum* türünün yaprak kısmının etanol ve kloroform ekstraktları (%61.5 ve 56.7) %50 engelleme oranından yüksek bulunmuştur.



Şekil 4. Rhizoctonia solani üzerine Hypericum ekstaklarının engelleme etkisi (Bitki kısımları Ç: Çiçek; Y: Yaprak; G: Gövde).

*R. solani* üzerine engelleme oranı en yüksek bulunan *H. scabrum* türünün kloroform ve asetonlu gövde ekstraktlarının % 2.5 konsantrasyonları *in vitro* şartlarda bu patojene duyarlı sebze olan patates yumru kesitleri üzerinde denenmiş, pozitif (Captan) ve negatif kontrol (sadece aseton çözücüsü) grupları ile kıyaslanmıştır (Şekil 5). *R. solani* kontrol grubu patates kesitinin %100 tüm alanını kapladığında Captan fungusiti bulunan örnekte yaklaşık 10 mm misel oluşumu gözlenmiştir. Fakat *H. scabrum* türünün kloroform ve asetonlu gövde ekstraktları püskürtülen yumru kesitleri üzerinde misel oluşumunu engellediği tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre besin ortamı üzerine yayma/püskürtme

uygulamasına paralel olarak, *H. scabrum* türünün kloroform ve asetonlu gövde ekstraktları Captan fungusitine göre *R. solani* patojenine karşı daha etkili bulunmuştur.



**Şekil 5.** Patates yumrusu üzerinde *Rhizoctonia solani* patojenine karşı *Hypericum* ekstaklarının ve Captan fungusitinin etkisi (a) Negatif kontrol, (b) Pozitif kontrol, (c) *H. scabrum* türünün kloroformlu gövde ekstraktı, (d) *H. scabrum* türünün asetonlu gövde ekstraktı).

## **IV. SONUÇLAR**

Bu çalışmada, *R. solani* patojenine karşı *Hypericum* türlerinin ve bazı bitki kısımlarının farklı çözücülerdeki etkileri incelenmiş, %2 konsantrasyonundaki *Hypericum* ekstraktlarının %68.5 etki oranı ile aynı konsantrasyondaki sentetik fungusit olan Captan'dan (%22.7) daha yüksek ve güçlü aktivite sergilediği tespit edilmiştir. Türler arasında *H. scabrum* en etkili tür olarak belirlenmiştir. *Hypericum* türlerinin bitki kısımlarının etkisi türlere göre farklılık göstermiş, *H. perforatum* ve *H. scabrum* için gövde kısmı en etkili iken *H. heterophyllum* türü için yaprak kısmı olarak kaydedilmiştir. En etkili çözücü olarak kloroform bulunmuştur.

Ayrıca, bu çalışmada besin ortamı üzerine yayma/püskürtme ile de antifungal çalışmaların yapılabileceği gözlenmiştir. Bu sayede daha az ekstrakt kullanımı sağlanmış ve arazi koşullarında fungusitlerin uygulama yöntemine daha yakın bir uygulama yapılmıştır.

Her üç *Hypericum* türününün *R. solani* üzerine en etkili ekstraktları kloroformda çözünen gövde kısımları olmuştur. Bu patojen üzerine *Hypericum* gövde kısımlarında bulunan ve kloroform tarafından daha etkili formda çözünen bileşik veya bileşikler grubu olabileceğini göstermektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda bu türlerin gövde kısımlarına ait kloroformlu ekstraktlarındaki bileşenlerin analizi yapılabilir ve elde edilen bileşenlerin farklı dozlarının etkisi bu patojen üzerine araştırılabilir.

Tüm ekstraktlar içerisinde, *H. scabrum* türünün asetonlu ve kloroformlu gövde ekstraktları *R. solani* patojeni üzerine en yüksek (% 68.1 ve % 68.5) ve güçlü antifungal aktivite sergilediği tespit edilmiştir. Bu ekstraktlar, *R. solani* ile mücadele için sentetik böcek ilacının yerini alabilecek önemli bir faktör olabilir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 6602c-ZF/17-137).

## **V. KAYNAKLAR**

[1] J. D. S. Clarkson and R. J. Cook, "Effect of sharp eyespot (*Rhizoctonia cereatis*) on yield loss in winter wheat," *Plant Pathology*, vol. 32, no. 4, pp. 421- 428, 2007.

[2] G.C. MacNish and S. M. Neate, "*Rhizoctonia* Bare Patch of Cereals: An Australian Perspective," *Plant Disease*, vol. 80, no. 9, pp. 965-971, 1996.

- [3] M. I. Trillas, E. Casanova, L. Cotxarrera, J. Ordovás, C. Borrero and M. Avilés, “Composts from agricultural waste and the *Trichoderma asperellum* Strain T-34 suppress *Rhizoctonia solani* in Cucumber seedlings,” *Biological Control*, vol. 39, no. 1, pp. 32–38, 2006.
- [4] M. Mohammadi, M. Banihashemi, G. A. Hedjaroude and H. Rahimian, “Genetic diversity among iranian isolates of *Rhizoctonia solani* Kühn anastomosis group 1 subgroups based on isozyme analysis and total soluble protein pattern,” *Journal of phytopathology*, vol. 15, pp. 162–170, 2003.
- [5] A. Cakir, S. Kordali, H. Kilic, E. Kaya, “Antifungal properties of essential oil and crude extracts of *Hypericum linarioides* Bosse,” *Biochemical Systematics and Ecology*, vol. 33, no. 3, pp. 245–256, 2005.
- [6] K. Tanova and R. Petrova, “Influence of extracts from essential oil plants on the growth of *Rhizoctonia solani* Kuhn, agent of the sugar beet root rot,” *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, vol. 14, no. 3, pp. 309-312, 2008.
- [7] A. A. Al-Askar and Y. M. Rashad, “Efficacy of some plant extracts against *Rhizoctonia solani* on pea,” *Journal of Plant Protection Research*, vol. 50, no. 3, pp. 239-243, 2010.
- [8] Y. P. Li, K. Hu, X. W. Yang and G. Xu, “Antibacterial dimeric acylphloroglucinols from *Hypericum japonicum*,” *Journal of natural products*, vol. 81, no. 4, pp. 1098-1102, 2018.
- [9] A. Aftab, Y. Yousaf, A. Javaid, N. Riaz, A. Younas, M. Rashid, B. Shamsheer and A. Arif, “Antifungal activity of vegetative methanolic extracts of *Nigella sativa* L. against *Fusarium oxysporum* and *Macrophomina phaseolina* and its phytochemical profiling by GC-MS analysis,” *International Journal of Agriculture and Biology*, vol. 20, pp. 569-576, 2018.
- [10] K. Chakrapani, B. Sinha, W. T. Chanu, Tusi, Chakma and T. Siram, “Assessing *in vitro* antifungal activity of plant extracts against *Rhizoctonia solani* causing sheath blight of rice (*Oryza sativa* L),” *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 9, no. 1, pp. 1497-1501, 2020.
- [11] S. L. Crockett and N. K. Robson, “Taxonomy and chemotaxonomy of the genus *Hypericum*,” *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, vol. 5, no. Special Issue 1, pp. 1-13, 2011.
- [12] F. S. A. Tanemossu, K. Franke, G. Sanna, A. Porzel, E. Bullita, P. La Colla and L.A. Wessjohann, “Isolation and anticancer, anthelmintic, and antiviral (HIV) activity of acylphloroglucinols, and regioselective synthesis of empetrifranzinans from *Hypericum roeperianum*,” *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, vol. 23, no. 19, pp. 6327-6334, 2015.
- [13] A. Cakir, S. Kordali, H. Zengin, S. Izumi and T. Hirata, “Composition and antifungal activity of essential oils isolated from *Hypericum hyssopifolium* and *Hypericum heterophyllum*,” *Flavour and Fragrance Journal*, vol. 19, no. 1, pp. 62–68, 2004.
- [14] F. M. C. Barros, B. Pippi, R. R. Dresch, B. Dauber, S. C. Luciano, M. A. Apel, A. M. Fuentefria and Von GL. Poser, “Antifungal and antichemotactic activities and quantification of phenolic compounds in lipophilic extracts of *Hypericum* spp. native to South Brazil,” *Industrial Crops and Products*, vol. 44, pp. 294–299, 2013.
- [15] N. Ashokkumar, A. Shanthi, M. Sivakumar and K. Rajamani, “Studies on Antifungal Activity of Different Plant Parts of Glory Lily (*Gloriosa superba* L.) against Fungal Wilt Pathogen, *Fusarium oxysporum*,” *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, vol. 6, no. 9, pp. 428-433, 2017.



- [16] G. Dülger and B. Dülger, “Antifungal activity of *Hypericum havvae* against some medical *Candida* yeast and *Cryptococcus* species,” *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, vol. 13, no. 3, pp. 405-408, 2014.
- [17] M. M. Karimkhani, D. Salarbashi, S. Sanjari Sefidy and A. Mohammadzadeh, “Effect of extraction solvents on lipid peroxidation, antioxidant, antibacterial and antifungal activities of *Berberis orthobotrys* Bienerat ex C.K. Schneider,” *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 13, pp. 357–367, 2018.
- [18] R. Akila and M.L. Mini, “Solvent extraction and antifungal assay of *Lawsonia inermis* Linn. against the brown spot fungus *Bipolaris oryzae*,” *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 9, no. 1, pp. 5-8, 2020.
- [19] F. Castillo, D. Hernandez, G. Gallegos, M. Mendez, R. Rodriguez, A. Reyes and C.N. Aguilar, “*In vitro* antifungal activity of plant extracts obtained with alternative organic solvents against *Rhizoctonia solani* Kühn,” *Industrial Crops and Products*, vol. 32, pp. 324-328, 2010.
- [20] L. Bocquet, C. Rivière, C. Dermont, J. Samaillie, J. L. Hilbert, P. Halama, A. Siah, and S. Sahpaz, “Antifungal activity of hop extracts and compounds against the wheat pathogen *Zymoseptoria tritici*,” *Industrial Crops and Products*, vol. 122, pp. 290–297, 2018.
- [21] C. Yaman, O. Tugay and D. Ulukuş, “Endemik *Haplophyllum* A. Juss. türlerinin antioksidan aktivitesi üzerine lokasyon ve tür farkının etkisi,” *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 10, s. 1, ss. 648 – 657, 2020.
- [22] N. Tocci, T. Weil, D. Perenzoni, L. Narduzzi, S. Madriñán, S. Crockett, N.M. Nürk, D. Cavalieri and F. Mattivi, “Phenolic profile, chemical relationship and antifungal activity of Andean *Hypericum* species,” *Industrial Crops and Products*, vol. 112, pp. 32-37, 2018.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Yeşil Bir Villanın Tasarım Maliyetinin Klasik Villa Tasarım Maliyetiyle Karşılaştırılması

 Melike YALILI KILIÇ<sup>a,\*</sup>,  Sümeyye ADALI<sup>a</sup>

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

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

DOI: 10.29130/dubited.820515

### ÖZET

Günümüzde gelişmişlik düzeyinin artışıyla beraber enerji arzında meydana gelen değişim, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmiştir. Hem güvenli hem de tükenmez olan bu kaynaklar, konutların enerji ihtiyacını karşılama noktasında da birçok avantaja sahiptir. Bu çalışmada, Bursa'da şehrin yerel iklim koşullarına uygun olarak tasarlanmış yeşil bir villanın yenilenebilir enerji kurulum maliyeti ile amortisman süresi hesaplanmış ve klasik villa olma durumunda oluşacak maliyetlerle kıyaslaması yapılmıştır. Yeşil villa ile klasik villanın enerji sarfiyatları incelendiğinde, yeşil villada 2047,24 €/yıl tasarruf sağlandığı; yeşil villanın yenilenebilir enerji yatırım maliyetinin 11 yıl 3 ay gibi bir sürede kendini amorti edebileceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Amortisman süresi, Maliyet, Yenilenebilir Enerji, Yeşil Villa, Bursa

## Comparison of the Design Cost of a Green Villa with the Cost of a Classic Villa Design

### ABSTRACT

The change in energy supply has brought the use of renewable energy resources to the agenda with the increase in development level today. These resources, which are both safe and inexhaustible, have many advantages in meeting the energy needs of residences. In this study, the renewable energy installation cost and the depreciation period of a green villa designed in accordance with the local climatic conditions of Bursa were calculated and compared with the costs that would occur in case of a classic villa. When the energy consumption of the green villa and the classic villa is examined, it is seen that 2047.24 € / year is saved in the green villa; it has been determined that the renewable energy investment cost of the green villa can pay off in 11 years and 3 months.

**Keywords:** Depreciation period, Cost, Renewable Energy, Green Villa, Bursa

# I. GİRİŞ

Dünya genelindeki nüfus artışı, sanayi ve teknolojik gelişmeler ve bunlara paralel olarak artan ham madde ve enerji ihtiyacı, özellikle doğada yenilenemeyen kaynakların aşırı düzeyde tüketilmesine yol açmıştır. Bu durum tüm dünyayı enerji kaynaklarının tükenme tehlikesiyle, Orta Doğu’da yer alan zengin yer altı kaynaklarına sahip ülkeleri ise enerji güvenliği problemiyle karşı karşıya bırakmıştır. Enerji kaynakları arasında önemli yer tutan fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması ve çevreye verdiği zararların en az düzeye indirilmesi amacıyla alternatif enerji kaynaklarının kullanımı günümüzde gittikçe yaygınlaşarak önem kazanmaktadır.

Dünyadaki enerji kaynaklarının yaklaşık yarısı konutlarda tüketilmekte olup nüfusa bağlı olarak konut sayısının artışıyla beraber bu oran giderek yükselmektedir. Çoğu fosil tabanlı olan bu kaynakların kullanımı hava ve su kirliliği başta olmak üzere çevre ve insan sağlığı üzerinde birçok probleme neden olmaktadır. Fosil yakıtlara alternatif olarak hem çevreci hem de doğada tükenmez olması nedeniyle tarım, sanayi ve hizmet alanında yer alan birçok sektörde yenilenebilir nitelikteki kaynakların kullanımı yükselen bir eğilimdedir [1]. Bu sektörlerden birisi olan konut sektörü, yeşil bina anlayışıyla enerji ve kaynak tasarrufunun sağlanması ve çevresel sürdürülebilirliğin gerçekleşmesini amaçlayarak çalışmalarını sürdürmektedir [2]. Yeşil bina, doğaya ve bulunduğu yörenin koşullarına uygun olarak tasarlanmış, enerjisini yenilenebilir özellikteki kaynaklardan sağlayan, minimum atık üretimini amaçlayan sürdürülebilir nitelikteki yapıları ifade etmektedir [3]. Yeşil binalarda yenilenebilir özellikteki enerji türleri arasında güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi kullanımı ilk sıralardadır. Bu enerji türlerinin yanında biyokütle enerjisi, jeotermal enerji ve hidroelektrik enerjiden de belirli oranlarda yararlanılmaktadır [4]. Bu tür yapılarda enerji tüketiminde %24-50, CO<sub>2</sub> emisyonunda %33-39, su tüketiminde %40, oluşan atık miktarlarında %70’e varan azalış sağlanacağı belirtilmektedir [3].

Yeşil bina kriterlerinin belirlenmesi ve bu tür yapıların değerlendirilmesini sağlamak amacıyla oluşturulan ulusal ve uluslararası özelliğe sahip birçok sertifikasyon sistemi mevcuttur. Oluşturulacak olan yapıya uygun sistemin seçimi hem inşa aşamasında hem de daha sonraki süreçte ergonomik ve ekonomik yönden katkı sağlamaktadır [5, 6]. Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan yeşil bina sertifikasyon sistemleri arasında Building Research Establishment-Environmental Assessment Method (BREEAM), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE), Green Star, Deutsche Gesellschaft für Nachhaltige Bauen (DGNB) v.b. yer almaktadır [7]. BREEAM İngiltere’de 1990 yılında ortaya konmuş ilk kapsamlı yapı değerlendirme yöntemi olup Kanada, Avustralya, Hong Kong ve birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. BREEAM yöntemi, farklı kategoriler altında yeşil bina değerlendirmesini amaçlamakta, bu kategoriler arasında yönetim, sağlık ve refah, enerji, ulaşım, su, malzeme, atık, kirlilik, inovasyon, arazi kullanımı ve ekoloji yer almaktadır [9]. Amerika’da oluşturulmuş ve benimsenmiş olan LEED sertifikasyon sistemi ise, ülkemizde ve dünya genelinde en çok tercih edilen sistemdir [9, 10]. Amerika’da yeşil binalar için bir standart olarak kabul edilen bu sistemde sürdürülebilir alanlar, su verimliliği, enerji ve atmosfer, malzeme ve kaynak, iç mekan kalitesi, lokasyon ve ulaşım, inovasyon ve bölgesel öncelik kategorilerinde değerlendirme gerçekleştirilmektedir [9, 11].

Sertifika sistemlerinde farklı kullanım amaçlarına göre inşa edilmiş binalara uygun değerlendirme yapabilmek amacıyla sınıflandırma yoluna gidilmektedir. Sınıflandırma binanın durum ve tipolojisine göre yapılmaktadır. Durum sınıflandırması “mevcut, yeni, geçici, renovasyon ve bakım-onarım” başlıkları altında değerlendirilmektedir [10]. Başlıca sertifika sistemleri ve uygulandıkları bina tipolojileri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Başlıca Sertifikasyon Sistemleri ve Uygulandıkları Bina Tipolojileri [10].

Sertifikasyon Sistemi	Uygulandığı Bina Tipolojileri																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
BREEAM	+	+	+	+	+	+	+	+	+												
CASBEE					+	+			+		+	+									
LEED		+			+				+			+			+						
GREEN STAR		+		+	+	+	+		+												
DGNB				+	+	+	+		+				+		+	+	+	+	+	+	+

1. Mahkeme binaları 2. Eğitim binaları 3. İleri eğitim binaları 4. Sağlık binaları 5. Ofis binaları ve idari binalar 6. Ticari binalar 7. Endüstriyel binalar 8. Hapishaneler 9. Konutlar 10. Kapalı otoparklar 11. Isı adaları 12. Kent ve kentsel gelişim (Mahalle vb.) 13. Oteller 14. Bina kabuğu ve çekirdeği 15. Kongre merkezleri 16. Laboratuvarlar 17. Geçici mimari yapılar 18. İç mekanlar 19. Altyapı tesisleri 20. Spor kompleksleri 21. Hava alanları

Ülkemizde bu sistemler örnek alınarak oluşturulmuş iki sertifika sistemi mevcuttur. Bunlardan biri Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK) tarafından oluşturulan, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından desteklenen Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım Konut Sertifikası (B.E.S.T) [12], bir diğeri Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi bünyesinde oluşturulmuş Sürdürülebilir Enerji Etkin Binalar (SEEB-TR)'dir. Her iki sistem de ülkemiz şartlarına uygunluk göz önüne alınarak meydana getirilmiştir. Ulusal sertifika niteliğindeki B.E.S.T., ülkemizde sürdürülebilir yapı anlayışıyla gerçekleştirilecek çalışmalara ana kılavuz olma niteliğindedir [13].

Yeşil binalar geleneksel olarak oluşturulmuş binalara göre daha üstün bir teknoloji ve AR-GE çalışması gerektirmektedir. Bu durum yeşil binaların tasarım ve inşaa aşamasında maliyetini arttırırken, kullanım aşamasında sağladığı tasarruflar nedeniyle kurulum masraflarını belirli bir zaman içinde amorti etmektedir. Tablo 2'de yeşil yapı örneklerinin maliyet ve tasarruf analizini ele alan çalışmalar yer almaktadır.

**Tablo 2.** Yeşil yapı örneklerinin maliyet ve tasarruf analizini ele alan çalışmalar

Yapı Türü	Analiz Türü	Çalışma Yürütücüleri
Yeşil konut	Enerji ve inşaa maliyeti	Bayar ve Atılğan [14]
Yeşil ofis	Enerji ve inşaa maliyeti	Yalılı Kılıç ve Yahşi [15]
Yeşil okul/kampüs	Enerji maliyeti	Kayın [16]
Yeşil otel	Madde ve enerji tasarrufu	Mesci [17]
Yeşil alışveriş merkezi	Enerji tasarrufu	Şenol [18]

Bu çalışmada enerjisini yenilenebilir kaynaklardan sağlayabilecek yeşil bir villa tasarımı yapılmış ve tasarlanan villanın ilk yatırım maliyeti hesaplanmıştır. İlave olarak, bu villanın geleneksel olarak tasarlanması durumunda oluşan maliyet farklılığı, yeşil villada kullanılan yenilenebilir enerji sistemlerinin sağladığı tasarruf ile sistemlerin amortisman süresi de belirlenmiştir.

## **II. TÜRKİYE VE DÜNYADAN YEŞİL YAPI ÖRNEKLERİ**

Dünya genelinde yeşil bina anlayışıyla inşaa edilmiş birçok yapı örneği mevcuttur. Bunlardan biri, Amerika'da yer alan Idea House projesidir (Şekil 1.a). LEED sertifikasına sahip olan bu çiftlik evinde erozyonu önlemek amacıyla saman balyalarından yararlanılmıştır. Bölgede tercih edilen bitkilerin suya dayanıklı olmasına özen gösterilmiştir. Çatısında bulunan yağmur suyu toplama sistemi sayesinde biriken suyun tuvaletlerde kullanımı gerçekleştirilerek su tasarrufu sağlanmaktadır. Bu yapı, yeşil

olmayan bir yapıya göre enerjiyi %43, suyu ise %80 oranında daha verimli kullanmaktadır [19, 20]. İsveç'in Malmö şehrinde yer alan bir konut projesi olan Salongen 35'in yapımında kullanılan malzemeler tamamen çevre dostu olup, yeşil çatıya sahip olan yapılarda A sınıfı enerji ve su tasarrufu gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.b). Almanya'da yer alan STADTHAUS M1 yeşil konut projesinde ise, bölgenin iklim şartları dolayısıyla ısı yalıtımlı dış cephe kaplamalarıyla hava sıcaklığının sıfırın altında 15°lere düştüğü bölgede yüksek ısı verimliliği sağlanmaktadır [21].



(a)



(b)

**Şekil 1. (a) Idea House ve (b) Salongen 35 Konut Projeleri**

İskoçya'da bulunan Acharacle İlkokulunun elektrik ihtiyacı rüzgar tribününden elde edilmekte, tuvaletlerde yağmur suyu kullanılmaktadır (Şekil 2.a). Aydınlatmalar gün ışığına göre ayarlanarak tasarruf edilmekte, ısınma ihtiyacının bir kısmı bilgisayarların enerjisiyle sağlanmaktadır [22]. Amerika'nın San Francisco kentinde bulunan Hotel Bardessono, LEED Platin sertifikasına sahiptir (Şekil 2.b). Enerji kaynaklarının kullanımı diğer otellerle kıyaslandığında %50 oranında daha azdır. Otelde gün ışığından maksimum ölçüde faydalanılmakta, güneş kırıcıların açısı otomatik olarak değişmektedir. Sıcak su temini yer altı sularından sağlanmaktadır. Güneş enerjisi kullanımı maksimum ölçüde gerçekleştirilmektedir. Aydınlatmada halojen ve floresan lambalar tercih edilerek enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Plastik kullanımı minimum seviyede tutulmuş olup otelde kullanılan halı, kilim ve mobilya kumaşları yeşil sertifikaya sahiptir. İnşaat malzemelerinin %95'i geri dönüşümlü malzemelerden seçilmiştir [23, 24].



(a)



(b)

**Şekil 2. (a) Acharacle İlkokulu ve (b) Hotel Bardessono**

İngiltere'de yer alan BREEM sertifikasına sahip olan Edge Lane Hastanesinde, oluşan ısı kayıplarını ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için yüksek kalitede yalıtım sağlanmıştır. Isı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemine sahip olan hastanede gaz yakıtla çalışan birleşik ısı ve güç kaynağı mevcuttur [25, 26].



AB ülkeleri, Japonya, Çin, Hindistan, Brezilya ve Kuzey Amerika’da yeşil bina sektöründe yıllık 150 milyar dolarlık yüksek yatırım potansiyelinin mevcut olduğu bildirilmektedir [27].

Ülkemizde İstanbul Beylerbeyi semtinde ÇEDBİK Konut Sertifikası doğrultusunda yapılmış, 88 konutun bulunduğu Antteras projesiyle (Şekil 3.a), yapım aşamasında meydana gelebilecek çevresel etkiler azaltılmış, projede arazi konumunun ulaşım ağlarına yakın seçilmesi sağlanarak CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılması amaçlanmıştır. Rezervuarlarında gri su kullanımına olanak vermesi, tasarımının güneş ışığından en yüksek faydayı sağlayacak şekilde oluşturulması ve yapılarda enerji verimliliği yüksek olan cihazların tercih edilmesi sayesinde su ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır [28]. Bunun dışında ülkemizde birçok yeşil konut projesi yer almakta olup, bunlar arasında Diyarbakır ve Muğla gibi güneşlenme süresinin fazla olduğu şehirlerde bulunan sıfır enerji tüketimini amaçlayan Güneş Evleri, yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımıyla fosil yakıt kullanımı ve kaynak tüketiminin azaltılmasını amaçlayan konut ve konut dışı projeler yer almaktadır [18].

Schneider Electric firmasının Manisa’da bulunan binası, Türkiye’de in-use kategorisi BREEAM /Mükemmel Yeşil Bina Sertifikası almaya hak kazanan ilk fabrika binasıdır. Fabrika, kendi üretimi olan güneş enerji sistemiyle, ihtiyacı olan enerjinin bir kısmını yenilenebilir özellikteki kaynaktan sağlamayı amaçlamakta, çatılarda bulunan açıklıklar sayesinde ise güneş ışınlarından daha fazla miktarda faydalanmaktadır. Enerji kaybının önlenmesi amacıyla fabrikada çeşitli faaliyetler sonucu harcanan enerji miktarları izlenmekte ve kaydedilmektedir. Yağmur suları depo edilerek peyzaj sulamasında kullanılmaktadır. Uygulanan yöntemler sayesinde enerjiden %28, sudan %57 oranında tasarruf sağlanan fabrikada kaynak verimliliği %45 civarında elde edilmiştir [29].

İstanbul’da yer alan LEED Gold sertifikasına sahip olan Hilton Garden Inn İstanbul Golden Horn Hotel, sıcak su ihtiyacını 6 ay boyunca güneş panellerinden elde edilen enerjiyle sağlamaktadır. İnşaatında kullanılan malzemelerinin %30’u geri dönüştürülmüş malzeme özelliğindedir. Binada elde edilen tasarruf yıllık %70 civarındadır [23, 30].

Ülkemizin ilk büyük ekolojik karma projesi olan Varyap Meridian, içerisinde konut, otel, ofis ve alışveriş merkezi gibi birçok yapıyı barındırmaktadır. LEED kriterlerinin sağlandığı projede atık maliyetlerinde %50-90, CO<sub>2</sub> salınımında %35 oranında azaltımın gerçekleşmekte olduğu, su tasarrufunun ise %30 oranında sağlandığı bildirilmektedir [31].

Çevreci bir anlayışla inşa edilen İstanbul Havalimanı terminal binası, LEED altın sertifikasına sahip en büyük bina olma özelliğini taşımaktadır (Şekil 3.b). İnşaat sırasında yerel ve geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılmıştır. Havalimanında az su tüketen batarya ve rezervuarlar tercih edilmiştir. Rezervuarlarda gri su kullanımına olanak sağlanmaktadır. Peyzaj sulama amacıyla arıtılmış atıksudan faydalanılarak su tüketimde %100 tasarruf elde edilmektedir. Dış cephe tasarımı, mekanik ekipman ve aydınlatma sistemleri seçiminde enerji verimliliği göz önünde bulundurulmuştur. Sistemlerde kullanılan enerji, her bir sistem için ayrı olarak belirlenmekte ve izlenmektedir [32].



(a)



(b)

Şekil 3. (a) Antteras konutları ve (b) İstanbul Havalimanı Terminal Binası

Yeşil ofis uygulaması kapsamında İstanbul'da yer alan Avea Maçka binası, sürdürülebilirlik anlayışıyla yeniden düzenlenerek LEED Gold sertifikası almıştır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi kullanılarak hem karbon salınımı hem de enerji talebi düşürülmüştür. Su ve aydınlatma armatürleri tasarruflu olanlar ile değiştirilmiş, lambaların içerisindeki cıva oranları belirlenmiştir. Gri suyun arıtılarak depolanması sağlanmış ve peyzaj sulamasında kullanılmıştır [33].

Ülkemizde son yıllarda trend olan yeşil bina anlayışı, yapı sektöründe önemli bir yer bulmuş; 2019 Nisan ayı itibariyle sertifikaya sahip yeşil bina sayısı 400'e yükselmiş ve bunun sonucunda Avrupa ülkeleri arasında birinci sırayı almıştır [34].

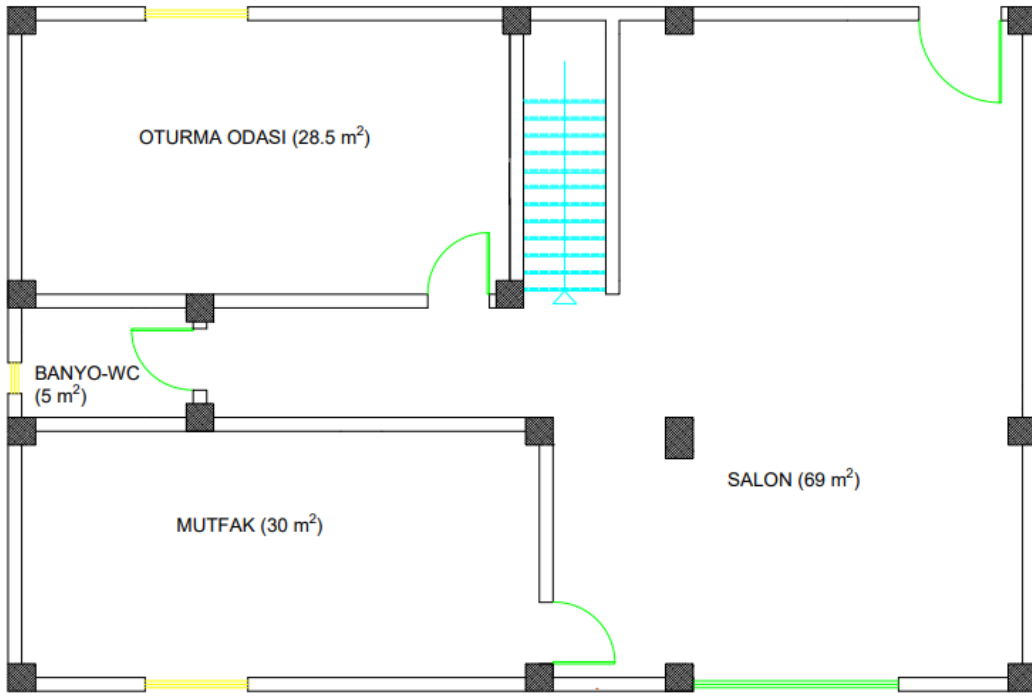
### **III. MATERYAL VE METOT**

Bu çalışmada Bursa ili Osmangazi ilçesine bağlı Kükürtlü mahallesinde bulunan kentsel dönüşüm alanı olan bir arsa üzerine 2020 yılında şehrin iklim şartlarına uygun olarak tasarlanmış, yeşil alana sahip, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılabilen yeşil bir villanın enerji maliyetleri ve yapılan enerji yatırımının amortisman süresi hesaplanmıştır. Hesaplanan bu maliyet, klasik bir villanın enerji maliyetleri ile karşılaştırılarak yeşil villanın sağlayabileceği imkanlarla elde edilebilecek ekonomik tasarruf miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.

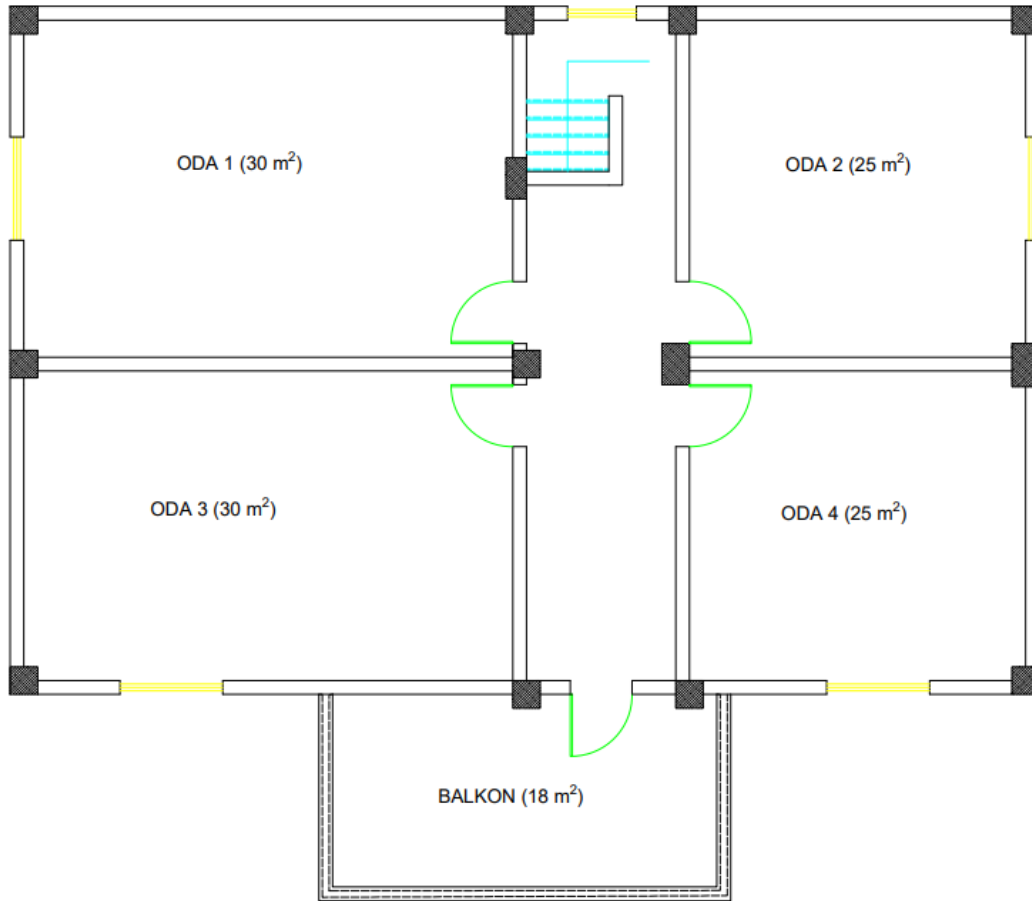
Toplamda 300 m<sup>2</sup>'lik bir alanda villa olarak tasarlanacak olan konutun birinci katında 28,5 m<sup>2</sup> oturma odası, 30 m<sup>2</sup> mutfak, 12 m<sup>2</sup> hol, 5 m<sup>2</sup> banyo-WC ve 69 m<sup>2</sup> salon bulunmaktadır. Villanın ikinci katında ise 30'ar m<sup>2</sup>'den iki adet oda, 25'şer m<sup>2</sup>'den iki adet oda ve 32 m<sup>2</sup> hol bulunmaktadır.

Yeşil villada klasik villaya ek olarak elektrik ihtiyacını karşılayacak güneş panellerine ve elektrik tasarrufu sağlayacak aydınlatma cihazlarına, ısıtma ve soğutma ihtiyacını karşılayacak toprak kaynaklı ısı pompasına ve ısı alışverişini minimuma indirmek için yalıtım sistemi ile ısı yalıtımlı camlara, sıcak su ihtiyacını karşılayacak boylere, su tüketiminde tasarruf sağlamak amacıyla bahçe sulama ve kullanım suyu kaynağı olması için yağmur suyu depolarına ve tasarruflu armatürlere yer verilmiştir.

İnşa edilecek villanın ön cephesi ana yol istikametine bakacaktır. Mevcut halde arsanın anayolla kot farkı bulunmamaktadır. Fakat arka cephede bulunan cadde ile arsa arasında yüksek bir kot farkı mevcuttur. Arsanın içerisinde yıkım sonucu oluşan engebeler düzeltilerek villanın düz bir zeminde oluşturulması düşünülmektedir. Şekil 6'da villaya ait plan ve görünüşler yer almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 4. Villanın (a) Birinci kat planı ve (b) İkinci kat planı

## IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

### A. KLASİK VİLLA İLE YEŞİL VİLLA İÇİN MALİYET KARŞILAŞTIRMASI

Klasik villa ve yeşil villa için yapılan maliyet analizi Tablo 3'te verilmiştir. Hesaplama villa yapım aşamasından başlayarak tüm ana unsurlar ele alınarak maliyetler belirlenmiştir.

*Tablo 3. Klasik ve yeşil villanın toplam maliyetlerinin karşılaştırılması*

Harcama kalemi	Klasik villa	Yeşil villa
Pencere	732,66 €	732,66 €
Sıva	3264,24 €	3264,24 €
Su sistemi	514,28 €	836,27 €
Beton	2943,34 €	2943,34 €
Demir	6068,58 €	6068,58 €
Duvar örme maliyeti	7539,14 €	7539,14 €
Harç	907,26 €	907,26 €
Kolon	547,8 €	547,8 €
Çatı	4102,96 €	3418,36 €
Elektrik tesisatı	692,4 €	714,09 €
Döşemeler	1296,54 €	1296,54 €
Duşakabin	105 €	105 €
Kapılar	495,5 €	495,5 €
Merdiven	352,76 €	352,76 €
Mutfak dolapları	778,67 €	778,67 €
Elektrikli ev eşyaları	2910,93 €	2910,93 €
Isıtma sistemi	1775,27 €	4411,55 €
Güneş Paneli maliyeti	-	13328,8 €
Isı pompası maliyeti	-	6412,13 €
Yalıtım maliyeti	1893,7 €	1893,7 €
Yağmur suyu depo maliyeti	-	1002,83 €
<b>Toplam maliyet</b>	<b>36921,03 €</b>	<b>59960,15 €</b>

1 € = 8,476 TL (12 Ağustos 2020 döviz kurları referans alınmıştır.)

### B. KLASİK VİLLA İLE YEŞİL VİLLANIN ENERJİ SARFIYATI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMASI

Yeşil villada yer alan elektronik cihazların sarf ettikleri elektrik enerjisi miktarları Tablo 4'te verilmiştir. Elektrik tüketim değerleri [35] referans alınarak villada oluşacak yıllık enerji kullanım miktarı hesaplanmıştır.

*Tablo 4. Yeşil villadaki temel cihazların bir saatte sarf ettikleri elektrik enerjisi miktarı [35]*

Cihaz	Sınıf	Enerji Tüketimi (W/sa)
Buzdolabı	A+ sınıfı	40
Çamaşır makinesi	A+ sınıfı	800
Bulaşık makinesi	A+ sınıfı	1800
Fırın	-	2000
Saç kurutma makinesi	-	2200
Televizyon	-	180
Ütü	-	2800
Elektrik süpürgesi	-	1450
İç aydınlatma	-	23
Klima	-	3700
Kombi	-	150

Villanın buzdolabı, aydınlatma, televizyon ve diğer elektrikli ev aletlerinden kaynaklanan elektrik tüketiminin hesaplanmasında, buzdolabının ve kombinin günde 24 saat, televizyonun ise günde 5 saat

çalıştığı öngörülmüştür. İç aydınlatmada kullanılan 23 adet tasarruflu ampulün aynı anda en fazla 8 adedinin (salonda 6 ve mutfakta 2 adet) kullanılacağı kabul edilmiştir. İç aydınlatma 6 saat kullanılacaktır. İç aydınlatma için; 23 Wsa, beyaz ışıklı, A enerji sınıfı, ekonomi ampulleri seçilmiş olup bu ampuller, klasik 100 Wsa güçteki ampullere eşdeğerdir. %80 oranında enerji tasarrufu sağlayabilen bu ampuller yeşil villa tasarımı için idealdir. Tasarruflu ampullerin adet fiyatı 0.943 €'dur [36]. Yeşil villanın elektrik tesisatı klasik villa ile aynı olmakla beraber sadece ampuller değiştiğinde elektrik tesisatı maliyeti;

- $692,4 \text{ €} + (23 * 0.943 \text{ €}) \approx 714,09 \text{ €}$ 'dir.

Bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, elektrikli fırın, klima ve ütünün güneşlenme süresi içerisinde çalıştırılacağı ve aynı anda çalıştırılmayacağı düşünülmüştür (çamaşır makinesi üzerinden hesap yapılmıştır). Haftalık çalışma günleri, bulaşık makinesi için 3 gün, çamaşır makinesi için 2 gün, ütü için 1 gün, elektrikli fırın için 1 gün, elektrik süpürgesi için 1 gün kabul edilerek günlük 2 saat çalışacakları öngörülmüştür.

Elektrikli ev aletlerinin günlük elektrik enerjisi harcaması aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir.

- $(40 * 24) + (180 * 5) + (800 * 2 * 2) + (23 * 8 * 6) + (150 * 24) = 9764 \text{ Wsa/gün} = 3563,86 \text{ kWsa/yıl}$

Klasik bir villanın bir günlük sarf edeceği elektrik enerjisi miktarı hesaplanırken, sadece kullanılacak aydınlatma ürünleri değişiklik göstermiş olup, diğer elektronik ev aletlerinin hepsi aynı şekilde alınmıştır. İç aydınlatmada 23 adet 100 watt'lık tasarruflu ampuller kullanılmıştır. Bu durumda elektrik enerjisi ihtiyacı;

- $(40 * 24) + (180 * 5) + (800 * 2 * 2) + (100 * 8 * 6) + (150 * 24) = 13460 \text{ Wsa/gün} = 4912,9 \text{ kWsa/yıl}$  olarak hesaplanmıştır.

### **C. KLASİK VİLLA İLE YEŞİL VİLLANIN SU SARFIYATI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMASI**

Klasik bir villada tasarruflu musluklar dakikada 8-27 L tüketmekte, tasarruflu rezervuarlar 16 L su depolamakta, tasarruflu duş başlıkları 20 L su akıtmaktadır. Bahçe sulamasında ise evde harcanan suyun %30' u kullanılmaktadır [37]. Villanın klasik ve yeşil nitelikte olma durumunda oluşacak su tüketim değerleri [37] incelendiğinde;

- Bir kişinin günde banyo ve mutfak musluklarından 10 dakikalık su sarfiyatı sonucu  $20 * 10 = 200 \text{ L}$  tüketim olacaktır (Bir musluk dakikada 20 L sarfiyat gerçekleştirmektedir). 4 kişilik bir aile için bu değer  $200 * 4 = 800 \text{ L}$ 'dir.
- Bir kişi bir günde ortalama 5 kez WC kullanırsa  $16 * 5 = 80$  litre su tüketecektir. 4 kişilik bir aile için bu değer  $80 * 4 = 320 \text{ L}$  olacaktır.
- Bir kişi günde bir kez olmak üzere 10 dakika duş alırsa  $20 * 10 = 200 \text{ L}$  su tüketecektir. 4 kişilik bir aile için bu değer  $200 * 4 = 800 \text{ L}$  olacaktır.
- Çamaşır ve bulaşık makineleri su sarfiyatı klasik villa ve yeşil villa için aynı olacaktır için hesaplamaya katılmamıştır.

Bu sonuçlara göre klasik bir villada günde ortalama 1920 L su tüketimi gerçekleşmektedir.

Yeşil bir villada ise yukarıda bahsedilen tasarruflu ürünlerin kullanılmasıyla;

- Dakikada 7 L su tüketimi yapan tasarruflu musluklar ile 10 dk\*7 L\*4 kişi=280 L su tüketimi gerçekleşecektir.
- 4 L' lik su deposu alanına sahip tasarruflu rezervuar ile 5 defa\*4 L\*4 kişi=80 L su tüketimi gerçekleşecektir.
- Dakikada 14 L su tüketimi yapan tasarruflu duş başlığı ile 10 dk\*14 L\*4 kişi=560 L su tüketimi gerçekleştirecektir.

Bu sonuçlara göre yeşil bir villada bir günde ortalama su tüketimi 920 L olacaktır.

Tablo 5'te klasik villa ile yeşil villanın su sarfiyatı açısından karşılaştırılması verilmektedir. Tabloya göre klasik villada bir yıllık su sarfiyatı 643,64 € iken, yeşil villada 277,49 €'dur (12 m<sup>3</sup> altı su sarfiyatı 0,46 €/m<sup>3</sup>; 12 m<sup>3</sup> üstü su sarfiyatı 0,87 €/m<sup>3</sup>'tür) [38].

**Tablo 5.** Klasik villa ile yeşil villanın su sarfiyatı açısından karşılaştırılması

Klasik Villa	Yeşil Villa
1920 L*30 gün*10 <sup>-3</sup> = 57,6 m <sup>3</sup> ( kış ayları)	920 L* 30 gün* 10 <sup>-3</sup> = 27,6 m <sup>3</sup> (kış ayları)
12 m <sup>3</sup> *0,46 €/m <sup>3</sup> = 5,52 € (12 m <sup>3</sup> altı )	12 m <sup>3</sup> *0,46 €/m <sup>3</sup> = 5,52 € (12 m <sup>3</sup> altı)
45,6 m <sup>3</sup> * 0,87 €/m <sup>3</sup> = 39,67 €	15,6 m <sup>3</sup> * 0,87/m <sup>3</sup> =13,57 €
Toplam ≈ 45,19 €	Toplam ≈ 19,09 €
57,6 m <sup>3</sup> *1,5= 86,4 m <sup>3</sup> (yaz ayları)	27,6 m <sup>3</sup> * 1,5= 41,4 m <sup>3</sup> (yaz ayları)
12m <sup>3</sup> * 0,46 €/m <sup>3</sup> = 5,52 € (12 m <sup>3</sup> altı )	12 m <sup>3</sup> *0,46 €/m <sup>3</sup> = 5,52 € ( 12 m <sup>3</sup> altı )
74,4 m <sup>3</sup> *0,87 €/m <sup>3</sup> = 64,73 €	29,4 m <sup>3</sup> * 0,87 €/m <sup>3</sup> ≈ 25,58 €
Toplam = 70,25 €	Toplam = 31,1 €
(4*70,25 €)+ (8* 45,19 €) = 642,52 €	(4*31,1 €)+ (8*19,09 €) = 277,12 €
(4 ay maksimum debi 8 ay normal debi kullanılmıştır)	

#### D. KLASİK VİLLA İLE YEŞİL VİLLANIN ELEKTRİK, ISITMA VE SU SARFİYATLARI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMASI

Klasik villa ile yeşil villanın elektrik sistemleri, ısıtma sistemleri ve su kullanım sistemleri farklılık göstermektedir. Yapılan ısı hesapları sonucunda klasik villanın yıllık ısıtma ihtiyacı 69.951,89 kWsa/yıl bulunmuştur. 10,64 kWsa ısıtma için 1 m<sup>3</sup> doğalgaz tüketilmekte olduğundan ısınma için doğalgaz ihtiyacı 6574,42 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Elektrik kullanım bedeli 0,068 €/kWsa [39]; doğalgaz tüketim bedeli 0,205 €/m<sup>3</sup>'tür [40].

Tablo 6'da klasik villa ile yeşil villanın elektrik, ısıtma ve su sistemlerinin maliyet farklılıkları verilmiştir. Tabloya göre klasik villanın elektrik, ısıtma ve su kullanım bedeli yıllık 2324,36 € iken yeşil villada bu bedel 277,12 € olarak belirlenmiştir.

**Tablo 6.** Klasik villa ve yeşil villanın elektrik, ısıtma ve su sistemlerinin yıllık kullanım bedelleri

	Klasik Villa		Yeşil Villa	
	Kullanım miktarı	Kullanım bedeli	Kullanım miktarı	Kullanım bedeli
<b>Elektrik</b>	4912,9 kWsa/yıl	334,08 €/yıl	3563,86 kWh/yıl	-
<b>Su</b>	806,4 m <sup>3</sup> /yıl	642,52 €/yıl	386,4 m <sup>3</sup> /yıl	277,12 €/yıl
<b>Doğalgaz</b>	6574,42 m <sup>3</sup> /yıl	1347,76 €/yıl	1226,56 m <sup>3</sup> /yıl	-
<b>Toplam Tutar</b>	-	2324,36 €/yıl	-	277,12 €/yıl

## E. AMORTİSMAN SÜRESİ

Yeşil villa ile klasik villa arasındaki maliyet farkının enerji için harcanan tutarların farkına bölümü amortisman süresini verecektir. Yeşil villanın maliyeti 59960,15 €; klasik villanın maliyeti 36921,03 €'dur. Yeşil villa enerjisi için harcanan yıllık tutar 277,12 €; klasik villa enerjisi için harcanan tutar 2324,36 €'dur.

Yeşil villa ile klasik villa arasındaki maliyet farkı;

- $59960,15 \text{ €} - 36921,03 \text{ €} = 23039,12 \text{ €}$ 'dur.

Yeşil villa ile klasik villanın enerji harcamaları arasındaki fark;

- $2324,36 \text{ €/yıl} - 277,12 \text{ €/yıl} = 2047,24 \text{ €/yıl}$ 'dır.

Amortisman süresi;

- $23039,12 \text{ €} / 2047,24 \text{ €/yıl} = 11 \text{ yıl } 3 \text{ ay}$ 'dır.

Bu çalışmaya benzer olarak Ankara'da betonarme olarak tasarlanan 100 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahip iki katlı müstakil bir konutun enerji ihtiyacının yenilenebilir özellikteki kaynaklardan karşılanabilmesi amacıyla yeşil enerji sistemleri incelenmiş ve mevcut konuta uygulanabilirliği araştırılmıştır [14]. Elektrik üretiminin şebekeye bağlı foltovoltaik panellerden, ısıtma-soğutma ihtiyacının ısı pompası ve güneş kollektöründen, kullanım suyunun ise yağmur suyu depolama sisteminden sağlanması öngörülmüştür. Yenilenebilir enerji sistemlerinin maliyet analizi gerçekleştirilmiş ve toplam kurulum maliyeti 75920 TL olarak bulunmuştur. Isı pompası ve güneş kollektörünün amortisman süresi 8,19 yıl, foltovoltaik panellerin amortisman süresi 7,13 yıl olarak belirtilmiştir.

## V. SONUÇ

Bu çalışmada dünyada ve ülkemizdeki çevreci anlayışıyla tasarlanmış yeşil bina örnekleri ve sağladıkları faydalar ele alınmış; Bursa ili sınırları içerisinde klasik bir villa tasarımı yapılarak, villanın yeşil yapı özelliğine sahip olması durumunda yapılacak enerji yatırımlarının amortisman süresi hesaplanmıştır. Yapılan detaylı hesaplamalar neticesinde, klasik villanın maliyeti 36921,03 €, yeşil villanın maliyeti ise 59960,15 € olarak bulunmuştur. Yeşil villa için oluşturulacak ek sistemlerin kurulum maliyeti 23039,12 € olarak hesaplanmıştır; bu maliyetin 11 yıl 3 ay gibi bir sürede kendini amorti edebileceği belirlenmiştir.

Yeşil binaların sağladığı faydalar arasında;

- Yapılardan kaynaklanan karbon ayak izinin azaltılması,
- Bina yapım aşamasında çevresel tahribatın minimuma indirilmesi,
- İşletme giderlerinin azaltılması,
- Yenilenebilir çevre teknolojilerinin kullanımı ve geliştirilmesi,
- Hafriyat atıklarının değerlendirilmesi,
- Yağmur suyunun biriktirilerek kullanımının sağlanması,
- Güneş ışığından maksimum ölçüde faydalanılması,
- Kentsel çevre kalitesinin artması,
- Enerji verimliliğinin sağlanması,
- Daha sağlıklı ve ergonomik yaşam alanlarının oluşturulması yer almaktadır [41].

Bu çalışmada, yeşil bina ile geleneksel bina yapımı arasında inşaat maliyeti açısından yüksek bir fark olmadığı, iki bina tipi arasındaki en önemli farkın enerji tüketim maliyetlerinin azaltımı noktasında

oluşacağı belirlenmiştir. Benzer olarak, yeşil ve geleneksel binalarda maliyetin inşa aşamasında birbirine yakın değerlerde olduğu, binalarda en önemli mali faydanın sağlanan enerji tasarrufu ile ortaya çıkacağı bildirilmektedir [42, 43].

Yeşil bina tasarımında kullanılacak olan teknolojilerin kurulum aşamasında önemli bir maliyet kalemi oluşturmasına karşın, uzun vadede sağladığı kaynak tasarrufu düşünüldüğünde hem dünya üzerinde oluşan enerji baskısının, hem de ülkemizin enerji ithalatının azaltımı noktasında bu teknolojilerin konutlar için karlı bir yatırım aracı olarak öne çıkacağı görülmektedir.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] S. Uçar ve N. Kokulu, “Antalya Bölgesinde Yeni Tasarlanacak Binalarda Güneş Panellerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi,” 4. *Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi*, Antalya, Türkiye, 2018, ss. 377-386.
- [2] M. Anbarcı, Ö. Giran ve İ.H. Demir, “Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ile Türkiye’deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması,” *e-Journal of New World Sciences Academy*, c. 7, s. 1, ss. 368-383, 2012, doi:10.12739/nwsaes.v7i1.5000066898
- [3] ÇEDBİK. Yeşil Bina [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://cedbik.org/tr/yesil-bina-7-pg> Erişim Tarihi: 08.08.2020
- [4] A. Seven, B. Topbaşlı ve B. Dursun, “Yeşil Yapı Konseptine Genel Bir Bakış,” *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, c. 4, s. 1, ss. 99-109. 2014, doi:10.17343/ejovoc.30362
- [5] S.B. Erdede, B. Erdede ve S. Bektaş, “Kentsel Dönüşümde Yeşil Binaların Uygulanabilirliği,” 5. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [6] B. Somalı ve E. Ilıcalı, “LEED ve Breeam Uluslararası Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinin Değerlendirilmesi,” IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye, ss. 1081-1088.
- [7] B. Gültekin ve B. Bulut, “Yeşil Bina Sertifika Sistemleri: Türkiye için Bir Sistem Önerisi,” *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, Ankara, Türkiye, 2015, ss. 813-823.
- [8] C.H. Kılıç ve Ö. Güdük, “Yeşil Hastane Kavramı ve Türkiye’deki Son Kullanıcıların Beklentileri Üzerine Bir Hastane Örneği,” *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 164-174, 2018.
- [9] B. Köse-Mutlu, Z.O Arslanoğlu, B. Günaçtı, B. Say, F. Şahin, C. Yılmaz ve N. Yardımcı-Tiryakioğlu, “Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinin İncelenmesi ve Tasarlanan Ulusal Sertifika Sisteminin Kullanımı: Bir Kampüs Binası ile Vaka Çalışması,” *İklim Değişikliği ve Çevre*, c. 4, s. 2, ss. 32-41, 2019.
- [10] N.T. Bayazıt, B. Şan ve G. Ökten, “Yeşil Bina Sertifikasyonunda Akustik Performansın Değerlendirilmesi,” X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye, 2011, ss. 1567-1577.
- [11] C. Yaman, “Siemens Gebze Tesisleri Yeşil Bina,” IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye, 2009, ss. 1091-1101.
- [12] Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği. B.E.S.T- Konut Sertifikası [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://cedbik.org/tr/b-e-s-t-konut-sertifikasi-12-pg> Erişim Tarihi: 08.08.2020



- [13] S.B. Erdede, B. Erdede ve S. Bektaş, “Sürdürülebilir Yeşil Binalar ve Sertifika Sistemlerinin Değerlendirilmesi,” 5. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [14] U. Bayar ve A.İ. Atılğan, “Yeşil Ev Tasarımı ve Enerji Analizi İçin Uygulama Örneği,” *Mühendis ve Makina*, c. 56, s. 671, ss. 41-52, 2015.
- [15] M. Yalılı Kılıç ve S. Yahşi, “Sürdürülebilir Enerji Kullanımının Yeşil Bir Ofise Uygulanması,” *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 9, s. 3, ss. 557-568, 2019, doi: 10.17714/gumusfenbil.512593
- [16] Ö. Kayın, “Binalarda Enerji Modellemesi, Enerji Performans Analizi ve Yenilenebilir Enerji Kullanımının Çevre Dostu Yeşil Bina Uygulama Örneği Kapsamında Değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2019.
- [17] Z. Mesci, “Otellerin Çevreci Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Yeşil Yıldızlı Bir Otel İşletmesinde Örnek Olay Çalışması,” *Seyahat ve Otel İşletmeciliği Dergisi*, c. 11, s. 1, ss. 90-102, 2014.
- [18] S. Şenol, “Gayrimenkul Geliştirme Sürecinde Yeşil Binaların Sürdürülebilirlik Kriterleri Açısından İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [19] İ. Erlalitepe, G. Gökçen ve T. Kazanasmaz, “Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinde Konut Tasarımının Önemi,” X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Nisan 13-16, İzmir, Türkiye, 2011, ss. 1625-1633.
- [20] U.S. Green Building Council. USGBC Project Profile [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=5106> Erişim Tarihi: 06.08.2020
- [21] Ekoyapı. 10 Seçilmiş Örnek [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.ekoyapidergisi.org/1212-10-secilmis-ornek.html> Erişim Tarihi: 10.08.2020
- [22] Yeşilist. Dünyadan 3 Yeşil Okul [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.yesilist.com/dunyadan-3-yesil-okul/> Erişim Tarihi: 10.08.2020
- [23] S. Sipahi ve F. Tavşan, “Otel Yapılarında Sürdürülebilir Yaklaşımlar ve Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemleri,” *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, ss. 20-30, 2019, doi: 10.17100/nevbiitek.572354
- [24] Design Curial. Watg-Designed Bardessono Hotel Achieves Leed – Platinum [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://www.designcurial.com/news/watg-designed-bardessono-hotel-achieves-leed-platinum> Erişim Tarihi: 10.08.2020
- [25] Y. Çilhoroz ve O. Işık, “Yeşil Hastane Sertifika Sistemleri,” *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 161-169, 2019, doi: 10.17681/hsp.394880
- [26] BREEAM. Best of Breeam- Today’s Most Sustainable Buildings [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [https://www.breeam.com/filelibrary/best\\_of\\_breeam\\_2013.pdf](https://www.breeam.com/filelibrary/best_of_breeam_2013.pdf) Erişim Tarihi: 07.08.2020
- [27] M.M. Erdoğan, C. Karaca, M.E. Çamlıbel, G. Alhanlıoğlu, Y. Akgün ve D. Uğurlu, “Enerji Tasarrufu Perspektifinden Çevre Dostu Sosyal Binalar ve Yaygınlaşmasına Hizmet Edebilecek Maliye Politikaları,” 30. Türkiye Maliye Sempozyumu, Antalya, Türkiye. 2015.
- [28] K. Kaya, “Türkiye’nin Yerli Konut Sertifikası ÇEDBİK-Konut’u Alan İlk Proje ANTTERAS,” *Yeşil Bina Dergisi*, Yıl:7, s. 37, ss.30-32. 2016.

- [29] F. Arslan ve M. Üzülmaz, “Sürdürülebilir Üretimde Yeşil Binaların Rolü: Schneider Electric (Manisa) Örneği,” II. Uluslararası Coğrafya Eğitim Kongresi, Eskişehir, Türkiye, 2019, ss. 1871-1878.
- [30] Voltimum. LEED Sertifikalı Hilton Garden Inn’in Yeşil Özellikleri [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.voltimum.com.tr/haberler/leed-sertifikali-hilton-garden-innin> Erişim Tarihi: 06.08.2020
- [31] F. Şahin ve P. Hocoğlu, “Karma Yapı Tasarımları ve Sürdürülebilir Mimarlık,” 2<sup>nd</sup> *International Sustainable Buildings Symposium*, Ankara, Türkiye, 2015, ss. 355-360.
- [32] İ. Taşkiran, (Anadolu Ajansı). İstanbul Havalimanı Terminali Dünyanın En Büyük 'LEED Altın' Sertifikalı Binası Seçildi [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/istanbul-havalimani-terminali-dunyanin-en-buyuk-leed-altin-sertifikali-binasi-secildi/1854885> Erişim Tarihi: 08.08.2020
- [33] M. Güler, “Sürdürülebilir Tasarım Ölçütleri Bağlamında Yeşil Ofis Binalarının Analiz ve Karşılaştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2016.
- [34] TOKİ Haber. Türkiye Yeşil Bina Sayısında Avrupa Lideri [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.tokihaber.com.tr/haberler/turkiye-yesil-bina-sayisinda-avrupa-lideri/> Erişim Tarihi: 07.08.2020
- [35] F. Uyar. Elektrikli Aletler Kaç Watt Harcar? Tüketim Bilgileri [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://www.enerjibes.com/elektrikli-aletler-kac-watt-harcari/> Erişim Tarihi: 06.08.2020
- [36] Tekzen. Enerji Tasarruflu Ampul Fiyatı [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.tekzen.com.tr/osram-spiral-dstar-mini-enerji-tasarruflu-ampul-23-watt-sari-isik-816891> Erişim Tarihi: 13.08.2020
- [37] Doğa ile Barış Derneği. Su Tüketim Miktarları [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://www.dogailebaris.org.tr/dib-den/su-tuketimi.htm> Erişim Tarihi: 10.12.2017
- [38] BUSKİ. Su Tarife Ücretleri Ne Kadar? [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [https://www.buski.gov.tr/tr/abonerehberi/kategori\\_17](https://www.buski.gov.tr/tr/abonerehberi/kategori_17) Erişim Tarihi: 12.08.2020
- [39] Limak Enerji Uludağ Elektrik Mesken Tip Ağustos Ayı Elektrik Fatura Dökümü, 2020.
- [40] BURSAGAZ. Konut Fiyat Bilgileri [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.bursagaz.com/konut-fiyat-bilgileri> Erişim Tarihi: 12.08.2020
- [41] S.B. Erdede ve S. Bektaş, “Ekolojik Açından Sürdürülebilir Taşınmaz Geliştirme ve Yeşil Bina Sertifika Sistemleri,” *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 1-12, 2014.
- [42] Anonim. Business Case for Green Building Report [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [http://www.worldgbc.org/files/BusinessCaseForGreenBuildingReport\\_web\\_pdf](http://www.worldgbc.org/files/BusinessCaseForGreenBuildingReport_web_pdf) Erişim Tarihi: 15.03.2015
- [43] L.O. Uğur ve N. Leblebici, “Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemlerinin İnşaat Maliyetleri ve Taşınmaz Değeri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 3, s. 2, ss. 544-576, 2015.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'a Göre Kırklareli İçin Deprem Yüklerinin Değerlendirilmesi

 Burak ÖZŞAHİN<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: burak.ozsahin@klu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.768494

### ÖZET

Dünyada ve Türkiye’de yaşanan depremlerden elde edilen tecrübeler, deprem mühendisliği alanındaki gelişmeler, yeni yapım yöntemlerinin ve sistemlerinin Türkiye koşullarında kullanılması için gerekli kurallara olan ihtiyaçlar sonucu Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007)’in kapsamı genişletilerek ve yeni bazı bölümler eklenerek, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 (TBDY 2019), 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Bu çalışmada Kırklareli Merkezi ve İlçeleri için TBDY 2019 ile DBYBHY 2007 esaslarına göre tasarlanıp, deprem hesabı yapılan örnek betonarme bina modellerinin deprem yükleri değerlendirilmiştir. Bu amaçla çalışmada, Kırklareli Merkezi ve İlçeleri için DBYBHY 2007 ve TBDY 2019’da tanımlanan betonarme çerçeve ve betonarme perdeli çerçeve bina türleri için örnek bina modellerinin tasarımı yapılarak, deprem yükleri hesaplanmıştır. TBDY 2019’a göre deprem hesapları ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için, DBYBHY 2007’e göre deprem hesapları Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları için ayrı ayrı yapılmıştır.

Örnek betonarme bina modellerinin farklı yerel zemin sınıfları için yapılan deprem hesabı sonucu bulunan deprem yükleri karşılaştırılarak, deprem yüklerinin yerel zemin sınıfına ve her iki deprem yönetmeliğine göre değişimi irdelenmiştir. TBDY 2019’a göre örnek betonarme bina modelleri için hesaplanan deprem yüklerinin, her iki bina türünde de DBYBHY 2007’e göre artış gösterdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Türk Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem yükü, Yerel zemin sınıfı

## Evaluation of Seismic Loads for Kırklareli According to Turkish Earthquake Code 2019 (TEC2019)

### ABSTRACT

The experience gained from the earthquakes in Türkiye and all over the world, developments in earthquake engineering, as a result of the need for the rules to the use of the new construction method and systems in Türkiye conditions, Turkish Building Earthquake Code 2007 (TBEC 2007) in the context of expanding some sections and adding some new sections, Turkish Building Earthquake Code 2019 (TBEC 2019) entered into force on 01.01.2019.

In this study, the earthquake loads of the reinforced concrete building models designed for Kırklareli Center and Districts in according to requirements of TBEC 2019 and TBEC 2007, were evaluated. For this purpose, the reinforced concrete frame and reinforced concrete shear walled frame systems defined in TBEC 2007 and TBEC

2019 were designed for buildings models and the earthquake loads were calculated for Kırklareli Center and Districts.

According to TBEC 2019, earthquake load calculations were made for ZA, ZB, ZC, ZD and ZE site classes, and according to TBEC 2007, earthquake load calculations were made for Z1, Z2, Z3 and Z4 site classes. By comparing the earthquake loads of different reinforced concrete building models for different site classes, the change of earthquake loads according to the site class and both earthquake codes, were examined. The seismic loads calculated for reinforced concrete building models according to TBEC 2019, increased in both building types compared to TBEC 2007.

*Keywords: Turkish Building Earthquake Code, Seismic load, Site classes*

## **I. GİRİŞ**

18.03.2018 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanan, 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 (TBDY 2019) ile Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) yürürlükten kaldırılmıştır. 17 bölümden oluşan TBDY 2019, 7 bölümden oluşan DBYBHY 2007’deki mevcut bölümlerin revizyonu ile yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı, deprem yalıtımlı bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı, hafif çelik bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı, yapısal olmayan bina elemanlarının tasarımı, ön üretilmiş betonarme bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı, ahşap bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı, düzenli yerinde dökme betonarme binalar için basitleştirilmiş tasarım gibi yeni bölümlerden oluşmaktadır. TBDY 2019 ile birlikte 1996 yılından beri kullanılmakta olan Deprem Bölgeleri Haritası yürürlükten kaldırılmış, yerine yeni hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) yürürlüğe girmiştir [1, 2]. TBDY 2019 ile birlikte deprem bölgesi kavramı terkedilerek, sismik tehlike haritası kavramına geçilmiş, yerçekimi cinsinden verilen PGA ile deprem etkisi tanımlanmıştır. TBDY 2019 ile birlikte bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımına ilişkin yeni kural değişiklikleri yürürlüğe girmiştir [3, 4].

TBDY 2019 taslağının yayınlanması ve yürürlüğe girmesi ile birlikte TBDY 2019 yönetmeliği, TBDY 2019 ile DBYBHY 2007’in karşılaştırılması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Bozer çalışmasında TBDY 2019 ve DBYBHY 2007’ye göre spektral ivme katsayılarını karşılaştırmış, Keskin ve Bozdoğan, çalışmalarında Kırklareli ili özelinde 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerini değerlendirmiş, Başaran çalışmasında Afyonkarahisar için deprem yüklerini TBDY 2019’a göre değerlendirmiş, Özkat ve Kuruşçu çalışmalarında yığma yapıların tasarımını 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri açısından karşılaştırmış, Tunç ve Tanfener çalışmalarında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerini tasarım ile ilgili benzerlikler ve farklılıklar açısından irdelemiş, Seyrek çalışmasında Türkiye Sismik Tehlike Haritası’nı Ege Bölgesi için irdeleyerek eski ve yeni deprem tehlike haritalarını Ege Bölgesi için karşılaştırmış, Öztürk çalışmasında TBDY 2019 yönetmeliği ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası’nın eski yönetmelikle karşılaştırılmasını İç Anadolu Bölgesi için yapmış, Amani vd. çalışmalarında 1998, 2007 ve 2019 Türk Deprem Yönetmeliklerini yığma binalar üzerinde karşılaştırmış, Sucuoğlu çalışmasında TBDY 2019’daki yeni gelişmeleri yönetmelik içerisindeki sırasına uygun olarak sunmuş, Karaca vd. çalışmalarında TBDY 2019’daki yeni yaklaşımların yapı tasarımı üzerine etkisini Niğde ili özelinde incelenmiş, Aydın ve Günaydın, 2017 çalışmalarında çelik yapılar açısından TBDY 2019 yönetmelik taslağını irdelemiştir [1,3-12].

DBYBHY 2007’de deprenselliği az olan bölgeler, özellikle Kırklareli gibi dördüncü deprem bölgesinde yer alan illerde spektral ivme katsayıları ve binalara etki eden deprem yüklerinde TBDY 2019 ile birlikte değişiklikler olmuştur [5]. Bu çalışmada Kırklareli merkez ilçe ve beldelerindeki 25 mahalle, Kırklareli’nin 7 ilçesi ve beldelerindeki 83 mahalle olmak üzere toplam 108 mahalle için TBDY 2019 ve DBYBHY 2007’de tanımlanan deprem etkilerinin tamamının moment aktaran betonarme çerçeveler ile karşılandığı (betonarme çerçeve) bina ve deprem yükünün tamamının moment aktaran betonarme çerçeve ve boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı (betonarme perde-çerçeve) bina türleri için örnek bina modellerinin hesaplanan deprem yükleri değerlendirilmiştir.

## **II. MATERYAL ve METOD**

### **A. TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 YÖNETMELİKLERİNE GÖRE EŞDEĞER DEPREM YÜKÜNÜN BELİRLENMESİ**

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007)'de Depreme Dayanıklı Binalar için Hesap Kuralları başlığı altında verilmekte olan deprem hesap esasları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 (TBDY 2019)'da kapsamı genişletilerek dört bölüm haline getirilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde eşdeğer deprem yükü hesap esaslarıyla ilgili TBDY 2019'da yer alan değişiklikler ve eklemeler hakkında bilgi, DBYBHY 2007 ile karşılaştırılmalı olarak verilmektedir.

DBYBHY 2007'de 1. derece en yüksek 4. derece en düşük ve 5. derece ise depremselliğin olmadığı bölge olmak üzere 5 farklı *Deprem Bölgesi* tanımlanmakta ve bu deprem bölgelerine göre *Etkin Yer İvme Katsayıları* ( $A_0$ ) verilmektedir. Etkin yer ivme katsayısının değeri 1. derece deprem bölgesinden 4. derece deprem bölgesine kadar deprem bölgeleri için sırasıyla 0,4g; 0,3g; 0,2g; 0,1g şeklinde değişmektedir. TBDY 2019 ve *Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (TDTH)* ile birlikte deprem bölgeleri kavramı tamamen ortadan kalkmıştır ve deprem tehlikesi tanımda esaslı bir değişikliğe gidilmiştir. Binanın bulunduğu yerin koordinatlarına bağlı olarak TDTH'da en büyük yer ivmesi (PGA) ile *Spektral İvme Katsayıları*, dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanmaktadır. TDTH'da binanın bulunduğu yerin koordinatlarına bağlı olarak *0,2 saniye (kısa) Periyot için Harita Spektral İvme Katsayısı* ( $S_s$ ) ve *1,0 saniye Periyot için Harita Spektral İvme Katsayısı* ( $S_1$ ) olmak üzere iki farklı spektral ivme katsayısı tanımlanmaktadır. TDTH'dan okunan spektral ivme katsayıları zemin özelliklerini yansıtan *Yerel Zemin Etki Katsayıları*  $F_s$  ve  $F_1$  ile çarpılarak *Tasarım Spektral İvme Katsayıları*  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ 'e dönüştürülür. DBYBHY 2007'de zemin etkileri yalnızca köşe periyotlarının farklı değerler alması ile dikkate alınarak binanın bulunduğu deprem bölgesine bağlı olarak tek bir değer olan *Spektral İvme Katsayısı* ile belirlenirken, TBDY 2019'da zemin etkileri referans kaya zeminler için verilen  $S_s$  ve  $S_1$  spektral ordinatlarının yerel zemin katsayıları ile çarpılması sonucu düzeltilmiş  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  spektral ordinatları ile ayrı ayrı belirlenmektedir [8, 9, 13-16].

$$S_{DS} = S_s \cdot F_s \quad (1)$$

$$S_{D1} = S_1 \cdot F_1 \quad (2)$$

DBYBHY 2007'de en iyiden en kötüye doğru zemin özelliklerini ifade eden A, B, C ve D zemin gruplarına ve binanın bulunduğu zemin katmanının kalınlığına göre 4 farklı *Yerel Zemin Sınıfı*, en iyiden en kötüye doğru Z1, Z2, Z3 ve Z4 olarak tanımlanmaktadır. TBDY 2019'da zemin sınıfları ve zemin grupları tek bir tabloda birleştirilerek en iyiden en kötüye doğru ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olmak üzere 6 farklı *Yerel Zemin Sınıfı* tanımlanmaktadır. En kötü zemini ifade eden ZF yerel zemin sınıfı sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler olarak tanımlanmaktadır [13,14].

DBYBHY 2007'de binanın kullanım amacı veya türü başlığı altında sadece *Bina Önem Katsayısı* ( $I$ ) tanımlanırken, TBDY 2019'da *Bina Önem Katsayısı* ( $I$ ) ile birlikte aynı tabloda üç tane *Bina Kullanım Sınıfı* ( $BKS$ ) tanımlanmaktadır. DBYBHY 2007'de dört tane olan bina önem katsayısı ( $I$ ), TBDY 2019'da üç tanedir. DBYBHY 2007'de ikinci önem düzeyinde bulunan okul, yurt, cezaevi ve müze gibi binaların 1,4 olan önem katsayıları TBDY 2019'da kaldırılarak, bu binaların önem katsayıları 1,5 değerine yükseltilmiştir [13, 14].

DBYBHY 2007'de tanımlanmayan, ilk olarak TBDY 2019'da tanımlanan *Deprem Tasarım Sınıfı* ( $DTS$ ) binaların sınıflandırılmasına yönelik bir kriterdir. Bina Kullanım Sınıfı ( $BKS$ ) ve DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için tanımlanan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısına ( $S_{DS}$ ) bağlı olarak yapılan sınıflandırmadır. TBDY 2019'da Deprem Tasarım Sınıfları ( $DTS$ ), yer hareketi seviyesi en yüksekte en düşüğe olmak üzere  $DTS1$ ,  $DTS2$ ,  $DTS3$  ve  $DTS4$  olarak verilmektedir [13, 14].

DBYBHY 2007’de tanımlanmayan, ilk olarak TBDY 2019’da tanımlanan *Deprem Yer Hareketi Düzeyleri (DD)*, deprem tasarım sınıfına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. DBYBHY 2007’de tanımlanan tek tasarım depremi yer hareketi düzeyine karşılık, TBDY 2019’da deprem yer hareketi, en yüksek düzeyden en düşük düzeye olmak üzere DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak dört farklı düzeyde tanımlanmaktadır. DBYBHY 2007’de 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl olan *Tasarım Depremi için Can Güvenliği (CG)* performans hedefi tanımlanmaktadır. TBDY 2019’da DBYBHY 2007’de baz alınan standart tasarım depreminin istatistiksel parametrelerinde bir değişiklik yapılmamıştır. Söz konusu tasarım depreminin TBDY 2019’daki karşılığı DD-2’dir [13-16].

DBYBHY 2007’de tanımlanmayan, ilk olarak TBDY 2019’da tanımlanan *Bina Yükseklik Sınıfları (BYS)*, bina yüksekliği ve deprem tasarım sınıfına (DTS) bağlı olarak 1’den 8’e kadar değerler almaktadır. TBDY 2019’da bina yükseklik sınıfı  $BYS=1$  çok katlı (yüksek) binaları,  $BYS=8$  az katlı binaları temsil etmek üzere 8 tane bina yükseklik sınıfı tanımlanmaktadır [13-16].

DBYBHY 2007’de tanımlanmayan, ilk olarak TBDY 2019’da tanımlanan *Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)* tüm yapı sistemleri için taşıyıcı sistem özelliklerine ve süneklik düzeyine bağlı olarak tablo halinde verilmektedir. Dayanım fazlalığı katsayısı (D) ile akma dayanımının  $[f_y(\mu_k, T)]$  tasarım dayanımına  $[f_d(\mu_k, T)]$  göre fazlalığı ifade edilmektedir [13-16].

$$D = \frac{f_y(\mu_k, T)}{f_d(\mu_k, T)} \quad (3)$$

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, spektral ivme katsayısına göre bulunacak deprem yükleri, *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısına (Ra)* bölünecektir. DBYBHY 2007’de deprem yükü azaltma katsayısı, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R), yapının doğal titreşim periyodu (T) ve zemin sınıfına göre dikkate alınan  $T_A$  köşe periyoduna bağlı olarak (4) bağıntısı ile hesaplanmaktadır [13].

$$Ra(T) = \begin{cases} 1,5 + (R - 1,5) \frac{T}{T_A} & \leftarrow 0 \leq T \leq T_A \text{ ise} \\ R & \leftarrow T_A < T \text{ ise} \end{cases} \quad (4)$$

TBDY 2019’da deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), dayanım fazlalığı katsayısı (D), bina önem katsayısı (I), yapının doğal titreşim periyodu (T) ve zemin sınıfına göre dikkate alınan  $T_B$  köşe periyoduna bağlı olarak (5) bağıntısı ile hesaplanmaktadır [14-16].

$$Ra(T) = \begin{cases} \frac{R}{I} & \leftarrow T > T_B \text{ ise} \\ D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} & \leftarrow T \leq T_B \text{ ise} \end{cases} \quad (5)$$

DBYBHY 2007’de deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan *Spektral İvme Katsayısı A(T)*, bina önem katsayısı (I), etkin yer ivme katsayısı ( $A_0$ ) ve spektrum katsayısına S(T) bağlı olarak (6) bağıntısı ile hesaplanır. %5 sönüm oranı için tanımlanan elastik ivme spektrumunun ordinatları olan *Elastik Spektral İvme  $S_{ae}(T)$* , Spektral İvme Katsayısı A(T) ile yerçekimi ivmesi g’nin çarpımına denk gelmektedir.

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (6)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) \cdot g$$

DBYBHY 2007’de spektrum katsayısı  $S(T)$ , yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu ( $T$ )’ye bağlı olarak (7) bağıntısı ile bulunur.

$$S(T) = \begin{cases} 1 + 1,5 \frac{T}{T_A} & \leftarrow 0 \leq T \leq T_A \text{ ise} \\ 2,5 & \leftarrow T_A < T \leq T_B \text{ ise} \\ 2,5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0,8} & \leftarrow T_B < T \text{ ise} \end{cases} \quad (7)$$

(7) bağıntısında, yatay tasarım spektrum karakteristik periyodları  $T_A$ ,  $T_B$  yerel zemin sınıfına bağlı olarak belirlenmektedir.

TBDY 2019’da yatay elastik ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , bina doğal periyodu ( $T$ ) ve yerel zemin sınıflarına bağlı olarak (8) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$S_{ae}(T) = \begin{cases} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & \leftarrow 0 \leq T \leq T_A \text{ ise} \\ S_{DS} & \leftarrow T_A \leq T \leq T_B \text{ ise} \\ \frac{S_{D1}}{T} & \leftarrow T_B \leq T \leq T_L \text{ ise} \\ \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} & \leftarrow T_L \leq T \text{ ise} \end{cases} \quad (8)$$

TBDY 2019’da yatay tasarım spektrumunun köşe periyodları  $T_A$  ve  $T_B$ , (9) bağıntısı ile hesaplanır. Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu  $T_L=6s$  alınmaktadır [13-16].

$$T_A = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (9)$$

DBYBHY 2007’de sadece mevcut binaların değerlendirilmesi için kullanılan performans düzeyleri, TBDY 2019 ile birlikte yeni yapılacak binaların tasarım kriterleri arasına girmiştir. TBDY 2019’da 4 farklı bina performans düzeyi, *Kesintisiz Kullanım (KK)*, *Hemen Kullanım (HK)*, *Can Güvenliği (CG)* ve *Göçmenin Önlenmesi (GÖ)* olarak tanımlanmaktadır.

Yeni binaların tasarımı veya mevcut binaların değerlendirilmesi için deprem tasarım sınıfı (DTS) ve bina yükseklik sınıfına (BYS) bağlı olarak bir performans hedefi belirlenerek, bu performans hedefine uygun tasarım yaklaşımı seçilecektir.

DBYBHY 2007’de *Dayanımına Göre Tasarım (DGT)* yaklaşımı esas alınmaktadır. TBDY 2019’da *Dayanımına Göre Tasarım (DGT)* ve *Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT)* olmak üzere iki tasarım yaklaşımı esas alınmaktadır. TBDY 2019’da yüksek binaların tasarımı, yalıtımlı binaların tasarımı ve mevcut binaların değerlendirilmesi dışında kalan tüm binaların tasarımı, DGT hesap esaslarına göre yapılmaktadır.

TBDY 2019’da konut türü yapılar için standart tasarımda DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için can güvenliği (CG) performans hedefi dikkate alınmaktadır [13-16].

DBYBHY 2007’ye göre gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkileyen toplam *Eşdeğer Deprem Yüğü* ( $V_t$ ) (10) bağıntısı ile belirlenmektedir. (10) bağıntısında  $W$ , binanın deprem yüklerinin hesabında kullanılacak toplam ağırlığıdır.

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \quad (10)$$

TBDY 2019’a göre gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkileyen toplam *Eşdeğer Deprem Yüğü* ( $V_{tE}$ ) (11) bağıntısı ile belirlenmektedir.

$$V_{tE} = m_t \cdot S_{aR}(T) \geq 0,04 \cdot m_t \cdot I \cdot S_{DS} \cdot g \quad (11)$$

(11) bağıntısında  $m_t$  binanın toplam kütlesi,  $S_{aR}(T)$  binanın doğal titreşim periyodu gözönüne alınarak hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesidir. Azaltılmış tasarım spektral ivmesi ( $S_{aR}(T)$ ) hesabında (12) bağıntısı kullanılır.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (12)$$

TBDY 2019’da deprem yükü hesaplarına ilişkin önemli değişikliklerden birisi taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ) ile dayanım fazlalığı katsayısının ( $D$ ) kullanılması ile ilgilidir. DBYBHY 2007’de kullanılacak taşıyıcı sistem seçimine dair deprem bölgelerine ve bina önem katsayısına ( $I$ ) bağlı olarak yapılan sınırlandırmalar, TBDY 2019’da deprem tasarım sınıfı (DTS) ve bina yükseklik sınıfına (BYS) bağlı olarak tanımlanmaktadır.

DBYBHY 2007’de tanımlanmayan, ilk olarak TBDY 2019’da tanımlanan diğer bir kavram, *Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları*dır. Dayanıma göre tasarımda (DGT) betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özelliklerinin modellenmesinde TBDY 2019’da tanımlanan etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılacaktır [13-16].

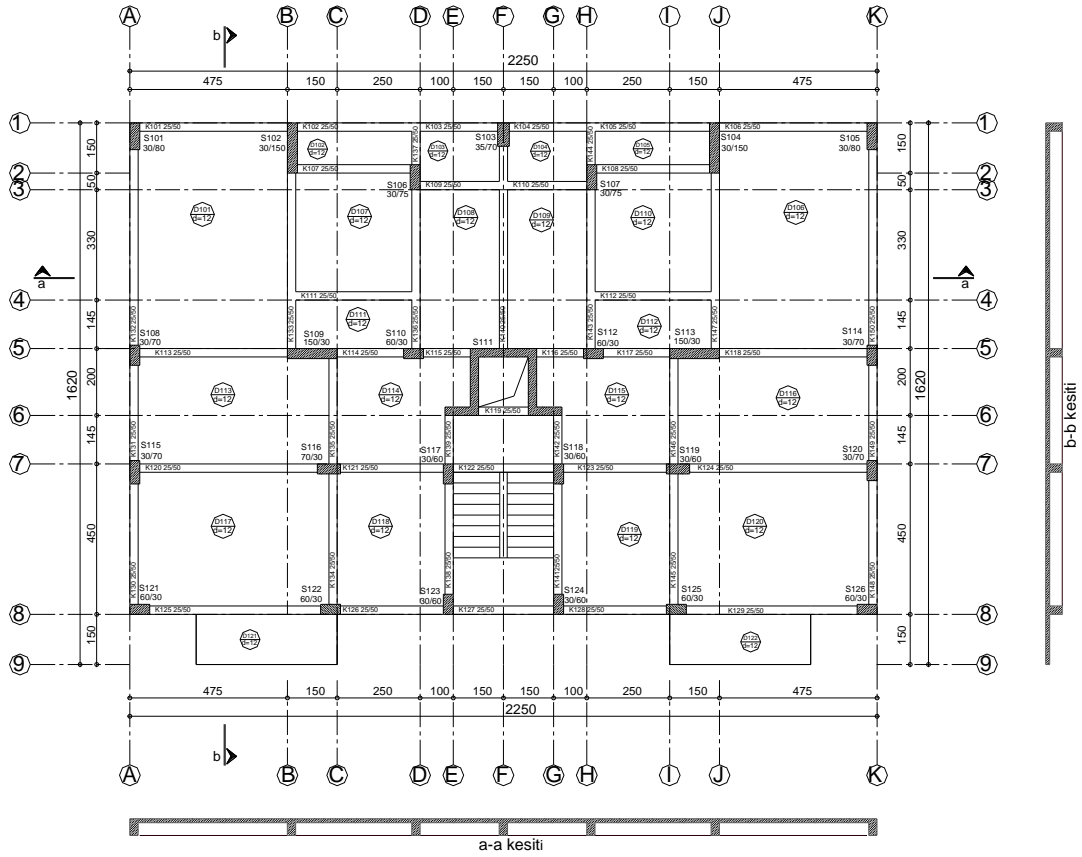
## B. ÇALIŞMADA İNCELENEN BETONARME ÖRNEK BİNA MODELLERİ

Bu çalışmada, Kırklareli ili Merkez İlçe ve beldelerindeki 25 mahalle ile Kırklareli’nin 7 ilçesi ve beldelerindeki 83 mahalle olmak üzere toplamda 108 mahallede TBDY 2019 ve DBYBHY 2007’de tanımlanan çerçeve sistem betonarme bina ve perde-çerçeve sistem betonarme bina türleri için Kırklareli’ndeki bina stoğunu temsil edebilecek örnek bina modellerinin hesaplanan deprem yükleri değerlendirilmiştir (Şekil 1). Örnek bina modellerinin tasarımı ve yapısal hesapları TS 500, TS 498, DBYBHY 2007 ve TBDY 2019’a göre Sta4Cad V.14.1 programı yardımıyla yapılmıştır [13, 14, 17-19]. Çalışma kapsamında incelenen örnek perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin kalıp planı Şekil 2’de, örnek çerçeve sistem betonarme bina modelinin kalıp planı Şekil 3’de verilmiştir.

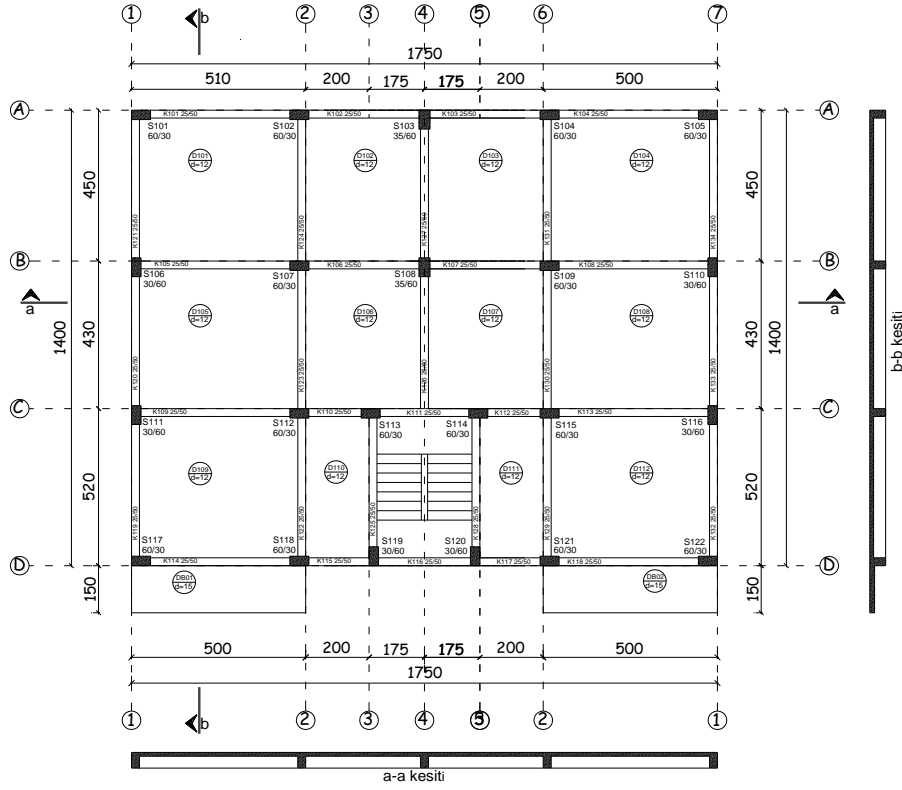




Şekil 1. Kırklareli ilçeleri haritası [20]



Şekil 2. Örnek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli kalıp planı



Şekil 3. Örnek çerçeve sistem betonarme bina modeli kalıp planı

Örnek bina modellerinin tasarımında dikkate alınan parametreler, betonarme perde-çerçeve sistem için Tablo 1’de ve betonarme çerçeve sistem için Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Örnek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli tasarım parametreleri

Parametre	DBYBHY 2007	TBDY 2019
Yapı Türü	Betonarme Perde-Çerçeve Sistem	
Kat Adedi	5 Kat (BK+ZK+3NK)	
Kat Yüksekliği ( $h_{kat}$ )	3,0 m	
Yapı Yüksekliği ( $H_N$ )	12,0 m	
Yapı Boyutları	22,50 m x 14,70 m	
Kiriş Boyutları	25 cm x 50 cm	
Kolon Boyutları	30cmx60cm, 30cmx70cm, 30cmx75cm, 30cmx80cm, 30cmx150cm	
Döşeme Türü ve Boyutları	Kirişli Plak Döşeme Odalarda 12 cm, Balkon, Sahanlık 15 cm	
Beton Sınıfı/Çelik Sınıfı	C30/37, S420	
Bina Önem Katsayısı (I)	1	
Deprem Yüğü Eksantrisitesi	%5	
Haraketli Yüğü Katılım Katsayısı (n)	0,3	
Deprem Yer Hareket Düzeyi (DD)	-	DD-2
Etkin Yer İvme Katsayısı ( $A_0$ ), Maksimum Yer İvmesi ( $P_{GA}$ )	$A_0=0,10g$	TDTH’dan her mahalle için okunmuştur.
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	-	BKS=3
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	-	SDS’e bağılı olarak değişiyor.
Bina Yüğüseklik Sınıfı (BYS)	-	7
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	4 (Süneklik Düzeyi Normal) 7 (Süneklik Düzeyi Yüksek)	4 (Süneklik Düzeyi Sınırlı) 7 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	-	2 (Süneklik Düzeyi Sınırlı) 2,5 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
Bina Doğal Titreşim Periyodu (T)	$T_{1V}=0,381$ s	$T_{1V}=0,552$ s
Yerel Zemin Sınıfı	Z1, Z2, Z3 ve Z4	ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE

**Tablo 2.** Örnek çerçeve sistem betonarme bina modeli tasarım parametreleri

Parametre	DBYBHY 2007	TBDY 2019
Yapı Türü	Betonarme Çerçeve Sistem	
Kat Adedi	4 Kat (BK+ZK+2NK)	
Kat Yüksekliği ( $h_{kat}$ )	3,0 m	
Yapı Yüksekliği ( $H_N$ )	9,0 m	
Yapı Boyutları	17,70 m x 13,50 m	
Kiriş Boyutları	25 cm x 50 cm	
Kolon Boyutları	30 cm x 60 cm, 35 cm x 60 cm	
Döşeme Türü ve Boyutları	Kirişli Plak Döşeme Odalarda 12 cm, Balkon, Sahanlık 15 cm	
Beton Sınıfı /Çelik Sınıfı	C25/30, S420	
Bina Önem Katsayısı (I)	1	
Deprem Yüğü Eksantrisitesi	%5	
Haraketli Yüğü Katılım Katsayısı (n)	0,3	
Deprem Yer Hareket Düzeyi (DD)	-	DD-2
Etkin Yer İvme Katsayısı ( $A_0$ ), Maksimum Yer İvmesi ( $P_{GA}$ )	$A_0=0,10g$	TDTH'dan her mahalle için okunmuştur.
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	-	BKS=3
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	-	SDS'e bağılı olarak değışiyor.
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	-	7
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	8	8
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	-	3
Bina Doğal Titreşim Periyodu (T)	$T_{1y}=0,372$ s	$T_{1y}=0,519$ s
Yerel Zemin Sınıfı	Z1, Z2, Z3 ve Z4	ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE

### **III. BULGULAR ve TARTIŞMA**

#### **A. EŞDEĞER DEPREM YÜĞÜ HESAP SONUÇLARI**

Çalışma kapsamında zemin sınıflarını belirlemek amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmadığı için spektral değerlerin belirlenmesinde en sert zeminden en yumuşak zemine kadar zemin koşulları dikkate alınarak, deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için her iki örnek bina modelinin eşdeğer deprem yükleri hesaplanmıştır. Her iki örnek bina modeli için her iki deprem yönetmeliğine göre hesaplanan deprem yüklerinin birbiriyle karşılaştırılabilmesi için eşdeğer deprem kuvvetleri ( $V_i$ ) bina ağırlığına ( $W$ ) bölünmüştür.

#### **A. 1. TBDY 2019 Yönetmeliğine Göre Süneklik Düzeyine Bağılı ( $V_i/W$ ) Oranlarının Değışimi**

TBDY 2019 Yönetmeliğine göre eşdeğer deprem yüğü hesabında örnek perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi sınırlı ( $R=4$ ) ve süneklik düzeyi yüksek ( $R=7$ ) seçilirken, örnek çerçeve sistem betonarme bina modelinin taşıyıcı sistemi tüm zemin sınıflarında süneklik düzeyi sınırlı ( $R=4$ ) seçilemediği için sadece süneklik düzeyi yüksek ( $R=8$ ) seçilmiştir.

#### **A.1.1. TBDY 2019 Yönetmeliğine Göre Süneklik Düzeyi Yüksek Bina Modellerinin ( $V_i/W$ ) Oranları**

Kırklareli Merkez İlçe ve İlçeleri için seçilen örnek perde-çerçeve sistem ve örnek çerçeve sistem betonarme bina modellerinin TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin bina ağırlığına ( $V_i/W$ ) oranlarının en küçük, en büyük ve ortalama değerleri süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem için Tablo 3-10'da verilmiştir.

**Tablo 3.** Kırklareli merkez ilçe ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Betonarme Perde-Çerçeve Sistem Modeli			Betonarme Çerçeve Sistem Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	4,475	4,692	4,927	5,345	5,608	5,885
ZB	4,475	4,692	4,927	5,345	5,608	5,885
ZC	8,408	9,709	10,258	10,042	10,510	11,014
ZD	14,113	14,638	15,237	14,625	15,157	15,796
ZE	21,197	21,731	22,301	22,100	22,662	23,265

**Tablo 4.** Babaeski ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre için hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Betonarme Perde-Çerçeve Sistem Modeli			Betonarme Çerçeve Sistem Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	4,927	5,480	5,876	5,885	6,545	7,018
ZB	4,927	5,480	5,876	5,885	6,545	7,018
ZC	10,258	11,412	12,319	11,014	12,253	13,227
ZD	15,197	16,640	17,881	15,756	17,268	18,533
ZE	22,519	23,454	24,391	23,216	24,889	25,476

**Tablo 5.** Lüleburgaz ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Betonarme Perde-Çerçeve Sistem Modeli			Betonarme Çerçeve Sistem Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	5,786	6,179	7,693	6,910	7,270	8,260
ZB	5,786	6,179	7,693	6,910	7,270	8,260
ZC	12,068	12,706	14,431	12,957	13,639	15,494
ZD	17,834	18,651	20,930	18,511	19,312	21,666
ZE	24,439	25,126	26,938	25,513	26,228	28,122

**Tablo 6.** Demirköy ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Betonarme Perde-Çerçeve Sistem Modeli			Betonarme Çerçeve Sistem Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	4,385	4,448	4,520	5,237	5,312	5,399
ZB	4,385	4,448	4,520	5,237	5,312	5,399
ZC	8,227	8,353	8,498	9,826	9,977	10,150
ZD	13,729	13,982	14,199	14,231	14,492	14,715
ZE	20,796	21,063	21,299	21,682	21,960	22,207

**Tablo 7.** Kofçaz ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Betonarme Perde-Çerçeve Sistem Modeli			Betonarme Çerçeve Sistem Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	4,249	4,249	4,249	5,075	5,075	5,075
ZB	4,249	4,249	4,249	5,075	5,075	5,075
ZC	7,956	7,956	7,956	9,502	9,502	9,502
ZD	13,468	13,468	13,468	13,953	13,953	13,953
ZE	20,498	20,498	20,498	21,360	21,360	21,360

**Tablo 8.** Pehlivan köy ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan ( $V_t/W$ ) oranları

Zemin Sınıfı	Betona rme Perde-Çerçeve Sistem Modeli			Betona rme Çerçeve Sistem Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	5,605	5,605	5,605	6,694	6,694	6,694
ZB	5,605	5,605	5,605	6,694	6,694	6,694
ZC	11,716	11,716	11,716	12,579	12,579	12,579
ZD	16,846	16,846	16,846	17,476	17,476	17,476
ZE	23,647	23,647	23,647	24,670	24,670	24,670

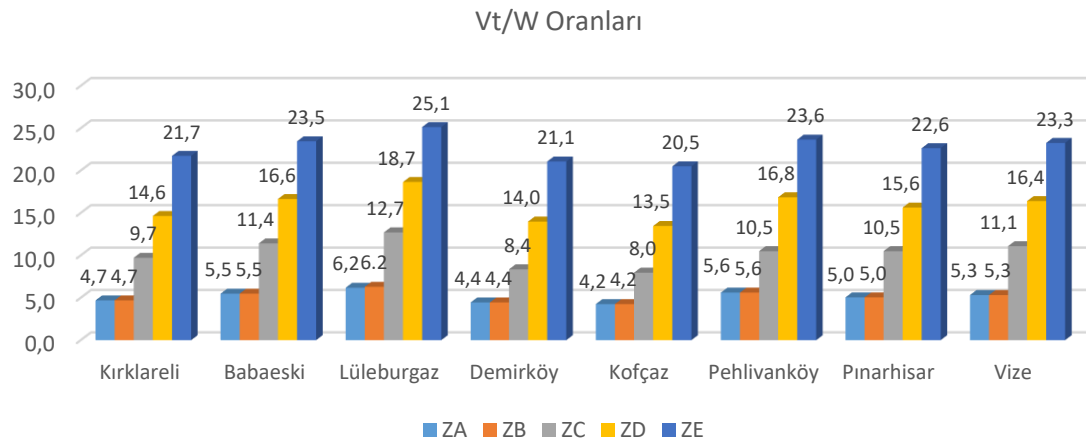
**Tablo 9.** Pınarhisar ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan ( $V_t/W$ ) oranları

Zemin Sınıfı	Betona rme Perde-Çerçeve Sistem Modeli			Betona rme Çerçeve Sistem Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	4,972	5,043	5,108	5,939	6,023	6,100
ZB	4,972	5,043	5,108	5,939	6,023	6,100
ZC	10,308	10,495	10,660	11,067	11,268	11,445
ZD	15,389	15,631	15,835	15,950	16,200	16,409
ZE	22,434	22,644	22,821	23,404	23,623	23,810

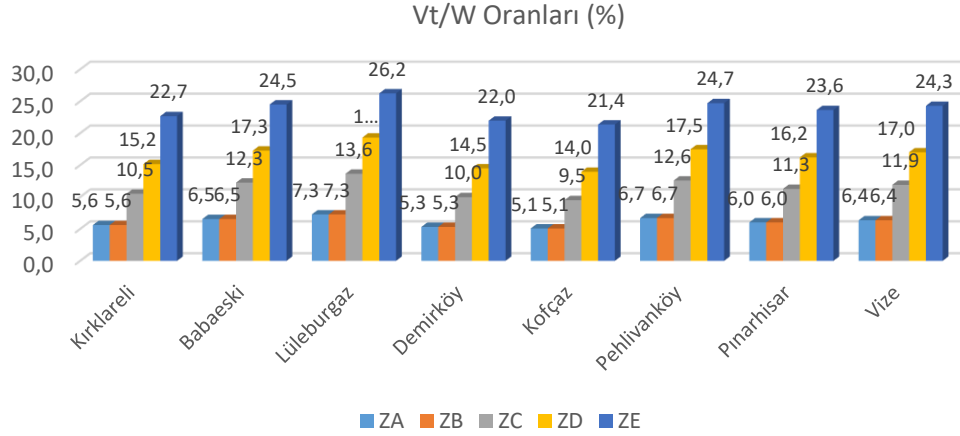
**Tablo 10.** Vize ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan ( $V_t/W$ ) oranları

Zemin Sınıfı	Betona rme Perde-Çerçeve Sistem Modeli			Betona rme Çerçeve Sistem Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	5,063	5,319	5,605	6,047	6,352	6,694
ZB	5,063	5,319	5,605	6,047	6,352	6,694
ZC	10,559	11,087	11,716	11,337	11,904	12,579
ZD	15,697	16,401	17,239	16,268	16,997	17,861
ZE	22,705	23,258	23,853	23,690	24,275	24,905

Tablo 3-10'da verilen Kırklareli Merkez İlçe ve İlçeleri için seçilen süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem ve çerçeve sistem betona rme bina örnek modellerinin TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin bina ağırlığına oranlarının ilçelere göre değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için ortalama ( $V_t/W$ ) değerleri Şekil 4 ve 5'te toplu olarak verilmiştir.



**Şekil 4.** Süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betona rme bina modeli için hesap sonucu bulunan ortalama ( $V_t/W$ ) değerleri



**Şekil 5.** Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesap sonucu bulunan ortalama (Vt/W) değerleri

Tablo 3-10 ile Şekil 4, 5 incelendiğinde Kırklareli Merkez ve İlçelerinin TBDY 2019'a göre aynı zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yükü değerlerinde farklılıklar olduğu görülmektedir. Süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün en küçük değerini aldığı Kofçaz İlçesi ile en büyük değerini aldığı Lüleburgaz İlçesi arasında ZA ve ZB yerel zemin sınıflarında %45, ZC yerel zemin sınıfında %60, ZD yerel zemin sınıfında %38 ve ZE yerel zemin sınıfında %23 fark vardır. Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün en küçük değerini aldığı Kofçaz İlçesi ile en büyük değerini aldığı Lüleburgaz İlçesi arasında ZA ve ZB yerel zemin sınıflarında %43, ZC yerel zemin sınıfında %44, ZD yerel zemin sınıfında %38 ve ZE yerel zemin sınıfında %23 fark vardır. Türkiye Deprem Tehlike Haritası'na (TDTH) göre Kırklareli'nin güneyinde yer alması sebebiyle deprem kaynağına daha yakın olan Lüleburgaz ilçesinde deprem yükünün en büyük değeri alması, Kırklareli'nin kuzeyinde yer alması sebebiyle deprem kaynağına daha uzak olan Kofçaz ilçesinde deprem yükünün en küçük değeri alması beklenen bir durumdur.

#### **A.1.2. TBDY 2019 Yönetmeliğine Göre Süneklik Düzeyi Sınırlı Bina Modellerinin ( $V_t/W$ ) Oranları**

Kırklareli Merkez İlçe ve İlçeleri için seçilen perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin bina ağırlığına oranlarının en küçük, en büyük ve ortalama değerleri süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistem için Tablo 11-18'de verilmiştir. TBDY 2019'a göre tasarımda tüm zemin sınıfları için taşıyıcı sistem süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve sistem (R=8) seçilebilirken, süneklik düzeyi sınırlı betonarme çerçeve sistem (R=4) seçilemediği için Tablo 11-18'de eşdeğer deprem yükü hesap sonuçları sadece süneklik düzeyi sınırlı betonarme perde-çerçeve sistem için verilmiştir.

**Tablo 11.** Kırklareli merkez ilçe ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan ( $V_t/W$ ) oranları

Zemin Sınıfı	Perde-Çerçeve Sistem Betonarme Bina Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
<b>ZA</b>	6,094	6,389	6,710
<b>ZB</b>	6,094	6,389	6,710
<b>ZC</b>	11,450	13,896	14,737
<b>ZD</b>	17,060	20,679	21,639
<b>ZE</b>	29,302	29,989	30,731

**Tablo 12.** Babaeski ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Perde-Çerçeve Sistem Betonarme Bina Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	6,710	7,463	8,002
ZB	6,710	7,463	8,002
ZC	14,737	16,395	17,699
ZD	21,550	21,629	25,410
ZE	30,649	32,183	33,415

**Tablo 13.** Lüleburgaz ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Perde-Çerçeve Sistem Betonarme Bina Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	7,879	8,484	11,053
ZB	7,879	8,484	11,053
ZC	17,338	18,255	20,733
ZD	25,504	26,609	29,926
ZE	33,569	34,506	37,002

**Tablo 14.** Demirköy ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Perde-Çerçeve Sistem Betonarme Bina Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	5,971	6,057	6,156
ZB	5,971	6,057	6,156
ZC	11,203	11,376	11,573
ZD	17,036	19,277	20,188
ZE	28,742	29,115	29,435

**Tablo 15.** Kofçaz ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Perde-Çerçeve Sistem Betonarme Bina Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	5,786	5,786	5,786
ZB	5,786	5,786	5,786
ZC	10,834	10,834	10,834
ZD	19,182	19,182	19,182
ZE	28,398	28,398	28,398

**Tablo 16.** Pehlivan köy ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Perde-Çerçeve Sistem Betonarme Bina Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	7,633	7,633	7,633
ZB	7,633	7,633	7,633
ZC	16,832	16,832	16,832
ZD	23,848	23,848	23,848
ZE	32,395	32,395	32,395

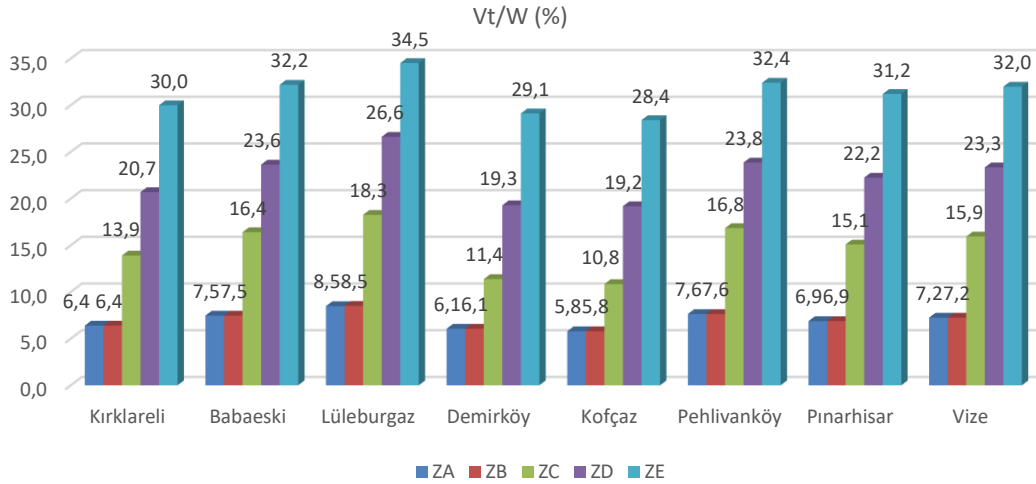
**Tablo 17.** Pınarhisar ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan ( $V_t/W$ ) oranları

Zemin Sınıfı	Perde-Çerçeve Sistem Betonarme Bina Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	6,771	6,868	6,956
ZB	6,771	6,868	6,956
ZC	14,809	15,077	15,315
ZD	21,874	22,233	22,531
ZE	30,917	31,199	31,439

**Tablo 18.** Vize ilçesi ve beldelerindeki mahallelerin TBDY 2019'a göre hesaplanan ( $V_t/W$ ) oranları

Zemin Sınıfı	Perde-Çerçeve Sistem Betonarme Bina Modeli		
	En Küçük (%)	Ortalama (%)	En Büyük (%)
ZA	6,894	7,243	7,633
ZB	6,894	7,243	7,633
ZC	15,171	15,929	16,832
ZD	22,320	23,331	24,545
ZE	31,269	31,981	32,739

Tablo 11-18'de verilen Kırklareli Merkez İlçe ve İlçelerini için seçilen süneklik düzeyi sınırlı örnek perde-çerçeve sistem betonarme bina modellerinin TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin bina ağırlığına oranlarının ilçelere göre değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için ortalama ( $V_t/W$ ) değerleri Şekil 6'da toplu olarak verilmiştir.



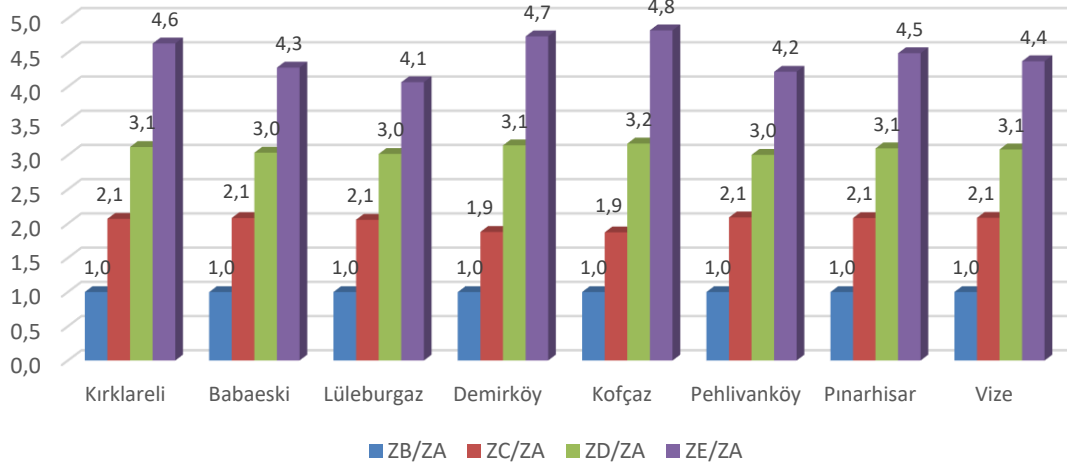
**Şekil 6.** Süneklik düzeyi sınırlı perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesap sonucu bulunan ortalama ( $V_t/W$ ) değerleri

Tablo 11-18 ile Şekil 6 incelendiğinde süneklik düzeyi yüksek örnek bina modellerine benzer şekilde süneklik düzeyi sınırlı perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün en büyük değerini Lüleburgaz ilçesinde ve en küçük değeri Kofçaz ilçesinde aldığı görülmektedir. Eşdeğer deprem yükünün en küçük olduğu Kofçaz ilçesi ile en büyük olduğu Lüleburgaz ilçesi arasında ZA ve ZB yerel zemin sınıflarında %47, ZC yerel zemin sınıfında %68, ZD yerel zemin sınıfında %39 ve ZE yerel zemin sınıfında %22 fark vardır.



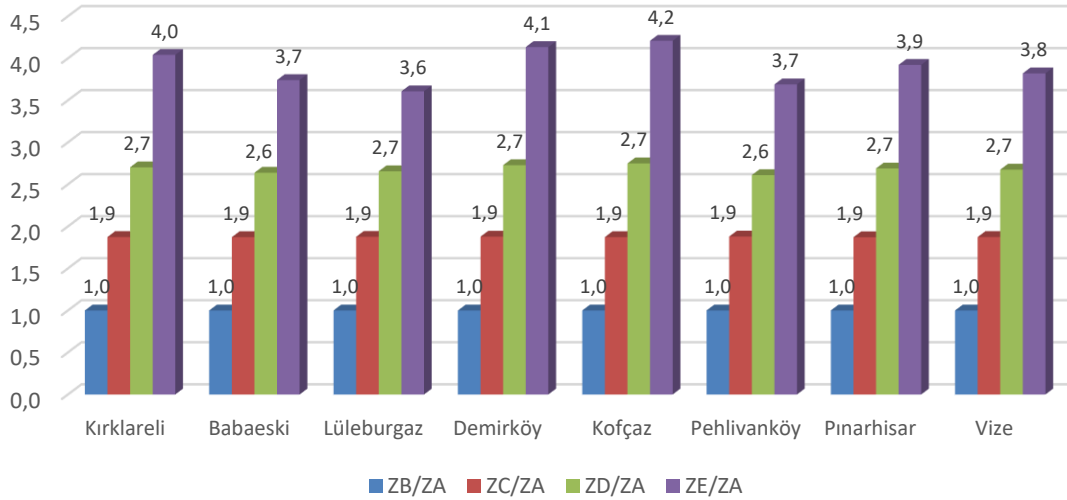
### A.1.3. TBDY 2019 Yönetmeliğine Göre Bina Modellerinin ( $V_t/W$ ) Oranlarının Farklı Zemin Sınıfları İçin Değişimi

Şekil 7 ve Şekil 8’de sırasıyla süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin ve çerçeve sistem betonarme bina modelinin farklı yerel zemin sınıflarına göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin ZA yerel zemin sınıfına göre değişimi gösterilmiştir.



**Şekil 7.** Süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesap sonucu bulunan ortalama ( $V_t/W$ ) değerlerinin ZA zemin sınıfına göre değişimi

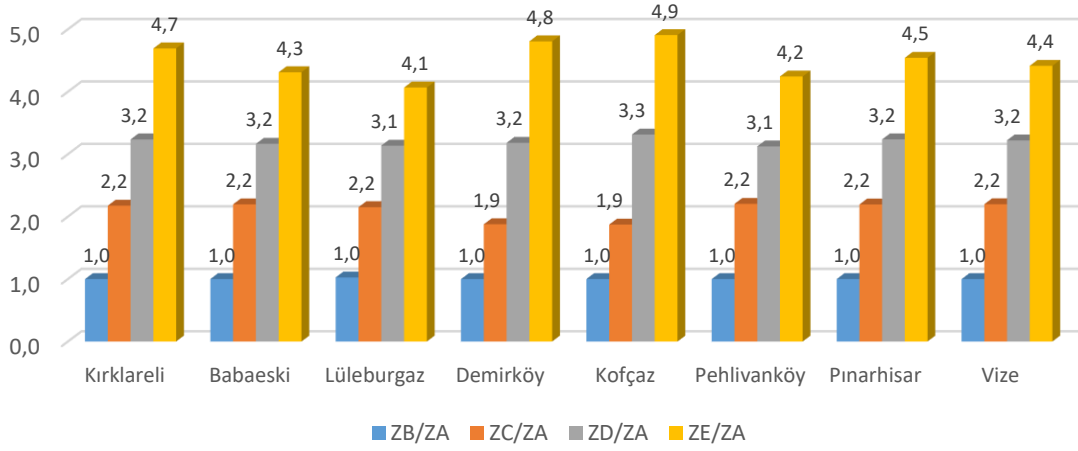
Şekil 7 incelendiğinde süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün ortalama değerinin ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıfında, ZA yerel zemin sınıfına göre sırasıyla 1,0; 2,05; 3,08 ve 4,45 kat arttığı görülmektedir.



**Şekil 8.** Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesap sonucu bulunan ortalama ( $V_t/W$ ) değerlerinin ZA zemin sınıfına göre değişimi

Şekil 8 incelendiğinde süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün ortalama değerinin ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıfında, ZA yerel zemin sınıfına göre sırasıyla 1,0; 1,90; 2,68 ve 4,40 kat arttığı görülmektedir.

Şekil 9’da süneklik düzeyi sınırlı perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin farklı yerel zemin sınıflarına göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin ZA yerel zemin sınıfına göre değişimi gösterilmiştir.



**Şekil 9.** Süneklik düzeyi sınırlı perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesap sonucu bulunan ortalama ( $V_t/W$ ) değerlerinin ZA zemin sınıfına göre değişimi

Şekil 9 incelendiğinde süneklik düzeyi sınırlı perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün ortalama değerinin, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıfında, ZA yerel zemin sınıfına göre sırasıyla 1,0; 2,13; 3,19 ve 4,49 kat arttığı görülmektedir.

## A. 2. DBYBHY 2007 Yönetmeliğine Göre Süneklik Düzeyine Bağlı ( $V_t/W$ ) Oranlarının Değişimi

DBYBHY 2007 Yönetmeliğine göre eşdeğer deprem yükü hesabında, örnek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için süneklik düzeyi yüksek ( $R=7$ ) ve süneklik düzeyi normal ( $R=4$ ), örnek çerçeve sistem bina modeli için düzeyi yüksek ( $R=8$ ) ve süneklik düzeyi normal ( $R=4$ ) seçilmiştir.

### A.2.1. DBYBHY 2007 Yönetmeliğine Göre Süneklik Düzeyi Yüksek Bina Modellerinin ( $V_t/W$ ) Oranları

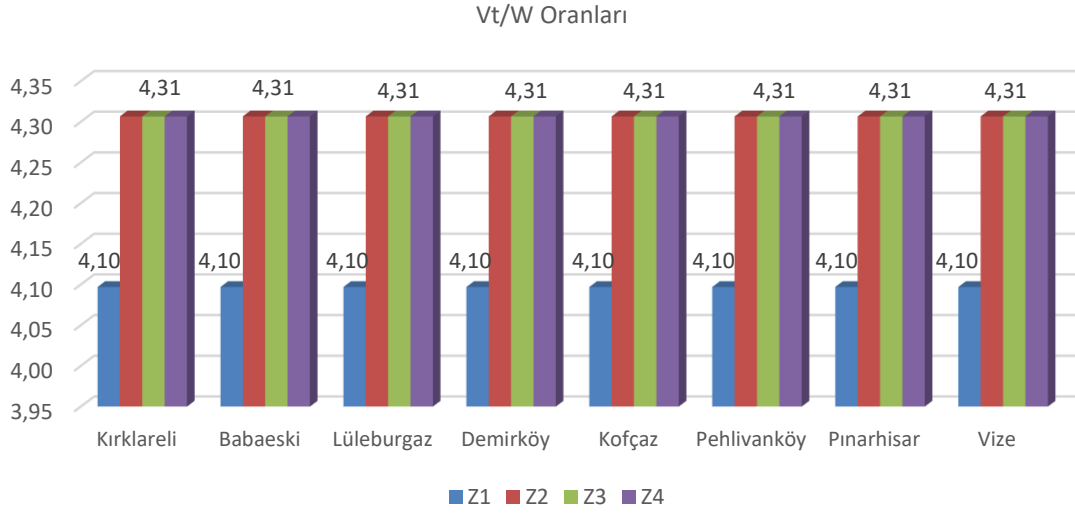
Kırklareli Merkez İlçe ve İlçeleri için seçilen perde-çerçeve sistem ve çerçeve sistem betonarme bina örnek modellerinin DBYBHY 2007’ye göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin bina ağırlığına ( $V_t/W$ ) oranları süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem için Tablo 19’da verilmiştir. DBYBHY 2007’de Kırklareli Merkezi İlçe ve İlçelerinin tamamı 4. deprem bölgesinde olduğu için, aynı zemin sınıfı için deprem hesabı yapılan tüm ilçelerin etkin yer ivme katsayısı, spektrum katsayıları, spektral ivme katsayıları ve eşdeğer deprem yükleri birbirine eşit olup, tek bir değer olmaktadır.

**Tablo 19.** Kırklareli merkez ve ilçelerindeki mahallelerin DBYBHY 2007’ye göre hesaplanan ( $V_t/W$ ) oranları

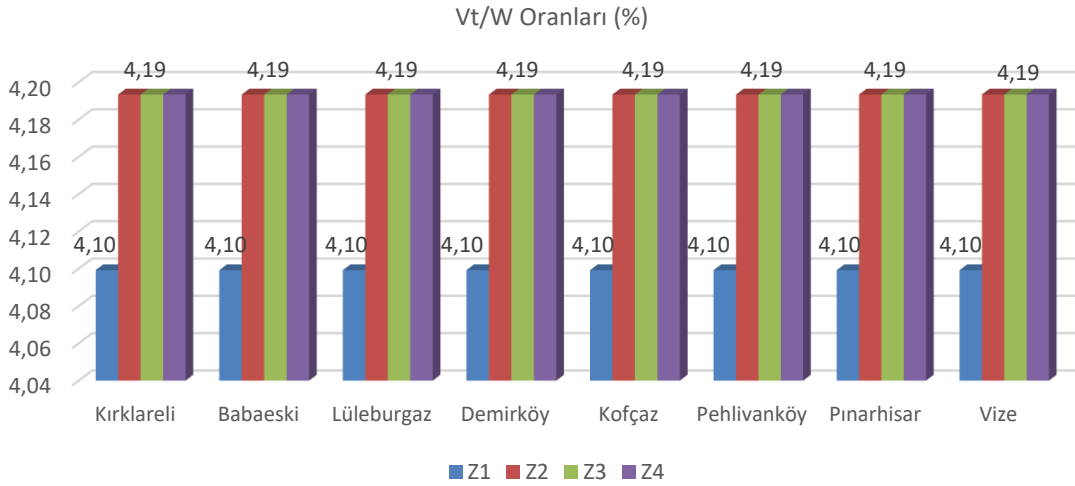
Zemin Sınıfı	Perde-Çerçeve Sistem Modeli (%)	Çerçeve Sistem Modeli (%)
Z1	4,097	4,099
Z2	4,307	4,193
Z3	4,307	4,193
Z4	4,307	4,193

Tablo 19’da verilen Kırklareli Merkez İlçe ve İlçeleri için seçilen süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem ve çerçeve sistem betonarme örnek bina modellerinin DBYBHY 2007’ye göre hesaplanan

eşdeğer deprem yüklerinin bina ağırlığına oranlarının ilçelere göre değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için ortalama ( $V_t/W$ ) değerleri Şekil 10 ve 11’de toplu şekilde verilmiştir.



**Şekil 10.** Süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesap sonucu bulunan ortalama ( $V_t/W$ ) değerleri



**Şekil 11.** Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesap sonucu bulunan ortalama ( $V_t/W$ ) değerleri

Tablo 19 ile Şekil 10, 11 incelendiğinde, TBDY 2019’a göre aynı yerel zemin sınıfı için hesaplanan deprem yükleri her ilçede hatta her mahallede birbirinden farklı değerler alırken, DBYBHY 2007’ye göre tamamı 4. deprem bölgesinde yer alan Kırklareli Merkezi ve İlçeleri için aynı zemin sınıfları için hesaplanan eşdeğer yükü değerleri tüm ilçelerde birbirine eşit olup, tek bir değer olmaktadır.

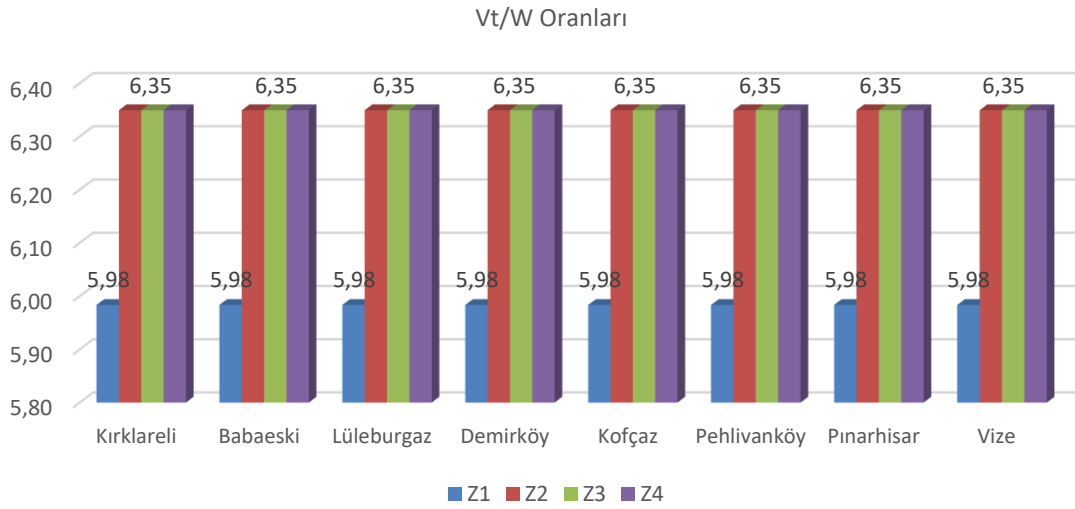
#### **A.2.1. DBYBHY 2007 Yönetmeliğine Göre Süneklik Düzeyi Yüksek Bina Modellerinin ( $V_t/W$ ) Oranları**

Kırklareli Merkez İlçe ve İlçeleri için seçilen betonarme perde-çerçeve sistem ve betonarme çerçeve sistem örnek bina modellerinin DBYBHY 2007’ye göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin bina ağırlığına ( $V_t/W$ ) oranları süneklik düzeyi normal taşıyıcı sistem için Tablo 20’de verilmiştir.

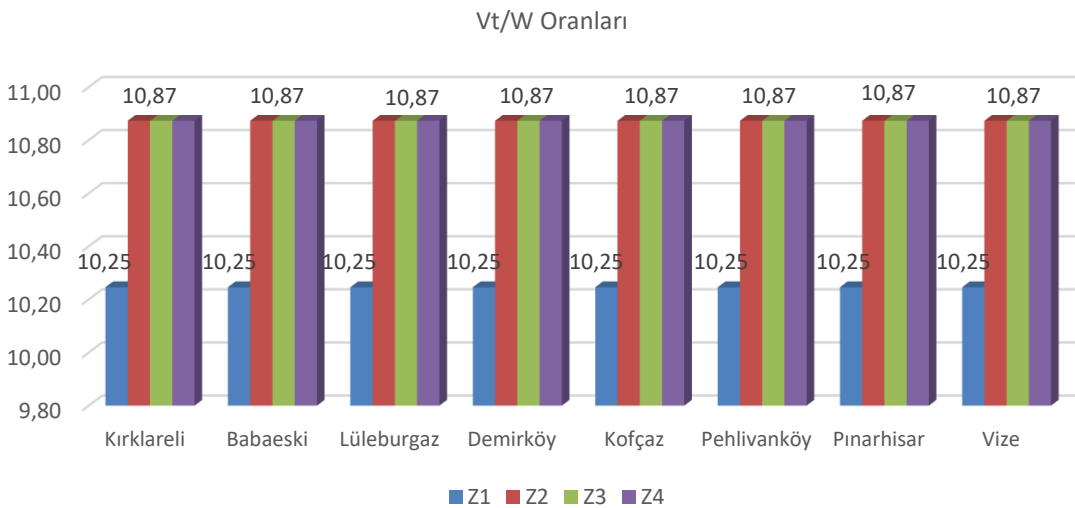
**Tablo 20.** Kırklareli merkez ve ilçelerindeki mahallelerin DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan (Vt/W) oranları

Zemin Sınıfı	Perde-Çerçeve Sistem Modeli (%)	Çerçeve Sistem Modeli (%)
Z1	5,984	10,246
Z2	6,349	10,873
Z3	6,349	10,873
Z4	6,349	10,873

Tablo 20'de verilen Kırklareli Merkez İlçe ve İlçelerini için seçilen süneklik düzeyi normal betonarme perde-çerçeve ve betonarme çerçeve sistem örnek modellerinin DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin bina ağırlığına oranlarının ilçelere göre değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için ortalama (Vt/W) değerleri Şekil 12 ve 13'de toplu şekilde verilmiştir.



**Şekil 12.** Süneklik düzeyi normal perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesap sonucu bulunan ortalama (Vt/W) değerleri

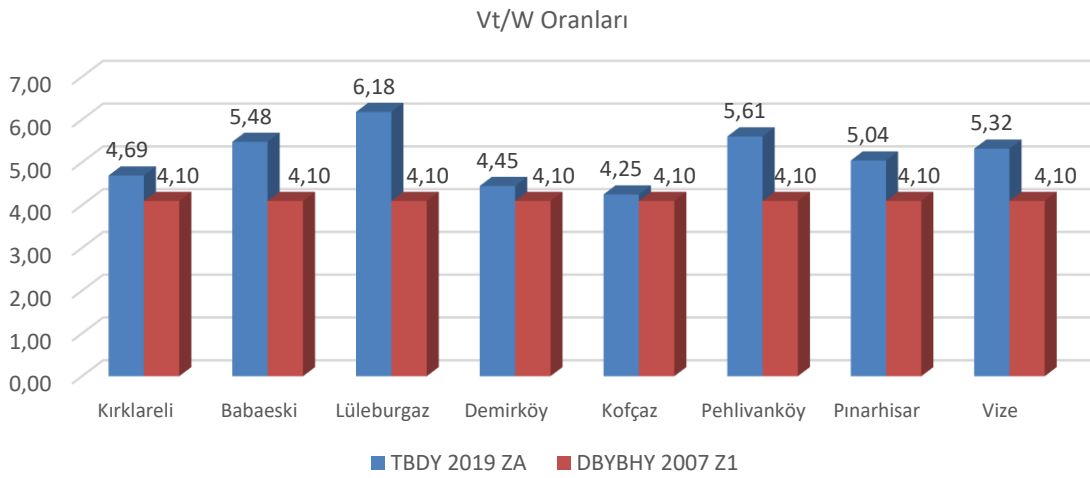


**Şekil 13.** Süneklik düzeyi normal çerçeve sistem betonarme bina modeli için hesap sonucu bulunan ortalama (Vt/W) değerleri

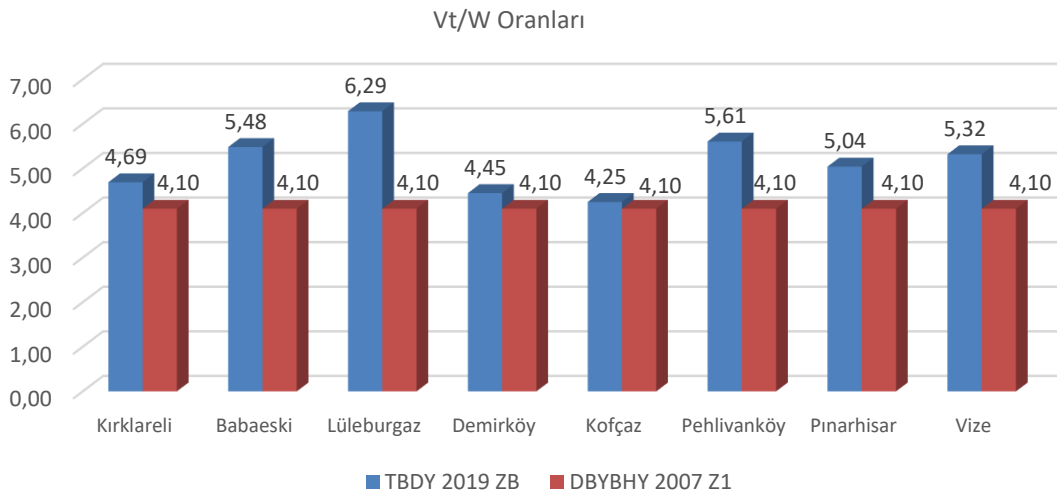
Tablo 20 ile Şekil 12, 13 incelendiğinde, DBYBHY 2007'ye göre tamamı 4. deprem bölgesinde yer alan Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin aynı zemin sınıfları için hesaplanan eşdeğer yükü değerleri tüm ilçelerde birbirine eşit olup, tek bir değer olmaktadır.

### A. 3. TBDY 2019 ve DBYBHY 2007 Yönetmeliklerine Göre ( $V_t/W$ ) Oranlarının Karşılaştırılması

TBDY 2019 ile DBYBHY 2007'ye göre perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli ve çerçeve sistem betonarme bina modelinin Kırklareli Merkez İlçe ve İlçeleri için hesap edilen eşdeğer deprem yüklerinin karşılaştırması Şekil 14-28'de verilmiştir. TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin karşılaştırılmasında TBDY 2019'da tanımlanan ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıflarının DBYBHY 2007'deki karşılığı sırasıyla Z1, Z1, Z2, Z3 ve Z4 olarak alınmıştır. TBDY 2019 ve DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin karşılaştırılmasında, TBDY 2019'a göre hesap edilen deprem yüklerinin ortalama değerleri kullanılmıştır.

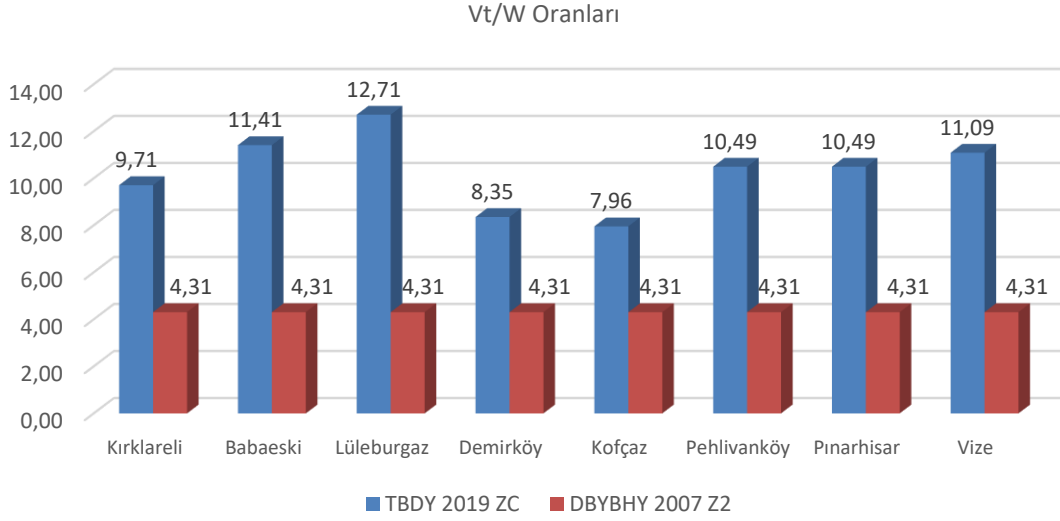


Şekil 14. Süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZA ve Z1 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması



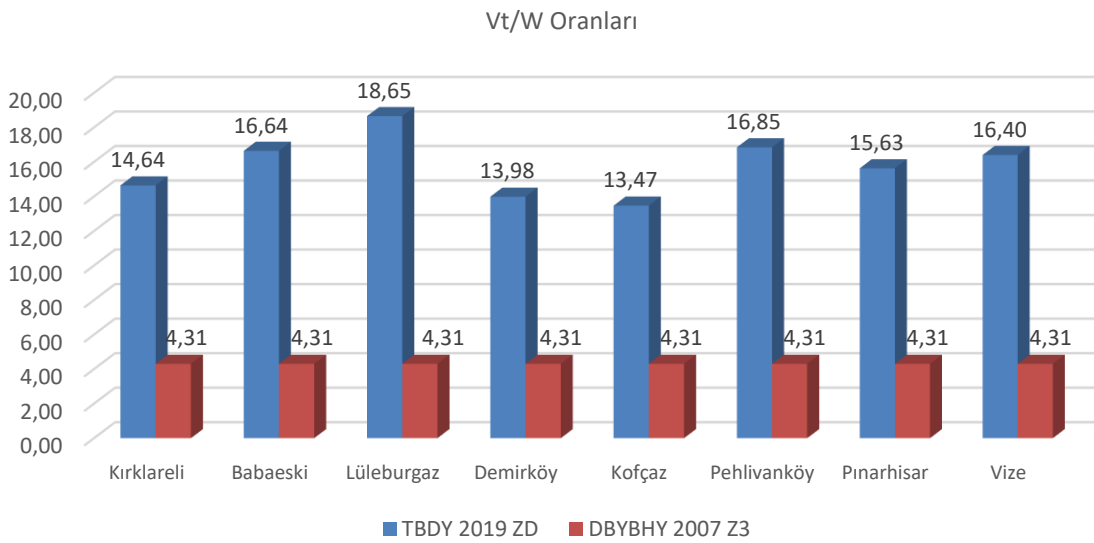
Şekil 15. Süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZB ve Z1 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 14 ve 15 incelendiğinde, süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin TDBY 2019 ZA ve ZB yerel zemin sınıfları için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TDBY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 1,05 kat, en çok 1,51 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 1,25 kat arttığı görülmektedir.



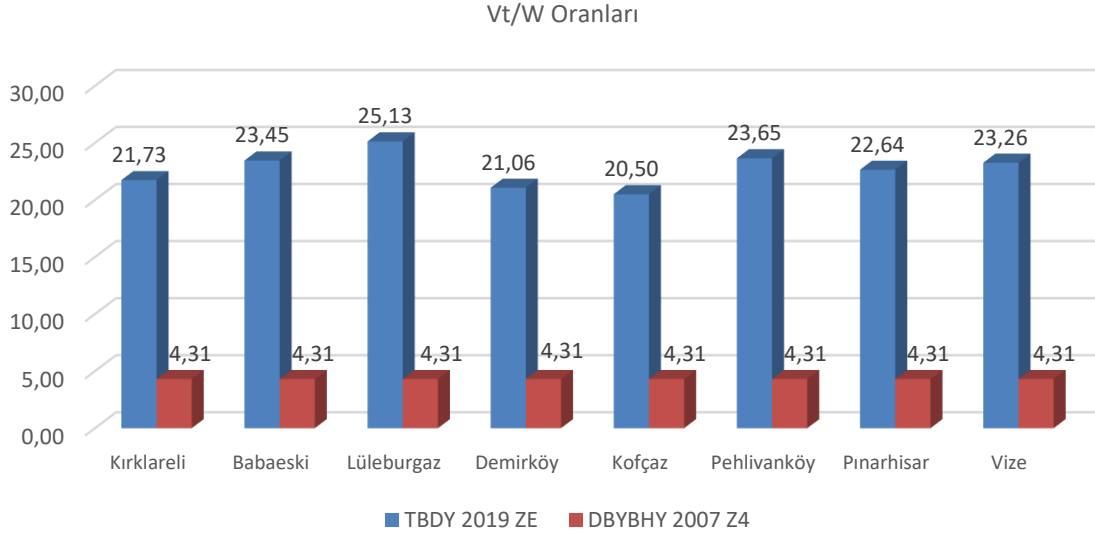
**Şekil 16.** Süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZC ve Z2 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 16 incelendiğinde, süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin TDBY 2019 ZC yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün DBYBHY 2007 Z2 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TDBY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 1,85 kat, en çok 2,95 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 2,39 kat arttığı görülmektedir.



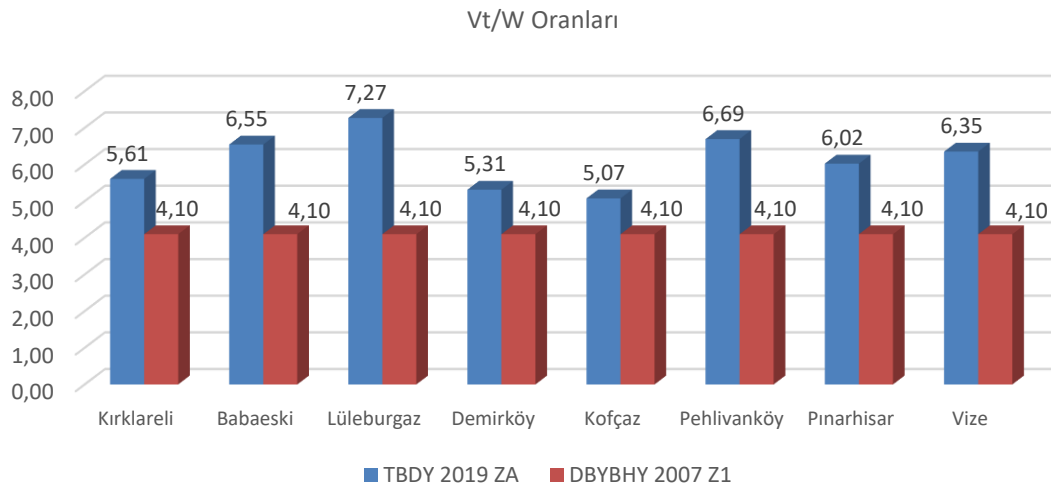
**Şekil 17.** Süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZD ve Z3 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 17 incelendiğinde, süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019 ZD yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007 Z3 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 3,13 kat, en çok 4,33 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 3,66 kat arttığı görülmektedir.



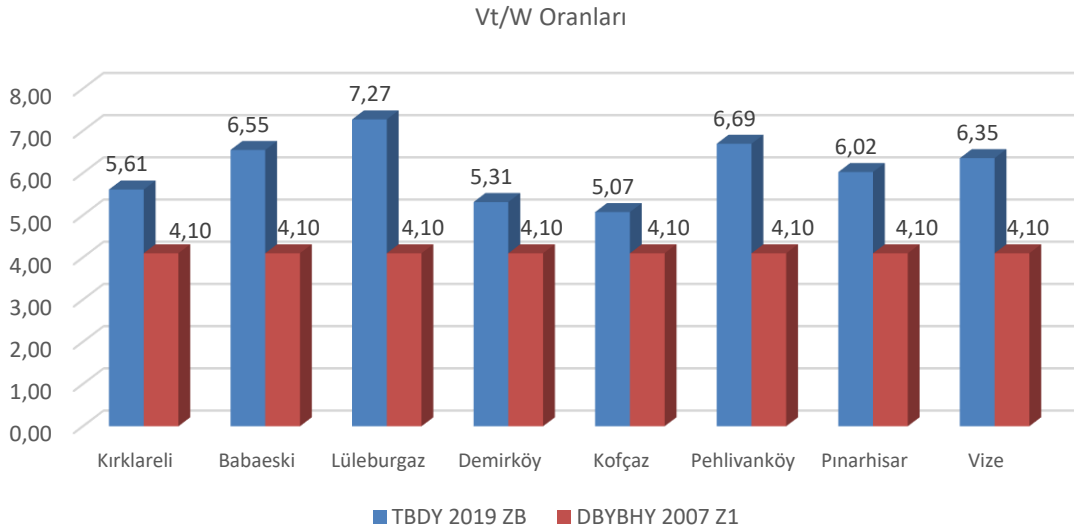
**Şekil 18.** Süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZE ve Z4 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 18 incelendiğinde, süneklik düzeyi yüksek perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019 ZE yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün DBYBHY 2007 Z4 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 4,76 kat, en çok 5,83 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 5,27 kat arttığı görülmektedir.

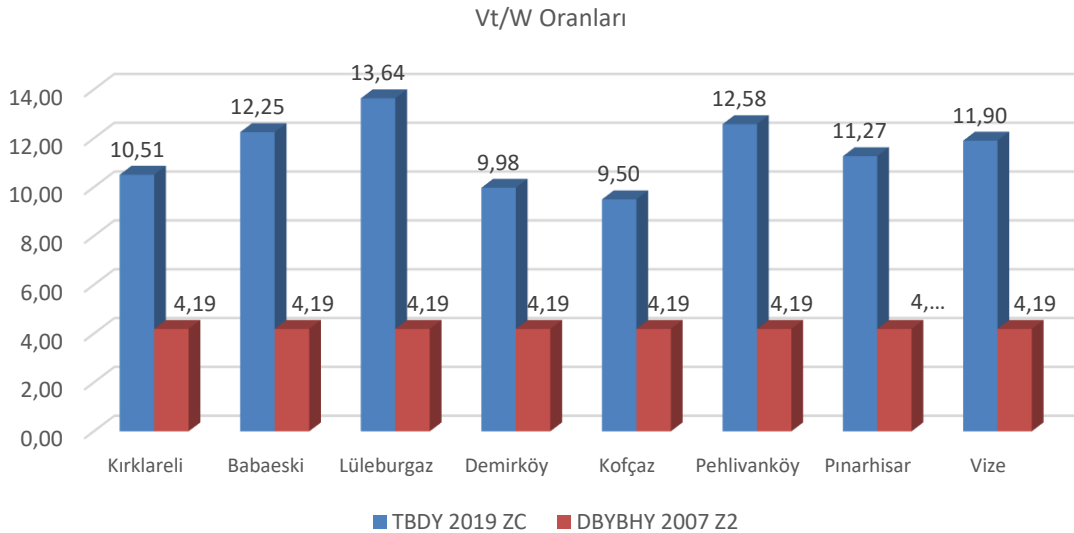


**Şekil 19.** Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZA ve Z1 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 19 ve 20 incelendiğinde, süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019 ZA ve ZB yerel zemin sınıfları için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 1,24 kat, en çok 1,77 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 1,49 kat arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer yükünün DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan deprem yüküne göre artış miktarı zemin cinsine göre değişim göstermekte olup, zemin kötüleştikçe deprem yükündeki artış miktarı büyümektedir.



**Şekil 20.** Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZB ve Z1 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

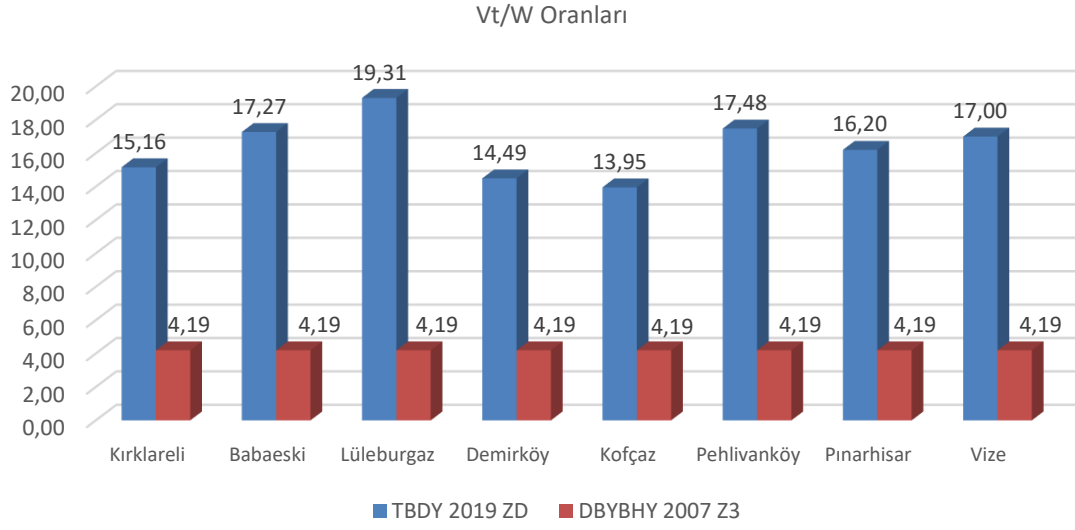


**Şekil 21.** Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZC ve Z2 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 21 incelendiğinde, süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019 ZC yerel zemin sınıfları için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün DBYBHY 2007 Z2 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap

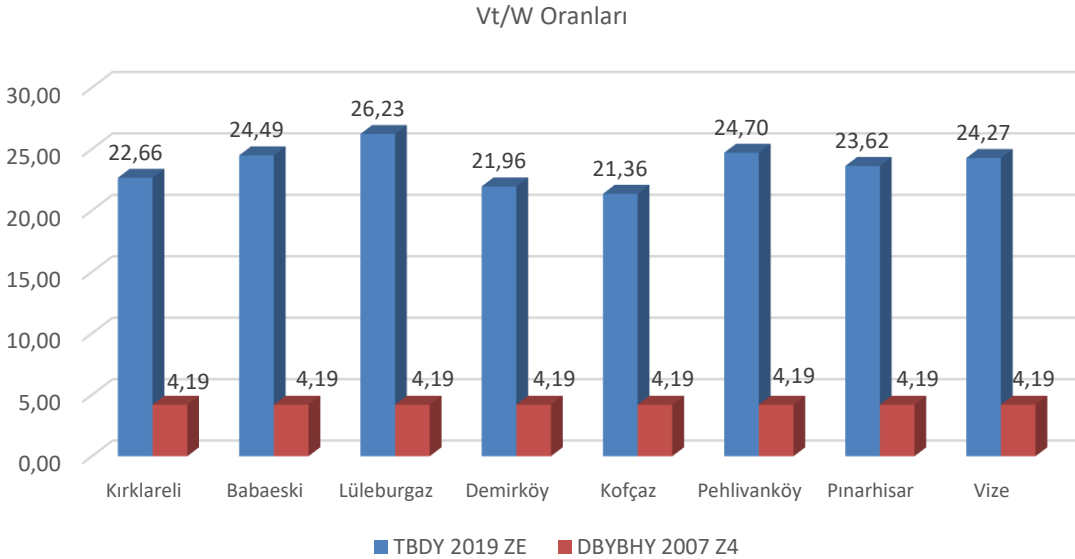


edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 2,27 kat, en çok 3,25 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 2,73 kat arttığı görülmektedir.



**Şekil 22.** Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZD ve Z3 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

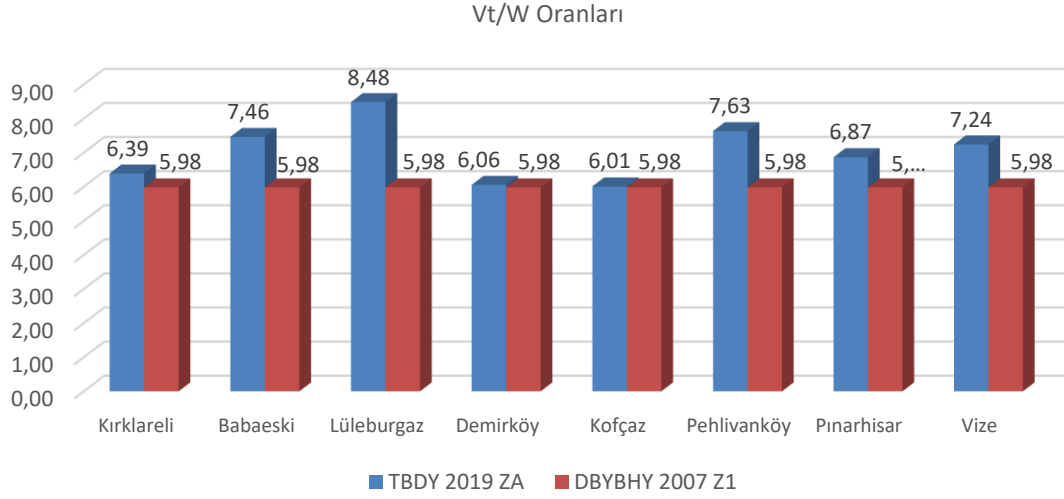
Şekil 22 incelendiğinde, süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019 ZD yerel zemin sınıfları için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün DBYBHY 2007 Z3 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 3,33 kat, en çok 4,61 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 3,90 kat arttığı görülmektedir.



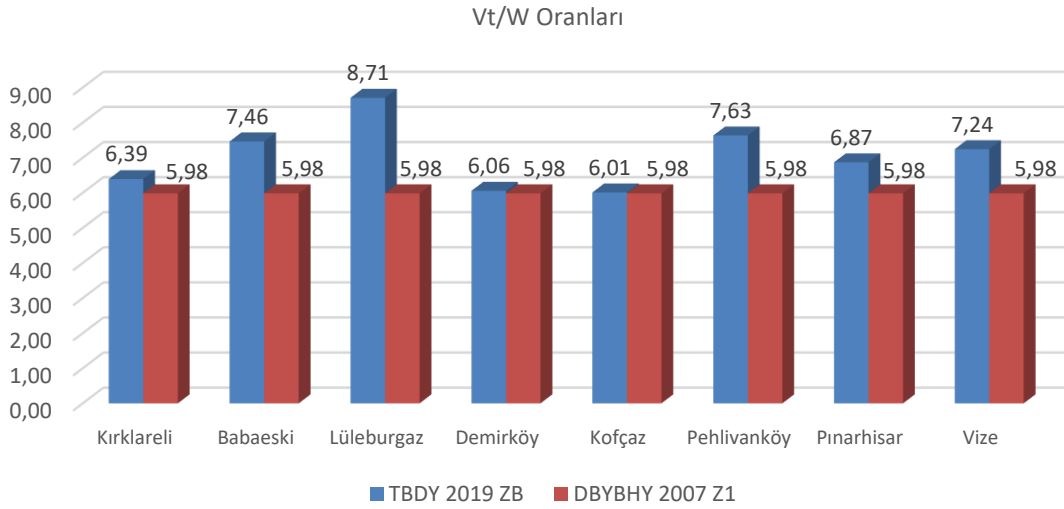
**Şekil 23.** Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZE ve Z4 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 23 incelendiğinde, süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019 ZE yerel zemin sınıfları için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün DBYBHY 2007 Z4 yerel zemin sınıfı

için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 5,09 kat, en çok 6,25 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 5,64 kat arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer yükünün DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan deprem yüküne göre artış miktarı zemin cinsine göre değişim göstermekte olup, zemin kötüleştikçe deprem yükündeki artış miktarı büyümektedir.

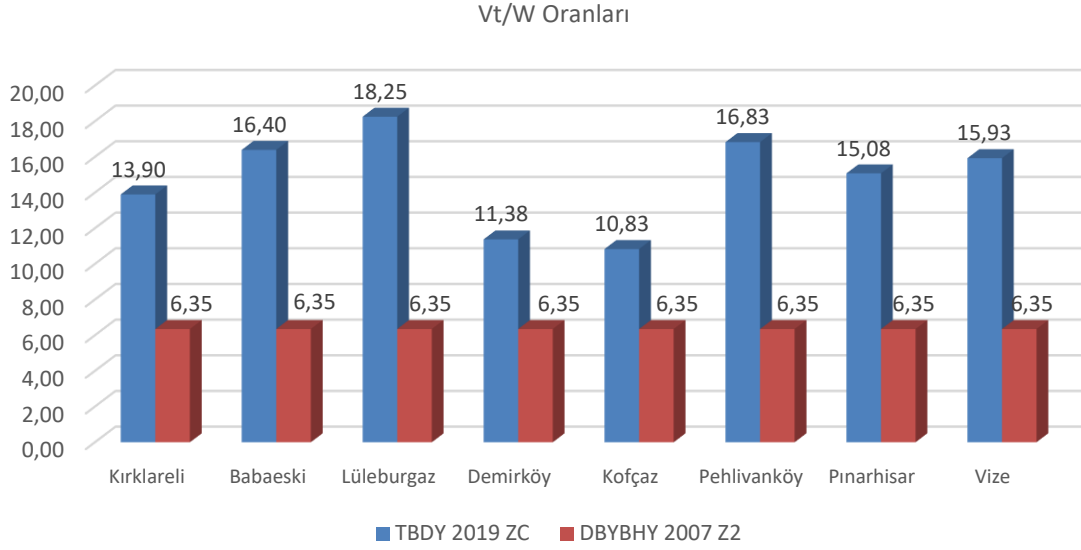


**Şekil 24.** Süneklik düzeyi sınırlı/normal perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZA ve Z1 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması



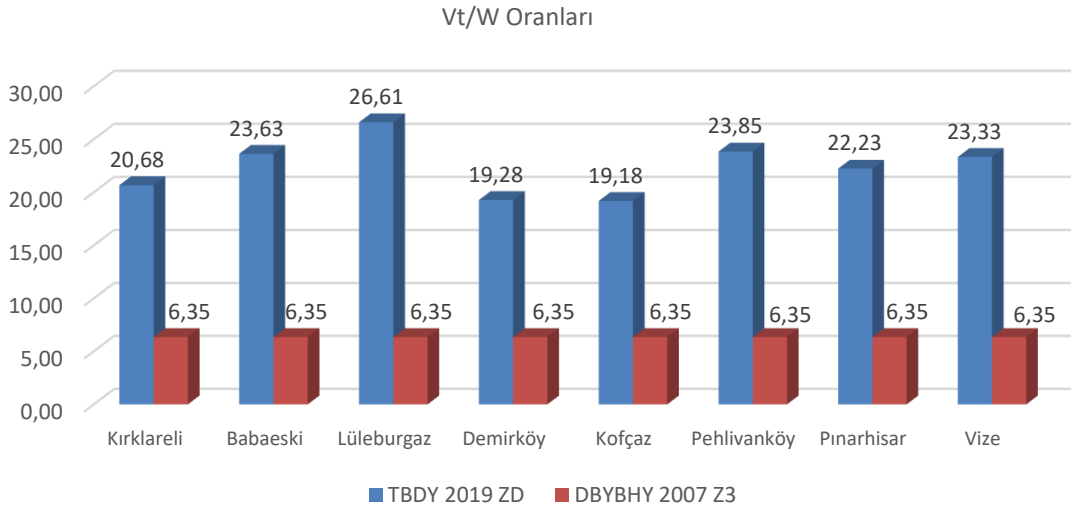
**Şekil 25.** Süneklik düzeyi sınırlı/normal perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZB ve Z1 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 24 ve 25 incelendiğinde, süneklik düzeyi sınırlı/normal perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019 ZA ve ZB yerel zemin sınıfları için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün DBYBHY 2007 Z1 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 1,01 kat, en çok 1,42 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 1,17 kat arttığı görülmektedir.



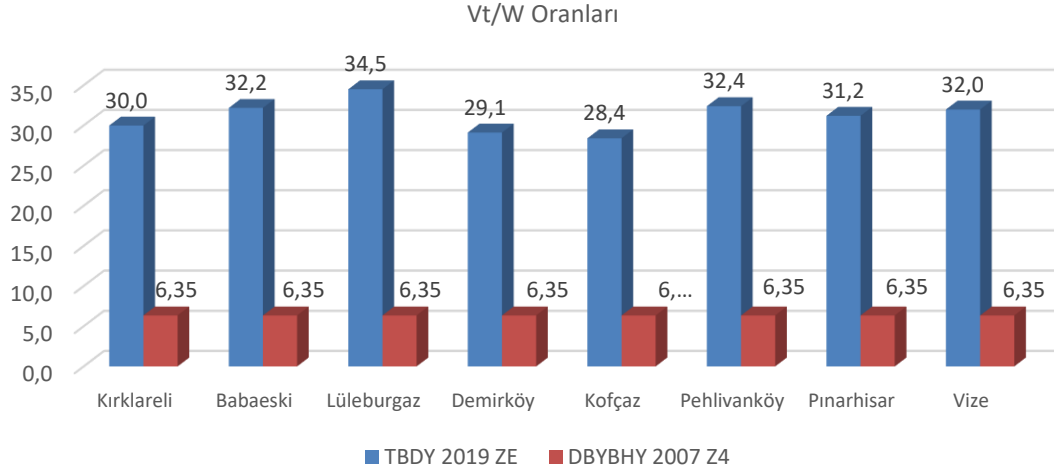
**Şekil 26.** Süneklik düzeyi sınırlı/normal perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZC ve Z2 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 26 incelendiğinde, süneklik düzeyi sınırlı/normal perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019 ZC yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün DBYBHY 2007 Z2 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 1,71 kat, en çok 2,88 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 2,33 kat arttığı görülmektedir.



**Şekil 27.** Süneklik düzeyi sınırlı/normal perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZD ve Z3 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 27 incelendiğinde, süneklik düzeyi sınırlı/normal perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019 ZD yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün DBYBHY 2007 Z3 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 3,02 kat, en çok 4,19 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 3,52 kat arttığı görülmektedir.



**Şekil 28.** Süneklik düzeyi sınırlı/normal perde-çerçeve sistem betonarme bina modeli için eşdeğer deprem yüklerinin ZE ve Z4 yerel zemin sınıfı için karşılaştırılması

Şekil 28 incelendiğinde, süneklik düzeyi sınırlı/normal perde-çerçeve sistem betonarme bina modelinin TBDY 2019 ZE yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007 Z4 yerel zemin sınıfı için hesaplanan eşdeğer deprem yüküne göre Kırklareli Merkezi ve İlçelerinin tamamında arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün, DBYBHY 2007'ye göre hesap edilen eşdeğer deprem yüküne göre en az 4,47 kat, en çok 5,43 kat ve tüm ilçelerin ortalamasında 4,92 kat arttığı görülmektedir. TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer yükünün DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan deprem yüküne göre artış miktarı zemin cinsine göre değişim göstermekte olup, zemin kötüleştikçe deprem yükündeki artış miktarı büyümektedir.

## IV. SONUÇ

Çalışma kapsamında incelenen Kırklareli Merkez İlçe ve beldelerindeki 25 mahalle, Kırklareli'nin 7 ilçesi ve beldelerindeki 83 mahalle olmak üzere toplam 108 mahallenin tamamında TBDY 2019'a göre hesaplanan tasarım spektral değerlerinde ve eşdeğer deprem yüklerinde, DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan değerlere kıyasla artış olduğu görülmektedir. Örnek betonarme bina modellerinin deprem hesap sonuçlarına göre spektral değerlerdeki ve eşdeğer deprem yükündeki artış miktarının zayıf zeminlerde daha fazla olduğu görülmektedir.

DBYBHY 2007'ye göre tamamı 4. deprem bölgesinde yer alan Kırklareli ve İlçeleri için aynı zemin türü için hesaplanan eşdeğer deprem yükü, çalışmada incelenen tüm mahallelerde birbirine eşit olup, tek bir değer olmaktadır. TBDY 2019 deprem tehlike haritası kavramı ile birlikte deprem kaynağına olan mesafenin deprem hesaplarına etki etmesi sonucunda aynı zemin türü için çalışmada incelenen farklı konumdaki mahalleler için eşdeğer deprem yükleri birbirinden farklı değerler almaktadır.

2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritasının (TDTH) oluşturulmasına temel teşkil eden deprem kaynakları ve aktif faylara yakın olan Kırklareli'nin güneyinde yer alan yerleşim bölgelerindeki mahallelerde TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün DBYBHY 2007'ye göre arttığı, söz konusu deprem kaynaklarına daha uzak olan Kırklareli'nin kuzeyinde yer alan yerleşim bölgelerindeki mahallelerde TBDY 2019'a göre hesaplanan eşdeğer deprem yükünün de DBYBHY 2007'ye göre arttığı, fakat artış miktarının daha az olduğu görülmektedir. TBDY 2019'a göre eşdeğer deprem yükünde deprem kaynaklarına daha yakın olan Lüleburgaz, Pehlivan köy, Babaeski ve Vize ilçelerinde TBDY 2007'ye göre daha fazla artış, deprem kaynaklarına daha uzak olan Kırklareli Merkez, Pınarhisar, Kofçaz ve Demirköy ilçelerinde daha az artış meydana gelmektedir.

TBDY 2019’de deprem yükü hesabında zemin etkisi kavramı, DBYBHY 2007’ye göre daha gerçekçi yansıtıldığı için iyi zeminden kötü zemine doğru gittikçe eşdeğer deprem yükündeki artış miktarı TBDY 2019’da DBYBHY 2007’den daha fazladır. TBDY 2019’da yerel zemin sınıfları arasındaki deprem yükü değişimi, DBYBHY 2007’ye kıyasla daha belirgindir.

Aktif fay hattına sahip olmamasına rağmen aktif faylara olan yakınlığından dolayı olası yıkıcı depremlerden dolayı olarak etkilenebilecek olan Kırklareli’nde çalışma sonucu DBYBHY 2007’ye göre TBDY 2019 eşdeğer deprem yükünde önemli derecede artışın meydana geldiği yerleşim bölgelerindeki yapı stoğunun performanslarının değerlendirilmesiyle ilgili gelecekte yapılacak daha detaylı çalışmalar depremde olası can ve mal kayıplarının azaltılması açısından faydalı olacaktır.

Yıllardan beri 4. deprem bölgesinde olması sebebiyle deprem riskinin çok az olduğu hatta hiç olmadığı düşünülen Kırklareli’nde, TBDY 2019’a göre hesaplanan deprem yüklerinin DBYBHY 2007’ye göre kötü zeminlerde yaklaşık 6 kat artış göstermesi, yapısal tasarım, kontrol ve imalatında görev alan teknik elemanların sorumluluklarının çok daha önem kazandığını göstermektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] E. Seyrek, “Yeni Türkiye sismik tehlike haritasının Ege Bölgesi için değerlendirilmesi,” *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 414-423, 2020, doi: 10.28948/ngumuh.617268.
- [2] T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2020, 17 Temmuz). *Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tdth.afad.gov.tr/>.
- [3] M. Öztürk, “2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Türkiye deprem tehlike haritası ile ilgili İç Anadolu Bölgesi bazında bir değerlendirme,” *Selçuk-Teknik Dergisi*, c. 17, s. 2, ss. 31-42, 2018.
- [4] E. Keskin ve K. B. Bozdoğan, “2007 ve 2018 Deprem yönetmeliklerinin Kırklareli özelinde değerlendirilmesi,” *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 4, s. 1, ss. 74-90, 2018.
- [5] A. Bozer, “Tasarım spektral ivme katsayılarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre karşılaştırılması,” *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DÜMF) Dergisi*, c. 11, s. 1, ss. 393-404, 2020, doi: 10.24012/dumf.559965.
- [6] V. Başaran, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY 2019) göre Afyonkarahisar için deprem yüklerinin değerlendirilmesi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 18, s. 3, ss. 1028-1035, 2018, doi: 10.5578/fmbd.67739.
- [7] S. Özkat ve A. O. Kuruşçu, “Deprem bölgelerinde yapılacak yığma yapıların tasarımı hakkında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması,” *4. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi (UBAK)*, Yalova, Türkiye, 2019, ss. 117-129.
- [8] G. Tunç ve T. Tanfener, “2007 ve 2016 Türkiye bina deprem yönetmeliklerinin örneklerle mukayesesi,” *3. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişebilirlik*, Ankara, Türkiye, 2016, ss. 1-13.
- [9] A. Amani, S. Sağıroğlu ve A. Doğangün, “Örnek bir yığma bina üzerine 1998, 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması olarak irdelenmesi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 13-26, 2020, doi: 10.17482/uumfd.449775.

- [10] H. Sucuoğlu, “2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde başlıca yenilikler,” *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, c. 1 s. 1, ss. 63-75, 2019.
- [11] H. Karaca, S. M. Oral ve M. Erbil, “Yapısal tasarım bağlamında 2007 ve 2019 deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması, Niğde rneği,” *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 989-903, 2020, doi: 10.28948/ngumuh.667365.
- [12] M. R. Aydın ve A. Günaydın, “elik yapılar açısından Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği taslağına bir bakış,” *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Eskişehir, Türkiye, 2017.
- [13] *Deprem bölgelerinde yapılacak hakkında yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [14] *Türkiye bina deprem yönetmeliği*, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2019.
- [15] TMMOB İnaaat Mühendisleri Odası, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), Eğitim Sunumları Açıklamalar ve Uygulama rnekleri Kısım-I: Genel Konular*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: TMMOB İMO/18/03, 2018, ss.1-376.
- [16] TMMOB İnaaat Mühendisleri Odası, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), Eğitim Elkitabı Açıklamalar ve Uygulama rnekleri Kısım-I: Genel Konular*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: TMMOB İMO/18/02, 2018, ss.1-672.
- [17] *Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 500, 2000.
- [18] *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü TS 498, 1997.
- [19] Structural Analysis for Computer Aided Design Program (Sta4Cad), *Bilgisayar Programı*, Versiyon 14.1, İstanbul, Türkiye: Sta Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik Ltd. şti., 2019.
- [20] Coğrayfa Harita. (2020, 11 Temmuz). *Kırklareli Haritası* [evrimii]. Erişim: [http://cografyaharita.com/hari\\_talarim\\_/4l\\_kirklareli\\_ili\\_haritasi.png](http://cografyaharita.com/hari_talarim_/4l_kirklareli_ili_haritasi.png).



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

## Mikroplastikler ve Çevresel Etkileri

 Murat ARI<sup>a,\*</sup>,  Serdal ÖĞÜT<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Biyokimya Bölümü, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, TÜRKİYE

<sup>b</sup>Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Sağlık Bilimleri Fakültesi Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: muratari60@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.757698

### ÖZET

Plastikler malzemeler, 60 yıl kadar geçmişi olan nispeten genç malzemelerdir ve günümüz teknolojisi sayesinde pek çok çeşidi ile hayatımıza girmiştir. Plastik malzemelerin ilk keşfinden günümüze dek yaklaşık 9 milyar ton civarında plastik üretilmiştir. Bu sayının 2050 yılına kadar 38 milyar ton olacağı ve yaklaşık 13 milyar tonu atık olacağı düşünülürse, "Plastik Çağı'nı" yaşadığımızı söylemek çok da abartı olmayacaktır. Plastikler zaman içinde bozunarak ikincil mikroplastikleri oluşturmaktadır. İlaç, kozmetik gibi sektörlerde kullanılmak üzere üretilen mikroplastikler ise birincil mikroplastikler olarak adlandırılır. Plastik kirliliğinin insanoğluna, suda yaşayan canlılara ve aynı zamanda küresel çevreye büyük tehdit oluşturduğu bilinmektedir. Özellikle son yıllarda potansiyel zararlı etkileri nedeniyle küçük plastikler üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Aynı zamanda toplumda bir farkındalık oluşturmak ve mikroplastik oluşumunu kontrol altına almak için pek çok girişimde bulunulmuştur. Bu kapsamda ülkemizde 2019 yılında plastik poşet kullanımına sınırlama getirilmiştir.

Bu çalışmada, mikroplastiklerin genel özelliklerinden bahsedilip çevreye ve insan sağlığı üzerine olası potansiyel etkileri incelenmiştir. Mikroplastiklerle ilgili daha fazla çalışma yapılması ve çevre sağlığı açısından gerekli önlemlerin alınması gerektiği vurgulanmak istenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroplastikler, Çevre, sağlık, Çevre kirliliği.

## Microplastics and Environmental Effects

### ABSTRACT

Plastic materials are relatively young materials with a history of about 60 years, and many types of microplastics have entered our lives thanks to today's technology. Approximately 9 billion tons of plastic has been produced since the first discovery of plastic materials. Considering that this number will be around 38 billion tons by 2050 and that this number will be about 13 billion tons of waste, it would not be an exaggeration to say that we are living the "Plastic Age". Plastics decompose over time to form secondary microplastics. Microplastics produced for use in sectors such as pharmaceuticals and cosmetics are called primary microplastics. It is known that plastic pollution pose a big threat humans, aquatic creatures and also the global environment. Especially in recent years, studies on small size plastics have intensified due to their potential harmful effects. At the same time, many attempts have been made to raise awareness in society and to control formation of microplastics. In this context, restrictions were imposed on the use of plastic bags in our country in 2019.

In this study, the general properties of microplastics were mentioned and their potential effects on the environment and human health were examined. It was emphasized that more studies should be done on microplastics and necessary measures should be taken in terms of environmental health.

**Keywords:** Microplastics, Environment, Health, Pollution.

# I. GİRİŞ

Plastik ürünler, düşük maliyet, işlenebilirlik ve dayanıklılık konusundaki avantajları sayesinde günlük yaşamda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca tek kullanımlık malzemeler olarak öne çıkmaktadır [1,2]. Plastikler aynı zamanda hafif ve dayanıklı olmaları, esnek ve kolay işlenebilir olmaları, çok yönlü ve kapsamlı, pratik kullanım alanları olması sebebiyle insanlar tarafından yaygın ve yoğun bir şekilde tercih edilmektedir [3]. Son 50 yılda küresel plastik üretimi, yıllık % 8,7 artışla yaklaşık 9,1 milyar ton olmuştur. Avrupa'daki plastik atıkları ile ilgili derneğin raporuna göre, 2016 yılında yaklaşık 335 milyon ton plastik üretilmiştir. Yapılan son araştırmalara göre, herhangi bir canlı yaşamayan ıssız adalardan kutuplara, hatta dünyanın en derin noktası olan Mariana çukuruna kadar birçok yerde plastik parçalarına rastlandığı ortaya çıkmıştır. [4]. Muazzam üretim ve verimlilik yönetimleri nedeniyle, plastik atık sorunu şüphesiz kritik bir çevre sorunu haline gelmiştir. Artan dünya nüfusu ile de plastik kullanımı artarken, plastiklerin atık yönetimi, hala araştırmacılar için bir sorun kaynağı olmaktadır [5, 6]. Bu nedenle kutuplardan ekvatora kadar tüm dünyada karada ve sulara ciddi bir kirlilik oluşturmaktadır. Buna paralel olarak nüfusun yoğun olduğu şehirlerde daha fazla plastik ile kontaminasyonunu göz önünde bulundurarak plastiklerin geri dönüşümlerine önem verilmeli, uygun bertaraf yöntemleri ile çevredeki plastik kirliliği azaltılmalıdır. Özellikle denizdeki tüm çöplerin %60-80 civarını plastikler oluşturmakta, hatta bazı bölgelerde ise bu oran %90-95'e kadar çıkabilmektedir [7,8]. Tüm bu sebeplerden dolayı, bu konuyla ilgili daha fazla bilimsel araştırmalar yapılmalı ve plastik kirliliğini önlemek için alınan önlemler daha da artırılmalıdır. Toplumun plastiklerin kullanımı ile ilgili algısı yavaş yavaş değiştirilmelidir [8]. Plastiklerin genel özellikleri tablo 1'de gösterilmiştir [9].

*Tablo 1. Plastiklerin genel özellikleri (9)*

Hafiftirler ve suda yüzerler.
Bir çeşit polimerlerdir.
Yağı severler. (lipofilik)
İşlenmeleri, şekillendirilmeleri kolaydır.
Yalıtkan özelliktedirler. (Elektrik ve ısıya karşı)
Pek çok kimyasala karşı dayanıklıdır.
Rejenere edilebilirler.
Katkı maddeleri ilave edilerek daha dayanıklı hale getirilebilirler.
Toksik olan kimyasalları, adsorplayarak taşıyabilirler.

Günümüzde plastik kaynaklı kirlilik, tek kullanımlık plastik ürünlerin üretiminin hızla artması nedeniyle en acil çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Plastik malzemelerin sunmuş olduğu kolaylıklar, insanlarda "kullan ve at" kültürünü yaygın hale getirmiştir. Plastik torbalar ve gıda ambalajları gibi pek çok ürün insanlar tarafından kullanıldıktan sonra dakikalar içerisinde çevreye atılır. Bu ürünler, ne yazık ki çevresel ortamlarda yüzlerce yıl boyunca kalabilirler. Çevresel ortamlara karışan plastik atıklar ana hatları itibari ile güneş ışığı ve rüzgarın etkisiyle küçük parçacıklara bölünürler ve mikroplastikleri oluştururlar [10].

## II. MİKROPLASTİKLER

"Mikroplastik" terimi ilk olarak 2004 yılında Thompson tarafından kullanıldı. Mikroplastikler, genel olarak 5 mm'den küçük boyutlu plastik parçalar olarak tanımlanır [11].

Birincil mikroplastikler, genel olarak mikro-boyutta "üretilmiş" ve çevreye karışmış mikroplastikler olarak tanımlanırken; ikincil mikroplastikler ise daha büyük boyutlu "makroplastiklerin" daha küçük boyutlu parçalara bölünmesinden kaynaklanmaktadır [9, 10]. Çevresel ortamlarda en çok rastlanan mikroplastiklerde boyutu 5 mm'den küçük olan sentetik organik polimer parçacıklarıdır [12].



Son yıllarda, mikroplastikler yaygın olarak deniz, tatlı su, kara ortamı ve organizmaların içinde görülmektedir. Mikroplastiklerin sebep olduğu kirliliğe ilişkin endişeler giderek artmaktadır ve çevre ve ekoloji alanında ikinci önemli bilimsel konu olarak yerini almıştır [13]. Mikroplastik kirlilik ile ilgili yayınların sayısı son yıllarda, özellikle 2014'ten sonra hızla artmıştır [14]. 1940'larda toplu plastik üretimi başladığından beri, deniz ortamının mikroplastik kirlenmesi, büyüyen bir sorun haline geldi. Deniz ekosistemi ile kıyaslandığında, kentsel, çevre ve karasal ekosistemlere önemli bir ilgi yoktur [15]. Okyanuslardaki plastik çöplerle ilgili 1970'lerin başlarında ortaya konan ilk raporlar, bilimsel topluluğun çok az dikkatini çekmişti. Sonraki yıllarda, bu tür plastik çöplerin ekolojik sonuçlarına ilişkin verilerin toplanmasıyla, bu konuyla ilgili yapılan araştırmalar ilgi görmeye başladı [16]. Thompson ve arkadaşları, 18 İngiliz sahilinden alınan numunelerin çoğunda ve ayrıca 1960'lara kadar Kuzey Denizi'nden toplanan plankton numunelerinde mikroplastiklerin mevcut olduğunu bulmuşlardır [17]. Deniz çöpi, doğrudan veya dolaylı olarak denizlere ve okyanuslara atılan atıkların gelişigüzel bertaraf edilmesinden kaynaklanır. Nehir sistemlerine doğrudan veya atık su çıkış sızıntı sularında giren plastikler daha sonra denize taşınacaktır. Pek çok çalışma, tatlı su sistemlerinin yüksek tek yönlü akışının plastik çöplerin okyanuslara hareketini nasıl tetiklediğini göstermiştir [18]. Denizler ve çevresinde görülen mikroplastikler tablo 2'de gösterilmiştir [19].

**Tablo 2.** Deniz çevresinde görülen başlıca mikroplastikler [19]

Polimer çeşidi	Kimyasal formülü	Yoğunluk ( $g.cm^{-3}$ )
Yüksek yoğunluklu polietilen	(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	0.917–0.965
Düşük yoğunluklu polietilen		
Polipropilen	(C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	0.90–0.91
Polistiren	(C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>	1.04–1.1
Polivinil klorür	(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl) <sub>n</sub>	1.16–1.58
Poli metil akrilat	(C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	1.17–1.2
Polietilen tereftalat	(C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	1.37–1.45
Poliüretan	(R - (N = C = O)) <sub>n</sub>	1.20
Polyester		1.24–2.3

Boyut olarak; 1 nm-1 mm arası nanoplastik [16,17], 1 mm-5 mm arası mikroplastik, 5 mm–20 mm arası mezoplastik, 20 mm-100 mm arası makroplastik ve 100 mm'den büyükler ise megoplastik olarak sınıflandırılmaktadır [22,23,24]. Fiziksel olarak parçalar, mikropelletler, lifler, filmler ve köpük olmak üzere 5 gruba ayrılmıştır. Temel olarak da polietilen, polipropilen, polivinil klorür, polistiren, poliüretan ve polietilen tereftalat olmak üzere 5 temel çeşidi bulunmaktadır [20]. Mikroplastiklerin fiziksel çeşitleri tablo 3'de gösterilmiştir [21].

**Tablo 3.** Mikroplastiklerin fiziksel çeşitleri [21]

Çeşidi	Boyutu	Şekli	Renği
Parça		Talaş	Farklı renkler
Film	<0.1 mm	Sert ve düz	Farklı renkler
Köpük	0.1 mm çap	Uzun ve ince	Beyaz/sarı
Plastik pelletler	0.25-0.5 mm	Küresel	Beyaz/Gri
	1-02 mm	Silindirik	Renksiz/yarı saydam
Lif	30 µm'dan kalın	Yuvarlak	Beyaz/Şeffaf

Aslında mikroplastiklerin sadece boyutsal değil, aynı zamanda fizikokimyasal özelliklerinin de dikkate alınarak bir tanım yapılmasının daha doğru olabileceği düşüncesinden yola çıkılarak, ilk olarak Verschoor'un [25] 2015 yılında hazırladığı kapsamlı rapor dikkate alınmıştır [25]. Sonraki yıllarda Frias ve Nash'ın [26] 2019 yılında Verschoor'un [25] 2015 yılında hazırladığı rapor da dikkate alınarak "mikroplastikler, suda çözünmeyen, birincil veya ikincil üretim kaynaklı, 1 mm-5 mm arasında değişen, düzenli veya düzensiz şekilli olan herhangi sentetik katı parçacıklar veya polimerik

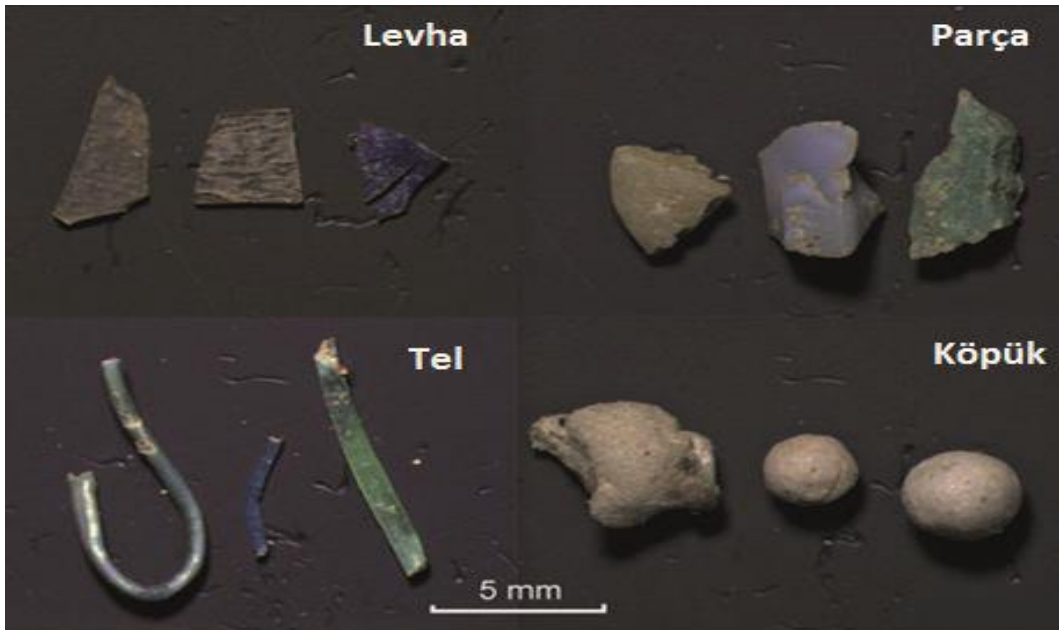
matrikslerdir” tanımı ortaya konulmuştur [26]. Bu tanım, daha kapsamlı olduğu için bundan sonra mikroplastikler hakkında yapılacak bilimsel çalışmalar için de fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Mikroplastiklerin ayrıca karakteristik özelliklerini barındıran pek çok fizikokimyasal özellikleri vardır. Bunlar tablo 4’de özetlenmiştir. [27,28].

**Tablo 4.** Mikroplastiklerin fizikokimyasal özellikleri [27,28]

Hidrofobik özellikte yüzeylerinin olması
Yüzebilme özellikleri
Kirleticileri üzerinde taşıma özellikleri
Poliforlubifeniller gibi kirleticileri absorblayabilme özellikleri
Diklorobifeniltrikolroethan gibi kirleticileri absorblayabilme özellikleri
UV foto-oksidatif bozulma özellikleri
Termooksidatiflik özelliği
Biyoparçalanma ve/veya termal parçalanma özellikleri
Biyofilmlerde biyokütle üzerine bağlayıcılık özellikleri

## A. MİKROPLASTİKLERİN ŞEKİLLERİ

Mikroplastikler çevresel ortamlarda çok farklı şekillerde bulunmaktadır. Genellikle dikdörtgen, tablete benzeyen küresel, silindirik ve disk şekilli olmakla birlikte ağırlıklı olarak uçları yuvarlanmış şekilde küresel ve oval şekilli görülmektedir [29,30]. Sucul ortamlarda, gelgit ve haliç sedimentlerinde olan parçaların çoğu liflerden meydana gelmektedir [31]. Mikroplastiklerin şekilleri, çevrede kaldığı süre ve parçalanma işleminin türüne göre değişkenlik göstermektedir [32]. Şekil 1’de mikroplastiklerin morfolojisi gösterilmiştir [33].



**Şekil 1.** Mikroplastiklerin morfolojisi [33]

## B. MİKROPLASTİKLERİN KAYNAKLARI

Mikroskobik boyutta imal edilen plastikler, kozmetik ve temizlik maddelerinde kullanılan mikro boncuklardır (<1 mm) ve çamaşırların yıkanmasından elde edilen elyaf parçaları, birincil mikroplastikler olarak tanımlanır. Bu parçacıklar çoğunlukla polietilen, polipropilen polistiren, polietilen, tereftalat ve polyesterlerden yapılır. Bu plastikler, tipik olarak yüz temizleyicilerde ve kozmetiklerde kullanılırken, tıpta ilaç vektörleri olarak kullanımları da giderek daha fazla rapor

edilmektedir [34]. Birincil mikroplastikler ayrıca hava püskürtme teknolojisinde kullanılmak üzere üretilmiştir [35]. İkincil mikroplastikler, elde edilen küçük plastik parçaları tanımlayan, hem denizde hem de karada daha büyük plastik döküntülerin parçalanmasından elde edilen mikroplastiklerdir [36]. Birincil ve ikincil mikroplastiklerin çevresel ortamlara karışmasına sebep olan pekçok kaynak bulunmaktadır [37]. Bu kaynaklar tablo 3’de verilmiştir. Günümüzde mikroplastiklerin sucul ortamlardaki ana kaynağı, atık su arıtma tesisi deşarjları olarak bilinmektedir. Denizlerde bulunan atıkların %75’inden fazlasını plastikler meydana getirmektedir [38]. Rutin olarak kullanılan kıyafetler ve maske, peeling gibi kişisel bakım ürünleri her kullanıldığında fazla miktarda mikroplastik kanalizasyona ve dolayısıyla atık su drenajı ile doğal su kaynaklarına geçtiği düşünülürse, tüm bu ürün ve kimyasalları kullanırken ne kadar dikkatli olmamız gerektiği anlaşılmaktadır. Mikroplastikler, doğal su kaynaklarına geçtiğinde, suda yaşayan mikroskobik canlılar ve balıklar için büyük tehlike arz etmektedir. Bu yüzden, deniz ürünlerini fazla tüketen kişilerin besin yoluyla günde ortalama 11 bin mikroplastik parçacığını vücutlarına alabilecekleri tahmin edilmektedir. Bu durum da insan sağlığı açısından tehlike yaratmaktadır [39]. Mikroplastiklerin kaynakları, tablo 4’de özetlenmiştir [38,39,40,41].

*Tablo 4. Mikroplastiklerin kaynakları (38-41)*

---

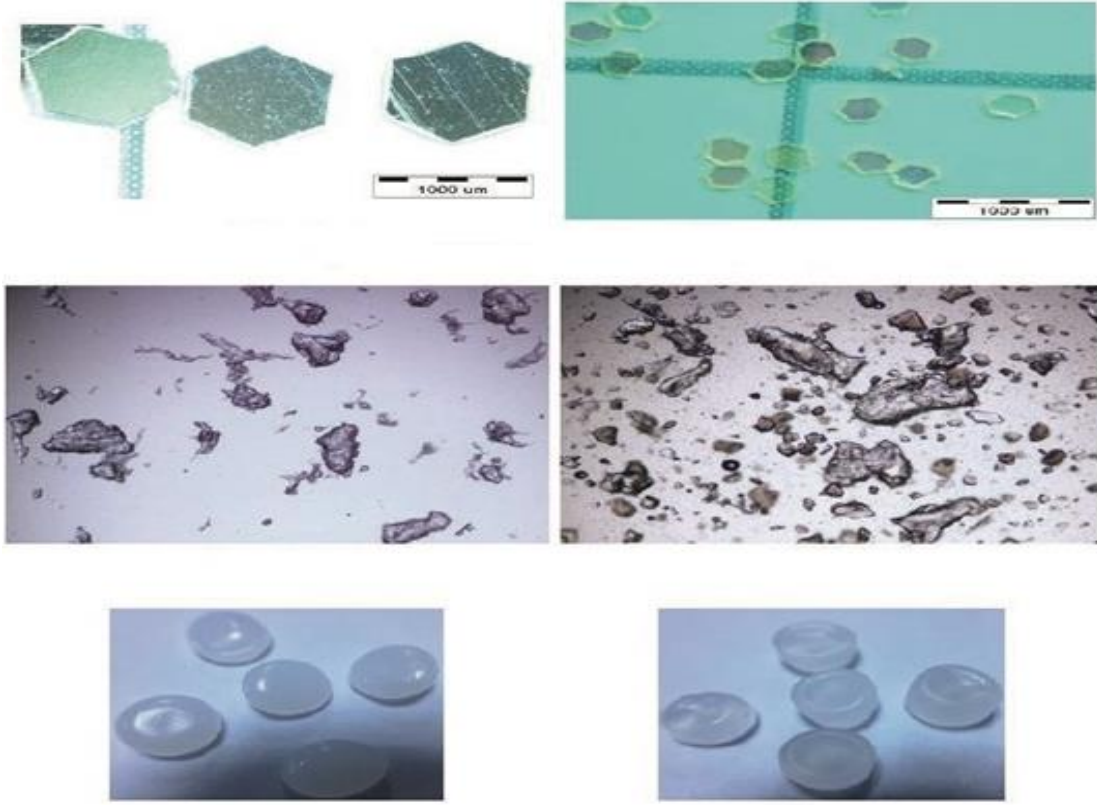
<b>Primer Mikroplastikler</b>
-Tüketicilerden kaynaklanan, mikroplastik içeren özel kişisel bakım, kozmetik ürünlerindeki mikrobuncuklar
-Mikro boncuklar (microbeads), şampuan, sabun, diş macunu, eyeliner, rimel, dudak parlaticısı, güneş kremi, deodorant, yüz temizleme ve peeling jelleri
-Özel tıbbi uygulamalar
-Petrol ve gaz araştırmaları için sondaj sıvıları
-Endüstriyel aşındırıcılar
-Üretim öncesi plastikler, hurda üretimi, plastik geri dönüşümü
-Plastiğin işlenmesi, şekillendirilmesi ve üretilmesi gibi endüstriyel işlemler esnasında çevreye salınan hammaddeler, kalıntılar ve atıklar

---

<b>Sekonder Mikroplastikler</b>
-Plastik malzemelerden kaynaklanan mikroplastikler
-Evlerde mutfak ve dış cephede kullanılan plastik malzemelerin ufalanması ve şekillendirilmesi sonucu ortama salınan mikroplastikler
- Genel çöpler, plastik atıkların boşaltılması
- Düzenli depolama sahalarından ve geri dönüşüm tesislerinden atık toplama sırasındaki kayıplar
- Doğal afetler sırasında plastik malzeme kaybı
-Plastik malçlama
-Toprak kalitesini artırmak için ve kompost katkısı olarak kullanılan sentetik polimer parçacıkları
- Sentetik tesktil ürünlerinden aşınma
-Giyisilerde kullanılan polyamid (naylon), polyester, polar, akrilik gibi sentetik polimerlerden üretilen tekstil malzemeler
-Hijyen ürünlerinden lif salınımı
- Ulaşımından kaynaklanan mikroplastikler (araç lastiği döküntüleri)
- Sentetik polimer bazlı boyalar
-Diğer plastik malzemelerden aşınma
-Organik atıklardaki plastik ürünler
-Kağıt geri dönüşüm tesislerindeki kayıplar
-Balıkçı gemilerinde kaybolan veya atılan malzeme ve su ürünleri tesisleri
-Ticari gemilerinde kaybolan veya atılan malzeme veya kargolar

---

Birincil ve ikincil mikroplastiklere ait bazı görüntüler sırasıyla Şekil 2 ve 3’ de örnek olarak gösterilmiştir [42].



*Şekil 2. Birincil (Primer) mikroplastik kaynakları kozmetik ve diğer malzemelerde kullanılan simler (hegzagonal kesimli) [42]*



*Şekil 3. İkincil (Sekonder) mikroplastik kaynakları [42]*

### C. MİKROPLASTİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Mikroplastikleri sınıflandırabilmek için, meydana geldikleri kaynakları, üretildiği malzemelerin tipi, şekli, yapısı, rengi, aşınmışlık durumu gibi pek çok parametre göz önünde bulundurulmaktadır. Beş mm'den küçük boyutta özel olarak üretilen plastik parçacıklar, birincil (primer) mikroplastikler olarak isimlendirilir. 2017 yılına kadar kozmetiklere dahil edilen, fakat günümüzde sağlık açısından tehlikeli olduğu bilinen, genel olarak tüm dünyada yasaklı olan mikroboncuklar (microbeads), makyaj ve tekstil

malzemelerinde fazlaca kullanılan simler (glitters), endüstriyel üretim peletleri ve geri dönüştürülmüş plastik peletler gibi doğrudan oluşan mikroplastiklere birincil (primer) mikroplastikler denilmektedir [42].

Büyük plastiklerin zamanla ve çeşitli etkileşim mekanizmalarıyla aşınıp parçalanmasıyla oluşan mikroplastikler ise ikincil (sekonder) mikroplastikler olarak isimlendirilir. Plastik malzemelerin dökülmüş parçaları, sentetik tekstil ürünlerinin üstünden kopan mikrolifler, ulaşımdan kaynaklanan araç lastiği döküntüleri, hava tozlarındaki sentetik partiküller, ikincil mikroplastiklere örnek olarak verilebilir. Mikroplastikleri sınıflandırılmasının genel bir özeti tablo 5'te gösterilmiştir [40].

*Tablo 5. Mikroplastiklerin sınıflandırılması [40]*

<b>Sınıflandırma Parametresi</b>	<b>Mikroplastikler</b>
<b>Kaynakları</b>	Kozmetik Ürünler Tekstil Ürünleri Endüstriyel Hammaddeler Ulaşımından kaynaklanan Maddeler
<b>Tipi</b>	Plastik parçaları Plastik filmler Granüler Plastikler İplik lifler Peletler
<b>Şekilleri</b>	Genel Şekli Olanlar Pelet Şeklinde Olanlar Pareça Şeklinde Olanlar
<b>Aşınma Durumu</b>	Bozunmamış Pürüzlü yüzey Doğrusal Kırıklar Yarı paralel çıkıntılar Pürüzsüz Yüzey Bozunmuş ve Çok Bozunmuş Olanlar
<b>Renk</b>	Şeffaf Kristalin Beyaz Açık-Beyaz-Krem Kırmızı, Turuncu Mavi, Opak Siyah, Gri Kahverengi, Yeşil Pembe, Sarı

### **III. MİKROPLASTİKLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ**

#### **A. MİKROPLASTİKLERİN TOKSİK ETKİLERİ**

Plastik atıklar, çok uzun ömürlü ve dayanıklı oldukları için çevreye atıldıklarında uzun yıllar bozunmadan kalabilirler. Ayrıca mikroplastikler antibiyotikler, organoklorlu pestisitler, hormon bozucular gibi toksik organik kimyasalları ve ağır metalleri adsorblayabilme yeteneğine sahiptir [42]. Plastiklerin üretimi sırasında kurşun, bakır, kadmiyum gibi ağır metaller, ftalatlar, bisfenol A gibi toksik etkisi olan maddeler kullanılmaktadır. Bu plastiklerden pek çok etken ile koparak oluşan daha küçük boyuttaki mikroplastikler de aynı ağır metalleri ve toksik maddeleri içerir. Mikroplastiklerin sularda bulunan çeşitli organik ve inorganik toksik maddeleri tutarak yüzeylerinde biriktirebilme özellikleri vardır. Yüzeylerinde tuttuğu bu toksik maddeleri canlılara taşıma potansiyelleri vardır

[43,44]. Mikroplastiklerin en belirgin toksik etkisi sucul ekosistem üzerinedir. Su kaynaklarında görülen çöplerin büyük çoğunluğunu plastikler oluşturmaktadır [44]. Su kuşları (Albatros, martı) balık, midye, kalamar gibi besin maddelerini tüketirken plastik parçacıkları da yutabilmektedir. Su kaplumbağaları da deniz anasıyla beslenirken etrafını sarmalayan plastik poşetleri de yiyecek zannederek yanlışlıkla yutabilmektedir. Nelms ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada avlanmış balık türlerinin gastrointestinal kanallarında mikroplastik parçacıklarına rastlanmış ve bu balıkların avcılara transfer olma potansiyelini vurgulamaktadır [45]. Suda yaşayan canlıların çoğu, kolay parçalanabilir ve yutulabilir olmaları ve yiyeceği besine renk ve şekil bakımından benzemesi sebebiyle mikroplastikleri yiyecek zannederek kolayca yutabilir [46,47]. Günümüzde yapılan pek çok çalışmada mikroplastiklerin bireysel organizmalar ve yapay besin zincirleri üzerindeki olası etkileri araştırılmaktadır. Ayrıca, MP'lerin ve bunlarla ilişkili kirletici maddelerin deniz ürünlerinden insanlara geçişini ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini anlama girişimi henüz bulunmamaktadır. Ancak, mikroplastiklerin ve çevre kirliliğiyle ilgili toksik etki eden içeriklerinin kaderinin, besin zinciri üzerinden izlendiği pek bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Konu ile ilgili çalışmalar, bu konunun üzerine gidilerek yapılmalıdır [48].

Mikroplastikler, çevresel ortamlara insan eliyle taşınabilmektedir. Bunun yanı sıra tatlı su ortamlarında ve hatta çeşme sularında, soluduğumuz havada, toprakta, kutup bölgelerindeki buzullarda, insanın ulaşmasının zor olduğu dağ göllerinde, okyanusun kilometrelerce altındaki dip bölgelerinde görülmüş olması, mikroplastiklerin doğal süreçlerle de taşınabileceğinin göstergesidir [49,50,51]. Kirliliğin boyutunun bu kadar kapsamlı olması nedeniyle başta Amerika ve İsveç gibi ülkeler tedbirler alarak yeni yasal düzenlemelerle plastik tüketimini sınırlandırmaya çalışmaktadır. Ülkemizde ise temel olarak mikroplastikleri hedef almasada çevresel ortamlarda mikroplastik oluşumuna zemin hazırlayabilen plastik poşetlerin kullanımına sınırlama getirilmiş [52] ve alışverişlerde kullanılan poşetler ücretlendirilmiştir. Plastik kirliliğinin artık geri dönüşümle dahi başa çıkılamayacak seviyeye ulaşması, tek kullanımlık plastik ürünlerin kullanımı sonucunda ortaya çıkan kirliliğin hangi boyutta olduğunu ortaya koymaktadır [53].

Mikroplastikler, çevreye homojen olarak dağılmayan özellikle karasal ve sucul ekosistemlerde yaygınlaşmış kirleticilerdir. Her ne kadar güncel çalışmalarda sucul ekosistemlerdeki mikroplastikler üzerine yoğunlaşmış olsa da, karasal ekosistemler mikroplastiklerin sucul ekosistemlere taşınmasında önemli rol oynamaktadır. Zira mikroplastiklerin kullanımı ağırlıklı olarak karasal ekosistemlerde olmaktadır [54]. Örneğin; toprağın içine giren mikroplastikler, toprak içinde depolanabilir ve erozyonla başka bir yere taşınabilirler. Sonrasında da başka çevresel faktörlerle bozunabilir, yeraltı sularına dahi sızabilirler. Toprak içinde yaşayan pek çok canlı da bu sızan mikroplastikleri vücutlarının içine alabilir. Köstebek, sincap gibi canlıların hareketi ile de mikroplastikler başka alanlara geçebilirler [39,41].

Mikroplastiklerin bir diğer önemli çevresel etkisi ise, kara ve deniz canlıları tarafından yiyecek sanılarak mikroplastiklerin tüketilmeleridir. Mikroplastiklere maruz kalan canlıların büyümesi, üremesi ve sağ kalımlarına ilişkin önemli zarar gördükleri bilinmektedir [54,55,56,57,58].

## **B. MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ**

Mikroplastikler, insanlara oral yolla (içme suyu, deniz ürünleri ve diğer gıda maddelerinin tüketimi), dermal yolla ve solunum yoluyla geçebilir [25]. Ayrıca ihtimali düşük gibi olsa da yaralı cildin içlerine doğru nüfuz ederek geçebilir [59]. İnsanların içtikleri ve kullandıkları sularda (çeşme suyu ve şişe su), günlük tükettiği yiyeceklerde (tuzda, balık, kalamar, midye, karides gibi su ürünlerinde, şekerde, balda) ve soda gibi içeceklerde mikroplastiklerin olduğu gözlemlenmiştir [60,61,62]. Cox ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları çalışma, şimdiye kadar mikroplastik kirliliği açısından analiz edilmiş olan maddelerin ihtiyacı kadarını tüketen bir Amerikalı yetişkinin ve çocuğun; yılda 81000-123000 arasında mikroplastiklere maruz kaldığını göstermiştir [63]. Sharme ve Chatterje'nin 2017 yılında yaptıkları çalışmada, mikroplastiklerin vücuda alınmasının insan kromozomlarında mutasyonlar oluşturabileceği ve buna paralel olarak kısırlığa sebep olabileceğini öne sürmüşlerdir. Bunun yanı sıra

obeziteye ve hatta kansere dahi yol açabileceğini bildirmişlerdir [63]. Mikroplastikler, aynı zamanda hücre apoptozisi, oksidatif stres, doku nekrozu gibi biyolojik olaylarda negatif etki göstermektedir. Buna paralel olarak potansiyel bir kanserojen etkisi olabileceği söylenebilir [64]. Schwabl ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada, Avusturya, Finlandiya, İngiltere, İtalya, Japonya, Hollanda, Polonya ve Rusya gibi farklı coğrafik konumlarda bulunan farklı 8 ülkeden olan ve rutin beslenme diyetinde sucul ürünler de bulunan insanlardan alınan dışkı numunelerinde mikroplastikler incelenmiş ve 10 g dışkıda toplam 9-24 adet 50-500 µm boyutlarında mikroplastığın mevcut olduğunu bildirmişlerdir. [65]. Plastik parçalar ile etkileşime giren hücrelerde immün salınımının indüklendiği, buna paralel olarak inflamasyonun oluştuğu gösterilmiştir. Mikroplastikler, aynı zamanda çok küçük boyutlarından dolayı translokasyon olayından sonra değişik organizmalarla etkileşime girip iltihaplanmalara sebep olabilmektedir [61,62]. Mikroplastikler aynı zamanda cilt üzerinde birikerek bazı dermal sorunlara da sebep olabilmektedir [63]. Ayrıca ortamdaki kirleticileri, atmosferden yoğunlaştırarak akciğerlerimizde bazı iltihaplanmalara sebep olabilmektedir [66,67]. Yapılan bazı araştırmalarda, mikroplastiklerin mikroorganizmalarla da etkileşime girip insan vücuduna zarar verdiği, hatta ayrı bir mikrobiyal yaşam alanı dahi oluşturabileceği gösterilmiştir [67,68].

Ayrıca mikroplastiklerin içeriğinde bulunabilen nonilfenol, bisfenol-A gibi kimyasallar, hormonlar üzerinde de olumsuz etkilere sebep olabilirler ve endokrin sisteme zarar verebilirler. Böylece beyin gelişiminin bozulması, cinsel gelişimde sorunlar oluşması, özellikle meme ve prostat olmak üzere kanser hastalığının da artmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden, mikroplastik tehlikesinin aslında ne kadar da yakınımızda olduğu ve ne derece olumsuz sonuçlar doğurabileceği gerçeği, bu konuya dikkat çekilmesi gerektiğinin açık göstergesidir [28].

## **V. SONUC**

Doğaya bıraktığımız her bir plastik parçası, belli bir süre sonra parçalanarak milyonlarca, hatta milyarlarca mikroplastik parçacıklarına dönüşebilmektedir. Söz konusu plastik parçacıkların boyutu ne kadar küçülürse küçülsün polimer özelliğini kaybetmemektedir. Bu yüzden, son dönemde üzerine yoğunlaşılması gereken en önemli konu, çevresel kirleticilerden biri haline gelmiş mikroplastiklerin çevreye verdiği zararı, henüz kaynağındayken, çevresel ortamlar arasında taşınmadan önlemektir. Bunu gerçekleştirebilmemiz, öncelikle toplum olarak çevre bilincimizin, duyarlılığımızın ve farkındalığımızın artması ile mümkün olabilecektir. Rutin hayatımızda kişisel bakımımız için kullandığımız kozmetik ürünlerinde, temizlik için kullandığımız deterjan vb. malzemelerde, tekstil ürünlerinde ve çanta, ayakkabı, otomobil lastiği gibi pek çok tüketici ürünlerinde çevre dostu ürünleri tercih etmeliyiz. Yaşam tarzımızı genel bir revizyondan geçirerek, geri dönüşümü olan malzemeler kullanmaya özen göstermeliyiz. Mikroplastiklerin çevreye ve insana hangi boyutlarda zarar verdiği yapılan pek çok çalışmada gösterilmiştir. Mikroplastiklerin çevreye olan zararlarından dolayı Amerika, Yeni Zelanda, Tayvan, İsveç, Güney Kore gibi ülkelerde birincil mikroplastik kullanımına ilişkin sınırlamalar getirilmiştir. Mikroplastik kullanımı konusunda uluslararası eğilim, toplumda bir farkındalık oluşturarak mikroplastik oluşumunu kontrol altına almaktır. Fakat ülkemizde mikroplastik ve çevreye verdiği zararlara ilişkin çok az çalışma mevcuttur ve belli bir kısıtlama yoktur. En güncel olarak, 2019 yılında plastik poşet kullanımına sınırlama getirilmiştir. Bu açıdan bakıldığında, mikroplastiklerin çevre ve insan üzerine etkileri ile ilgili daha fazla çalışma yapılması, çevre sağlığı açısından gerekli önlemlerin alınması, bu konuda toplum bilincinin geliştirilmesi gerekmektedir.

## **VI. KAYNAKLAR**

[1] D. He, Y. Luo, S. Lu, M. Liu, Y. Song, and L. Lei, "Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks," *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 109, pp. 163-172, 2018.

- [2] M. A. Browne, P. Crump, S. J. Niven, E. Teuten, A. Tonkin, T. Galloway, and R. Thompson, "Accumulation of microplastic on shore lines worldwide sources and sinks," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 45, no. 21, pp. 9175-9179, 2011.
- [3] J. Wang, Z. Tan, J. Peng, Q. Qiu, and M. Li, "The behaviors of microplastics in the marine environment," *Marine Environment Research*, vol. 113, pp. 7-17, 2016.
- [4] X. Peng, M. Chen, S. Chen, S. Dasgupta, H. Xu, K. Ta, and S. Bai, "Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean," *Geochemical Perspectives Letters*, vol. 9, pp. 1-5, 2016.
- [5] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made," *Sci. Adv.*, vol. 3, no. 7, 2017, doi: 10.1126/sciadv.1700782.
- [6] R. Shahabaldin, P. P. Junboun, F. M. D. Mohd, M. T. Shazwin, T. Amirreza, K. Y. Krishna, and K. Hesam, "Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 133, pp. 191-208, 2018.
- [7] C. J. Moore, "Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat," *Environmental Research*, vol. 108, pp. 131-139, 2008.
- [8] Q. Qiu, Z. Tan, J. Wang, J. Peng, M. Li, and Z. Zhan, "Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 176, pp. 102-109, 2016.
- [9] A. A. Koelmans, A. Bakir, G. A. Burton, and C. R. Janssen, "Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: Critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies," *Environmental Science & Technology*, vol. 50, no. 7, pp. 3315-3326, 2016.
- [10] A. A. Koelmans, T. Gouin, R. Thompson, N. Wallace, C. Arthur, "Plastics in the marine environment," *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 33, no. 1, pp. 5-10, 2014.
- [11] H. Bouwmeester, P. C. Hollman, and R. J. Peters, "Potential health impacts of environmental released micro- and nanoplastics in the human food chain production chain: experiences from nanotoxicity," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, no. 15, pp. 8932-8947, 2015.
- [12] V. Hidalgo-Ruz, L. Gutow, R. C. Thompson, and M. Thiel, "Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification," *Environmental Science & Technology*, vol. 46, no. 6, pp. 3060-3075, 2012.
- [13] A. A. Horton, A. Walton, D. J. Spurgeon, E. Lahive, and C. Svendsen, "Microplastics in fresh water and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities," *Sci. Total Environ.* vol. 586, 2017.
- [14] H. Dafu, L. Yongming, L. Shibo, L. Mengting, S. Yang, and L. Lili, "Microplastics in soils: analytical methods, pollution characteristics and ecological risks," *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 109, pp. 163-172, 2018.
- [15] S. Dehghani and F. More, R. Akhbarizadeh, "Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, no. 25, pp. 20360-20371, 2017.
- [16] C. W. Fowler, "Marine debris and northern fur seals: a case study," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 18 no. 6, pp. 326-335, 1987.



- [17] R. C. Thompson, Y. Olsen, R.P, Mitchell, A. Davis, S. J Rowland, A. W. John, A. E. Russell, "Lost at sea: where is all the plastic?" *Science*, vol. 304, no. 5672, pp. 838, 2004.
- [18] M. A Browne, T. S Galloway, and R. C. Thompson, "Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines," *Environmental Science & Technology*, vol. 44, pp. 3404–3409, 2010.
- [19] R. Shabaldin, P. Junboun, D. Mohd Fahdil Md, T. Shazwin Mat, T. Amirreza, Y. Krishna Kumar, K. Hesam, "Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies," *Marin Polluton Bulletin*, vol. 133, pp. 191-208, 2018.
- [20] P. J. Anderson, S. Warrack, V. Langen, J. K Challis, M. L Hanson, M. D. Rennie, "Microplastic contamination in lake winnipeg, Canada," *Environ. Pollut*, vol. 225, pp. 223–231, 2017.
- [21] N. Van der Hal, .A. Ariel, and D. L. Angel, "Exceptionally high abundances of microplastics in the oligotrophic Israeli Mediterranean coastal waters," *Mar. Pollut. Bull*, vol. 116, no. 1, pp. 151–155, 2017.
- [22] J. P.Costa, P. S. Santos, A. C. Duarte, and T. Rocha-Santos, "Nanoplastics in the environment–sources, fates and effects," *Science of the Total Environment*, vol. 566, no. 1, pp. 15-26, 2016.
- [23] D. K. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, and M. Barlaz, "Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments," *Phil Trans Biol Sci*, vol. 364, no. 1526, pp. 1985-1998, 2009.
- [24] N. Hartmann, T. Hüffer, R. C. Thompson, M. Hassellöv, A. Verschoor, A. E. Daugaard, and M. P. Herrling, "Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization frame work for plastic debris," *Environmental Science & Technology*, vol. 53, no. 3, pp. 1039-1047, 2019.
- [25] I. L. N. Bråte, D. P. Eidsvoll, C. C. Steindal, and K. V. Thomas, "Plastic ingestion by Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the Norwegian coast," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 112, no. 1-2, pp. 105-110, 2016.
- [26] J. P. G. L. Frias and R. Nash. "Microplastics: Finding a consensus on the definition," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 138, pp. 145-147, 2019.
- [27] V. Hidalgo-Rulz, L. Gutow, R. C. Thompson, and M. Thiel. "Microplastics in the marine environment: A Review of the methods used for identification and quantification," *Environmental Science & Technology*, vol. 46, pp. 3060-3075, 2012.
- [28] S. L. Wright, R. C. Thompson, and T. S. Galloway, "The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review," *Environmental Pollution*, vol. 178, pp. 483-492, 2013.
- [29] E. Esmeray ve C. Armutçu. "Mikroplastikler, çevre-insan sağlığı üzerine etkileri ve analiz yöntemleri," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, ss. 839-868, 2020.
- [30] A. H. Abu-Hilal and T. H. Al-Najjar. "Plastic pellets on the beaches of the northern gulf of Aqaba," *Aquatic Ecosystem Health and Management*, vol. 12, pp. 461-470, 2009.
- [31] R. C. Thompson, Y. Olsen, R. P. Mitchell, A. Davis, and S. J. Rowland, A. W. John, D. McGonigle, A. E. Russell, "Lost at Sea: Where is all the plastic?" *Science*, vol. 304, pp. 838, 2004.
- [32] M. J. Doyle, W. Watson, N. M. Bowlin, and S. B. Sheavly. "Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific ocean," *Marine Environment Research*, vol. 71, pp. 41-52, 2011.

- [33] A. B. Silva, S. B. Ana, I. J. Celine, J. P. Costa, A. C. Duarte, and T. A. Rocha-Santos, "Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry," *Analytica Chimica Acta*, vol. 1017, pp. 1-19, 2018.
- [34] M. M. Patel, B. R. Goyal, S. V. Bhadada, J. S. Bhatt, and A. F. Amin, "Getting into the brain: Approaches to enhance brain drug delivery," *CNS Drugs*, vol. 23, pp. 35–58, 2009.
- [35] J. G. B. Derraik, "The pollution of the marine environment by plastic debris: A review," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 44, pp. 842–852, 2002.
- [36] P. G. Ryan, C. J. Moore, J. A. Van Franeker, and C. L. Moloney, "Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment," *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, pp. 1999–2012, 2009.
- [37] D. Karen and C. Anja. "Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: Sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects," *Environmental Sciences Europe*, vol. 28, no. 1, pp. 2, 2016.
- [38] R. Aslan. "Mikroplastikler: hayatı kuşatan yeni tehlike," *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi*, c. 6, ss. 66, 2018.
- [39] M. Cole, P. Lindeque, C. Halsband, and T. S. Galloway, "Microplastics as contaminants in the marine environment: A review," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, no. 12, pp. 2588-2597, 2011.
- [40] M. Yurtsever. "Mikroplastikler'e genel bir bakış," *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 17, s. 50, ss. 68-83, 2015.
- [41] K. Duis and A. Coors. "Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects," *Environmental Sciences Europe*, vol. 28, no. 1, pp. 2, 2016.
- [42] C. M Rochman, E. Hoh, T. Kurobe, and S. J. Teh, "Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress," *Scientific Reports*, vol. 3, pp. 3263, 2013.
- [43] D. Brennecke, B. Duarte, F. Paiva, I. Caçador, and J. Canning-Clode, "Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 178, pp. 189-195, 2016.
- [44] A. A. Koelmans, N. H. M. Nor, E. Hermsen, M. Kooi, and S. M. Mintenig, J. De France, "Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality." *Water Research*, vol. 155, pp. 410-422, 2019.
- [45] S. E. Nelms, T. S. Galloway, B. J. Godley, D. S. Jarvis, and P. K. Lindeque, "Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators," *Environmental Pollution*, vol. 238, pp. 999-1007, 2018.
- [46] M. Cole, P. Lindeque, E. Fileman, C. Halsband, R. Goodhead, J. Moger, and T. S. Galloway, "Microplastic ingestion by zooplankton," *Environmental Science & Technology*, vol. 47, no. 12, pp. 6646-6655, 2013.
- [47] I. V. Kirstein, S. Kirmizi, A. Wichels, A. Garin-Fernandez, R. Erler, M. Löder, and G. Gerdt, "Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic vibrio microplastic particles" *Marine Environmental Research*, vol. 120, pp. 1-8, 2016.

- [48] M. Carbery, W. O'Connor, T. Palanisami, "Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health," *Environment International*, vol. 119, pp. 400-409, 2018.
- [49] M. Yurtsever and U. Yurtsever. "Use of a convolutional neural network for the classification of microbeads in urban wastewater," *Chemosphere*, vol. 216, pp. 271-280, 2019.
- [50] E. Guzzetti, A. Sureda, S. Tejada, and C. Faggio, "Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects," *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 64, pp. 164-171, 2018.
- [51] L. Lu, Z. Q. Wan, T. Luo, Z. W. Fu, and Y. X. Jin, "Polystyrene microplastics induce gut microbiota dysbiosis and hepatic lipid metabolism disorder in mice," *Science of The Total Environment*, vol. 631-632, pp. 449-458, 2018.
- [52] Çevre kanunu ve bazı kanunlarda değişiklik yapılmasına dair kanun, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 30621, Kanun No: 7253, 10 Aralık 2018.
- [53] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made," *Science Advances*, vol. 3, no 7, pp. 700782, 2017.
- [54] D. He, Y. Luo, S. Lu, M. Liu, Y. Song, and L. Lei, "Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks," *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 109, pp. 163-172, 2018.
- [55] M. C. Rillig, L. Ziersch, and S. Hempel, "Microplastic transport in soil by earth worms," *Scientific Reports*, vol.7, pp. 1362, 2017.
- [56] R. R. Hurley and L. Nizzetto, "Fate and occurrence of micro(nano) plastics in soils: Knowledge gaps and possible risks," *Current Opinion in Environmental Science&Health*, vol. 1, pp. 6-11, 2018.
- [57] M, Thiel, G. Luna-Jorquera, R. Álvarez-Varas, C. Gallardo, I. A. Hinojosa, N. Luna, D. Miranda-Urbina, N. Morales, N. Ory, A. S. Pacheco, M. Portflitt-Toro, and C. Zavalaga, "Impacts of marine plastic pollution from continental coasts to subtropical gyres-fish, sea birds, and other vertebrates in the SE pacific," *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, no. 238, 2018, doi: 10.3389/fmars.2018.00238.
- [58] S. Y. Au, T. F. Bruce, W. C. Bridges, and S. J. Klaine, "Responses of hyalella aztecatu acute and chronic microplastic exposures," *Environmental Toxicology and Chemistry*34, vol. 24, no. 11, pp. 2564-2572, 2015.
- [59] R. Lehner, C. Weder, A. Petri-Fink, and B. Rothen-Rutishauser, "Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health," *Environmental Science&Technology*, vol. 53, no. 4, pp. 1748- 1765, 2019.
- [60] M. Kosuth, S. A. Mason, and E. V. Wattenberg, "Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt," *PloS one*, vol. 13, no. 4, 2018.
- [61] C. M. Rochman, E. Hoh, T. Kurobe, and S. J. Teh, "Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress," *Scientific Reports*, vol. 3, pp. 3263, 2013.
- [62] M. Yurtsever, "Microplastic pollution threat in table salt that an abiotic sea product," *Su Ürünleri Dergisi*, vol. 35, no. 3, pp. 243-249, 2018.

- [63] K. D. Cox, G. A. Covernton, H. L. Davies, J. F. Dower, F. Juanes, and S. E. Dudas, "Human consumption of microplastics," *Environmental Science & Technology*, vol. 53, no. 12, pp. 7068-7074, 2019.
- [64] L. Lu, T. Luo, Y. Zhao, C. Cai, Z. Fu, and Y. Jin. "Interaction between microplastics and microorganism as well as gut microbiota: A consideration on environmental animal and human health," *Science of the Total Environment*, vol. 667, pp. 94-100, 2019.
- [65] B. Liebmann, S. Köppel, P. Königshofer, T. Bucsics, T. Reigerber, T. Reiberger, and P. Schwabl, "Assessment of microplastic concentrations in human stool – final results of a prospective study," presented at International Conference On Emerging Contaminants (EmCon), Oslo, Norway, 2018.
- [66] J. Wang, Z. Tan, J. Peng, Q. Qiu, and M. Li, "The behaviors of microplastics in the marine environment," *Marine Environment Research*, vol. 113, pp. 7-17, 2016.
- [67] L. Van Cauwenberghe, and C. R. Janssen, "Microplastics in bivalves cultured for human consumption," *Environmental Pollution*, vol. 193, pp. 65-70, 2014.
- [68] S. L. Wright and F. J. Kelly, "Plastic and human health: A micro issue?" *Environment Science Technology*, vol. 51, no. 12, pp. 6634-6647, 2017.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Normalizasyon Yöntemlerinin RNA- Seq Verileri Üzerinde Çıkarılan Gen Birlikte İfade Edilme Ağlarının Performansına Etkisi

 Mustafa Özgür CİNGİZ<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE*

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [mustafa.cingiz@btu.edu.tr](mailto:mustafa.cingiz@btu.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.803846

### ÖZET

Protein sentezi sürecinde meydana gelen farklılaşmaların metabolik hastalıklar, kanser gibi kompleks hastalıklara neden olduğu farklı çalışmalarda belirtilmiştir. Protein sentezindeki değişimlerin anlaşılması için proteinleri oluşturan genlerin belirlenmesi ve bu genlerin diğer genlerle ilişkilerin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Yeni nesil dizileme teknikleriyle hastalıklara neden olan moleküler düzeyde ilişkilerin doğruluklu olarak belirlenmesi kolaylaşmıştır. Gen birlikte ifade edilme (GBİE) ağları düzenleyen-düzenleyici ilişkisi içermeden benzer biyolojik süreçlere katılan genler arasındaki ilişkileri araştırmacılara göstermektedir. Çalışmamızda RNA-Seq verileri kullanılarak prostat kanseriyle ilişkili GBİE ağları elde edilmiştir. RNA- Seq verileri farklı nükleotit uzunluğundaki genlerden ve farklı sayıda okumalar içeren örneklerden oluştuğu için normalizasyon teknikleri moleküler ilişki çıkarımında önem taşımaktadır. Çalışmamızda gen birlikte ifade edilme ağları ham veri ve farklı iki normalizasyon yaklaşımı olan M- Değerinin Kırpılmış Ortalaması (MDKO), Göreceli Log İfadesi (GLI) hesaplamalarıyla ayrı ayrı oluşturulmuş veriler üzerinde çıkartılarak örtüşme analizi ve topolojik performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Örtüşme analizine göre normalize edilmiş RNA- Seq verileri kullanarak elde edilmiş gen birlikte ifade edilme ağlarının ham verilere göre daha fazla literatürde bulunan ilişkileri tahmin ettiği gözlemlenmiştir. İki normalizasyon yöntemiyle elde edilen GBİE'lere ait örtüşme analizi performans metrikleri değerleri ise birbirlerine yakın çıkmıştır. Topolojik değerlendirme sonuçlarına göre normalize edilmiş veriler üzerinde elde edilen GBİE ağlarının ölçeksiz ağ tanımına daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmamızda aynı zamanda ham ve normalize edilmiş veriler üzerinde GBİE ağ çıkarım algoritmaları olan C3NET, ARACNE ve WGCNA yaklaşımlarının performansları da karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** RNA- Seq, Normalizasyon, Gen Ağı Çıkarımı, Gene Birlikte İfade Ağları

## Effect of Normalization Methods on the Performance of Gene Co-expression Networks Inferred on RNA-Seq Data

### ABSTRACT

Different studies prove that differentiation on protein synthesis causes different metabolic disorders such as cancer and diabetics. The inference of disease related genes and to derive their interactions enable us to understand the differentiation on protein synthesis. Next generation sequencing techniques can reveal relations of diseases more precisely at molecular level. Gene co-expression networks can reveal interactions between genes without regulator-regulatee information. We utilized RNA- Seq data to infer gene co-expression networks of prostate cancer in our study. RNA- Seq data consists of genes whose nucleotide size may be different from sample to sample. Sample sizes of RNA- Seq data also vary for each samples. RNA- Seq data normalization is an important task to infer robust and reliable gene co-expression networks. We utilized normalized RNA- Seq

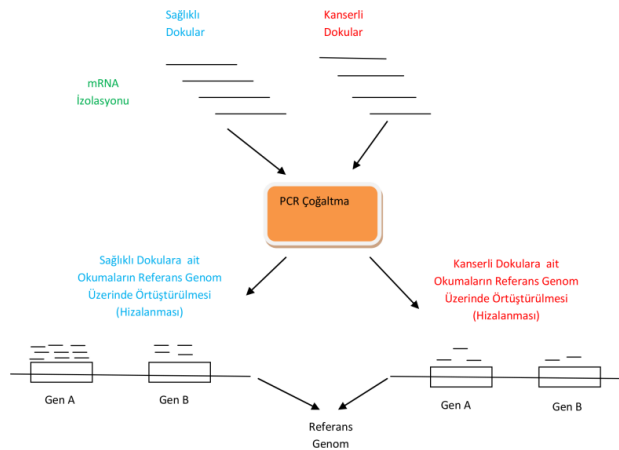
data that are obtained using two different normalization methods ,which are Trimmed Mean of M- values (TMM) and Relative Log Expression (RLE), and raw RNA- Seq data to infer gene co-expression networks for the performance comparison. We applied overlap and topological analyses to evaluate the performance of raw data based GCN, normalized data based GCNs in our study. Normalization on RNA-Seq data leads to predict more validated gene- gene relations, which are evaluated in overlap analysis, than gene- gene relations on raw dataset. Two normalization methods based gene co-expression networks present similar performance results in overlap analysis. GCNs that are derived from TMM and RLE normalizations resemble scale free topology more than raw based GCN in topological assessment. We also compare the performance results of gene network inference algorithms, which are C3NET, ARACNE and WGCNA, on raw and normalized datasets.

**Keywords:** RNA- Seq, Normalization, Gene Network Inference, Gene Co-expression Networks

## I. GİRİŞ

Hastalıklara neden olan genlerin keşfi ve bu genler arasındaki ilişkiler sonucunda ortaya çıkan biyolojik süreçler hastalıkları anlamak açısından önem taşımaktadır. Yeni nesil dizileme teknikleri ile elde edilen veriler hücrelerde farklı fenotiplere neden olan proteinler ve o proteinlerle ilişkili genlerin keşfinde sıklıkla kullanılmaktadır. Yeni nesil dizileme tekniklerinde ilk ve en sık kullanılan veri kümeleri mRNA gen ifadesi verileridir. Farklı fenotiplere ait örneklerdeki mRNA ifade değerlerindeki değişimler kullanılarak hastalıklara ait farklı ifade edilen genler (differentially expressed genes) belirlenebilmekte ve hastalıkla ilişkili genler çıkarılmaktadır [1]. Dizileme verileriyle farklı biyolojik örneklerdeki mRNA değerleri kullanılarak gen- gen, transkripsiyon faktörü- gen, miRNA- gen gibi ilişkiler belirlenerek hastalıklara neden olan ilişkileri molekül seviyede anlaşılmasını sağlamaktadır [2].

RNA-Seq analizi transkriptoma kapsamlı bir bakış açısı sağlamanın yanı sıra RNA'yı üreten DNA alanlarının belirlenmesi ve bu alanların genlerle ilişkilendirilmesinde de sıklıkla kullanılmaktadır. RNA-Seq analizi, RNA moleküllerinden DNA dizilimi parçalarını elde etmeye yarayan deneysel adımları içerir. RNA-Seq ile genom üzerinde genlere ait daha keşfedilmemiş gen izoformlarının belirlenmesi mümkündür [3]. RNA-Seq analiziyle tek nükleotit polimorfizmi, mutasyon, yeni gen izoformların keşfi ve gen birleşimi gibi pek çok çalışma alanında kullanılmaktadır [4]. RNA- Seq analizinin temel adımları Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu örnek aynı zamanda sağlıklı ve kanserli dokulardan alınan örneklerin fenotiplere göre okuma sayılarındaki değişimi de sunmaktadır. Kanserli ve normal dokulardan RNA izolasyonu ile hücrelerden çıkarıldıktan sonra RNA'lar, genellikle mRNA'lar, parçalanmasıyla fragman denilen küçük parçalarına ayrılır. Tersine transkripsiyonla RNA parçaları ile cDNA'lar oluşturulur ve Polimeraz Zincirleme Tepkimesiyle 10-100 milyonlarca çoğaltılarak okumalar (read) oluşturulur. Okuma 25-125 baz çifti uzunluğundaki DNA parçalarıdır ve referans genomla örtüştürülerek genome üzerindeki ilişkili olduğu genler bulunur [4-7].



**Şekil 1.** RNA- Seq analiz adımları

Literatürde hastalıklara göre farklı ifade edilen genlerin keşfinde mRNA gen ifadesi verileriyle birlikte RNA- Seq verilerini de kullanan pek çok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalarda RNA- Seq verileriyle farklı fenotiplere neden olan genler bulunarak farklı biyolojik veri setleri kullanılarak elde edilen genlerle karşılaştırılmakta veya entegre edilerek hastalıkla ilişkili aday genler belirlenmektedir [8-10].

Fenotiplerin belirlenmesinde sadece farklı ifade edilen genlerin belirlenmesi yetersiz kalabilmektedir. Hastalığa neden olan biyolojik süreçlerde yer alan ilişkili genlerin belirlenmesiyle hastalığın biyolojik değerlendirilmesi daha doğruluklu yapılmaktadır. Birbirine ilişkili genlerde düzenleyici- düzenlenen bilgisi bulunuyorsa bu ağlar gen düzenleyici ağ, bulunmuyorsa gen birlikte ifade edilme ağı (GBİEA, gene co-expression network) olarak adlandırılmaktadır. mRNA gen ifadesi verilerinde olduğu gibi RNA-Seq verileri de kullanarak gen- gen ilişkilerini içeren gen ağları literatürde son yıllarda moleküler seviyede ilişkilerin incelenmesinde kullanılmaktadır [10].

RNA- Seq ham okuma verileri veri kümesindeki örnekler sayısına ve genlerin uzunluğuna göre değişmesi nedeniyle normalize edilerek çalışmalarda kullanılmaktadır. Aghababazadeh [11] kütüphane boyutu ve örneklerdeki gürültüyü gidermek için normalizasyon yöntemlerini kullanarak farklı ifade edilen genlerin analizini göğüs kanseriyle ilgili mRNA mikrodizin verileri, RNA- Seq verileri ve RNA- Seq simülasyon verileri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Smid ve arkadaşları [12] Kanseri Genom Atlas (The Cancer Genome Atlas, TCGA) verileri üzerinde farklı ifade edilen genlerin bulunmasında normalizasyon yöntemlerini karşılaştırmıştır. Robinson [13] karaciğerde farklı fenotipe neden olan RNA- Seq verileri üzerinde farklı ifade edilen genlerin çıkarımı için normalizasyon yöntemi seçiminin etkisini incelemiştir [14]. Dillies [15] ve arkadaşları insan, *a. fumigatus* ve *m. musculus* organizmalarına ait ham ve normalize edilmiş RNA- Seq verileri üzerinde farklı ifade edilen genleri bulmaya çalışmışlardır. İlgili çalışmada da normalizasyon işlemi gerçekleştirilen verilerin ham verilerden daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Mandelboum ve arkadaşları 35 farklı RNA- Seq veri kümesinde farklı normalizasyon yöntemleri ve ham veriyi kullanarak karşılaştırma yaparak gen kümesi zenginleştirme analizinde yanlış pozitif tahmin sayılarının MDKO ve GLİ normalizasyonu kullandığında azaldığını sonucuna varmıştır [16]. Bir başka çalışmada iki farklı RNA- Seq veri kümesi üzerinde farklı ifade edilen genlerin keşfinde normalizasyon yöntemleri karşılaştırılmış ve normalizasyon yöntemlerinin farklı ifade edilen genlerin keşfine etkisinin kısıtlı olduğu sonucu ortaya konmuştur [17]. Benzer bir çalışma zebra balığına ait RNA- Seq verileri üzerine yapılarak farklı ifade edilen genlerin normalize verilerle daha başarılı bir şekilde keşfedildiği belirtilmiştir [18]. Paşmina keçisine ait RNA- Seq verileri ile paşmina keçisine ait özel yünün diğer hayvanlardaki biyolojik süreçlerden ayıran farklı ifade edilen genleri MDKO normalizasyonu kullanılarak elde edilmiştir [19]. Bir diğer çalışmada RNA- Seq verileri üzerinde sadece MDKO normalizasyonu yapıldıktan sonra gen düzenleyici ağlar elde edilerek yeni transkripsiyon faktör- gen ilişkileri bulunmuştur [20].

RNA Seq verileri üzerinde normalizasyon gerçekleştiren çalışmalar büyük çoğunlukla farklı ifade edilen genlerin keşfi için kullanılmıştır. Belirttiğimiz çalışmalarda M- değerlerinin kırılmış ortalaması (MDKO) ve Göreceli log ifadesi (GLİ) normalizasyon yöntemleri total okuma sayısı normalizasyonu, üst çeyrek normalizasyonu, medyan normalizasyonu, örtüşen milyon adet okuma sayısı normalizasyonu gibi farklı normalizasyon yöntemlerinden daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [12-16].

Normalizasyon yöntemlerinin RNA- Seq verileri üzerinde GBİEA çıkarımına etkisi üzerine çalışmalar yetersizdir. Çalışmamız normalizasyonun GBİEA'ların performansına etkisini incelediği için özgün bir çalışmadır. Farklı ifade edilen genlerin belirlenmesiyle ilgili tüm çalışmalarda en başarılı iki normalizasyon yöntem olan GDİ ve MDKO çalışmamızda kullanılarak GBİEA çıkarımları gerçekleştirilmiştir. Normalizasyonun GBİEA'ların performansına etkisini gözlemleyebilmek için çalışmamızda ham RNA - Seq verileri kullanılarak da GBİEA çıkarımı yapılmıştır. Tüm sonuçlar literatür verileri kullanılarak örtüşme ve topolojik analizlere göre değerlendirilmiştir.

Giriş bölümünden sonra malzeme ve yöntem bölümünde çalışmamızda kullanılan veri kümesi, GBİEA çıkartma algoritmaları ve normalizasyon tekniklerine yer verilmiştir. Bölüm 3'te GBİEA'ların

örtüşme analizi ve topolojik değerlendirilmesi yapılmıştır. Bölüm 4'te ise sonuçlarımız özetlenmiş ve literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırılarak değerlendirmemiz tamamlanmıştır.

## **II. MATERYAL VE METHOD**

### **A. VERİ KÜMESİ**

Çalışmamızda The Cancer Genome Atlas (TCGA) [21] projesinin prostat kanseriyle ilişkili RNA-Seq veri kümesi GBİE ağları çıkarımında kullanılmıştır. TCGA veri kümesi 495 prostat kanseri örnekten oluşmakta ve her bir örneğin 20,502 gen parçası (probe) içermektedir. TCGA veri kümesi normalizasyon uygulanmamış ham verilerden oluşmaktadır.

### **B. GEN BİRLİKTE İFADE EDİLME AĞI ÇIKARIM ALGORİTMALARI**

GBİEA çıkarımında regresyon tabanlı, Bayes tabanlı ve bilgi teorisi tabanlı yaklaşımlar sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmamızda bilgi teorisi tabanlı üç farklı algoritma ile gen ağı çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Kullanılan gen ağı çıkarım algoritmalarından ortak bilgi değeri (mutual information) ile gen ağı çıkaran ARACNE ve C3NET algoritmalarının ön adımı olan Relevance Network yaklaşımı da ayrıca açıklanmıştır. Gen ağı çıkarımında kullandığımız bir diğer algoritma ise ilişki skoru değerine göre ağ oluşturan WGCNA algoritmasıdır.

*Relevance Network (RelNet)*: RelNet, RNA-Seq verileri üzerinde tüm gen ikilileri arasında ortak bilgi değeri hesaplayarak ilişkileri belirler. Denklem 1'de görüldüğü gibi X ve Y genlerinin arasındaki ortak bilgi değeri çıkarım formülü gösterilmiştir. Ortak bilgi değeri bir değişkenin bilgi değerinin bir başka değişkene göre değişimini entropi hesabıyla göstermektedir. RelNet'te eşik değeri belirlenmesi için veriler permütasyon test için yüzlerce/binlerce defa karıştırıldıktan (shuffle) sonra eşik ilişki değeri belirlenir [22]. Eşik değerinden büyük ortak bilgi değerine sahip gen çiftleri ile GBİEA oluşturulur. Denklem 1'e göre X ve Y değişkenlerinin tüm değerleri göz önüne alınarak X ve Y'nin birleşik olasılık (p(x,y)) değeri, X ve Y'nin olasılık değerlerini (p(x) ve p(y)) kullanılarak ortak bilgi değeri çıkartılmaktadır. Ortak bilgi değeri bir rassal değişkenin başka bir rassal değişken ile değerinin belirlenebilmesi durumunu göstermektedir ve değişkenler arası doğrusal olmayan ilişkileri de belirleyebilmektedir.

$$MI(X, Y) = \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} p(x, y) \log \frac{p(x, y)}{p(x)p(y)} \quad (1)$$

*Conservative Causal Core Networks(C3NET)*: İki adımdan oluşmakla birlikte ilk adımı RelNet yaklaşımını içermektedir. Genler arasındaki ilişkiler ortak bilgi değeriyle hesaplandıktan sonra ortak bilgi değeri için eşik değeri belirlenmesi için permütasyon test uygulanır. Belirlenen eşik değerinin altında ortak bilgi değerine sahip genler arasındaki ilişkiler GBİEA oluşumunda kullanılmaz.

İkinci adımda bir genin sadece en yüksek ortak bilgi değerine sahip gen ile ilişkisinin belirlenip diğer genlerle olan ilişkilerinin elenerek gen ağı oluşturulmaktadır. Böylece ikinci adımda en yüksek ortak bilgi değerine göre eleme işlemi gerçekleştirilmiş olur. C3NET algoritması için c3net R paketi [23] kullanılarak GBİEA çıkarımı gerçekleştirilmiştir. C3NET algoritmik karmaşıklık açısından basit ve başarılı bir algoritma olduğu için çalışmamızda kullanılmıştır.

*Accurate Cellular Networks (ARACNE)*: C3NET gibi ilk adımı RelNet yaklaşımından oluşmaktadır. Permütasyon testi ile genler arası ortak bilgi değeri için bir eşik değeri hesaplanır. İkinci adımda ise dolaylı ilişkilerin elenmesiyle geride kalan gen- gen ilişkilerinin seçilmesiyle gen ağı oluşturulur.

$$MI(X, Z) \leq \argmin \{MI(X, Y), MI(Y, Z)\} \quad (2)$$



Denklem 2'ye göre X ve Z genleri arasındaki ilişkinin iki genin de Y geniyle olan ilişkisinden dolayı olarak ortaya çıkıp çıkmadığı kontrol edilmiştir. X ile Y veya Y ile Z genleri arasındaki ortak ilişki değerlerinden en küçük olanı X ile Z genleri arasındaki ortak ilişki değerinden büyükse X ile Z arasındaki ilişki dolaylı ilişki olarak belirlenir ve ağ çıkarımında kullanılmaz. ARACNE dolaylı ilişkisi olan gen ilişkilerini eleterek daha kuvvetli ilişkilerle bir GBİEA elde etmeye çalışmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda ARACNE ile elde edilen GBİEA'ların farklı değerlendirme tekniklerine göre başarılı olduğu gözlemlenmiştir [6,24]. ARACNE algoritması ikinci adım olarak dolaylı ilişkileri elemiştir. ARACNE algoritması için minet R paketinden yararlanılmıştır. [25,26]

*Weighted Gene Co-expression Network Analysis (WGCNA)*: WGCNA bundan önce anlatılan üç gen ağı çıkarım yaklaşımından farklı olarak ortak bilgi değeri yerine genler arasındaki ilişki skorunu Denklem 3'te gösterildiği gibi Pearson ilişki katsayısı formülüyle hesaplamaktadır. Denklemde x ve y genlerinin farklı örneklerdeki değerleri, ortalamaları ve bu değerlerin kareleri kullanılarak Pearson ilişki katsayısı hesaplanmaktadır.

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\sum x_i^2 - n\bar{x}^2)(\sum y_i^2 - n\bar{y}^2)}} \quad (3)$$

WGCNA GBİEA çıkarımında ölçeksiz ağ (scale free network) tanımına uygun ağlar belirlemek için ilişki skoru eşik değeri belirler. Ölçeksiz ağ tanımına uyması için Pearson ilişki katsayılarının belirli sayıda üssü alınarak GBİEA oluşturulmaya çalışılır. WGCNA R paketi kapsamlı bir paket olmakla birlikte GBİEA çıkarımının dışında Pearson ilişki değerleri kullanılarak birbiriyle ilişki modüllerin bulunması ve bu modüllerin biyolojik süreçlerle incelenmesi gibi farklı çalışmalarda kullanılmaktadır [6]. WGCNA algoritması için aynı isimli R paketi [27] çalışmamızda kullanılmıştır.

## C. NORMALİZASYON YÖNTEMLERİ

RNA-Seq verileri dizileme sonucunda genlerle eşleşen okuma sayılarını göstermektedir. Burada okuma sayılarını etkileyen iki önemli faktör bulunmaktadır. Bunlardan ilki RNA- Seq verilerindeki toplam okuma sayısının örnekten örneğe değişebilmesidir. İkinci önemli faktör ise uzun nükleotit diziliminden oluşan genlere ait okuma sayılarının kısa nükleotit diziliminden oluşan genlere ait okuma sayılarından fazla olabilmemesidir.

Çalışmamızda ham okuma verileri, M- değerlerinin kırılmış ortalaması (MDKO)ve Göreceli Log İfadesi (GLİ) normalizasyon yöntemleri ayrı ayrı kullanılarak elde edilmiş GBİEA'ların performansları karşılaştırılmıştır.

### C. 1. M- Değerinin Kırılmış Ortalaması (MDKO) Normalizasyonu

RNA- Seq verilerinde bir örnekteki toplam okuma sayısı, okuma sayısı fazla olan az sayıda gene ait okuma sayısından oldukça etkilenmektedir. Bu nedenle normalizasyon gerçekleştirilmeyen durumda örnekler arasında farklı ifade edilen genlerin bulunması ve genler arasındaki ilişkilerin çıkarılması problematiktir. MDKO, okuma sayısı fazla olan az sayıdaki genler ile ve az okuma sayısı olan genlerin toplam okuma sayısına etkisini normalize etme varsayımına dayanmaktadır. MDKO, Log-Örnek Değişikliği (M-değeri) ve Mutlak İfade Seviyesi (A- değeri) gibi iki metriği kullanarak normalizasyon gerçekleştirmektedir. Bir genin M-değeri bir örneğin referans örneğe göre okuma sayısındaki değişimini gösterirken, A-değeri ise genin örnek ve referans değerdeki ortalamasını belirtmektedir. Referans örnek belirlenirken tüm örneklerdeki toplam okuma sayıları küçükten büyüğe sıralandıktan sonra kutu grafiğinde üçüncü çeyrek (Q3) değere karşılık gelen okuma değeri referans örnek değeri olarak belirlenir.

$$M_g(j, r) = \log_2 \left( \frac{K_{gj}}{D_j} \right) - \log_2 \left( \frac{K_{gr}}{D_r} \right)$$

$$A_g(j, r) = 0.5 * (\log_2 \left( \frac{K_{gj}}{D_j} \right) + \log_2 \left( \frac{K_{gr}}{D_r} \right))$$
(4)

$G$  genine ait  $M$  ve  $A$  değerleri Denklem 4'de gösterilmiştir.  $K_{gj}$  değeri  $g$  geninin  $j$  örneğindeki okuma sayısını,  $K_{gr}$  değeri  $g$  geninin referans örnekteki okuma sayısını,  $D_j$   $j$  örneğindeki toplam okuma sayısını,  $D_r$  referans örnekteki toplam okuma sayısını göstermektedir. Genlerin okuma değerleri kullanıcı tarafından belirlenen  $M$  ve  $A$  değerlerinden düşük veya yüksek ise genlerin okuma değerleri sıfır olarak atanır. Örneğin  $M$  değeri %10 olarak belirlendiği takdirde tüm genlerin  $M$  değerleri belirlendikten sonra bu değer en yüksek %10 ve en düşük %10'luk diliminden  $M$  değerine sahip olan genler veri kümesinden çıkartılır ve GBİEA oluşumunda kullanılmamaktadır.

$$w_g(j, r) = \left( \frac{D_j - K_{gj}}{D_j K_{gj}} + \frac{D_r - D_{gr}}{D_r D_{gr}} \right)$$

$$f_j = \frac{\sum_{g \in G} w_g(j, r) \cdot M_g(j, r)}{w_g(j, r)}$$
(5)

Denklem 5'te  $g$  tüm genleri,  $M_g(j, r)$  değeri  $g$  geninin  $j$  örneğindeki  $M$ - değerini,  $w_g(j, r)$  değeri  $g$  genin  $j$  örneği ve  $r$  referans değerlerine göre aldığı yeni normalizasyon katsayı değerlerini göstermektedir. Bu hesaplama  $g$  geninde olduğu gibi tüm genler için hesaplandıktan sonra  $f_j$  düzeltme değeri elde edilir ve bu değer  $j$  örneğindeki tüm genlerin okuma sayılarına uygulanarak MDKO normalizasyonu gerçekleştirilmiş olur. Çalışmamızda MDKO normalizasyonu için edgeR R paketi [28] sabit tanımlı  $M$  ve  $A$  değeri parametreleriyle birlikte kullanılmıştır.  $M$  değeri için sabit parametre değeri %30,  $A$  değeri için ise %5 olarak belirlenmiştir. Buna göre  $M$  değeri %30'luk üst ve alt sınırlarda olan genler ile  $A$  değeri %5'in üstünde ve altında olan genler normalizasyonda kullanılmamaktadır.

## C. 2. Göreceli Log İfadesi (GLİ) Normalizasyonu

Genlerin okuma sayıları farklı örneklerdeki ifade değerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Farklı fenotiplere veya zamana göre belirleyici olmayan genlerin okuma sayısı örnekler için düzeltme değerleriyle orantılıdır. GLİ okuma sayılarını, ifade seviyesi ve sıralama derinliği ile orantılı olduğu varsayımına dayanmaktadır. GLİ genlerin okuma değerlerinin aynı genlerin tüm örneklerdeki okuma değerlerinin geometrik ortalamasına oranını alarak normalizasyon işlemi gerçekleştirir. Örneklerin düzeltme faktör değeri ( $C_j$ ),  $j$  örneği için düzeltme değeri, hesaplanırken örnekte geçen tüm genlerin okuma sayısını aynı genlerin tüm örneklerdeki geometrik ortalamasına bölünmesiyle elde edilen değerlerin medyan değeri olarak elde edilmektedir. Buradaki yaklaşımla farklı durumlarda sıklık değeri istatistiksel olarak değişmeyen genlerin tüm örneklerdeki gen okuma sayıları birbirine benzeyecek ve denklem 6'da ilgili genler için sonuç sıfıra yakınsayacaktır. Denklem 6'da  $j$  örneğinde örnekteki tüm genlere uygulanacak düzeltme katsayı değerinin (örneğe ait normalizasyon katsayı değeri) hesaplanması gösterilmiştir.

$$C_j = \text{medyan}_i \left( \frac{k_{ij}}{(\prod_{v=1}^m k_{iv})^{1/m}} \right)$$
(6)

Burada  $k_{ij}$ ,  $j$  örneğindeki  $i$  genine ait okuma sayısını,  $m$  değeri RNA- Seq verisindeki tüm örnek sayısını göstermektedir.  $k_{iv}$ , tüm örneklerdeki  $i$  geninin okuma sayısını göstermektedir. Bir örneğin düzeltme değeri olan düzeltme faktör değeri ( $C_j$ ),  $j$  örneğindeki tüm genler için okuma değerinin aynı genlerin tüm örneklerde yer alan okuma değerinin geometrik ortalamasına olan oranı olarak alınır. Bu oran tüm genler için çıkarıldıktan sonra tüm genlerin için elde edilen değerlerin medyan değeri alınarak  $j$  örneğinin düzeltme faktör değeri bulunur ve bu değer ile  $j$  örneğindeki genlerin okuma değeri çarpılır, GLİ normalizasyonu  $j$  örneğindeki tüm genler için tamamlanmış olur. GLİ normalizasyonunu

uygulamak için DESeq2 R paketi [29] sabit parametreleriyle birlikte çalışmamız kapsamında kullanılmıştır.

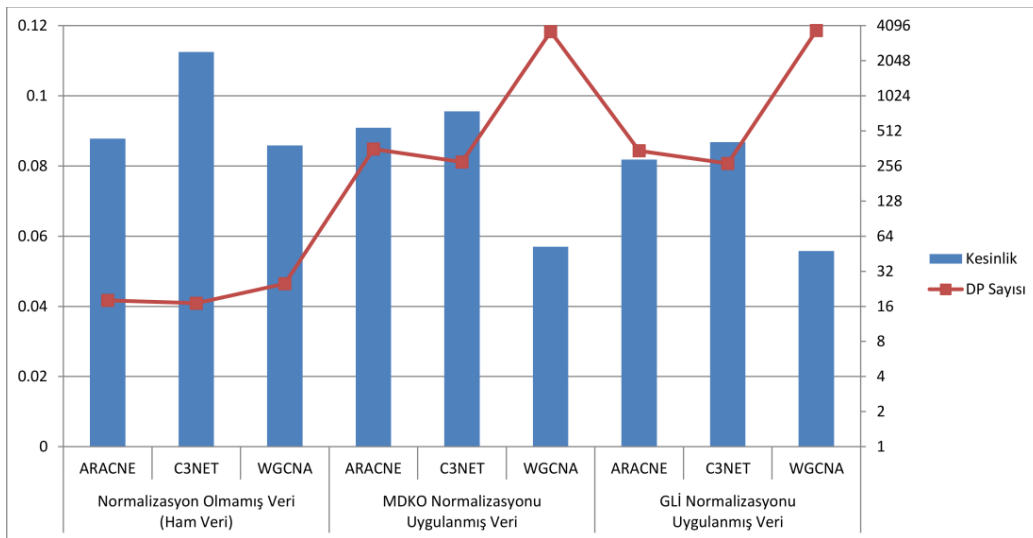
### **III. DENEY SONUÇLARI**

Elde edilen GBİE ağlarının performansı ilk olarak örtüşme analizi ile değerlendirilmiştir. GAnet R paketindeki [30] 1,599,366 protein- protein (gen- gen) ilişkisini içeren literatür verisi örtüşme analizinde doğrulama veri kümesi olarak kullanılmıştır. GBİE ağında ve literatür verisinde yer alan ilişkiler doğru pozitif (DP), GBİE ağında yer alan literatür verisinde yer almayan gen- gen ilişkileri yanlış pozitif (YP) olarak örtüşme analizinde kullanılmıştır. Literatür verisinde yer alan GBİE ağında yer almayan ilişkiler ise yanlış negatif (YN) olarak örtüşme analizinde kullanılmaktadır. Hem GBİE ağlarında hem de literatüre verisinde olmayan ilişkiler ise doğru negatif (DN) olarak gösterilmektedir. Çalışmamızda doğrulama veri kümesinin 1.5 milyonun üzerinde ilişki içermesi nedeniyle YN değeri yüksek olacağı için örtüşme analizinde DP ve kesinlik değerleri performans metrikleri olarak kullanılmıştır. Kesinlik DP sayısının (DP+YP) sayısına bölümü olarak elde edilmektedir.

Gen ağı çıkarım algoritmaları ham veri, MDKO ve GLİ normalizasyonu uygulanmış verilere uygulanarak GBİE ağları üç farklı veri kümesi için de elde edilmiştir. GBİE ağlarının örtüşme analizindeki performans değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Örtüşme analizinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı Fisher Kesinlik Testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$p = \frac{\left(\frac{DP+YN}{DP}\right) \left(\frac{YP+DN}{YP}\right)}{\left(\frac{DP+YN+YP+DN}{DP+YP}\right)} \quad (7)$$

Denklem 7'de Fisher Kesinlik Testi'nde elde edilen sonuçların istatistiksel olarak anlamlılığının hesaplanmasında kullanılan p değerinin çıkarımı gösterilmiştir. Çalışmamızda Fisher Kesinlik Testi için GAnet R paketi kullanılmıştır [30]. Eşik değeri olan p değeri 0.05 seçilerek bu değer üzerinde bir değer elde edildiğinde GBİE ağına ait ilişkiler rastlantısal olarak elde edildiği kabul edilmiş ve performans analizinde değerlendirilmemiştir. Çalışmamızdaki tüm GBİE ağlarına ait en yüksek p değeri ham veri üzerinde ARACNE algoritmasıyla 6.42e-17 olarak elde edilmiştir. Diğer ağlara ait p değerleri ise bu değerden daha küçüktür. Bu nedenle çalışmamızda elde edilen ve örtüşme analizine göre değerlendirilen GBİE ağlarının sonuçları Fisher Kesinlik Testine göre istatistiksel olarak anlamlıdır.



Şekil 2. Örtüşme analizi sonuçları

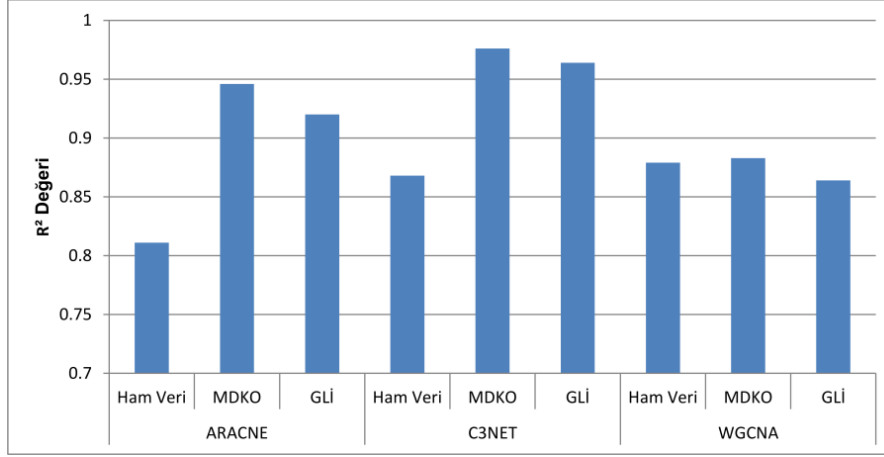
Şekil 2'de gösterilen örtüşme analizi değerlerine göre en yüksek kesinlik değeri C3NET algoritmasıyla ham veriler üzerinden elde edilen GBİEA'dan elde edilmiştir. Ham veriler üzerinden elde edilen gen GBİEA'ların kesinlik değerleri normalizasyon verileri üzerinde elde edilen GBİE'ların kesinlik değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte MDKO ve GLİ normalizasyonu uygulandıktan sonra elde edilen veriler kullanılarak elde edilmiş GBİEA'ların DP değerleri ham veri kullanılarak elde edilen GBİEA'ların DP değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Ham verilerden elde edilen GBİEA'lara ait DP değerleri 16-30 aralığında iken bu değerler MDKO ve GLİ normalizasyonlarıyla elde edilen veriler üzerinde özellikle WGCNA algoritmasıyla elde edilen GBİEA'lar için 4000'nin üzerinde çıktığı gözlemlenmiştir. Ham ve 2 farklı yöntemle normalize edilmiş veriler üzerinde en yüksek kesinlik değerleri sırasıyla C3NET, ARACNE ve WGCNA gen ağı çıkarım algoritmalarıyla elde edilmiştir. WGCNA algoritması ham ve normalize verilerde en yüksek DP değerlerini veren GBİEA'ları çıkarmasına rağmen aynı zamanda tüm veri kümelerinde en düşük kesinlik değerine sahip GBİEA'ların da çıkarımını sağlamıştır. Şekil 2'de elde edilen sonuçlara göre ARACNE algoritması ham ve normalizasyon uygulanmış veri üzerinde benzer kesinlik değerleri elde ederek kesinlik sonucu değerlendirilmesine göre normalizasyondan en az etkilenen GBİEA çıkarım algoritması olmuştur. Örtüşme analizinde normalizasyon yöntemlerini karşılaştırdığımızda MDKO normalizasyonu ile elde edilen GBİEA'ların kesinlik değeri GLİ normalizasyonu uygulanan veriler üzerinde elde edilmiş GBİEA'ların kesinlik değerinden yüksek çıkmıştır. Her iki normalizasyon yöntemiyle oluşturulmuş GBİEA'lara ait DP değerleri birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmamızda elde edilen kesinlik ve DP değerleri literatürde yer alan gen ağı çıkarım çalışmalarıyla örtüşmektedir [9,10,31].

Farklı normalizasyon yaklaşımlarının GBİEA çıkarımına etkisini incelemek için kullandığımız ikinci yaklaşım topolojik değerlendirmedir. GBİE ağlarında yer alan düğümlerin (genler) komşuluk değerini gösteren derece değerlerinin dağılımı kuvvet yasası dağılımıdır. Kuvvet yasası dağılımına göre az sayıda genin derece değeri fazlayken geri kalan çoğu genin derece değeri düşüktür ve elde edilen bu ağlar ölçeksiz ağlardır.

$$P(\text{derece}) = \beta \times \text{derece}^{-\alpha} \quad (8)$$

$$\log P(\text{derece}) = \log \beta - \alpha \times \log \text{derece}$$

Denklem 8'de P olasılık fonksiyonu,  $\beta$  olasılık fonksiyonunun ölçekleme katsayısı,  $\alpha$  ise üssel parametre olup GBİE ağlarındaki genlerin düğüm derecelerinin kuvvet yasası dağılımına uyması için iki ile üç arasında bir sabit olarak alınmaktadır [32]. Denklem 8'in alt satırındaki eşitlikte denklemin her iki tarafının da doğal logaritması alınarak denklem üssel değerden kurtarılmış ve doğrusal regresyon ile düğümlerin derece değerleri modellenen hale gelmiştir. Burada düğümlerin derece değerlerinin olasılık değerleri bağımlı değişken, düğüm derece değerleri ise bağımsız değişken olarak alınarak en küçük kareler yöntemini kullanan regresyon modeliyle modellenmiştir. Regresyon ile elde edilen doğrusal modelin başarısı uygunluk iyiliği belirleme katsayısı (coefficient of determination),  $R^2$ , değeri ile belirlenmiştir. GBİE ağlarının genlerine ait derece değerlerinin doğrusal modellenmesi elde edildikten sonra modelin başarısı  $R^2$  değerine göre değerlendirilmiştir.  $R^2$  değeri bire yakınsa GBİEA ölçeksiz ağ tanımına uygun bir ağ olmakla birlikte bu değer sıfır değerine yakınsa GBİEA rassal ağ özelliği taşımaktadır. Biyolojik ağlarda  $R^2$  değerinin bire yakın olması beklenmektedir. Şekil 3'te ham ve farklı normalizasyon yöntemleri ile oluşturulmuş RNA-Seq veri kümesi üzerinde elde edilen GBİE ağlarının  $R^2$  değeri verilmiştir.



*Şekil 3. Topolojik değerlendirme sonuçları*

Şekil 3'teki sonuçlara göre RNA- Seq verilerinin normalizasyonu ile ARACNE ve C3NET tarafından elde edilen GBİE ağları ölçeksiz ağ tanımına daha uygun hale gelmiştir. WGCNA ölçeksiz ağ tanımına uygun GBİE ağları çıkartması nedeniyle normalizasyonun topolojik değerlendirmede etkisi daha kısıtlı olmuştur. MDKO normalizasyonu ile elde edilen GBİE ağlarının R<sup>2</sup> değerleri ham veri ve GLİ normalizasyonu uygulanan verilerden daha yüksek çıkmıştır. Şekil 3'e göre C3NET tabanlı GBİE ağlarının ölçeksiz ağ tanımına daha uygun olduğu gözlemlenmiştir.

## **IV. TARTIŞMA ve ÖNERİLER**

Dizileme teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte farklı fenotipe neden olan moleküler seviyedeki ilişkilerin belirlenmesi daha doğruluklu olarak belirlenmeye başlamıştır. Moleküler ilişkilerin çıkarımında uzun süredir kullanılan mRNA mikrodizin verileriyle birlikte son yıllarda RNA- Seq verileri gen ağlarının çıkarımında sıklıkla kullanılmaktadır. RNA- Seq verileri farklı nükleotit sayılarına sahip genler ve veri kümesindeki örneklerin farklı sayıda okumalarından oluşması nedeniyle normalizasyon işlemleri uygulanarak kullanılmaktadır. RNA-Seq verileri üzerinde normalizasyonun etkisi önemli olduğu farklı ifade edilen genlerin çıkarımıyla ilgili çalışmalarda anlaşılmıştır [4,5]. Farklı ifade edilen genlerle ilgili yapılan çalışmalarda [13,14] M- değerlerinin kırılmış ortalaması (MDKO) ve Göreceli log ifadesi (GLİ) normalizasyon yöntemleri kullanılarak elde edilmiş farklı ifade edilen genlerin değerlendirme aşamasında total okuma sayısı normalizasyonu, üst çeyrek normalizasyonu, medyan normalizasyonu, örtüşen milyon adet okuma sayısı normalizasyonu ve ham veriler kullanılarak elde edilmiş farklı ifade edilen genlerin performansından daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir.

Literatürde normalizasyon yöntemlerinin karşılaştırılması farklı ifade edilen genlerin çıkarımında kullanılmakla birlikte GBİEA'ların çıkarımıyla ilgili çalışma sayısı çok kısıtlıdır. Çalışmamızda ham veri ve farklı iki normalizasyon yaklaşımlarıyla elde edilmiş GBİEA'ların performansları örtüşme analizi ve topolojik değerlendirme ile karşılaştırılmıştır.

Örtüşme analizine göre her ne kadar en yüksek kesinlik değerleri ham veri kullanarak elde edilmiş GBİEA'lar üzerinde elde edilmiş olsa da bu ağlara ait DP değerleri normalize veriler kullanılarak elde edilen GBİEA'ların DP değerinden oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç bize normalize edilmiş veri üzerinde GBİEA çıkarım algoritmalarının çok daha fazla sayıda gen- gen ilişkisi belirleyebildiği sonucunu vermektedir. Elde edilen sonuçlara göre normalizasyonun GBİEA çıkarımına etkisi ile ilgili çalışma olmadığı için sonuçlarımızla karşılaştırma fırsatımız olmamıştır. Örtüşme analizinde GBİEA çıkarım algoritmaları karşılaştırmasında ise C3NET algoritmasıyla elde edilen GBİEA'ların kesinlik değeri üç farklı veri üzerinde de diğer gen ağ çıkarım algoritmalarından yüksek çıkmıştır. WGCNA algoritmasıyla elde edilen GBİEA'ların ise tüm veriler üzerinde DP

değerlerinin en yüksek DP değerleri olduğu gözlemlenmiştir. MDKO ve GLİ normalizasyon yöntemlerinin performansları karşılaştırıldığında kesinlik değerlerinde MDKO yaklaşımıyla elde edilen GBİEA'ların az da olsa yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar farklı ifade edilen genlerle ilgili yapılan çalışmalardaki [11-21] normalizasyonun performansa olumlu etkisiyle paralellik göstermektedir.

Normalizasyonun GBİE ağlarının topolojik yapısına etkisi de çalışmamız kapsamında incelenmiştir. GBİE ağlarında yer alan düğümlerin komşuluk değeri olan derece değerleri kuvvet yasası dağılımına göre dağılması ve buna göre ağların ölçeksiz ağ tanımına uygun olması beklenmektedir. Çalışmamızda düğümlerin derece olasılık değerleri regresyon ile doğrusal olarak modellenmiş ve modellenin başarısı  $R^2$  değeriyle ölçülmüştür.  $R^2$  değeri yüksek olan, bire yakın, GBİE ağları ölçeksiz tanımına uygundur. Elde ettiğimiz sonuçlara göre normalizasyon uygulanarak elde edilmiş GBİE ağları ölçeksiz ağ tanımına ham veri ile elde edilen GBİE ağlarına göre daha uygun olarak belirlenmiştir. En başarılı  $R^2$  değerleri MDKO normalizasyonu yöntemiyle elde edilmiştir ve topolojik değerlendirmede en başarılı gen ağı çıkarım algoritmaları C3NET olarak belirlenmiştir.

Çalışmamızın sonucunda ham veri, MDKO ve GLİ normalizasyonu uygulanmış veriler örtüşme analizi ve topolojik değerlendirmelere göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre normalize edilmiş veriler üzerinde gen çıkarım ağlarının örtüşme analizinde GBİE ağlarının DP değerlerinde yükselme sağladığı gözlemlenmiştir. Normalize edilmiş veriler üzerinde elde edilen GBİE ağları aynı zamanda ölçeksiz ağ tanımına daha uygun olarak elde edilmiştir. Bundan sonraki çalışmamızda normalizasyonun GBİE ağlarındaki biyolojik süreçleri belirlemedeki etkisinin incelenmesi hedeflenmektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] A. Korotkov, J. D. Mills, J.A. Gorter, E.A. Van Vliet, E. Aronica, “Systematic review and meta-analysis of differentially expressed miRNAs in experimental and human temporal lobe epilepsy,” *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, pp. 1-13, 2017.
- [2] S. M. Salleh, G. Mazzoni, P. Løvendahl, H.N. Kadarmideen, “Gene co-expression networks from RNA sequencing of dairy cattle identifies genes and pathways affecting feed efficiency,” *BMC Bioinformatics*, vol. 19, no. 1, pp. 513, 2018.
- [3] Y. Hu et al., “Improving the diversity of captured full-length isoforms using a normalized single-molecule RNA-sequencing method,” *Communications Biology*, vol. 3, no. 1, pp. 1-15, 2020.
- [4] F. Ozsolak, P. M. Milos, “RNA sequencing: advances, challenges and opportunities,” *Nature Reviews Genetics*, vol. 12, no. 2, pp. 87-98, 2011.
- [5] M. Garber, M. G. Grabherr, M. Guttman and C. Trapnell, “Computational methods for transcriptome annotation and quantification using RNA-seq,” *Nature Methods*, vol. 8, no. 6, pp. 469, 2011.
- [6] M. Ö. Cingiz and B. Diri, “Two-tier combinatorial structure to integrate various gene co-expression networks of prostate cancer,” *Gene*, vol. 721, pp. 144102, 2019.
- [7] C. F. Xu, C. H. Yu, Y. M. Li, “Regulation of hepatic microRNA expression in response to ischemic preconditioning following ischemia/reperfusion injury in mice,” *OMICS A Journal of Integrative Biology*, vol. 13, no. 8, pp. 513-520, 2009.
- [8] S. Ballouz, W. Verleyen and J. Gillis, “Guidance for RNA-seq co-expression network construction and analysis: safety in numbers,” *Bioinformatics*, vol. 31, no. 13, pp. 2123-2130, 2015.

- [9] R. de Matos Simoes, S. Dalleau, K. E. Williamson and F. Emmert-Streib, "Urothelial cancer gene regulatory networks inferred from large-scale RNAseq, Bead and Oligo gene expression data," *BMC Systems Biology*, vol. 9, no. 1, pp. 21, 2015.
- [10] O. D. Iancu, S. Kawane, D. Bottomly, R. Searles, R. Hitzemann and S. McWeeney, "Utilizing RNA-Seq data for de novo coexpression network inference," *Bioinformatics*, vol. 28, no. 12, pp. 1592-1597, 2012.
- [11] F. Abbas-Aghababazadeh, Q. Li, B. L. Fridley, "Comparison of normalization approaches for gene expression studies completed with high-throughput sequencing," *PloS One*, vol. 13, no. 10, pp. e0206312, 2018.
- [12] M. Smid et al., "Gene length corrected trimmed mean of M-values (GeTMM) processing of RNA-seq data performs similarly in intersample analyses while improving intrasample comparisons," *BMC Bioinformatics*, vol. 19, no. 1, pp. 1-13, 2018.
- [13] M. D. Robinson and A. Oshlack, "A scaling normalization method for differential expression analysis of RNA-seq data," *Genome Biology*, vol. 11, no. 3, pp. R25, 2010.
- [14] Y. Lin et al., "Comparison of normalization and differential expression analyses using RNA-Seq data from 726 individual *Drosophila melanogaster*," *BMC Genomics*, vol. 17, no. 1, pp. 1-20, 2016.
- [15] M. A. Dillies et al., "A comprehensive evaluation of normalization methods for Illumina high-throughput RNA sequencing data analysis," *Briefings in Bioinformatics*, vol. 14, no. 6, pp. 671-683, 2013.
- [16] S. Mandelbroum, Z. Manber, O. Elroy-Stein, R. Elkon, "Recurrent functional misinterpretation of RNA-seq data caused by sample-specific gene length bias," *PLoS Biology*, vol. 17, no. 11, pp. e3000481, 2019.
- [17] F. Seyednasrollah, A. Laiho, L. L. Elo, "Comparison of software packages for detecting differential expression in RNA-seq studies," *Briefings in Bioinformatics*, vol. 16, no. 1, pp. 59-70, 2015.
- [18] D. Risso, J. Ngai, T. P. Speed, S. Dudoit, "Normalization of RNA-seq data using factor analysis of control genes or samples," *Nature Biotechnology*, vol. 32, no. 9, pp. 896-902, 2014.
- [19] B. Bhat, M. Yaseen, A. Singh, S. M. Ahmad, N. A. Ganai, "Identification of potential key genes and pathways associated with the Pashmina fiber initiation using RNA-Seq and integrated bioinformatics analysis," *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, pp. 1-9, 2021.
- [20] J. J. Velazquez et al., "Gene regulatory network analysis and engineering directs development and vascularization of multilineage human liver organoids," *Cell Systems*, vol. 12, no. 1, pp. 41-55, 2020.
- [21] J. N. Weinstein, E. A. Collisson, G. B. Mills, K. R. M. Shaw, B. A. Ozenberger and K. Ellrott, "The cancer genome atlas pan-cancer analysis project," *Nature Genetics*, vol. 45, no. 10, pp. 1113, 2013.
- [22] P. E. Meyer, K. Kontos, F. Lafitte and G. Bontempi, "Information-theoretic inference of large transcriptional regulatory networks," *EURASIP Journal on Bioinformatics and Systems Biology*, vol. 2007, pp. 1-9, 2007.

- [23] G. Altay and F. Emmert-Streib, “Inferring the conservative causal core of gene regulatory networks,” *BMC Systems Biology*, vol. 4, no. 1, pp. 1-13, 2010.
- [24] M. Ö. Cingiz, B. Diri, “Topological and biological assessment of gene networks using miRNA-target gene data,” in *Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference*, Turkey, 2019, pp. 1-4.
- [25] A. A. Margolin et al., “ARACNE: an algorithm for the reconstruction of gene regulatory networks in a mammalian cellular context,” *BMC Bioinformatics*, vol. 7, no. 1, pp. S7, 2006.
- [26] P. E. Meyer, F. Lafitte and G. Bontempi, “minet: AR/Bioconductor package for inferring large transcriptional networks using mutual information,” *BMC Bioinformatics*, vol. 9, no. 1, pp. 461, 2008.
- [27] P. Langfelder and S. Horvath, “WGCNA: an R package for weighted correlation network analysis,” *BMC Bioinformatics*, vol. 9, no. 1, pp. 559, 2008.
- [28] M. D. Robinson, D. J. McCarthy and G. K. Smyth, “edgeR: a Bioconductor package for differential expression analysis of digital gene expression data,” *Bioinformatics*, vol. 26, no. 1, pp. 139-140, 2010.
- [29] M. I. Love, W. Huber and S. Anders, “Moderated estimation of fold change and dispersion for RNA-seq data with DESeq2,” *Genome Biology*, vol. 15, no. 12, pp. 550, 2014.
- [30] G. Altay, N. Altay and D. Neal, “Global assessment of network inference algorithms based on available literature of gene/protein interactions,” *Turkish Journal of Biology*, vol. 37, no. 5, pp. 547-555, 2013.
- [31] M. Ö. Cingiz, G. Biricik and B. Diri, “ARNetMiT R Package: association rules based gene co-expression networks of miRNA targets,” *Cellular and Molecular Biology (Noisy-le-grand)*, vol. 63, no. 3, pp. 18-25, 2017.
- [32] F. Chung, L. Lu, “Connected components in random graphs with given expected degree sequences,” *Annals of Combinatorics*, vol. 6, no.2, pp. 125-145, 2002.








# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## CNN-based Gender Prediction in Uncontrolled Environments

 Kazım YILDIZ <sup>a,\*</sup>,  Engin GÜNEŞ <sup>b</sup>,  Anil BAS <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Computer Engineering, Faculty of Technology, Marmara University, İstanbul, TURKEY

<sup>b</sup> Department of Computer Engineering, Institute of Pure and Applied Sciences, Marmara University, İstanbul, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: [kazim.yildiz@marmara.edu.tr](mailto:kazim.yildiz@marmara.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.763427

### ABSTRACT

With the increasing amount of data produced and collected, the use of artificial intelligence technologies has become inevitable. By using deep learning techniques from these technologies, high performance can be achieved in tasks such as classification and face analysis in the fields of image processing and computer vision. In this study, Convolutional Neural Networks (CNN), one of the deep learning algorithms, was used. The model created with this algorithm was trained with facial images and gender prediction was made. As a result of the experiments, 93.71% success rate was achieved on the VGGFace2 data set and 85.52% success rate on the Adience data set. The aim of the study is to classify low-resolution images with high accuracy.

**Keywords:** CNN, VGGFace2, Adience, Image classification, Gender classification

## Kontrolsüz Ortamlarda CNN Tabanlı Cinsiyet Tahmini

### ÖZET

Üretilen ve toplanan veri miktarının giderek artması ile birlikte yapay zekâ teknolojilerin kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu teknolojilerden biri olan derin öğrenme teknikleri kullanılarak bilgisayarlı görü ve görüntü işleme alanlarında yüz analizi ve sınıflandırma gibi görevlerde yüksek performans alınabilmektedir. Bu çalışmada derin öğrenme algoritmalarından Evrişimsel Sinir Ağları (CNN) kullanılmıştır. Bu algoritma ile oluşturulan model, yüz görüntüleriyle eğitilmiş ve cinsiyet tahmini yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda VGGFace2 veri seti üzerinde 93.71% ve Adience veri seti üzerinde 85.52% oranında başarı sağlanmıştır. Çalışmanın amacı düşük çözünürlükteki resimleri yüksek doğrulukla sınıflandırabilmektir.

**Anahtar Kelimeler:** CNN, VGGFace2, Adience, Görüntü sınıflama, Cinsiyet sınıflama

# **I. INTRODUCTION**

Gender classification is one of the areas used in many applications. This is a significant task especially in the fields on human-computer interaction, control system, visual surveillance, and yet particularly difficult when only one single image available.

In this study, we propose a deep learning approach to get better results in gender classification. Deep learning is generally used in object recognition [1], speech recognition [2] and image classification [3]. These models have been successful in high-resolution images [4]. In this study, we focus on uncontrolled images. The challenge working with uncontrolled images is to predict the gender accurately while dealing with lighting, angle, facial expression and occlusion [5]. Particularly, we used datasets that have large variations in ethnicity, pose, age and illumination. In-the-wild images from such datasets make the problem somewhat difficult, since it requires modeling intrinsic and extrinsic parameters. However, images taken in real world setting, by surveillance and security systems for example, are even more challenging. We observe that these images are in considerably poor quality and often blurry or pixelated. To our knowledge, there is no low-resolution dataset explicitly for gender classification available in the literature. For this reason, we generate low-resolution images from available datasets by downsampling to establish approximate real-world imagery setting.

The aim of this study to establish a simple convolutional neural network structure for gender classification using low-resolution images. We have following contributions in this study: (1) A powerful CNN architecture is proposed. This is a modified version of VGGNet, the originally proposed in [3], widely used in image classification. (2) We observe that the proposed CNN architecture would maintain its success in low-quality mages as well. The proposed approach yields results that are superior to previous studies, even using reduced image quality. (3) We investigate how image quality affects the gender detection accuracy. We trained the network with various image resolutions and demonstrate the gender detection performance drops as resolution decrease.

Face recognition technologies can offer different application areas. Our study directly contributes to related topics such as face analysis and similarity analysis by examining images taken at different times and places. The proposed study has the potential to be implemented in healthcare, entertainment, access control and security systems.

The rest of this paper is organised as follows: In Section 2, we review the relevant studies in the literature. Section 3 describes our network model and introduces the datasets used in training and evaluation in detail. In Section 4 experimental results in two different datasets are listed. Finally, we draw a conclusion in Section 5.

# **II. LITERATURE REVIEW**

We start by examining some of the examples in the literature. There are many ways to determine gender. For example, mouse movements can be analysed for gender classification [6]. Another approach is to use the properties of iris images [7]. Profile face image can be used together with the ear images [8]. It is possible to estimate gender by analysing speech signals [9]. Another noteworthy example is to use neural signals from EEG sensors [10]. Gender classification can be established successfully from word choices [11], human gait [12], the smartphone usage habits [13] as well as using hand pictures [14] and three-dimensional face images [15]. While skin colour can affect performance in gender classification [16], facial texture can be used as identifiers [17].

CNN have respectably improved the performance in visual classification [18-22]. Milki et al. suggested a deep learning-based method for face detection in an uncontrolled environment. They combined at multiple scales both local and global features. The experimental results show that the suggested method works well on multi-scale face detection problems [23]. Masud et al. suggested a

tree-based model which is using deep model for automatic face recognition in a cloud environment which is computationally less expensive. The model is evaluated on various public datasets. The proposed model accuracy is more than 95% [24]. Lozoya et al. suggested a method based on features which are extracted CNN. The facial expression recognition model learns from different databases with mixed instances to increase generalization. The accuracy of the model is above 92% [25]. Chaudri proposed a comparative analysis on face recognition with deep learning models [26].

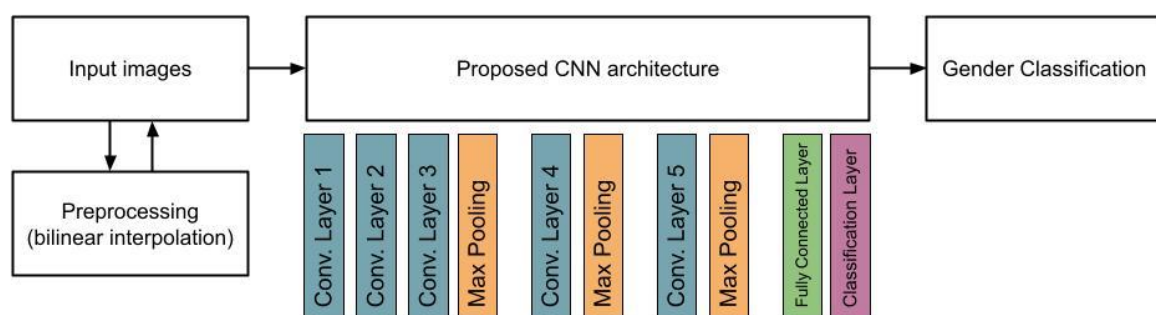
### **III. MATERIALS AND METHODS**

We implement CNN architecture using Keras library in TensorFlow platform in this study. Here, we will describe our network and used datasets in detail. In the next subsection, we start by explaining how convolutional layers structured, then, present our own proposed model. The following subsection reports the image preprocessing stage and the datasets we used. The block diagram of the study is shown in Figure 1.

#### **A. PROPOSED MODEL**

For tasks such as image segmentation and classification, traditional networks were in use before the CNN. While these networks are often limited in their capacity, CNN have emerged as data grow. The most important feature of the convolutional neural networks is that it has a layered structure. In this architecture, the algorithms are modelled similar to the structure of human neurons. Convolutional neural networks in many cases give better results than traditional networks [27-28]. However, we see that the performance is significantly reduced when these networks work with low-resolution images [29]. We briefly explain how CNN layer structure works. The convolution layer calculates the output of neurons. It provides a feature map from each input image. To give an example, there is an image matrix and this matrix is multiplied by a 3x3 matrix then this 3x3 matrix is shifted, and the feature map is created in this way. The pooling layer also emerges as a sub-sampling layer. The purpose of the pooling layer is to reduce the size and is to get an input notation. Max-pooling [30] is most commonly used in pooling. For example, when using a 2x2 maximum pooling in an image matrix, taking the highest value in the field on which it comes, and it writes to the new matrix. Then the matrix is shifted, and the process continues with the highest value there. A new matrix is created by applying this process to each element of the image matrix. The fully connected layer is the layer that combines and flattens all high-level features. Classification is performed using SoftMax [31] or sigmoid [32] classifier using the given data in this layer.

The structure of our model is shown in Figure 1. We build a smaller and compact version of the VGGNet architecture [3], which is widely used for image classification and face recognition [33]. Our proposed network consists of five convolution layers, three pooling layers and one fully connected layer. The most prominent features of the images are extracted with the help of the convolution layers in CNN. These extracted features are sent to the output layer and classification is performed on these features.



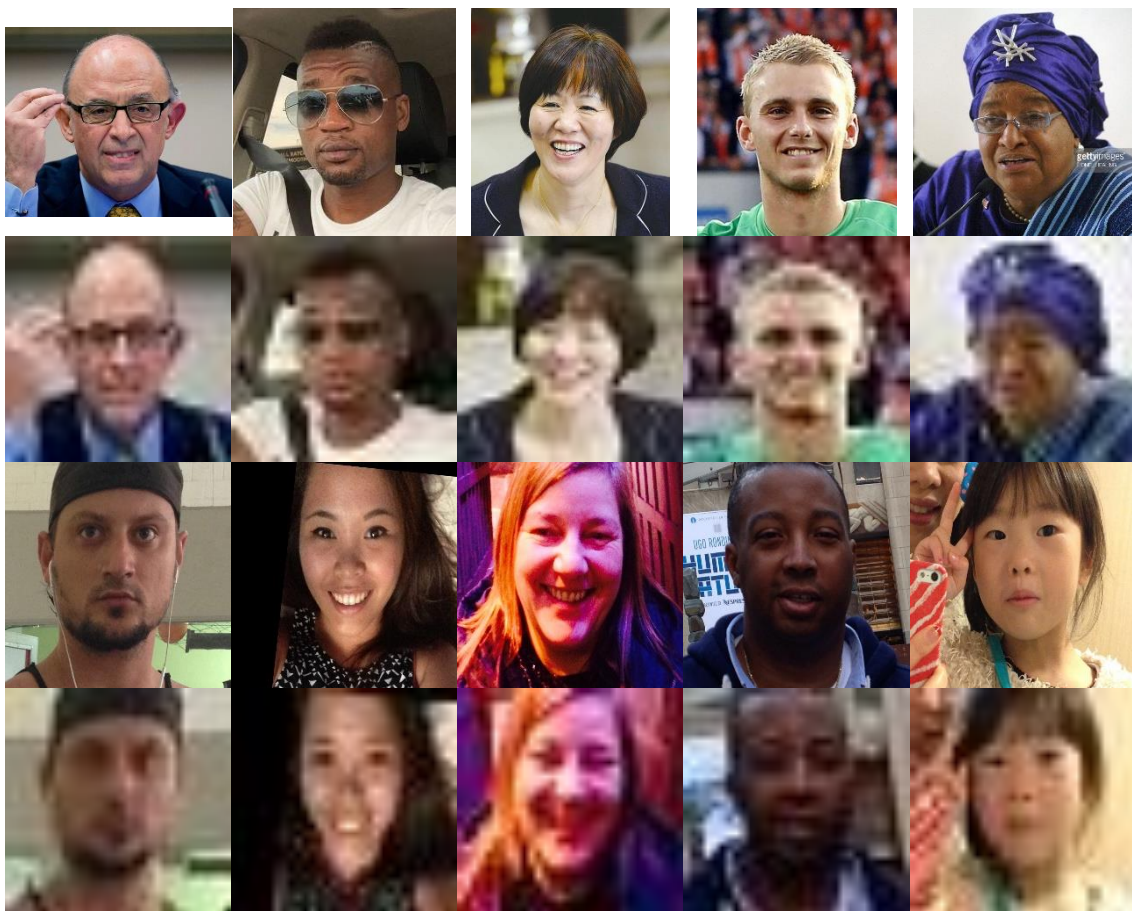
*Figure 1. Overview of the study with proposed CNN architecture.*

## B. DATASET

In this study, we first used VGGFace2, a dataset consisting of more than 9000 different people and 3.3 million images [34]. On average, there are 362 pictures for each person. The dataset consists of different ethnicities, different age groups and different professions and images have been downloaded from google image search. The dataset is organized as 3.1M train data and 200K test data.

The images in the dataset have various resolutions and differ from each other. Since our network takes fixed-size images as input, we use bilinear interpolation to downsample face images to  $32 \times 32 \times 3$ . This also allows us to experiment with low-resolution images. There is no cropping process, however, resizing some images caused aspect ratio change.

We also used Adience dataset [35] as a benchmark to evaluate our results. Similar preprocessing steps were applied to images in this dataset as well. Figure 2 shows the original and downsampled images from VGGFace2 and Adience datasets.

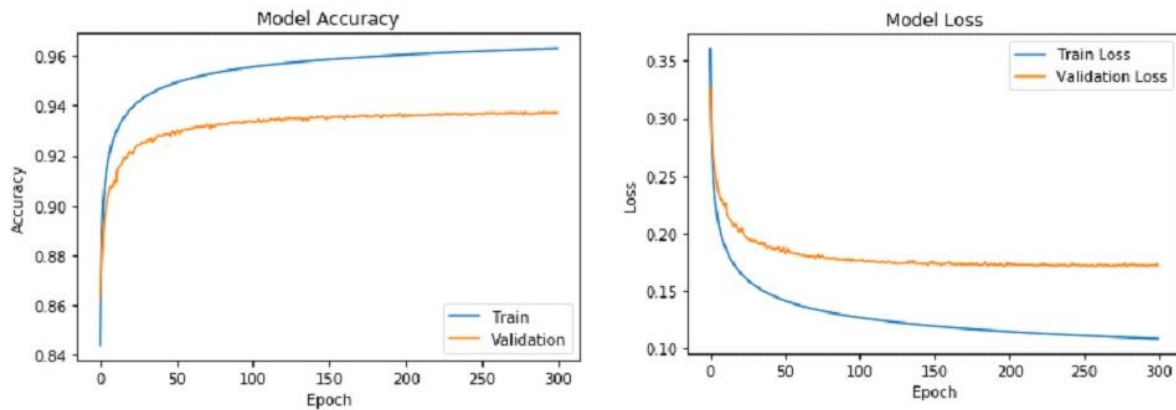


*Figure 2. Original and downsampled image examples from VGGFace2 (top two rows) and Adience (bottom two rows) datasets.*

## IV. RESULTS

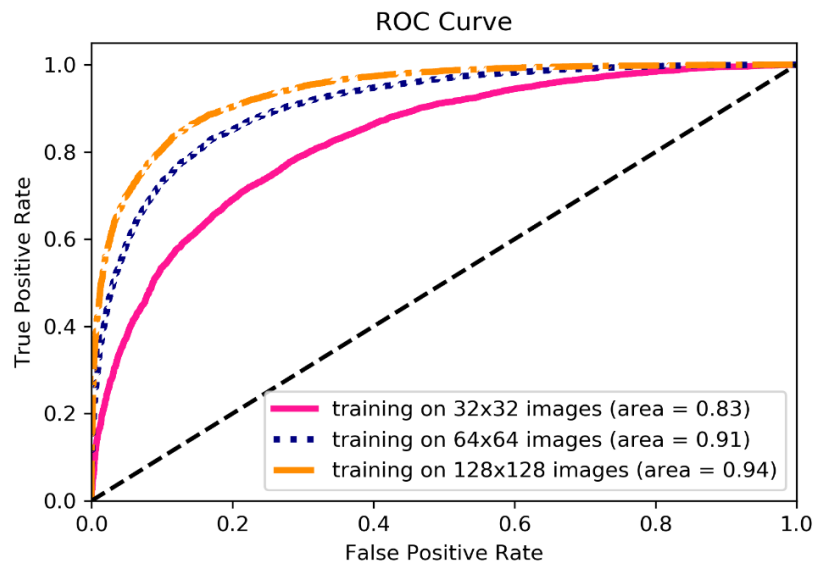
In this part, we propose two sets of experiments on two datasets. First, we trained our network on downsampled images from VGGFace2 dataset. We used learning rate = 0.000001, batch size = 64 and trained the network for 300 epochs. Our network achieved 93.71% success rate (96.29% test accuracy,

93.71% validation accuracy, 10.80% train loss and 17.18% validation loss). Model's accuracy and loss curves over epochs are plotted in Figure 3.



**Figure 3.** Model Accuracy and Loss on VGGFace2 dataset.

Second, we trained our network separately on the subset (%10 of the dataset) of downsampled images from VGGFace2 dataset. One would assume that some features that are available in high-resolution would be lost when the image resolution is reduced. In other words, recognition and classification task would be much harder in a low-resolution setting. To prove that this is a correct assumption, we follow the approach of Mynepalli et al. [36]. We trained our proposed model using images with various resolutions (particularly, 32x32x3, 64x64x3 and 128x128x3). In Figure 4, ROC plots and AUC scores illustrate that the detection performance drops as resolution decreases.



**Figure 4.** Training results on various image resolutions. The gender detection performance drops as resolution decreases.

For quantitative comparison, we test our network's performance on Adience dataset. The experimental results are listed in Table 1. For training phase, we used learning rate = 0.00001, decay rate =  $1e-6$  and batch size = 24. For training set we used 80% of the dataset and rest for validation set. Our proposed network is trained for 400 epochs in a low-resolution setting. In Table 2, we show a quantitative comparison with previous studies. Please note that although our network trained on low-resolution images, it offers equal or better performance. The proposed approach surpasses prominent studies in the field and very close to the performance of [39].

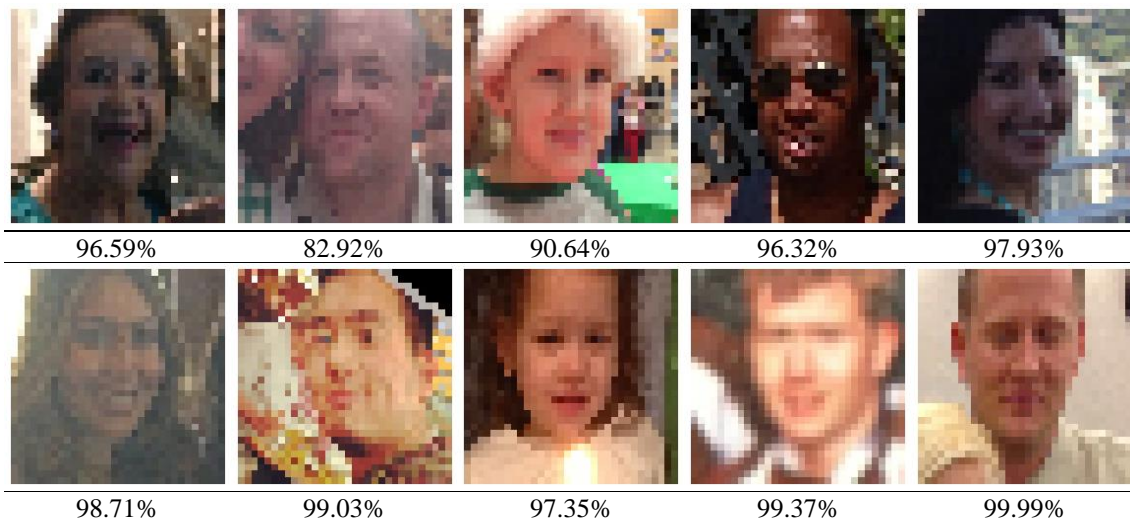
**Table 1.** Training/Validation accuracy and loss results on Adience dataset.

Epoch	Accuracy	Loss	Validation Accuracy	Validation Loss
200	0.9172	0.2013	0.8521	0.3518
400	0.9649	0.0875	0.8552	0.4502

**Table 2.** Gender classification accuracy comparison on Adience Dataset. Please note that although our network trained on low-resolution images, it offers equal or better performance.

Method	Accuracy (%)
Eidinger et al. [35]	77.8
Liao et al. [37]	78.63
Hassner et al. [38]	79.3
<b>Ours</b>	<b>85.52</b>
Levi and Hassner [39]	86.80

As a final experiment, we provide example results in Figure 5. Prediction rates are shown under each image. This experiment clearly illustrates the difficulty of low-resolution data. The pixelation and the loss of appearance-based information is hugely visible. Nevertheless, our method exhibits very high success rate.



**Figure 5.** Example results on the Adience dataset. Prediction rates are shown under each image.

In conclusion, these experiments conducted on Adience and VGGFace2 datasets illustrate that the proposed method is capable in correctly predicting gender. Moreover, quantitative comparison in Table 2 shows the performance of our networks is superior even lack of observations and meaningful information from the original data (due to downsampling).

## V. CONCLUSION

In this paper, we investigate a CNN-based gender prediction network in uncontrolled environments and tested on two networks. We figure out the problem of gender detection by training a relatively simple deep network on recent large-scale face datasets. To establish approximate real-world imagery setting, we generate low-resolution images by using bilinear interpolation.

We evaluate our network on two datasets. The results show that our network surpasses previously reported results for gender detection on Adience Dataset [35]. As part of the novelty, the experiments on VGGFace2 [34] is important as well since there is almost no gender detection study on this dataset available in the literature. We provide qualitative and quantitative classification results for both datasets for further comparison.

To summarise, we present a robust gender prediction architecture that can be used in low-resolution data. We also provide an analysis on VGGFace2 that shows model performance on various image resolutions. Working with low-resolution uncontrolled images, the proposed network achieves competitive results in gender classification on two datasets.

The study could be used in many application areas. As an example, the proposed technique could be implemented in commercial behaviour analysis where gender prediction could be useful. In the commercial domain, applications could make suggestions considering gender differences. Other examples are, especially mainly working with low-resolution images, security and surveillance systems. This includes CCTV camera systems as well as traffic cameras. Statistical information (e.g. gender-based violation of speed rules and the usage of public transportation) could be extracted from these low-resolution images.

In future studies, instead of the low-resolution pictures we use in this study, we plan to train and develop our model using even lower resolution pictures, such as [36]. In addition, we aim to increase the accuracy rates and further reduce the loss rates by optimizing our model.

## **VI. REFERENCES**

- [1] J. M. Gandarias, A. J. García-Cerezo and J. M. Gómez-de-Gabriel, “CNN-based methods for object recognition with high-resolution tactile sensors,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 16, pp. 6872–6882, 2019.
- [2] W. Chan, N. Jaitly, Q. Le, O. Vinyals and N. Shazeer, “Speech recognition with attention-based recurrent neural networks,” U.S. Patent Appl. 20200118554A1, Apr. 16, 2020.
- [3] K. A. Simonyan and A. Zisserman, “Very deep convolutional networks for large-scale image recognition,” in *Proc. International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2015, pp. 1–14.
- [4] B. Shrestha, Y. Kwon, D. Chung and W. Gal, “The atrous cnn method with short computation time for super-resolution,” *International Journal of Computing and Digital Systems*, vol. 9, no. 2, pp. 221–227, 2020.
- [5] E. Learned-Miller, G. B. Huang, A. RoyChowdhury, H. Li and G. Hua, “Labeled faces in the wild: A survey,” in *Advances in Face Detection and Facial Image Analysis*, 1st ed., Cham, Switzerland: Springer, 2016, pp. 189–248.
- [6] N. Van Balen, C. Ball and H. Wang, “Analysis of targeted mouse movements for gender classification,” *EAI Endorsed Transactions on Security and Safety*, vol. 4, no. 11, 2017.
- [7] J. E. Tapia and C. A. Perez, “Gender classification from nrr images by using quadrature encoding filters of the most relevant features,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 29114–29127, 2019.
- [8] D. Yaman, F. I. Eyiokur and H. K. Ekenel, “Multimodal age and gender classification using ear and profile face images,” in *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2019, pp. 2414–2421.

- [9] N. A. Nazifa, C. Y. Fook, L. C. Chin, V. Vijejan and E. S. Kheng, “Gender prediction by speech analysis,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1372, no. 012011, 2019.
- [10] B. Kaur, D. Singh and P. P. Roy, “Age and gender classification using brain–computer interface,” *Neural Computing and Applications*, vol. 31, no. 10, pp. 5887–5900, 2019.
- [11] C. Bhagvati, “Word representations for gender classification using deep learning,” *Procedia Computer Science*, vol. 132, pp. 614–622, 2018.
- [12] Z. Q. Mawlood and A. T. Sabir, “Human gait-based gender classification using neutral and non-neutral gait sequences,” *Revista Innovaciencia*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 2019.
- [13] J. A. Polin and O. Khan, “Gender identification from smart phone usage using machine learning algorithm,” B.Sc. Report, Department Computer Science and Engineering, Daffodil International University, Dhaka, Bangladesh, 2019.
- [14] M. Afifi, “11K Hands: gender recognition and biometric identification using a large dataset of hand images,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, no. 15, pp. 20835–20854, 2019.
- [15] S. Bentaieb, A. Ouamri and M. Keche, “SAX2SEX: Gender classification on 3d faces using symbolic aggregate approximation,” in *Proc. 6th International Conference on Image and Signal Processing and their Applications (ISPA)*, 2019, pp. 1–5.
- [16] V. Muthukumar, T. Pedapati, N. Ratha, P. Sattigeri, C. Wu, B. Kingsbury, A. Kumar, S. Thomas, A. Mojsilovic and K. Varshney, “Understanding unequal gender classification accuracy from face images,” 2018, *arXiv:1812.00099*.
- [17] F. Bougourzi, S. Bekhouche, M. Zighem, A. Benlamoudi, T. Ouafi and A. Taleb-Ahmed, “A comparative study on textures descriptors in facial gender classification,” presented at 10<sup>ème</sup> Conférence sur le Génie Electrique, Bordj El Bahri, Algeria, 2017.
- [18] O. Arriaga, M. Valdenegro-Toro and P. Plöger, “Real-time convolutional neural networks for emotion and gender classification,” in *Proc. European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN)*, 2019, pp. 221–226.
- [19] G. Levi and T. Hassner, “Age and gender classification using convolutional neural networks,” in *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2015, pp. 34–42.
- [20] J. Zhang, Y. Xie, Q. Wu and Y. Xia, “Medical image classification using synergic deep learning,” *Medical Image Analysis*, vol. 54, pp. 10–19, 2019.
- [21] F. V. Massoli, G. Amato, F. Falchi, C. Gennaro and C. Vairo, “Improving multi-scale face recognition using VGGFace2,” in *Proc. International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP)*, 2019, pp. 21–29.
- [22] F. Juefei-Xu, E. Verma, P. Goel, A. Cherodian and M. Savvides, “Deepgender: occlusion and low resolution robust facial gender classification via progressively trained convolutional neural networks with attention,” in *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2016, pp. 68–77.
- [23] H. Mliki, S. Dammak and E. Fendri, “An improved multi-scale face detection using convolutional neural network,” *Signal Image and Video Processing*, vol. 14, no. 7, pp. 1345–1353, 2020.







- [24] M. Masud, G. Muhammad, H. Alhumyani, S. S. Alshamrani, O. Cheikhrouhou, S. Ibrahim and M. S. Hossain, "Deep learning-based intelligent face recognition in IoT-cloud environment," *Computer Communications*, vol. 152, pp. 215–222, 2020.
- [25] S. M. González-Lozoya, J. de la Calleja, L. Pellegrin, H. J. Escalante, M. A. Medina and A. Benitez-Ruiz, "Recognition of facial expressions based on CNN features," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, pp. 13987–14007, 2020.
- [26] A. Chaudhuri, "Deep learning models for face recognition: A comparative analysis," in *Deep Biometrics*, 1st ed, Cham, Switzerland: Springer, 2020, pp. 99–140.
- [27] Y. Luo, Y. Shao, H. Chu, B. Wu, M. Huang and Y. Rao, "CNN-based blade tip vortex region detection in flow field," in *Proc. International Conference on Graphics and Image Processing (ICGIP)*, 2019, vol. 11373.
- [28] Y. Wang, M. Liu, P. Zheng, H. Yang and J. Zou, "A smart surface inspection system using faster R-CNN in cloud-edge computing environment," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 43, no. 101037, 2020.
- [29] O. A. Aghdam, B. Bozorgtabar, H. K. Ekenel, J. Thiran, "Exploring factors for improving low resolution face recognition," in *Proc. CVPR Workshops*, 2019, pp. 2363–2370.
- [30] G. Tolias, R. Sivic and H. Jégou, "Particular object retrieval with integral max-pooling of CNN activations," in *Proc. International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2016, pp. 1–12.
- [31] X. Liang, X. Wang, Z. Lei, S. Liao and S. Li, "Soft-margin softmax for deep classification," in *Proc. NIPS*, 2017, pp. 413–421.
- [32] A. Meliboev, J. Alikhanov and W. Kim, "1D CNN based network intrusion detection with normalization on imbalanced data," in *Proc. International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)*, 2020, pp. 218–224.
- [33] O. M. Parkhi, A. Vedaldi and A. Zisserman, "Deep face recognition," in *Proc. The British Machine Vision Conference (BMVC)*, 2015, pp. 1–12.
- [34] Q. Cao, L. Shen, W. Xie, O. M. Parkhi and A. Zisserman, "Vggface2: A dataset for recognising faces across pose and age," in *Proc. International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG)*, 2018, pp. 67–74.
- [35] E. Eiding, R. Enbar and T. Hassner, "Age and gender estimation of unfiltered faces," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 9, no. 12, pp. 2170–2179, 2014.
- [36] S. C. Mynepalli, P. Hu and D. Ramanan, "Recognizing tiny faces," in *Proc. International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW)*, 2019, pp. 1121–1130.
- [37] Z. Liao, S. Petridis and M. Pantic, "Local deep neural networks for age and gender classification," 2017, *arXiv:1703.08497*.
- [38] T. Hassner, S. Harel, E. Paz and R. Enbar, "Effective face frontalization in unconstrained images," in *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2015, pp. 4295–4304.
- [39] G. Levi and T. Hassner, "Emotion recognition in the wild via convolutional neural networks and mapped binary patterns," in *Proc. ACM on International Conference on Multimodal Interaction*, 2015, pp. 503–510.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## İstanbul Kent Ormanında Arazi Kullanım Yoğunluğuna Bağlı Toprak Özelliklerinin Değişimi

 Murat SARGINCI<sup>a,\*</sup>,  Zeynep Bengisu YEŞİL<sup>a</sup>,  Abdullah Hüseyin DÖNMEZ<sup>a</sup>,  Oktay YILDIZ<sup>a</sup>,

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

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

DOI:10.29130/dubited.816418

### ÖZET

Bu çalışmada rekreasyon alanlarında orman toprağının farklı kullanım koşullarına bağlı fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişim araştırılmıştır. Bu kapsamda İstanbul Hekimbaşı Kent Ormanı içerisinde bulunan farklı kullanım şekillerinin olduğu alanlardan iki farklı toprak derinliğinde toprak örnekleme ve toprak yüzeyinden ölü örtü örnekleme yapılmıştır. Sahadaki yoğun kullanıma bağlı olarak toprak hacim ağırlığı, iskelet miktarı, toprak reaksiyonu (pH), azot (N) oranları ve hektardaki toplam miktarları ile birlikte katyon değişim kapasitesinin (KDK) ve ölü örtü miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak insan kullanımının daha yoğun olduğu alanlarda toprağın verimliliği ve sürdürülebilirliği üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu belirlenmiştir. Bu etkilerin en aza indirilmesi için alanın taşıma kapasitesinin toprak özelliklerine en az düzeyde zarar verecek şekilde planlanması gerekmektedir. İnsanların tam alan yerine sahadaki belirli noktaları kullanması, yürüyüş yolları dışındaki alanlara insan girişlerinin azaltılması en başta alınacak önlemler olarak düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Saha taşıma kapasitesi, Sürdürülebilirlik, Rekreasyon

## Changes of Soil Properties Due to Land Use Intensity in Istanbul Urban Forest

### ABSTRACT

In this study, changes in physical and chemical properties of forest soil due to different usage conditions in recreation areas is investigated. In this context, soil sampling at two different depths of soil and litter sampling from the soil surface from areas with different uses in the Istanbul Hekimbaşı Urban Forest were made. It was determined that soil bulk density, stoniness amount, soil reaction (pH) and sand ratio were increased and inorganic carbon (IOC), organic carbon (OC), organic matter (OM), nitrogen (N) ratios and total amounts per hectare, cation exchange capacity (CEC) and the amount of litter were decreased in more intensively used areas. As a result, it has been determined that it causes negative effects on the fertility and sustainability of the soil in areas where human use is more intense. In order to minimize these effects, the carrying capacity of the area should be planned in a way that will cause the least damage to the soil properties. It is considered as the first measures to be taken by people is using certain points on the field instead of the full area, and reducing human entry to areas other than walkways.

**Keywords:** Field carrying capacity, Sustainability, Recreation

# I. GİRİŞ

Orman ekosistemleri gibi doğal alanlar hassas dengeler ve farklı dengelerin etkileşiminden meydana gelen karmaşık sistemler bütünüdür. Toprak ise bu ekosistemlerin kesişim noktasını oluşturan, kendi içerisinde birçok sistemi barındıran, ayrıca çoğu sistemin de temelini oluşturan önemli bir yapıdır [1]. Toprak, onunla etkileşime geçen sistemlerden etkilenip, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişimler göstermektedir. Toprak yüzeyinde bulunan ölü örtü ise su tutma kapasitesini, besin elementi oranı, katyon değişim kapasitesini arttırması gibi toprağa olumlu birçok etkinin merkezinde yer almaktadır [2]. Rekreatyonel faaliyetler her ne kadar çevre bilincinin artması, doğa bilincinin ve korumasının desteklenmesi gibi olumlu etkiler oluştursa da, toprak sıkışması başta olmak üzere, besin kaybı, organik madde kaybı, bitki örtüsünün zarar görmesi, alan kaybı, alan kirliliği gibi istenmeyen olumsuz etkilere de yol açabilmektedir [3]. Nitekim Avrupa Birliği ülkelerinde toprak sıkışması, toprak koruma bakımından öncelikli araştırma alanı olarak gösterilmektedir [4]. Toprak hacim ağırlığının artması, gözenekliliğinin azalması, hidrolik iletkenlik ve havalanmasının değişmesi ve buna bağlı bitki köklerinin ilerlemesini engelleyici mekanik bir direncin oluşması toprak sıkışmasını önemli kılan nedenlerin başında gelmektedir. Ayrıca ortaya çıkan bu olumsuz durum bitki büyümesini de kötü yönde etkilemektedir[5]. Toprak horizonlarında sıkışma problemi başladığı andan itibaren kök büyümesi mekanik bir dirençle karşılaşmakta, su ve besin elementlerinin alımı engellenmekte ve bitkisel üretkenlik düşmektedir [6-8]. Yoğun insan faaliyetleri başta geçiş ekosistemleri ile kırılğan ekosistemlerin bulunduğu sahalarda olmak üzere [9], rekreasyon alanlarının da dahil olduğu birçok ekosistem degeri kazanımı çok zor olan zararlara neden olmaktadır [10].

Doğal peyzaj çeşitliliği, bitki ve yaban hayatı zenginliği, gibi özellikleriyle doğal alanlar kent insanları için cazip rekreasyon alanları haline gelmiştir[11]. Rekreasyon alanlarında yürütülen faaliyetler farklılık gösterse de toprak üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkiler benzerdir. Bu etkilerin yoğunluğu arttıkça zamanla toprak sıkışması meydana gelmekte ve buna paralel olarak toprağın birçok fiziksel ve kimyasal özelliği bitki yetişmesi açısından kötüye gitmektedir [3,10,12]. Tüm bu olumsuzluklar toprak üzerinde yetişen bitkilerin boylarında kısalmaya, biokütlesinde azalmaya, tür kompozisyonunda değişikliğe, toprak yüzeyinde artan erozyona paralel olarak köklerin açığa çıkmasına, bitki patojenlerinin yayılmasına ve ekosistem için daha birçok olumsuz koşulların ortaya çıkmasına yol açabilmektedir [13].

Hızla artan dünya nüfusu doğada yapılan rekreatyonel faaliyetlere katılımında artmasına neden olmaktadır. Bu durum bugün olduğu gibi, gelecekte de büyük kitleler halinde devam edecektir. Doğal ekosistemlerin bu kullanımdan olumsuz etkilendiği de bilinen bir gerçektir [14]. Bu ekosistemler üzerinde artan yoğun insan baskısından kaynaklı ekolojik koşulların değişimi ve bu ekosistemlerde oluşan tahribin restorasyonu konusunda çalışmaların yapılması büyük önem taşımaktadır. Özellikle restorasyon çalışmalarında değişen ekolojik koşullara paralel olarak tercih edilen yeni ağaç türlerinin sahalara uyumunun araştırılması ve ayrıca bu türlerin yetişme ortamında yarattığı değişimlerin belirlenmesi ekolojik açıdan önemle ele alınması gereken konulardır [9,10,15].

İnsan faaliyetlerine açık doğal alanlarda yöneticilerin karşılaştığı en büyük sorunların başında koruma ve kullanma dengesinin sağlanması gelmektedir [16]. İnsan nüfusunun hızlı artışına paralel olarak artan rekreatyonel talepler koruma ve kullanma dengesinin gözetilmesinde, bu iki zit görevin bir arada yürütülmesinde zorluklar ortaya çıkarmaktadır [17]. Aynı bölgede bulunan nispeten ekolojik özellikleri korunmuş alanlar ile özellikle yoğun insan baskısı sonucu tahribe uğramış, değişmiş ya da dönüştürülmüş alanlarda eşzamanlı olarak yapılacak bilimsel çalışmalar ve bu çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması meydana gelen etkilerin ortaya konmasında faydalı olacaktır.

Dolayısıyla bu çalışmada ülkemiz insan nüfusunun en fazla yoğunluğa ulaştığı il olan İstanbul'da, rekreasyon fonksiyonu ile ön plana çıkan Anadolu yakasında bulunan Beykoz Hekimbaşı Kent Ormanı sınırlarında, yoğun insan faaliyetlerine açık alanlar (piknik alanları, yürüyüş yolları) ile nispeten insan giriş çıkışının daha az yoğun olduğu alanlardaki toprak özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Özellikle yoğunluğun fazla olduğu alanlarda başta toprak sıkışması ve toprak organik

maddesinin azaltılacağı düşünülerek bu etkileri azaltıcı ne gibi tedbirlerin alınması gerektiği tartışılmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı İstanbul iline bağlı Beykoz ilçesi sınırlarında bulunan Hekimbaşı mevkiindeki Kent Ormanı içerisinde yer almaktadır (41° 03' 43'' N - 29° 06' 32'' E). Ayrıca alan Elmalı Barajı çevresinde Kuzeyde Beykoz ilçesi, Güneyde ve Doğuda Ümraniye, Batıda Üsküdar ilçe sınırları ile çevrilidir. İçerisinden Asya'yı Avrupa'ya bağlayan Fatih Sultan Mehmet Köprüsünün ana arteri olan yollar geçmektedir. Çevresindeki Kadıköy, Maltepe, Üsküdar, Ümraniye, Beykoz ve Çekmeköy ilçeleri başta olmak üzere yerleşim yerlerinde, yaklaşık beş milyon insan yaşamaktadır. Kent Ormanı içerisinde bulunan ormanlar genellikle ağaçlandırma (plantasyon) yöntemi ile oluşturulmuş ormanlardır. Elmalı Baraj Gölü kent ormanının ortasında olması nedeniyle çok yüksek bir kaynak değeri oluşturmaktadır. Kent ormanını oluşturan mevcut tesisler; ana giriş kapısı, kontrol kulübesi, tuvaletler, 900 araçlık otopark, gözlem kulesi, enformasyon binası, 7 km'lik orman yolu, 12 km'lik yangın emniyet şeritleri, yaklaşık 10 km ihata tesisidir [18]. Verilerin amaca yönelik karşılaştırılabilir olması için birbirine yakın alanlarda Şekil 1'de gösterilen kullanım türüne bağlı noktalı alanlardan örneklemeler gerçekleştirilmiştir. Buna göre patika, meşçere içi açıklık, meşçere ve rekreasyon alanları olmak üzere toplam 4 farklı kullanım alanı belirlenmiştir. Burada patika saha içi yürüyüş yollarını, meşçere içi açıklık sahada ağaçlık alanlar içerisinde kapalılığın kırılarak açıklık oluşan çalı ve otsu alanları, meşçere sahada kapalılık oluşturan ağaçlık alanları ve rekreasyon da saha içerisinde masa vb. yerleştirilerek insanların oturma ya da piknik vb. faaliyetlerini gerçekleştirebileceği yerleri temsil etmektedir. Sahanın fiziksel durumu göz önünde bulundurularak kullanım yoğunluğu bakımından patika yol en yoğun, rekreasyon (piknik) alanları yoğun ve meşçere ile meşçere içi açıklık alanlar az yoğun alan olarak kabul edilmiştir.



*Şekil 1. Çalışma alanına ait uydu görüntüsü ( Kırmızı noktalar: Rekreasyonel kullanımı olan alanlar, Açık yeşil olan alanlar: Meşçere içi açıklıkları, Sarı alanlar: Patikaları ve Koyu yeşil alanlar: Meşçere yapısı bozulmamış alanları tanımlamaktadır.)[19]*

### A. 1. Örneklerin Toplanması ve Laboratuvar Analizleri

Her bir kullanım alanını temsilen rastgele olarak belirlenen 10'ar noktadan toprak sıkışması ve ölü örtü yoğunluğunun değişiminin tespit edilmesi amacıyla örnekler toplanmıştır. Sahaya ait ölü örtü örneklemeleri belirlenen 15 nokta üzerinde, 30x30 cm'lik alanlarda toprak üzerindeki tüm ölü örtünün toplanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu noktalarda açıkta kalan mineral topraktan başlamak üzere 0-10cm ve 10-20cm derinliklerden ikiye set toprak örneği alınmıştır. Bunlardan birinci seti kürekler yardımıyla alınarak fiziksel ve kimyasal analizler için kullanılmış, diğer set de bozulmamış

toprak örneği olarak toprak hacim ağırlığının belirlenmesi için kullanılmıştır. Bunun için yaklaşık 100cm<sup>3</sup> hacimlerde paslanmaz çelikten oluşan silindirlere toprak hacim ağırlığı örnekleyicileri kullanılmıştır. Sahadan toplanan tüm örnekler analiz için Düzce Üniversite Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü Toprak Laboratuvarına getirilmiştir.

Alınan toprak örnekleri etiketlerinin bulunduğu haznelere öncelikli olarak yaklaşık iki hafta oda sıcaklığında kurutularak hava kurusu hale getirilmiş ve hava kurusu hale getirilen örnekler porselen havanlarda dövülerek keseklerinden ayrıştırılmıştır. Dövülen toprak örnekleri, iskelet miktarının belirlenmesi ve toprak analizlerinin yapılması için çapı 2 mm olan eleklerden elenmiştir. Hem elekten geçen toprak hem de elek üstünde kalan toprağın taşlı kısmı tartılarak kaydedilmiştir. Kaydedilen değerler üzerinden daha sonra her bir örneğe ait iskelet (taşlılık) miktarları % oranlarla hesaplanmıştır. Eleklerden geçirilerek hazırlanan toprak örneklerinde toprak reaksiyonu (pH), elektrik iletkenliği (EC), toprak tanecik bileşimi (tekstür), toplam kireç miktarı, organik madde (OM) içeriği, organik ve inorganik karbon (OC ve IOC) içeriği, katyon değişim kapasitesi (KDK) ve azot (N) içeriği analizleri yapılmıştır.

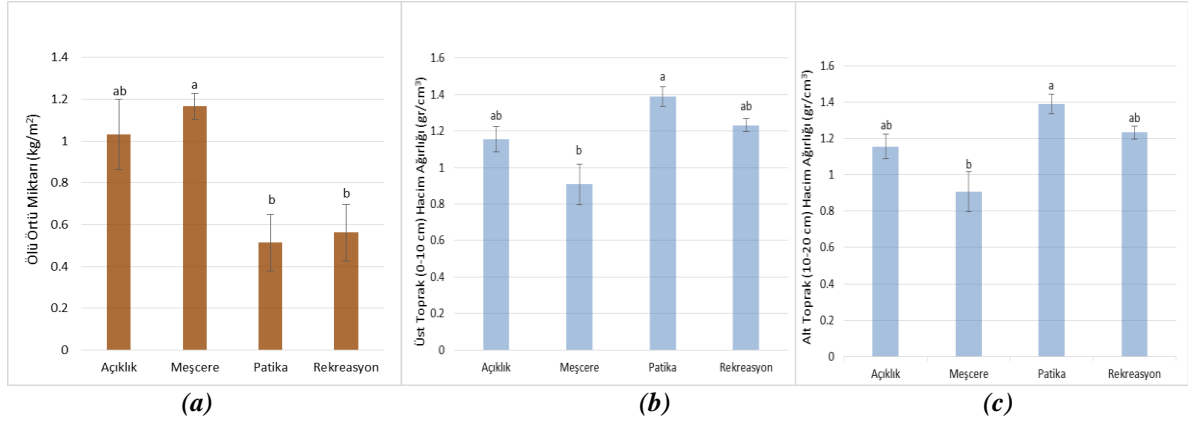
Laboratuvara getirilen toprak örneklerinden hacim ağırlığı için alınan bozulmamış toprak örnekleri kase kâğıtları içerisinde kurutma fırınında 105 °C'de 24 saat kurutulup hassas terazide tartıldıktan sonra toprağın hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Toprak örneklerinin tanecik bileşimi (tekstür) analizleri Bouyoucos Hidrometre Yöntemi'ne göre yapılmış olup [20-21], bulunan kum, kil ve toz oranlarına göre Amerikan Toprak Tekstür Üçgeni'nden [22] yararlanılarak toprağın türü belirlenmiştir. Toprağın pH'sını belirlemek için hava kurusu toprak örnekleri 1/2,5 oranında saf su karışımı ile pH metre kullanılarak çözelti asitliği olarak belirlenmiştir [23-25]. Toprağın elektrik iletkenliğini belirlemek için hava kurusu toprak örnekleri 1/5 oranında saf su karıştırılarak cihaz yardımıyla okumalar yapılmıştır [26]. Toprağın katyon değişim kapasitesi (KDK) sodyum asetat yöntemiyle bulunmuştur [27-28]. Toprağın Organik Madde (OM) içeriği ateşte kayıp yöntemine göre belirlenmiştir [29]. Toprağın OC içeriği OM'nin %50'si olarak hesaplanmıştır [30]. Toplam kireç (CaCO<sub>3</sub>) miktarı Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir [31]. Toprağın inorganik karbon (IOC) miktarı toplam kireç içerisindeki C miktarının hesaplanmasıyla elde edilmiştir. IOC ve C miktarları toplanarak toplam C miktarları (TOPC) hesaplanmıştır. Azot analizi ise Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir (Kjeltec Auto 1030 Analyzer)[32].

Değişkenler arasındaki ilişkilere örnekleme desenine uygun olarak varyans analizi (ANOVA) yapılarak bakılmıştır. İstatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunan değişkenler için ortalamaları ayırma işlemi olarak Tukey'in HSD testi  $\alpha = 0.05$  güven düzeyinde uygulanmıştır. Bütün istatistiksel analizler için SAS [33] programından yararlanılmıştır. Sonuçların  $P < 0,05$  güven düzeyinde istatistiksel olarak önemli olduğu kabul edilmiştir.

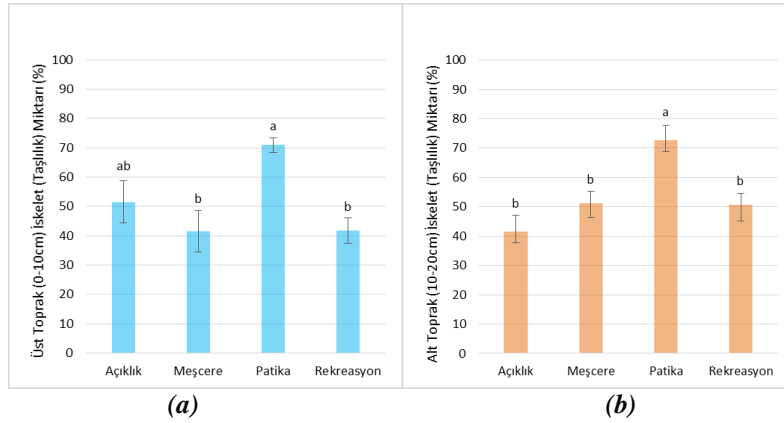
### **III. BULGULAR**

Örnekleme yapılan alanlarda mineral toprak yüzeyinde bulunan ölü örtü miktarları farklı kullanım yoğunluklarına göre Şekil 2'de karşılaştırılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü üzere az yoğun olarak kullanılan meşçere içerisindeki ölü örtü miktarının, yoğun olarak kullanılan rekreasyon alanları ve en yoğun olarak kullanılan patika yollarına kıyasla yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Topraktaki sıkışma oranının belirlenmesi için yapılan hacim ağırlığı analizinde Şekil 2'de görüldüğü gibi yoğun kullanımın olduğu patika yollarında 0-10 cm ve 10-20 cm derinlik kademelerinde, toprak örneklerinin hacim ağırlığının meşçere alanlarından istatistiksel olarak farklı çıktığı belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre en yoğun kullanıma sahip patika yollarında, her iki toprak derinliği kademesindeki toprak hacim ağırlığı, az yoğun olarak kullanılan meşçere alanlarına kıyasla yaklaşık 1,5 kat fazla çıkmıştır. Dolayısıyla yoğun olarak kullanılan patika yollarındaki toprak sıkışmasının, nispeten daha az yoğun olarak kullanılan meşçere ve meşçere içi açıklık alanlara oranla istatistiksel olarak arttığı belirlenmiştir.

Şekil 3'teki verilerde farklı kullanım yoğunluğuna sahip alanlardaki toprağın iskelet (taşlılık) miktarları gösterilmektedir. Buna göre yoğun kullanıma sahip patika yollarında üst toprağın iskelet miktarının, meşçere ve rekreasyon alanlarına oranla yaklaşık 1,7 kat daha fazla olduğu, alt toprakta ise yine patika olarak kullanılan alanın meşçere, meşçere içi açıklık ve rekreasyon alanlarına oranla yaklaşık 1,5-1,7 kat daha fazla iskelet miktarına sahip olduğu hesaplanmıştır. Az yoğun kullanım alanları olan meşçere ve meşçere içi açıklık alanlar ile yoğun kullanım alanı olarak kullanılan rekreasyon alanları arasında toprak sıkışması bakımından bir farklılık olduğuna dair yeterli kanıt bulunamamıştır.



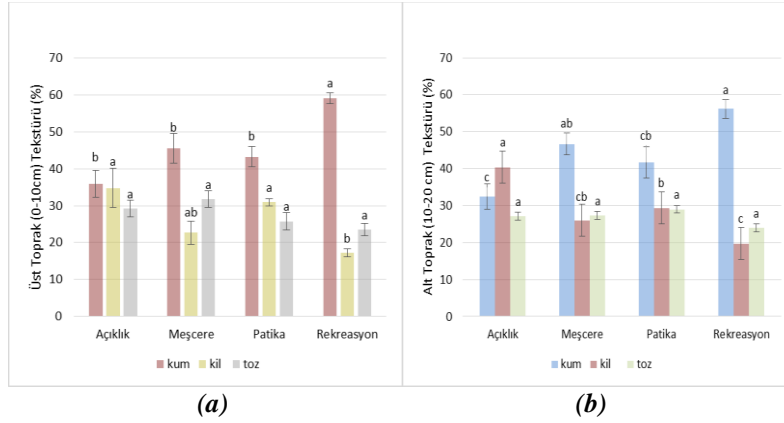
**Şekil 2.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlardaki ortalama ölü örtü miktarı (a) ve üst toprak (b) ile alt toprak (c) hacim ağırlıkları. Not: Hata çubukları standart hatayı gösterirken çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değerlerdir.



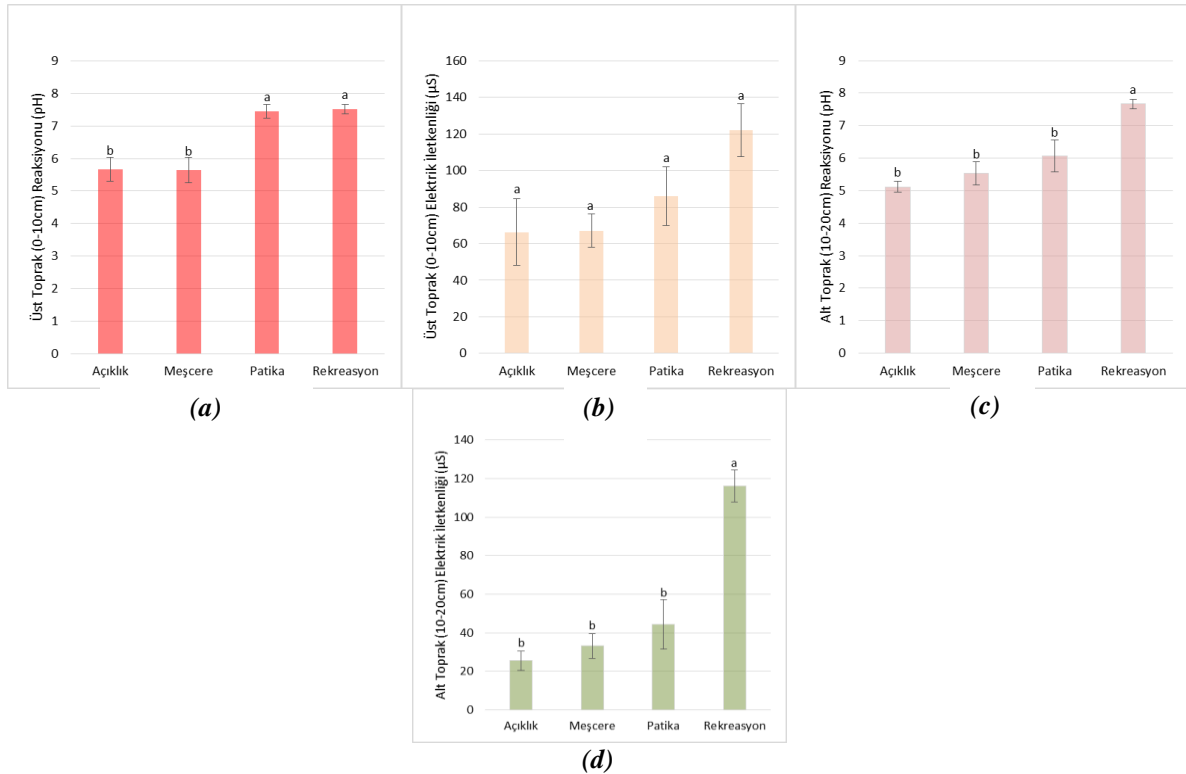
**Şekil 3.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlardaki üst toprak (a) ve alt toprak (b) iskelet miktarları. Not: Hata çubukları standart hatayı gösterirken çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değerlerdir.

Çalışma alanına ait toprak tanecik bileşimi (tekstür) grafiği Şekil 4'de verilmiştir. Buna göre bütün alanların toprak türü ağırlıklı olarak kumlu balçık olarak bulunsa da, yer yer killi balçık, balçık ve kil tipinde toprak türleri de tespit edilmiştir. Üst topraktaki kum verileri incelendiğinde, yoğun olarak kullanılan rekreasyon alanındaki toprakların kum miktarları ile diğer alanların kum miktarları arasında yaklaşık 1,5 kat fark olduğu hesaplanmıştır. Alt toprakta ise yine en yüksek kum oranı rekreasyon alanında tespit edilmiş olup, bu oran orman içi açıklık alanların yaklaşık 2 katı, patika alanlarının 1,4 katı kadardır. Üst toprakta patika olarak kullanılan alandaki kil miktarının kum miktarının tersine, en düşük oranda bulunduğu yer rekreasyon alanları olup, diğer alanlarda ortalama 1,5-2 kat daha fazla kil tespit edilmiştir. Toz miktarları karşılaştırıldığında ise kullanım yoğunlukları arasında her iki derinlik kademesinde de anlamlı bir farklılık olduğuna dair kanıt rastlanılmamıştır. Genel olarak kullanım şekline bağlı topraktaki kum ve kil yoğunluklarının değişime uğradığı, yoğunluğun fazla olduğu yerlerde kil miktarının azaldığı, bunun yerine kum miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Çalışma sahasındaki toprakların reaksiyonu ve elektrik iletkenliği değerleri Şekil 5’de görülmektedir. Burada toprak reaksiyonunun (pH) hem üst toprak hem de alt toprak bakımından alanlar arası farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre insan faaliyetlerinin daha yoğun olduğu patikalarda ve rekreasyon alanlarında üst toprak daha alkalin bir özellik gösterirken, kullanım yoğunluğunun daha az olduğu meşçere ve meşçere içi açıklık alanlarda hafif asidik özellik göstermektedir. Bu durum alt toprakta değişerek toprak reaksiyonu en yoğun kullanılan patikalarda, az yoğun kullanılan meşçere ve meşçere içi açıklık alanlarda hafif asidik özellik gösterirken, rekreasyon alanlarında üst topraktakine benzer alkalin özellik göstermektedir. Toprakların tuzluluk miktarı ile ilgili bir gösterge olan elektrik iletkenliği (EC) incelendiğinde ne üst toprakta ne de alt toprakta bir tuzluluk sorunu tespit edilmemiştir. Ancak Şekil 5’de görüldüğü üzere alt topraktaki EC değerlerinin bariz bir şekilde rekreasyon alanlarında 3-6 kat arttığı belirlenmiştir.



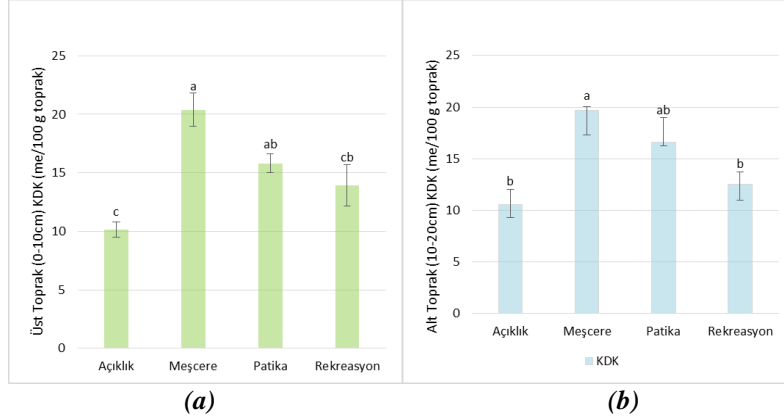
**Şekil 4.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlardaki üst toprak (a) ve alt toprak (b) tekstürü. Not: Hata çubukları standart hatayı gösterirken aynı değişken için çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değerlerdir.



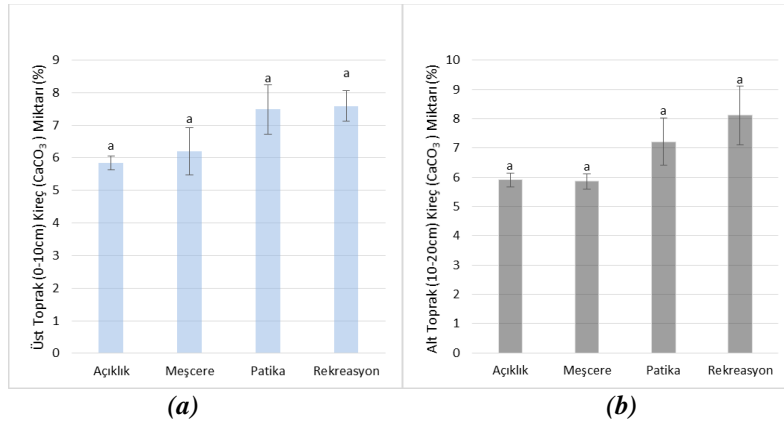
**Şekil 5.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlardaki üst toprak reaksiyonu (a) ve elektrik iletkenliği (EC) değeri (b) ile alt toprak reaksiyonu (c) ve elektrik iletkenliği (EC) değeri (d). Not: Hata çubukları standart hatayı

gösterirken çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değillerdir.

Kimyasal toprak özelliklerinden toprak verim gücünün bir göstergesi olan KDK değerleri Şekil 6'da görüldüğü gibi alanlar arasında farklılık göstermiştir. Üst toprak ve alt toprak değerleri incelendiğinde az yoğun olarak kullanılan meşçere alanının KDK değeri anlamlı derecede diğer alanlara oranla farklı çıkmıştır. Buna göre her iki toprak derinlik kademesinde de az yoğun kullanılan meşçere içerisindeki KDK değeri benzer yoğunlukta kullanılan meşçere içi açıklık alandan yaklaşık 2 kat, yoğun kullanılan rekreasyon alanından ise yaklaşık 1,5 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. IOC miktarının hesaplanabilmesi için yapılan kireç analizleri sonuçlarına göre toplam kireç oranları sahalar arası karşılaştırıldığında Şekil 7'de de görüldüğü gibi istatistiki olarak bir fark bulunamamıştır.



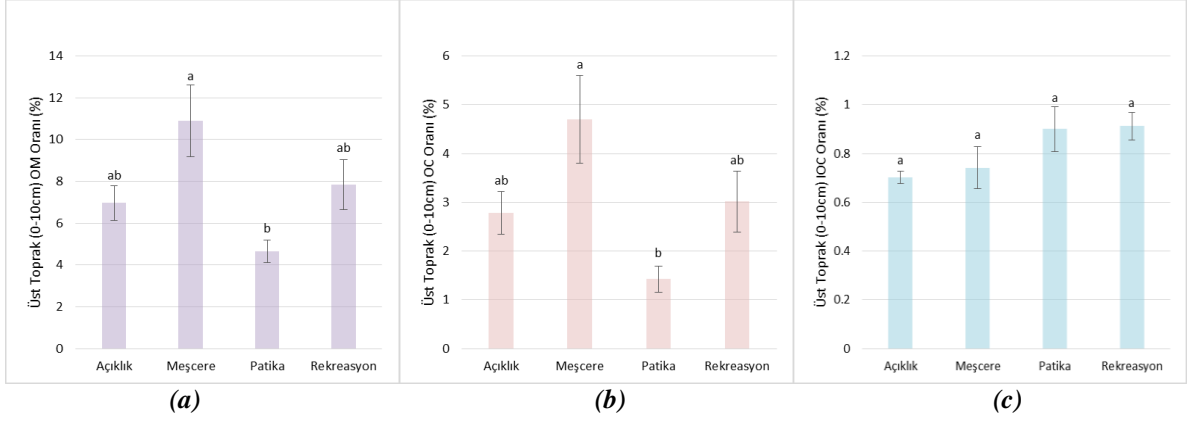
**Şekil 6.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlardaki üst toprak (a) ve alt toprak (b) katyon değişim kapasitesi (KDK). Not: Hata çubukları standart hatayı gösterirken aynı değişken için çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değillerdir.



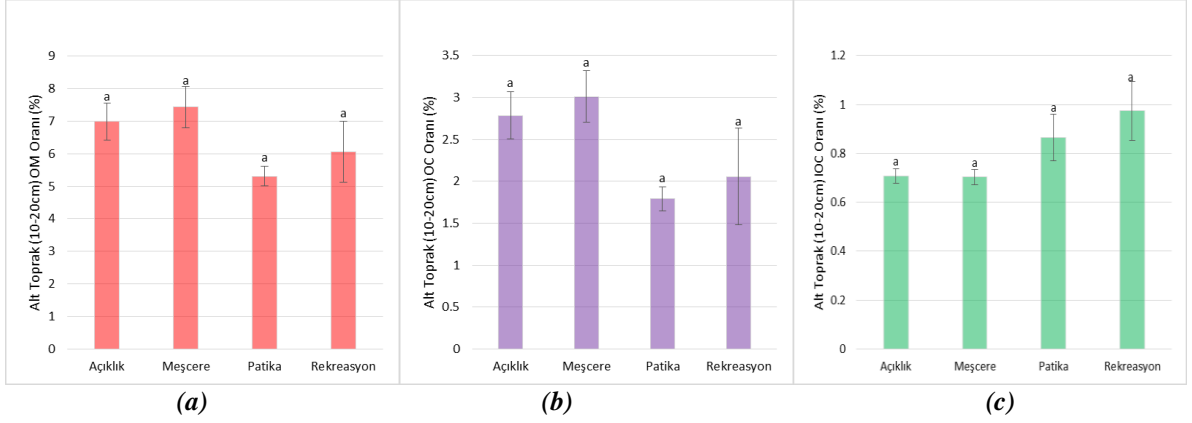
**Şekil 7.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlardaki üst toprak (a) ve alt toprak (b) toplam kireç (CaCO<sub>3</sub>) miktarları. Not: Hata çubukları standart hatayı gösterirken aynı değişken için çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değillerdir.

Toprak içerisindeki OM oranları Şekil 8 ve Şekil 9'da görülmektedir. Az yoğun olarak kullanılan meşçere içerisindeki üst topraktaki OM oranının, en yoğun olarak kullanılan patika alanlarından yaklaşık 2,4 kat daha fazla olduğu hesaplanmıştır. OM miktarına paralel olarak OC oranları arasında da benzer bir eğilim tespit edilmiş, Şekil 8 ve Şekil 9'da görüldüğü üzere meşçere alanlarında OC oranının patika alanlarına oranla 3,3 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Hem üst hem de alt topraktaki IOC oranları arasında farklı kullanım yoğunluğuna bağlı istatistiki olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.





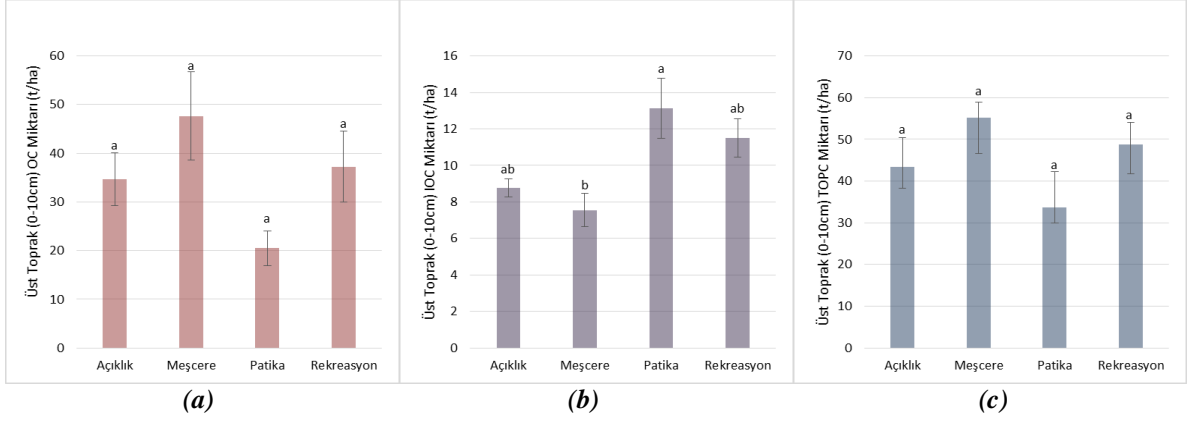
**Şekil 8.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlarda üst topraktaki (a) organik madde (OM), (b) organik karbon (OC) ve (c) inorganik karbon (IOC) oranları. Not: Hata çubukları standart hatayı gösterirken aynı değişken için çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değildir.



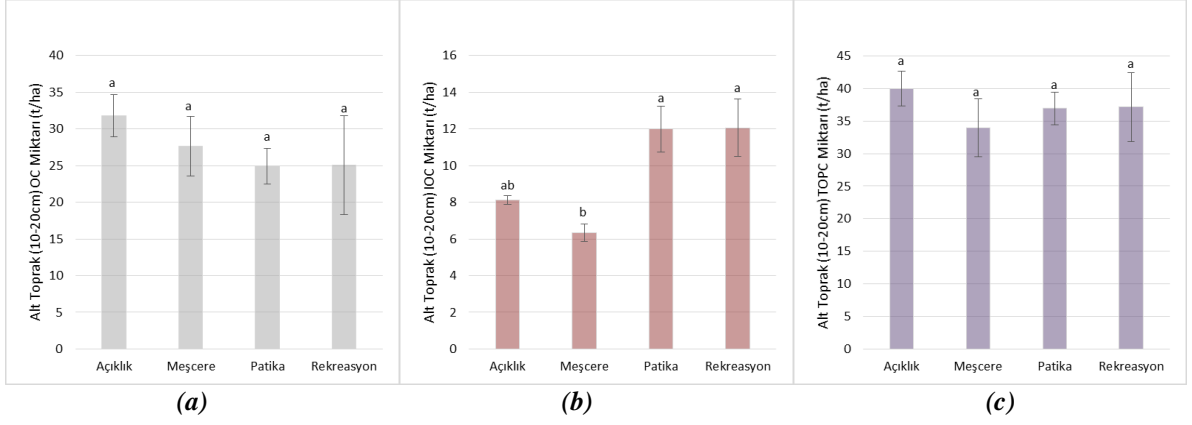
**Şekil 9.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlarda alt topraktaki (a) organik madde (OM), (b) organik karbon (OC) ve (c) inorganik karbon (IOC) oranları. Not: Hata çubukları standart hatayı gösterirken aynı değişken için çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değildir.

Şekil 10'da üst toprak ve Şekil 11'de alt toprak değerleri olmak üzere, toprak hacim ağırlıkları kullanılarak OC, IOC ve TOPC miktarları hektar bazında hesaplanmıştır. Burada sadece hektardaki IOC miktarları alanlar arasında farklılık göstermiştir. Hem üst toprakta hem de alt toprakta patika alanlarındaki IOC miktarı, meşçere alanlarının yaklaşık 2 katı olarak hesaplanmıştır. Şekil 10'daki üst toprak ve Şekil 11'deki alt toprağa ait OC ve TOPC miktarlarına bakıldığında, bu değerlerin alanlar arasında farklılık göstermediği belirlenmiştir.

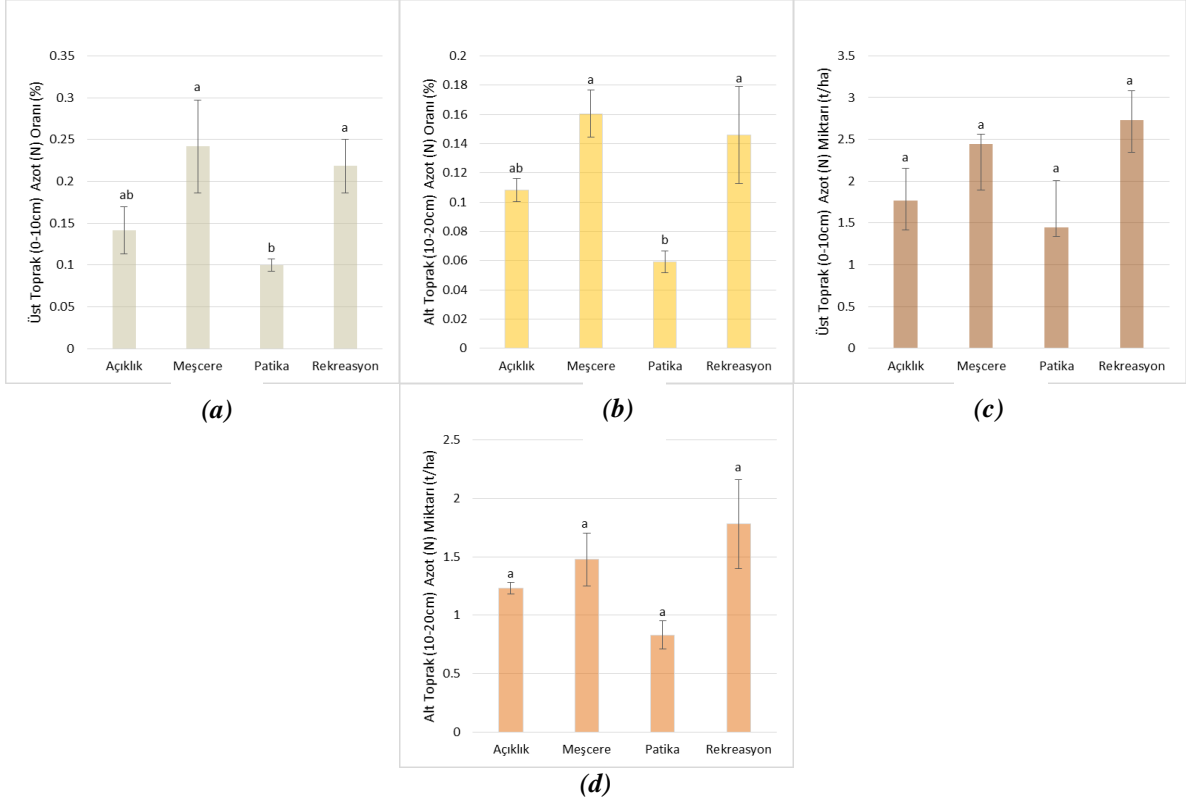
Şekil 12'de görüldüğü üzere çalışma sahaslarındaki her iki toprak derinlik kademesine ait N oranları, az yoğun olarak kullanılan meşçere ve yoğun olarak kullanılan rekreasyon alanlarında, çok yoğun olarak kullanılan patika alanlarından yaklaşık 2,5 kat fazla çıkmıştır. Ancak Şekil 12'de hacim ağırlığından faydalanılarak hesaplanan hektardaki N miktarlarına bakıldığında, bu miktarların alanlar arasında istatistiki olarak farklılık göstermediği tespit edilmiştir.



**Şekil 10.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlarda üst topraktaki (a) organik karbon (OC), (b) inorganik karbon (IOC) ve (c) toplam karbon (TOPC) miktarları (t/ha). Not: Hata çubukları standart hatayı gösterirken aynı değışken için çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değillerdir.



**Şekil 11.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlarda alt topraktaki (a) organik karbon (OC), (b) inorganik karbon (IOC) ve (c) toplam karbon (TOPC) miktarları (t/ha). Not: Hata çubukları standart hatayı gösterirken aynı değışken için çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değillerdir.



**Şekil 12.** Farklı yoğunlukta kullanılan alanlardaki üst toprak ve alt topraktaki azot (N) yoğunlukları (a) üst toprak, (b) alt toprak ile miktarları (c) üst toprak, (d) alt toprak (t/ha). Not: Hata çubukları standart hatayı gösterirken aynı değişken için çubuklar üzerindeki ortak harflerle takip edilen ortalamalar  $\alpha=0,05$  düzeyinde istatistiki olarak birbirlerinden farklı değildir.

## IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Doğada yapılan rekreasyonel faaliyetlere katılım bugün olduğu gibi, gelecekte de büyük kitleler halinde devam edecektir. Doğal alanların bu yoğun kullanımdan olumsuz etkilendiği bilinen bir gerçektir [14]. Rekreasyonel amaçlı olarak yürütülen faaliyetlerin çoğunun özellikle toprak üzerindeki etkileri büyük oranda benzerlik göstermektedir. Erozyona ve toprak sıkışmasına neden olma gibi zararları içeren bu etkiler, toprakta su hareketini etkilemekte bunun yanında köklerin ve ana kayanın yüzeye çıkmasına neden olmakta, bu durum da ekosistemde geriye dönüşü zor olan büyük tahribatların meydana gelmesine zemin hazırlamaktadır [13]. Nitekim rekreasyonel kullanımların ekolojik etkilerini inceleyen çalışmalarda, rekreasyonun toprak ve bitki örtüsüne etkisinin şiddetli ve uzun süreli olduğu vurgulanmaktadır [34].

Rekreasyonel faaliyetlerde farklı kullanım tiplerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada kullanım yoğunluğunun ölü örtü miktarını istatistiki olarak değiştirdiği, az yoğun olarak kullanılan meşcere içerisindeki ölü örtü miktarının, yoğun olarak kullanılan rekreasyon alanları ve en yoğun olarak kullanılan patika yollarına kıyasla yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. İstanbul Belgrad Ormanı'nda yapılan benzer bir çalışmada da yoğun olarak kullanılan alanlardaki ölü örtü miktarının bozulmamış alanlara oranla aynı şekilde 2 kat fazla olduğu belirlenmiştir [12]. Yapılan birçok çalışmada rekreasyonel kullanım yoğunluğunun artmasına paralel olarak ölü örtü miktarının azaldığı tespit edilmiştir [34-39].

Yoğun kullanıma sahip patika yollarında, hem üst toprakta (0-10cm) hem de alt toprakta (10-20cm) toprak hacim ağırlığı, az yoğun olarak kullanılan meşcere ve meşcere içi açıklık alanlarına kıyasla yaklaşık 1,5 kat fazla çıkmıştır. Dolayısıyla yoğun olarak kullanılan patika yollarındaki toprak

sıkışmasının, nispeten daha az yoğun olarak kullanılan meşçere ve meşçere içi açıklık alanlara oranla arttığı tespit edilmiştir. Doğal alanlarda yapılan rekreasyonel faaliyetlerden yürüyüş [10,40-42] ve piknik [3,11,12] gibi yoğun insan katılımının olduğu faaliyetlerin neden olduğu baskıdan dolayı [43-45] şimdiki çalışmadakine benzer şekilde toprak sıkışmasının arttığı yapılan birçok çalışmada ortaya konmuştur. Bu yoğun kullanım sonucu ortaya çıkan toprak sıkışmasının yanı sıra bir diğer etki de toprak kaybıdır [39,46-47]. Nitekim yoğun kullanıma sahip patika yollarında üst toprağın iskelet miktarının, meşçere ve rekreasyon alanlarına oranla yaklaşık 1,7 kat daha fazla olduğu, alt toprakta ise yine patika olarak kullanılan alanın meşçere, meşçere içi açıklık ve rekreasyon alanlarına oranla yaklaşık 1,5-1,7 kat daha fazla iskelet miktarına sahip olduğu hesaplanmıştır. Bu durumda özellikle yoğun kullanımın toprak kaybına yol açtığı kuvvetle muhtemeldir.

Genel olarak kullanım şekline bağlı topraktaki kum ve kil yoğunluklarının değişime uğradığı, kullanım yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde kil miktarının azaldığı, bunun yerine kum miktarının arttığı tespit edilmiştir. Ancak toprak tanecik bileşiminin direkt kullanım yoğunluğuna bağlı olduğunu gösteren yeterli kanıt ulaşılamamıştır. Toprak tekstüründeki benzer değişimler rekreasyonel faaliyetlerin toprak üzerine yaptığı etkiler ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunda görülse de, bu çalışmaların genel sonucu rekreasyonel faaliyetlerin toprak tanecik bileşimine etki etmediği yönündedir [12,40-41].

İnsan faaliyetlerinin daha yoğun olduğu patikalarda ve rekreasyon alanlarında üst toprak daha alkalin bir özellik gösterirken, kullanım yoğunluğunun azaldığı meşçere ve meşçere içi açıklık alanlarda hafif asidik özellik göstermektedir. Bu durum alt toprakta değişerek toprak reaksiyonu en yoğun kullanılan patikalarda, az yoğun kullanılan meşçere ve meşçere içi açıklık alanlarda hafif asidik özellik gösterirken, rekreasyon alanlarında üst topraktakine benzer alkalin özellik göstermektedir. Her ne kadar yapılan bazı çalışmalarda kullanım yoğunluğunun toprak reaksiyonunu etkilemediği belirtilse de [37,40,48], çoğu çalışmada kullanım yoğunluğu arttıkça toprak reaksiyonunun alkallenleştiği belirtilmektedir [12, 36, 37, 43, 44]. Bu durum yoğun kullanım alanlarında ölü örtünün azalması ve buna bağlı ayrışan organik asitlerin toprağa sızmasının azalmasından kaynaklanıyor olabilir [34-39]. Genellikle kurumuş yaprak, dal ve odun parçalarından oluşan ölü örtü yoğun olarak kullanılan rekreasyon alanlarında azalma eğilimindedir. Özellikle piknik alanlarında sıklıkla ateş yakmak ya da tutuşturmak için kullanılmaktadır. Bu da toprağa doğal gübre işlevi gören ölü örtünün azalmasına neden olmakta, nihayetinde toprak verimliliği azalmaktadır [47, 49]. Bu da hem üst toprak hem de alt toprakta az yoğun olarak kullanılan meşçere alanının KDK değerinin, diğer alanlara oranla daha yüksek çıkması durumunu açıklamaktadır. Ölü örtü miktarının ve buna bağlı topraktaki OM oranının patika ve rekreasyon alanlarında azalması, bu alanlardaki toprağın alkallenleşmesi ve KDK değerinin düşmesi sürecinin nasıl birbirine bağlı olduğunu göstermesi bakımından oldukça önemlidir.

Az yoğun olarak kullanılan meşçere içerisindeki üst topraktaki OM oranının, en yoğun olarak kullanılan patika alanlarından yaklaşık 2,4 kat daha fazla olduğu, OM miktarına paralel olarak meşçere alanlarında OC oranının patika alanlarına oranla 3,3 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla alanlar arasında kullanım yoğunluğu azaldıkça toprak içerisindeki OM ve OC oranlarının artmış olduğu belirlenmiştir. İsrail’de yapılan [50] ve ayrıca tropik alanlar ile subtropik alanları kapsayan bir alanda yapılan [51] çalışmalarda her ne kadar toprak OM içeriğinin kullanım yoğunluğuna bağlı olarak değişmediği iddia edilse de, çoğu çalışmada kullanım yoğunluğu arttıkça, toprak OM içeriğinin azaldığı belirtilmektedir [12,34-37,48,52]. Yine aynı şekilde kullanım yoğunluğunun artmasına paralel olarak toprak OC içeriğinin azaldığı yapılan birçok çalışmada tespit edilmiştir [12,35,40,48]. İstanbul Belgrad ormanlarında yapılan çalışmada bozulmamış orman alanlarındaki OC oranının piknik faaliyeti gerçekleştirilen alanlardan yaklaşık 6 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir [12]. Türkiye ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış OC miktarları üzerine yapılan bir çalışmada 1 m derinlik için 1 ha alandaki topraktaki OC miktarı araştırılmış ve ibrelili ağaçların hakim olduğu orman ekosistemlerinde  $77,1 \text{ t/ha}^{-1}$ , yapraklı ağaçların hakim olduğu orman ekosistemlerinde ise  $80,4 \text{ t/ha}^{-1}$  olduğu bildirilmiştir [53]. Bu çalışmada derinlik olarak 1 metre kullanılmadığı için değerler farklılık gösterse de, organik karbonun en fazla olduğu üst topraktaki değerler toplam OC miktarının meşçere alanlarında benzer miktarlara ulaşıldığının göstergesidir.

Ancak topraktaki değişkenliğin çok fazla olmasından dolayı OC ve TOPC miktarlarının kullanım yoğunluğuna bağlı bir farklılık gösterdiğine dair yeterli kanıt ulaşılamamıştır.

Toprak sıkışması sonucu makro gözeneklilikteki azalmayla beraber oksijen noksanlığı ortaya çıkmaktadır. Toprak havasının bileşiminde oksijen oranının azalması sonucu organik materyalin ve mikrobiyal biyokütlenin mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılması engellenmektedir. Bu nedenle sıkışmış topraklarda N mineralizasyonunda bir azalma meydana gelmekte ve azotun gaz halinde kaybı söz konusu olmaktadır [54-56]. İstanbul'da tahrip olmuş maden sahalarında yapılan bir çalışmada topraktaki OC miktarının artışı ile de toprak hacim ağırlığının azaldığı ve N oranının yükseldiğı tespit edilmiştir [57]. Şimdiki çalışmada da bu durum benzerlik göstermiş alanlar arasında kullanım yoğunluğu azaldıkça toprak üstündeki ölü örtü miktarı, toprak içerisindeki OM ve OC oranları artmış, hacim ağırlığı azalmış ve N oranında da artış olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda topraktaki KDK değerlerinin de kullanım yoğunluğu azaldıkça arttığı, dolayısıyla toprak verim gücünün az yoğun kullanılan sahalarda daha iyi korunduğı tespit edilmiştir.

Rekreasyon alanlarında tahrip olmuş alanların restorasyonu önem arz eden diğer bir konudur. Bu gibi tahrip unsuru yüksek olan sahalarda özellikle kullanılacak bitki türlerinin ekolojik açıdan önemle ele alınması gereken konuların başında yer almaktadır[9]. Bu bağlamda şimdiki çalışma sahasındaki benzer rekreasyonel alanlarda mümkün olduğunca doğal ekosistem yapısını bozmadan rekreasyonel faaliyetlerin yapılmasını sağlamak özellikle toprak üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılmasına yardımcı olabilir. Sahaya yapılacak bitkilendirme çalışmalarında o bölgeye has bitki türlerinin tercih edilmesi olumsuz koşulların düzeltilmesinde yardımcı olabilir. Sahada örneklemeler yapılırken daha yoğun insan aktivitesi görülen alanlarda bitki varlığının azaldığı, birkaç yer örtücü tür haricinde rekreasyon ve patika alanlarında toprağın çıplaklaştığı gözlemlenmiştir. Yoğun insan baskısının sürmesi sahada nispeten daha az yoğun olarak kullanılan meşçere ve meşçere içi açıklık alanlarında da benzer sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilir. Bununla beraber son yıllarda etkisini iyice arttıran küresel ısınma ve beraberinde gelen kuraklık, sahalardaki hali hazırda oluşan stres koşullarının iyice artmasına ve Kuzey Avrupa'da görülen toplu bitki ölümleri gibi tahrip şiddeti yüksek sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilir [58]. Nitekim N gibi bitki beslenmesi için önemli, ayrıca ekosistemde değişken ve bağlanması oldukça zor olan bir besin elementinin bu durumdan etkilenmesi bu tip ekosistemlerin sürdürülebilirliğini sekteye uğratabilir.

Sonuç olarak bu ve benzeri çalışmalar, rekreasyon alanlarındaki aktivitelerinin planlı ve kontrollü olarak sürdürülmesi gerektiğini, aksi halde ileriki dönemlerde kendi kendini yenileme eşiğini geçen ve geri dönüştürülmesi zor olan tahriplerin kuvvetle muhtemel ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Hızla artan dünya nüfusu bir taraftan doğada yapılan rekreasyonel faaliyetlere katılımı arttırırken diğer taraftan doğal ekosistemleri olumsuz yönde etkilemektedir [14].Bu etkilerin en aza indirilmesi için alanın taşıma kapasitesinin toprak özelliklerine en az düzeyde zarar verecek şekilde planlanması gerekmektedir [11]. İnsanların tam alan yerine sahadaki belirli noktaları kullanması, yürüyüş yolları dışındaki alanlara insan girişlerinin azaltılması en başta alınacak önlemler olarak düşünülmektedir. Bu bağlamda insan faaliyetlerine açık alanların işletme yetkilisi olan kurum, kişi ya da kuruluşların farklı disiplinlerden oluşan bilimsel ve teknik bir heyet oluşturup, kullanım planlamasını bu heyetin görüş ve fikirlerine göre yapması büyük önem taşımaktadır. Oluşturulan koruma ve kaynak kullanma politikalarının, rekreasyonel kullanım ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların sonuçlarına göre tekrar gözden geçirilmesi ve planlamaların bu doğrultuda yapılması gerektiğı düşünülmektedir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir (Proje başvuru no: 1919B011900176).

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] E. P. Odum ve G.W. Barret, *Ekolojinin Temel İlkeleri*, Kani IŞIK, Ed., 5. baskı, Ankara, Türkiye: Palme Yayıncılık, 2008.
- [2] O. Yıldız, M. Sarginci, D. Eşen ve K. Jr. Cromack, “Effects of vegetation control on nutrient removal and *Fagus orientalis*, Lipsky regeneration in the Western Black Sea region of Turkey,” *For. Ecol. Manage.* c. 240 ss. 186-194, 2007.
- [3] S. Uzun, “Uludağ Milli Parki’ndeki rekreasyonel kullanımların ekosistemin bazı bileşenleri üzerine etkileri,” Doktora tezi, Peyzaj Mimarlığı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2012.
- [4] L. Van-Camp, B. Bujarrabal, A. R. Gentile, R. J. A. Jones, L. Montanarella, C. Olazabal ve S. K. Selavaradjou, “Reports Of The Technical Working Groups Established Under The Thematic Strategy For Soil Protection,” Office for Official Publication of the European Communities, Luxemburg, EUR 21319 EN/6, 2004.
- [5] B. Turgut, “Ormanlık alanlarda toprak sıkışması sorunu,” *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, c. 1, s. 13, ss. 66-73, 2012.
- [6] B. D. Soane ve C. Van Ouwerkerk, “*Soil Compaction In Crop Production*,” Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2013.
- [7] W. R. Whalley, E. Dumitru ve A. R. Dexter, “Biological effects of soil compaction,” *Soil and Tillage Research*, c. 35 s. 1-2, ss. 53-68, 1995.
- [8] A. Gomez, R. F. Powers, M. J. Singer ve W. R. Horwath, “Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada,” *Soil Science Society of America Journal*, c. 66, s. 4, ss. 1334–1343, 2002.
- [9] O. Yıldız, E. Altundağ, B. Çetin, Ş. T. Güner, M. Sarginci ve B. Toprak, “Afforestation restoration of saline-sodic soil in the Central Anatolian Region of Turkey using gypsum and sulfur,” *Silva Fennica*, c. 51 s. 1B, ss.1-17, 2017.
- [10] M. J. Liddle, *Recreation Ecology: The Ecological Impact Of Outdoor Recreation And Ecotourism*, Springer, 1997, ss. 639.
- [11] A. Gül ve M. Akten, “Korunan doğal alanlarda rekreasyonel taşıma kapasitesi ve kavramsal yaklaşımlar”, *Korunan Doğal Alanlar Sempozyumu*, Isparta, Türkiye, 2005, ss. 485-494.
- [12] M. Çakır, E. Makineci ve M. Kumbaslı, “Comparative study on soil properties in a picnic and undisturbed area of Belgrad forest, İstanbul,” *Journal of Environmental Biology*, c. 31 ss. 125-128, 2010.
- [13] C. M. Pickering, W. Hill, D. Newsome ve Y.F. Leung, “Comparing Hiking, Mountain Biking And Horse Riding impacts on vegetation and soils in Australia and The United States Of America,” *Journal of Environmental Management*, c. 91, s. 3, ss. 551–562, 2010.
- [14] F. Koçak ve V. Balcı, “Doğada yapılan sportif etkinliklerde çevresel sürdürülebilirlik,” *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 213-222, 2010.

- [15] M. Ö. Karaöz, “Belgrad Ormanı'nda bazı iğne yapraklı ve geniş yapraklı orman ekosistemlerine ait toprak özelliklerinin bir metre küp hacimdeki değerlere göre karşılaştırılması,” *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 41, s. 1, ss. 61-66, 1991.
- [16] R. F. Kuss ve A. R. Grafe, “Effects of recreation trampling on natural area vegetation.” *J. Leisure Res.*, c. 17 ss. 165-183, 1985.
- [17] G. W. Kearsley, “Tourism development and users' perception of wilderness in Southern New Zealand.” *Aust. Geogr.* c. 21, ss. 127-140, 1990.
- [18] Ümraniye Belediyesi Kent Ormanı ve İzci Kampı. (2019, 25 Mart). [Online]. Erişim: <https://projeler.umraniye.bel.tr/tr/projeler/proje/kent-ormani-ve-izci-kampi/54/kent-ormani-ve-izci-kampi/329>
- [19] İstanbul Hekimbaşı Kent Ormanı Google Maps Uydu Görüntüsü. (2020, 1 Eylül). [Online]. Erişim: <https://www.google.com/maps/place/Hekimba%C5%9F%C4%B1,+%C4%B0stanbul+Kent+Orman%C4%B1,+%C3%9Cmraniye%2F%C4%B0stanbul/@41.0624259,29.1090061,783m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x14cac9643988d2a3:0x836c5c71009bb5c5!8m2!3d41.0632389!4d29.1090276>
- [20] P. R. Day, “Particle fractionation and particle size-analysis,” in *Methods of Soil Analysis: Part I*, Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, 1965, ss. 545–567.
- [21] D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loepert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston ve M. E. Sumner, “Chemical methods,” in *Methods of Soil Analysis: Part 3*. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996, ss. 961-1010.
- [22] USDA, “Soil mechanics level I. Module 3–USDA textural soil classification study guide,” *National Employee Development Staff, Soil Conservation Service*, United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1987.
- [23] R. K. Schofield ve A. W. Taylor, “The measurement of soil pH,” *Soil Science Society of America Journal*, c. 19, s. 2, ss. 164–167, 1955.
- [24] M. K. Conyers ve B. G. Davey, “Observations on some routine methods for soil pH determination,” *Soil Science*, c. 145, s. 1, ss. 29–36, 1988.
- [25] G.W. Thomas, “Soil pH and soil acidity,” in *Methods of Soil Analysis: Part 3*. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996, ss. 475-490.
- [26] J. D. Rhoades, “Salinity: Electrical Conductivity And Total Dissolved Solids,” in *Methods of Soil Analysis: Part 3*. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996, ss. 417–436.
- [27] M. G. Berg ve E. H. Gardner, “Methods Of Soil Analysis Used In The Soil Testing Laboratory At Oregon State University,” Agricultural Experiment Station, Oregon State University, Corvallis, USA, Special Report 321, 1978.
- [28] M. E. Sumner ve W. P. Miller, 1996. “Cation exchange capacity and exchange coefficients,” in *Methods of Soil Analysis: Part 3*. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996, ss. 1201–1229.
- [29] R. Margesin ve F. Schinner, “*Manual Of Soil Analysis. Monitoring And Assessing Soil Bioremediation*,” Heidelberg, Germany: Springer Science & Business Media, 2005.

- [30] A. Güneş, M. Alpaslan ve A. Inal, “*Bitki Besleme ve Gübreleme*,” Ankara, Türkiye:Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Ders Kitabı, Yayın No: 1539, 2004.
- [31] F. Gülçür, “*Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metodları*,” İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları İ. Ü. Yayın No: 1970, O. F. Yayın No: 201 Kutulmuş Matbaası, 1974, ss. 205.
- [32] J. M. Bremner, “Nitrogen—Total,” in *Methods of Soil Analysis: Part 3*. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996, ss. 1085–1121.
- [33] SAS Institute, Inc., *SAS/STAT Users Guide, Version 6.12*. SAS Institute, Inc., Cary, North Carolina, 1996.
- [34] D. N. Cole, “Research on soil and vegetation in wilderness: A state-of-knowledge review.” In: *Proceeding. National Wilderness Research Conference: Issue, State-of-knowledge, Future Directions; 1985 July 23}26; Fort Collins, CO. Gen Tech Rep INT-220*. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station. ss. 135-177, 1987.
- [35] P. Kutiel, H. Zhevelev ve R. Harrison, “The effect of recreational impacts on soil and vegetation of stabilised Coastal Dunes in the Sharon Park, Israel,” *Ocean Coast. Manage.*, c. 42, ss. 1041-1060, 1999.
- [36] M. Andres-Abellan, J. B. Del Alamo, T. Landete-Castillejos, F. R. LopezSerrano, F. A. Garcia-Morote ve A. Del Cerro-Barja, “Impact of visitors on soil and vegetation of the recreational area “Nachimiento Del Rio Mundo” (Castilla-La Mancha, Spain).” *Environ. Monit. Assess.*, c. 101, ss. 55-67, 2005.
- [37] P. Kutiel, H. Zhevelev ve H. Lavee, “Coastal dune ecosystems: Management for conservation objective. III. Soil response to three vegetation types to recreational use.” *J. Mediterr. Ecol.*, c. 1, ss. 171-179, 2000.
- [38] A. Duyar ve S. Kınış, “The effects of trekking activities on physical soil properties in the Bolu-Aladağ fir forests,” *Forestist*, c. 68, s. 1, ss. 36-41, 2018
- [39] B. Ş. Güngör, “Cultural ecosystem services and recreational use: a review study in Belgrad Forest, Istanbul,” *Journal of Multidisciplinary Research in Sustainability*. c. 1, s. 1, ss. 30–55, 2018.
- [40] S. Y. Korkaç, “Impacts of recreational human trampling on selected soil and vegetation properties of Aladağ Natural Park, Turkey,” *Catena*, c. 113, ss.219-225, 2014.
- [41] S. A. Lei, “Soil compaction from human trampling, biking, and off-roadmotor vehicle activity in a blackbrush (*Coleogyne ramosissima*) shrubland,” *Western North American Naturalist*, c. 64, s.1, ss. 125–130, 2004.
- [42] T. T. Kozlowski, “Soil compaction and growth of woody plants,” *Scandinavian Journal of Forest Research*, c. 14, ss. 596–619, 1999.
- [43] P. Sarah ve H. M. Zhevelev, “Effect of visitors’ pressure on soil and vegetation in several different micro-environments in urban parks in Tel Aviv.” *Landscape Urban Plan.*, c. 83, ss. 284-293, 2007.
- [44] J. M. Arocena, K. N. Sanjay, M. Rutherford, “Visitor-induced changes in the chemical composition of soils in backcountry areas of Mt Robson Provincial Park, British Columbia, Canada.” *J. Environ. Manage.*, c. 79, ss. 10-19, 2006.





- [45] M. J. Liddle ve P. J. Greigh-Smith, "A Survey of tracks and paths in a sand dune ecosystem. II. Vegetation," *J. Appl. Ecol.*, c. 12 ss. 899-908, 1975.
- [46] J. L., Marion ve D. N. Cole, "Spatial and temporal variation in soil and vegetation impacts on campsites," *Ecological Applications*, c.6,ss.520-530, 1996.
- [47] D. Pimentel ve N. Kounang, "Ecology of soil erosion in ecosystems." *Ecosystems*, c.1, ss.416-426,1998.
- [48] M. Kissling, K. T. Hegetschweiler, H. P. Rusterholz ve B. Baur, "Short-term and longterm effects of human trampling on above-ground vegetation, soil density, soil organic matter and soil microbial processes in suburban beech forests," *Applied Soil Ecology*, c. 42, ss. 303–314, 2009.
- [49] C. Demir, "Turizm ve rekreasyon faaliyetlerinin olumsuz çevresel etkileri: Türkiye'deki milli parklara yönelik bir uygulama," *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, c. 17, s. 2,ss. 93-117, 2002.
- [50] P. Kutiel ve H. Zhevelev, "Recreational use impact on soil and vegetation at picnic sites in Aleppo pine forest on Mount Carmel, Israel," *Isr. J. Plant Sci.*, c. 49, ss. 49-56, 2001.
- [51] D. Sun ve M. J. Liddle, "A survey of trampling effects on vegetation and soil in eight tropical and subtropical sites," *Environ. Manage.*, c. 17, ss. 497-510, 1993.
- [52] H. Müderrisoğlu, M. Sargıncı, B. Toprak ve S. Uzun, "Effects of recreational usage-type and density on forest floor organic matter in Abant Nature Park," *1st International Turkey & Japan Environment and Forestry Symposium*, Trabzon, Turkey, 2010, ss.1562-1574.
- [53] D. Tolunay ve A.Çömez, "Türkiye ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları," *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, Hatay, Türkiye, 2008, ss.750-765.
- [54] J. M. Arocena, "cations in solution from forest soils subjected to forest floor removal and compaction treatments," *Forest Ecology Management*, c. 133, s. 1-2, ss. 71-80, 2000.
- [55] T. A. Breland ve S. Hansen, "Nitrogen mineralization and microbial biomass as affected by soil compaction," *Soil Biology and Biochemistry*, c. 28, s. 4-5, ss. 655–663, 1996.
- [56] I. Closa ve N. Goicoechea, "Seasonal dynamics of the physicochemical and biological properties of soils in naturally regenerating, unmanaged and clear-cut beech stands In Northern Spain," *European Journal Of Soil Biology*, c. 46, s. 3-4, ss. 190-199, 2010.
- [57] H. Sever ve E. Makineci, "Ağaçlı-İstanbul maden sahalarında sahil çamı (*Pinus pinaster* Aiton.) ağaçlandırmalarında bazı ölü örtü ve toprak özellikleri," *Türkiye Ormancılık Dergisi*,c. 9, s. 2, ss. 136-146, 2008.
- [58] E. Görecelioğlu, "Orman ölümü ve İsviçre Ormanları," *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 38, s. 4, ss. 21-31, 1988.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Güç Sistemlerinde Sürekli ve Geçici Durum Gerilim Kararlılığının UPFC-Yakıt Hücresi ile İncelenmesi

 M. Kenan DÖŞOĞLU<sup>a,\*</sup>,  Tuba Emine BOZKURT<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*  
<sup>b</sup>*Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: kenandosoglu@duzce.edu.tr  
DOI:10.29130/dubited.850192

### ÖZET

Güç sistemlerinin sürekli ve geçici durum çalışmalarında Esnek AC İletim Sistemi (FACTS) cihazları tercih edilmektedir. FACTS cihazları içerisinde kontrol etme yeteneği en güçlü olan Birleştirilmiş Güç Akışı Kontrolü (UPFC)'dir. UPFC bara gerilimlerini reaktif güce bağlı olarak kontrol ederken, iletim hattını empedans ve akıma göre kontrol etmektedir. Bu çalışmada, Uluslararası Elektrik Elektronik Mühendisliği (IEEE) 14 baralı güç sisteminde UPFC'nin statik ve dinamik gerilim kararlılığı analizleri gerçekleştirilmiştir. Sürekli ve geçici durum için gerilim kararlılığı çalışma limitlerinin geliştirilmesi ve sistemin kararlı bölgede kalması için UPFC ile birlikte Enerji Depolama Sistemi (EDS) elemanlarından yakıt hücresi kullanılmıştır. UPFC-EDS ile sistemin gerilim-maksimum yüklenme parametre değerlerinin yanı sıra bara gerilim profilleri analiz edilmiştir. UPFC ile yakıt hücresinin birlikte kullanılması durumunda sistemin yüklenme parametre değerinin arttığı ve bara gerilim profillerinin iyileştiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** UPFC, EDS, Gerilim-maksimum yüklenme parametresi

## Investigation with UPFC-Fuel Cell of Steady and Transient Voltage Stability in Power Systems

### ABSTRACT

Flexible AC Transmission System (FACTS) devices are preferred for steady state and transient state of power systems. Unified Power Flow Control (UPFC) has best control capability among FACTS devices. While UPFC controls bus voltages depending on reactive power, it controls the transmission line according to impedance and current. In this paper, static and dynamic voltage stability analyzes of UPFC were tested in the International Electric Electronic Engineering (IEEE) 14 bus power system. Fuel cell, which is a kind of Energy Storage System (ESS) devices, was used together with UPFC to improve the voltage stability operating limits for the steady state and transient state and to keep the system in the stable region. Besides, the voltage-maximum loading parameter values of the system, the bus voltage profiles were analyzed with the UPFC-EDS. In case of using UPFC and fuel cell together, it was observed that the loading parameter value of the system increased and the bus voltage profiles improved.

**Keywords:** UPFC, EDS, Voltage—maximum loading parameter

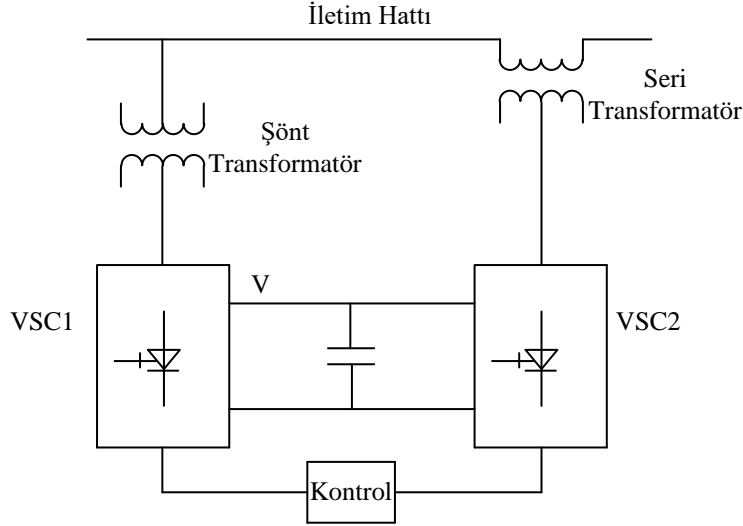
## I. GİRİŞ

Yarı iletken teknolojisinin hızlı gelişimi elektrik güç sistemlerinin güç elektroniği aygıtları vasıtasıyla kontrol edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu cihazlar FACTS adı verilen yeni bir teknolojiyi oluşturmaktadır. FACTS teknolojisi, aktif-reaktif gücü kontrol etmek ve mevcut iletim sistemlerinin kullanılabilir kapasitesini arttırmak için yeni fırsatlar sunmaktadır. FACTS cihazları içerisinde en gelişmiş olan model UPFC'dir. UPFC hem barayı hemde iletim hattındaki birçok parametreyi kontrol etmek amaçlı olarak kullanılabilir. Literatürde UPFC ile ilgili yapılan çalışmalar incelenecek olursa; İletim hatları arasındaki aktif ve reaktif güç alışverişine bağlı olarak güç sisteminde kararlılık analizi ile küçük dağılımlar durumunda UPFC'nin etkin kullanımı incelenmektedir. Çok makinalı sistemlerde elektromekanik salınım ve güç osilasyon sönümlenmelerinde UPFC küçük sinyal kararlılığı bakımından sistemin kararlı bölgede kalmasını sağlamaktadır [1,2]. Senkron generatör ve UPFC'de doğrudan kontrol modelleri ve ilave sinyal eklenmesi ile senkron altı rezonans analizleri incelenmektedir. Geliştirilen kontrol modelleri ve denetleyicileri sayesinde sistemdeki salınımların kısa sürede kararlı hale geldiği ve küçük sinyal kararlılığının etkili sonuçlar verdiği görülmektedir [3-5]. Çok makinalı güç sisteminde şebeke tarafında oluşan olumsuz durumlara karşı meydana gelen güç kalitesi problemlerinin giderilmesinde dinamik zaman cevabını hızlı sağlaması açısından UPFC kullanılmaktadır. Aktif ve reaktif güç kontrolünün sağlanmasının yanısıra, güç kalitesi sorunlarını çözmede sisteme seri evirici devresindeki gerilim enjekte edilmesini sağlayan UPFC eş zamanlı olarak şebeke sinüsoidal şeklinin bozulması ile ortaya çıkan harmonikleri kısa sürede minimum düzeye indirmektedir [6, 7]. Güç sistemlerinde maksimum transfer kapasitesini arttırmak, iletim hattı gücünü arttırmak ve istenilen aktif-reaktif güç profilini ortaya çıkartmak için UPFC iç çalışma noktası metodu kullanılmaktadır. İç çalışma noktası metodu ile UPFC'nin en optimum değerler alması sağlanarak UPFC bağlantı noktası ve gerçek generatör eşdeğer durumlarının belirlenmesi çok baralı güç sistemlerinde UPFC'nin daha etkin olarak bulunmasını sağlamış olmaktadır [8,9]. UPFC'nin güç sistemlerinde diğer kullanım alanlarından birisi de paralel evirici devresindeki güç enjekte modellemesidir. Güç sistemlerinde UPFC'nin en optimum çalışma yerinin belirlenmesi ile iletim hattının başlangıç ve bitiş noktaları arasında eş zamanlı olarak güç denetimi yapılmaktadır. Özellikle paralel evirici devresinde gerçekleşen güç enjekte modellemesi sayesinde her iki evirici devresindeki anahtarlama kayıpları ve hat kopması problemlerini ortadan kaldırmada etkili olduğu gözlemlenmektedir [10, 11]. Farklı test sistemlerinde tahminci ve düzeltici iterasyon adımları yapılarak güç sistemlerinin maksimum yüklenme parametre değerlerini iyileştirmek için UPFC kullanılmaktadır. Özellikle yük baralarındaki gerilim profillerindeki iyileşme yüklenme durumu açısından önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır [12-14].

Yapılan bu çalışmada maksimum yüklenme parametre değerini artırma ve güç sistemlerinin çalışma koşullarının daha iyi hale getirilmesi için UPFC ile birlikte EDS elemanlarından yakıt hücresi kullanılmıştır. Sistemin normal çalışması statik gerilim kararlılığı analizi olarak incelenirken, hatta bulunan kesicinin belirli bir süre devre dışı kalıp tekrar devreye girmesi dinamik gerilim kararlılığı sınıfı altında incelenmiştir. Her iki durumdaki gerilim kararlılığı analizi sonuçlarına göre UPFC-EDS'nin sistemin maksimum yüklenme değerlerini arttırırken, yük baralarının gerilim profillerini de sürekli yük akışında iyileştirdiği görülmüştür.

## II. BİRLEŞTİRİLMİŞ GÜÇ AKIŞI KONTROLÜ (UPFC)

UPFC devre modeli Şekil 1’de gösterilmiştir.

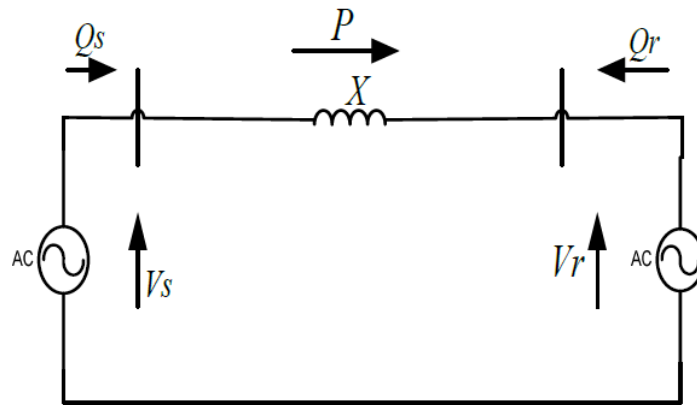


Şekil 1. UPFC devre modeli

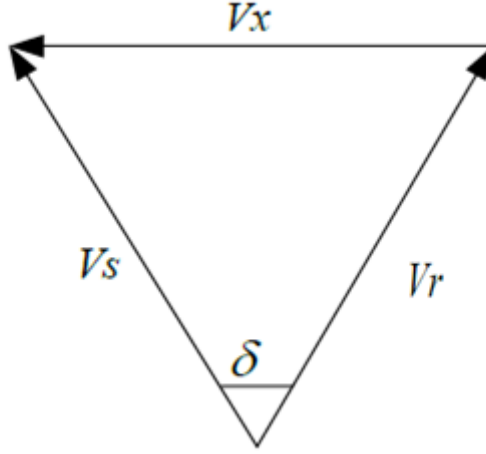
Şekil 1’de yer alan UPFC devre modeli incelendiğinde, UPFC’nin tristör tetikleme devreleri kullanılan gerilim kaynaklı eviricilerden oluştuğu görülmektedir [15].

VSC1 ve VSC2 olarak adlandırılan bu eviricilerin çalışmasında, bir DC depolama kapasitörünün sağladığı ortak bir DC bağlantı kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak AC güç dönüştürücüde, aktif güç iki eviricinin AC terminalleri ile her bir evirici arasındaki iki yönde serbest bir şekilde akabilmektedir ve AC güç dönüştürücü, kendi AC çıkış terminalinde reaktif gücü çekmenin yanı sıra bağımsız olarak üretebilmektedir.

VSC1 ve VSC2 arasındaki güç alışverişinde seri olarak enjekte edilen gerilimden yararlanılmasına rağmen, buradaki reaktif gücün tamamı evirici 2 üzerinden sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak evirici 1, birleşik güç faktöründe çalıştırılabilir veya hat ile reaktif bir güç alışverişine sahip olacak şekilde ve evirici 2 tarafından değiştirilen reaktif güçten bağımsız bir biçimde kontrol edilebilir. UPFC’nin güç sistemindeki aktif ve reaktif güç kontrolü iki makinalı sistemde gösterilmektedir. UPFC’nin iki makinalı sistemdeki gösterimi ve gerilim fazör diyagramı Şekil 2 ve Şekil 3’te yer almaktadır.



Şekil 2. UPFC'nin iki makinalı sistemde gösterimi



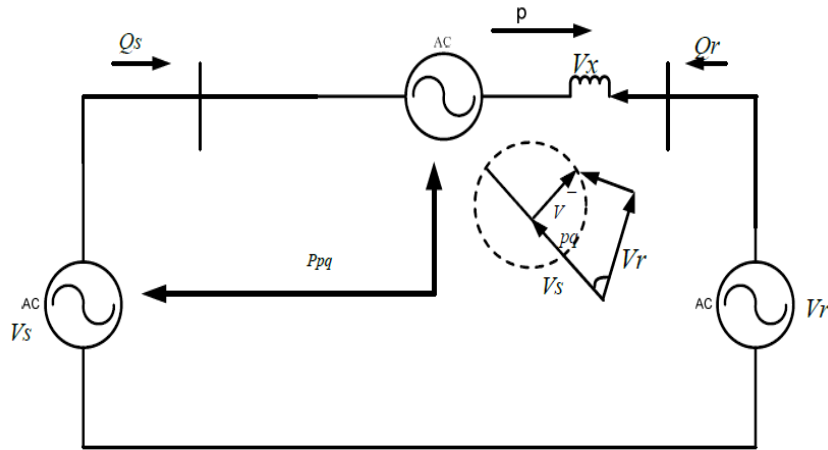
Şekil 3. UPFC'nin gerilim fazör diyagramı

Şekil 2'de yer alan  $V_s$  kaynak uç gerilimini,  $V_r$  alıcı uç gerilimini ve  $X$  hat empedansını ifade etmektedir. Şekil 3'te ise UPFC gerilimleri fazör olarak,  $\delta$  ve  $V_s=V_r=V$  iletim açıları ile ifade edilmiştir. Hattan iletilen aktif ve reaktif güce ait ifadeler denklem (1) ve denklem (2)'de yer almaktadır.

$$P = \frac{V^2}{X} \sin \delta \quad (1)$$

$$Q = Q_s = Q_r = \frac{V^2}{X} \cos \delta \quad (2)$$

Bu denklemlerde yer alan,  $P$  ifadesi hattan akan aktif güç iken,  $V$  hat gerilimi ve  $\delta$  faz açısıdır. Şekil 4'te iki makinalı temel güç sisteminin UPFC ile geliştirilmiş modeli yer almaktadır.



Şekil 4. İki makinalı güç sisteminin UPFC ile geliştirilmiş modeli

UPFC'nin iletilen aktif gücü ile kaynak ve alıcı ucundan sırasıyla  $Q_s$  ve  $Q_r$  reaktif güç taleplerini kontrol etme kabiliyetini ortaya koyacak bir amacın temin edilmesini sağlar. UPFC tarafından hatla seri olarak enjekte edilen gerilim, fazör  $V$  ile ifade edilir,  $V_{pq}$  ( $0 \leq V_{pq} \leq 0.5 p.u$ ) büyüklüğü ve  $\rho$  ( $0 \leq \rho \leq 360^\circ$ ) arasında olacak şekilde faz konumuna göre ölçülür.  $I$  fazörü ile ifade edilen hat akımı,  $V_{pq}$  seri gerilim kaynağı üzerinden akar ve hem reaktif hem de gerçek güç alışverişiyle sonuçlanır. UPFC'yi doğru şekilde temsil etmek için seri gerilim kaynağı yalnızca reaktif güç üretme

şartına bağlanır ve hat ile alışverişte bulunur [15]. Böylece, hat ile karşılaştırma yapan aktif güç, gücün iki makinalı sistemde uygun değerinin belirlenmesinde önemli bir rol almış olur. Şekil 4'e göre, iki makinalı sistemde iletim hattı boyunca gerilimin tamamı iletim hattının  $V_s+V_{pq}$  değeri ile ifade edilmektedir. UPFC ile iki makinalı sistemde gerilim ve aktif-reaktif güç ifadeleri denklem (3) ve denklem (4)'te gösterilmiştir.

$$V_{pq} = \Delta V + V_p + V_q \quad (3)$$

$$P - jQ = V_r \left( \frac{V_s + V_{pq} - V_r}{jX} \right) \quad (4)$$

$V_{pq}=0$  olduğu durumda denklem (5) gibi elde edilir.

$$P - jQ = V_r \left( \frac{V_s - V_r}{jX} \right) \quad (5)$$

$V_{pq}=0$  eşit olmadığı durumdaki ifadesi denklem (6) elde edilir.

$$P - jQ = V_r \left( \frac{(V_s - V_r^*)}{jX} \right) + \left( \frac{V_r V_{pq}^*}{-jX} \right) \quad (6)$$

Kaynak gerilimi, alıcı uç gerilimi ve toplam p-q gerilim ifadeleri sırasıyla denklem (7) ve denklem (9) arasında gösterilmiştir.

$$V_s = V e^{j\delta/2} = V \left( \cos \frac{\delta}{2} + j \sin \frac{\delta}{2} \right) \quad (7)$$

$$V_r = V e^{-j\delta/2} = V \left( \cos \frac{\delta}{2} - j \sin \frac{\delta}{2} \right) \quad (8)$$

$$V_{pq} = V e^{-j(\delta/2+\rho)} = V_{pq} \left[ \cos \left( \frac{\delta}{2} + \rho \right) - j \sin \left( \frac{\delta}{2} + \rho \right) \right] \quad (9)$$

İletim hattından akan aktif güç ve uç alıcı reaktif güç ifadeleri denklem (10) ve denklem (11)'de gösterilmiştir.

$$P(\delta, \rho) = P_0(\delta) + P_{pq}(\rho) = \frac{V^2}{X} \sin \delta - \frac{V V_{pq}}{X} \cos \left( \frac{\delta}{2} + \rho \right) \quad (10)$$

$$Q_r(\delta, \rho) = Q_{r0}(\delta) + Q_{pq}(\rho) = \frac{V^2}{X} (1 - \cos \delta) - \frac{V V_{pq}}{X} \sin \left( \frac{\delta}{2} + \rho \right) \quad (11)$$

Burada,  $P_0$  ve  $Q_{r0}$  başlangıç aktif ve reaktif güç değerleridir. Başlangıç aktif ve reaktif güç ifadeleri denklem (12) ve denklem (13)'te gösterilmiştir.

$$P_0(\delta) = \frac{V^2}{X} \sin \delta \quad (12)$$

$$Q_{r0}(\delta) = \frac{V^2}{X}(1 - \cos \delta) \quad (13)$$

Burada,  $\rho$  açısı iletim açısıdır.  $\rho$  açısı 0 ile  $2\pi$  arasında değer alırken,  $\delta$  faz açısı değeri 0 ile  $\pi$  arasında değer almaktadır.  $P_0$  ve  $Q_{r0}$  başlangıç aktif ve reaktif güç değerlerinin almış olduğu değer aralığı denklem (14) ve denklem (15)'te gösterilmiştir.

$$P_0(\delta) - \frac{VV_{pqmaksimum}}{X} \leq P_0(\delta) \leq P_0(\delta) + \frac{VV_{pqmaksimum}}{X} \quad (14)$$

$$Q_{r0}(\delta) - \frac{VV_{pqmaksimum}}{X} \leq Q_{r0}(\delta) \leq Q_{r0}(\delta) + \frac{VV_{pqmaksimum}}{X} \quad (15)$$

Başlangıç aktif ve reaktif güç değerlerinde normal olarak iletilen güç ifadeleri denklem (16) ve denklem (17)'de gösterilmiştir.

$$P_0(\delta) = \frac{V^2}{X} \sin \delta = \sin \delta \quad (16)$$

$$Q_{r0}(\delta) = \frac{V^2}{X}(1 - \cos \delta) = 1 - \cos \delta \quad (17)$$

### III.YAKIT HÜCRESESİ

Yakıt hücresi sistemi elektrik üretimde, yakıt işlemcisi, yakıt hücresi devresi ve güç bağlantı ünitesi olmak üzere üç temel katmandan oluşmaktadır. Güç işlemcisi, yakıtın dönüşüme uğradığı kısımdır. Sistem içerisinde kullanılan elektrokimyasallar sayesinde elektriğin üretildiği kısım yakıt hücresi devresi olarak ifade edilir. Güç bağlantı ünitesi ise AC güç akım, gerilim ve frekans içeren bölge ve DC güce dönüşen kısımdır. Yakıt hücresi devresi DC güç üretmesine rağmen, bu kısımda üretilen güç gözlemlenebildiği ve ölçülebildiği için doğrudan kontrol edilemeyebilir. Güç bağlantı ünitesi şebekenin ihtiyacına göre AC gücü DC güce dönüştürme işleminin gerçekleştirildiği bölgedir [16].

Yakıt hücresi modelindeki yakıt hücre akımının sabit güç kontrolü ile hesaplanması denklem (18)'de gösterilmiştir.

$$I_k = \frac{(P_{ref} / V_{k0} - i_k)}{T_e} \quad (18)$$

Burada, yakıt hücresi akımı  $I_k$ , yakıt hücresi başlangıç DC gerilimi  $V_{k0}$ , başlangıç yakıt hücresi akımı  $i_k$ , küçük zaman sabiti ise  $T_e$  olarak ifade edilir. Bağlandığı sistemde giriş sinyalinin aşırı derecede büyük olması durumunda yakıt hücresinde akım hesaplaması denklem (19)'de daverilmiştir.

$$I_k = \left( \frac{U_{limit} qH_2}{2K_r} - i_k \right) \frac{1}{T_e} \quad (19)$$

Burada,  $U_{limit}$  minimum veya maksimum yakıt tüketimi,  $H_2$  hidrojen oranı,  $q$  soğutma katsayısı,  $K_r$  ise DC katsayısıdır. Yakıt hücresinin şebeke bağlantısı transformatör ve ideal bir evirici vasıtasıyla sağlandığında, AC gerilim modülasyon genliği sayesinde ayarlanmaktadır. Modülasyon genlik ifadesinin türevli hali denklem (20)'de gösterilmiştir.

$$m = \frac{-\left(K_m(V_{ref} - V_s) - m\right)}{T_m} \quad (20)$$

Burada,  $m$  modülasyon genliği,  $K_m$  modülasyon katsayısı,  $V_{ref}$  referans gerilim,  $V_s$  ölçülen şebeke gerilimi,  $T_m$  modülasyon zaman sabitidir. Genlik kontrolü bir sınırlandırıcı tarafından denetlenmektedir. Yakıt hücresinin DC gücü şebekeye aktif ve reaktif güç olarak ilave edilmektedir. Güç sistemine ilave edilen aktif ve reaktif güç eşitlikleri denklem (21) ve denklem (22)'de gösterilmiştir.

$$P_s = \frac{V_t V_s}{X_t} \sin(\theta_t - \theta_s) \quad (21)$$

$$Q_s = \frac{V_t V_s}{X_t} \cos(\theta_t - \theta_s) \quad (22)$$

Burada,  $V_t$  yakıt hücresinin terminal gerilimini,  $X_t$  transformatör reaktansını,  $\theta_t$  yakıt hücresinin terminal gerilim açısını ve  $\theta_s$  kaynak geriliminin açısını ifade eder. Kaynak gerilim açısının ifadesi ise denklem (23)'te gösterilmiştir.

$$\theta_t = \theta_s + a \sin\left(\frac{X_t I_k}{K_m V_s}\right) \quad (23)$$

Denklem (22)'de yer alan terminal gerilim açısı ifadesi ile denklem (23)'teki reaktif güç eşitliği birleştirildiğinde denklem (24) elde edilir.

$$Q_s = \frac{V_s^2}{X_t} + \frac{V_s V_t}{X_t} \sqrt{1 - \left(\frac{X_t I_k}{K_m V_s}\right)^2} \quad (24)$$

Evirici genliğinin ve referans gerilim değerinin güç akışı çözümlemesinde kullanılan ifadeleri denklem (25) ve denklem (26)'da verilmiştir.

$$e_{g0} = -\frac{X_t}{V_s(V_t/K_m)} \sqrt{P_g^2 + \left(Q_g + \frac{V_g^2}{X_t}\right)^2} \quad (25)$$

$$V_{ref} = V_g + \left(\frac{e_g}{K_m}\right) \quad (26)$$

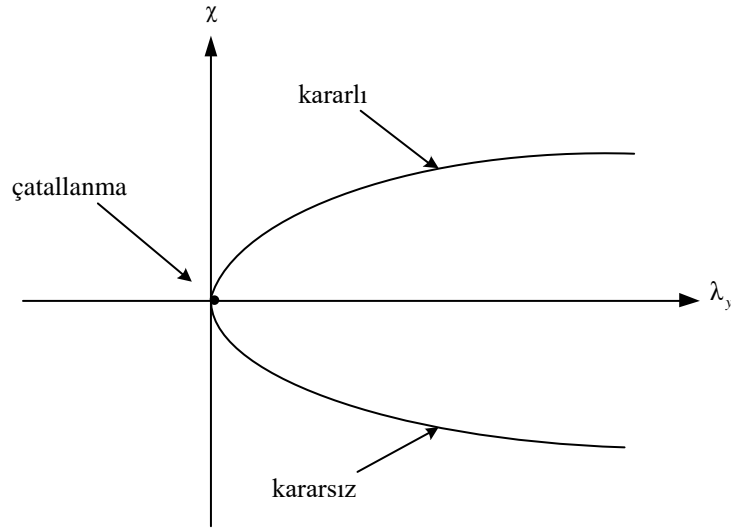
Burada,  $e_g$  evirici genliğini,  $e_{g0}$  başlangıç evirici genliğini,  $V_g$  bağlı olduğu bara gerilimini,  $P_g$  bağlı olduğu bara aktif gücünü,  $Q_g$  ise bağlı olduğu bara reaktif gücünü ifade etmektedir.

## IV. GERİLİM KARARLILIĞI

Gerilim kararlılığı temel olarak tüm baraların geriliminin kabul edilebilir limitlerde sabit tutulması olarak ifade edilmektedir. Sistemin kararlı olması için, arıza sonrasında ve normal çalışma koşulları altında güç sisteminin tüm baralarında gerilimin kabul edilebilir limitlerde olması gerekmektedir. Aksi halde sistem kararsızdır. Ayrıca, sisteme reaktif güç verilerek ya da sistemden reaktif güç çekilerek de gerilim kararlılığı kontrol edilebilmektedir. Güç sisteminde reaktif güç verme veya çekme



durumlarında sistemin kararlı olarak adlandırmak için tüm sistemdeki bara gerilimlerinin çalışma sınırları içerisinde bulunması gerekmektedir. Gerilim kararlılığı durumunun incelenmesi için çatallanma analizinden faydalanılmaktadır. Çatallanma analizinin temel açıklaması, dinamik bir sistemde, sistem parametreleri değiştiğinde fazların yapısının da değişmesidir. Yerel çatallanma analizinin incelenmesi için çatallanma noktasına yakın olan vektör diferansiyel denklemler ile analiz edilir. Bu analiz yapılırken güç sistemindeki yük değişiklikleri anlamına gelen bir yükleme parametresi belirtilmektedir. Bir güç sisteminde, yüklenme parametresi sistemdeki yük değişiklikleri anlamına gelir ve buna bağlı olarak aktif güç ile reaktif güç değerleri de değişmiş olur. Çatallanma analiz yaklaşımı Şekil 5'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.** Çatallanma analizi

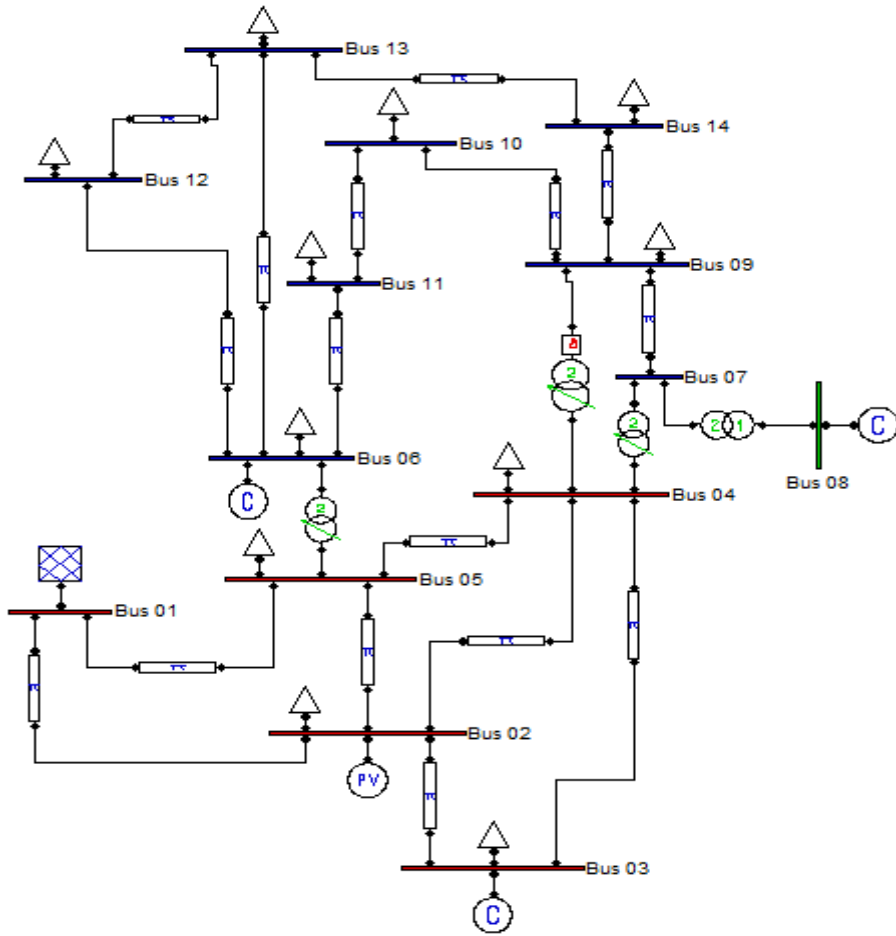
Çatallanma analizi yapılırken çatallanma denkleminde yararlanılmaktadır. Çatallanma analizi için kullanılacak olan ifade denklem (27)'de gösterilmiştir.

$$\dot{x} = \lambda - x^2 = f(x, \lambda) \quad (27)$$

Bu eşitlikte, x durum değişkenidir. f(x, λ) fonksiyonu değiştiğinde sistemin kararlı ve kararsız olduğu bölgelerin tanımlanması yapılabilir. Eğer λ < 0 olduğu durumda ise sistemin denge durumunda olmadığı görülür. Eğer λ > 0 olduğu durumda ise iki tane denge durumu karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan bir tanesi denge noktası diğeri ise denge noktası değildir. Bu durumların haricinde λ = 0 olduğu durumda denge durumu oluşur ve sistem değişiminin kararlı olduğu elde edilir [17].

## **V. BENZETİM ÇALIŞMASI**

Benzetim çalışması Uluslararası Elektrik Elektronik Mühendisliği (IEEE) 14 baralı güç sistemi üzerinde test edilmiştir. Benzetim çalışmasında Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılmıştır [18]. IEEE 14 baralı güç sistemi devre modeli Şekil 6'da gösterilmiştir.

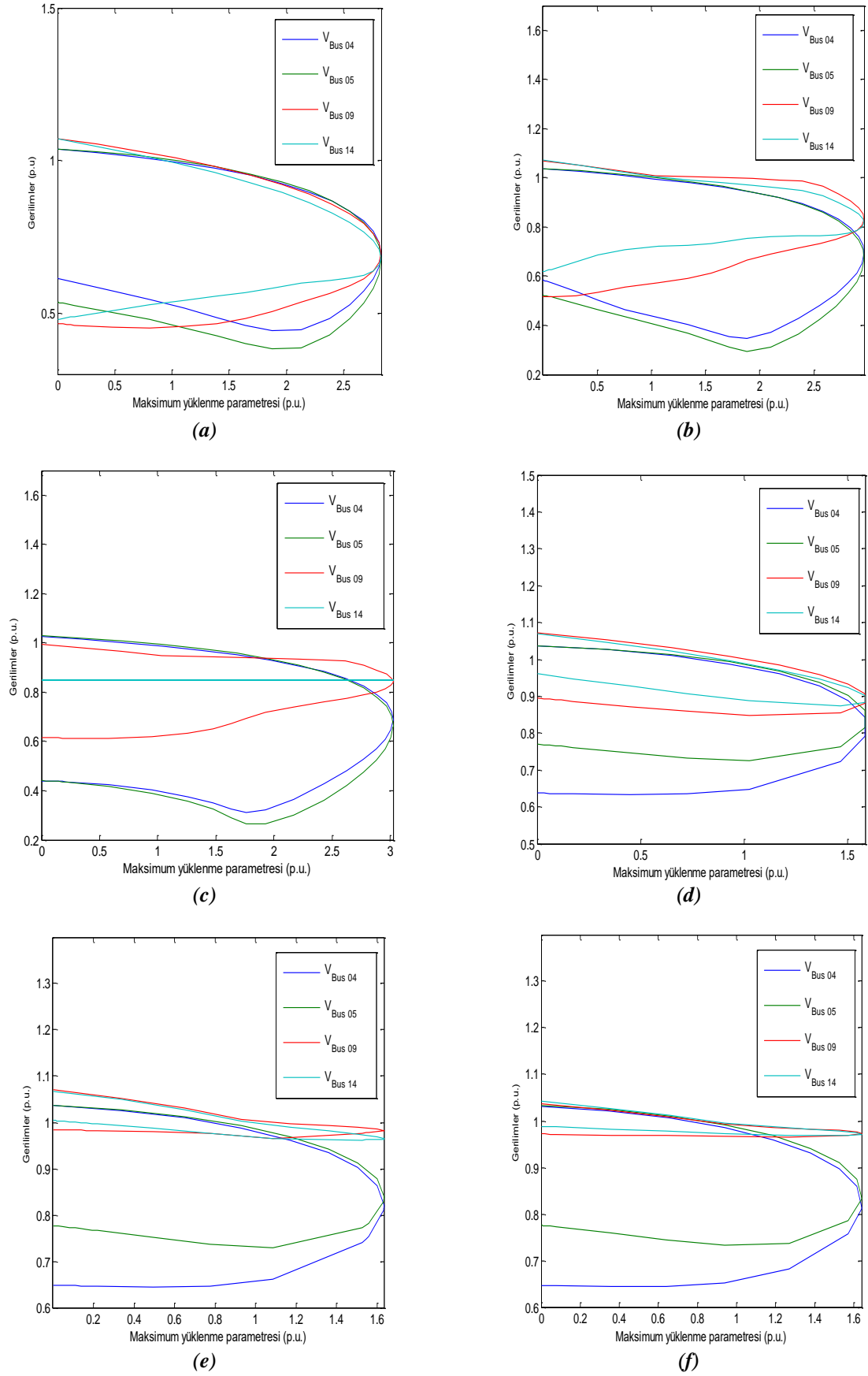


*Şekil 6.14 baralı güç sistemi devre modeli*

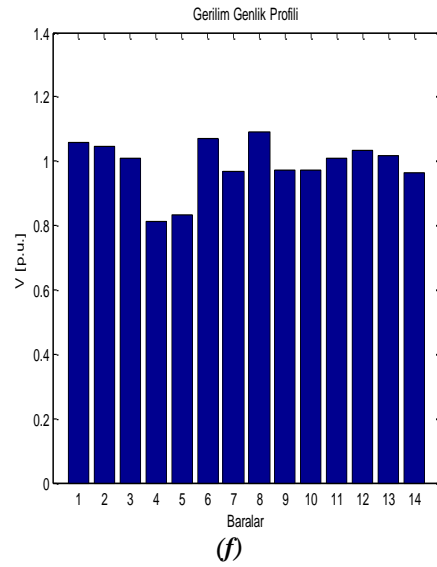
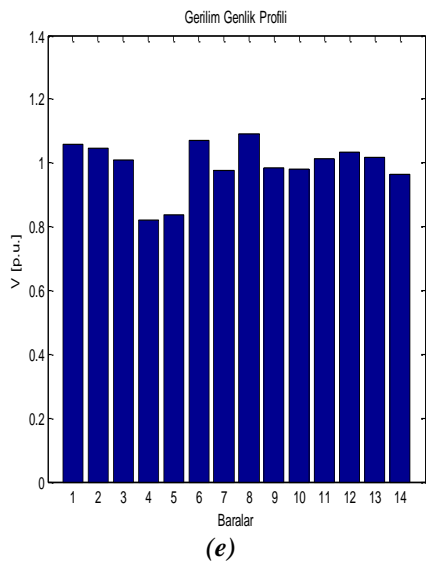
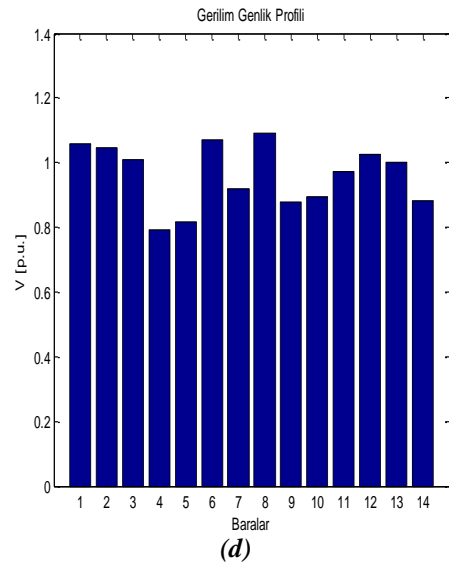
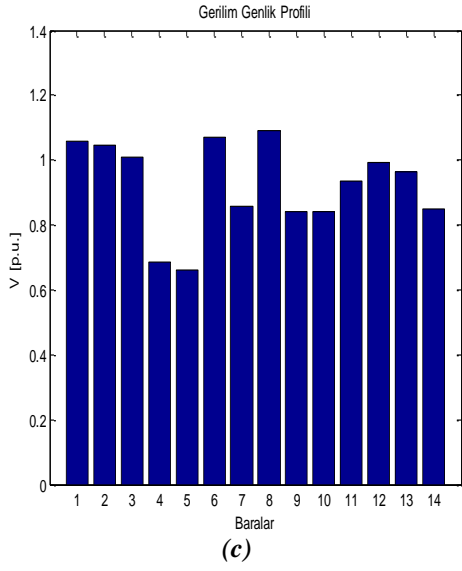
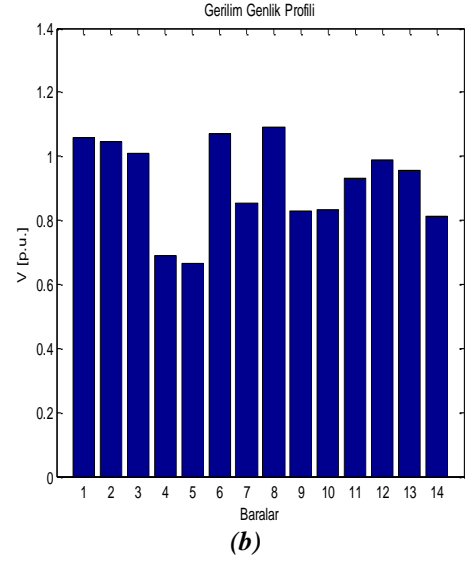
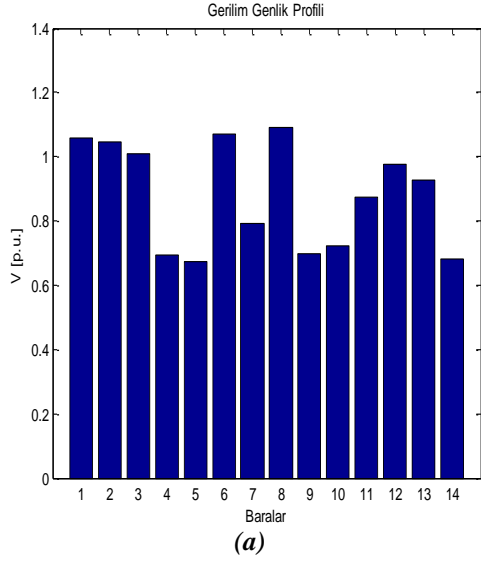
IEEE 14 baralı güç sisteminde 1 adet salınım barası, 4 adet generatörbarası ve 9 adet yük barası bulunmaktadır. IEEE 14 baralı sistemin 5-6, 4-8 ve 4-9 iletim hatlarında gerilimi düşüren transformatörler kullanılmıştır. 5-6 ve 4-9 numaralı iletim hatları arasındaki transformatörlerde kademe değiştirme ve faz kaydırma işlemleri yapılmaktadır. Yapılan benzetim çalışması 6 senaryodan oluşmaktadır. İlk senaryoda sürekli durum çalışmadaki gerilim kararlılığı analiz, ikinci senaryoda 9 ile 14 numaralı baralar arasında bağlanan UPFC ile sürekli durum çalışmadaki analiz, üçüncü senaryoda 9 ile 14 numaralı baralar arasında bağlanan UPFC ile sürekli durum çalışmadaki analiz, dördüncü senaryoda geçici durumda çalışmadaki analiz, beşinci senaryoda 9 ile 14 numaralı baralar arasında bağlanan UPFC ile geçici durumda çalışmadaki analiz, altıncı senaryoda 9 ile 14 numaralı baralar arasında bağlanan UPFC ile sürekli durum çalışmadaki analiz incelenmiştir. Enerji depolama elemanlarından yakıt hücrelerinin gücü % 10 artış olarak gösterilmiştir.

## **VI. BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI**

IEEE 14 baralı güç 6 senaryo için sürekli yük akışı analiz gerçekleştirilmiştir. Sürekli yük akışı esnasında bara gerilimi en düşük olan baralar 4, 5, 9 ve 14 numaralı baralardır. Sürekli yük akışı sonucunda 6 senaryo sonucunda yük baralarının gerilim-maksimum yüklenme parametre değerleri sırasıyla 2.8286 p.u., 2.9638 p.u., 3.0257 p.u., 1.5846 p.u., 1.6351 p.u., ve 1.6407 p.u. olarak bulunmuştur. 6 senaryoya göre elde edilen gerilim-maksimum yüklenme parametre değerleri Şekil 7'de gösterilirken, bara gerilim profilleri Şekil 8'de gösterilmiştir.



**Şekil 7.** Farklı senaryolara göre elde edilen gerilim-maksimum yüklenme parametre değerleri



Şekil 8. Farklı senaryolara göre elde edilen bara genlik profilleri

İlk senaryoda sürekli durum çalışmadaki gerilim kararlılığı analizinde bara gerilimlerinin durumları, ikinci senaryoda ve üçüncü senaryolar ile karşılaştırılmıştır. UPFC'nin bağlanması ile 9 ile 14 numaralı baraların gerilimleri sürekli yük akışı sonucunda artmıştır. Dahası 14 numaralı baraya bağlanan yakıt hücresi sayesinde 14 numaralı baranın daha da yükseldiği görülmüştür. Geçici durum çalışmada sürekli durum çalışmaya göre bara gerilim profillerinde ciddi bir azalma olmuştur. Geçici durum çalışmada 9 ile 14 numaralı baralar arasında bağlanan UPFC ile bara gerilim profillerinin arttığı görülmüştür. Son senaryoda ise yakıt hücresinin bağlanması ile 14 numaralı baranın geriliminin genlik değeri artmaya devam etmiştir. Yakıt hücresinin diğer yüzdelerdeki artması ile elde edilen maksimum yüklenme parametre değerleri Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo1.** 9-14 numaralı hatlarda bulunan UPFC'nin farklı güçlerdeki yakıt hücresi ile kullanımındaki maksimum yüklenme parametre değerleri

Yakıt hücresinin güç sistemine vermiş olduğu yüzdelerdeki güç değeri (%)	Maksimum yüklenme parametre değeri
20	3.0795
30	3.1366
40	3.1857
50	3.2420
60	3.2907
70	3.3411
80	3.3917
90	3.4440
100	3.4964

**Tablo2.** Geçici durum esnasında 9-14 numaralı hatlarda bulunan UPFC'nin farklı güçlerdeki yakıt hücresi ile kullanımındaki maksimum yüklenme parametre değerleri

Yakıt hücresinin güç sistemine vermiş olduğu yüzdelerdeki güç değeri (%)	Maksimum yüklenme parametre değeri
20	1.6526
30	1.6645
40	1.6777
50	1.6886
60	1.6999
70	1.7133
80	1.7245
90	1.7389
100	1.7492

Tablo 1 ve Tablo 2'de elde edilen sonuçlar neticesinde belli oranlarda yakıt hücresinin güç sistemine vermiş olduğu yüzdelerdeki güçlerde sistemin maksimum yüklenme parametre değerlerinin arttığı görülmüştür.

## **VII. SONUÇLAR**

Bu çalışmada, güç sistemlerinin çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve dinamik durumlarda hızlı cevap verebilme yeteneğine sahip olan UPFC'nin statik ve dinamik davranışları incelenmiştir. Genel olarak sistemde aktif-reaktif güç, gerilim, açı, akım ve empedans kontrolünü sağlamada UPFC'nin

avantajlarından yararlanarak bu çalışmada sürekli ve geçici durum analizleri incelenmiş olup, dahası günümüzde yaygın olarak kullanılan EDS elemanlarından yakıt hücresinin gerilim kararlılığı üzerinde ne gibi etkiler oluşturabileceği konusunda UPFC ile birlikte kullanılması amaçlanmıştır. Sürekli ve geçici durum çalışmalarda UPFC ve yakıt hücresi ile birlikte 14 baralı güç sisteminin güvenilirlik ve bara çalışma koşullarının iyileştirmesi açısından etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Çok makinalı güç sisteminde gerilim-maksimum yüklenme parametresinde artış olurken, bağlı oldukları baraların gerilim genlik profilleri iyileşmiştir. Bu çalışma ile yakıt hücresinin diğer FACTS cihazları ile kullanımı söz konusu olurken, farklı güç sistem analizleri için diğer çalışmalarda kolaylık sağlamıştır.

## **VIII. KAYNAKLAR**

- [1] D. B. Valle ve P. B. Araujo, "The influence of GUPFC FACTS device on small signal stability of the electrical power systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, c. 65, ss. 299-306, 2015.
- [2] R. K. Pandey ve N. K. Singh, "UPFC control parameter identification for effective power oscillation damping," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, c. 31, s. 6, ss. 269-276, 2009.
- [3] Z. H. U. Xinyao, J. I. N. Meng, K. O. N. G. Xiangping, Z. H. A. O. Jingbo, L. I. U. Jiankun ve Z. H. O. U. Qian, "Subsynchronous resonance and its mitigation for power system with unified power flow controller," *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, c. 6, s. 1, ss. 181-189, 2018.
- [4] J. Ling, H. Ji, C. Yu, S. Wang, D. Yu ve S. Jiang, "Design of UPFC sub-synchronous oscillation damping controller based on modal control," *In 2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, Tianjin, China, 2018, ss. 1439-1443.
- [5] D. K. Raju, B. S. Umre, A. S. Junghare, ve B. C. Babu, "Mitigation of subsynchronous resonance with fractional-order PI based UPFC controller," *Mechanical Systems and Signal Processing*, c. 85, ss. 698-715, 2017.
- [6] M. R. Qader, "Design and simulation of a different innovation controller-based UPFC (unified power flow controller) for the enhancement of power quality," *Energy*, c. 89, ss. 576-592, 2015.
- [7] Y. U. A. N. Yubo, L. I. Peng, K. O. N. G. Xiangping, L. I. U. Jiankun, L. I. Qun ve W. A. N. G. Ye, "Harmonic influence analysis of unified power flow controller based on modular multilevel converter," *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, c.4, s. 1, ss. 10-18, 2016.
- [8] L. Jiankun, Z. Ningyu, Z. Xinyao, X. Ke ve C. Zhe, "Method of calculating the maximum transmission capability with unified power flow controller," *The Journal of Engineering*, c. 2017, s. 13, ss. 1963-1968, 2017.
- [9] B. Xu ve A. Abur, "State estimation of systems with UPFCs using the interior point method," *IEEE Transactions on Power Systems*, c. 19, s. 3, ss. 1635-1641, 2004.
- [10] C. V. Suresh ve S. S. Raju, "Mathematical modeling and analysis of a generalized unified power flow controller with device rating methodology," *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, c. 7, s. 1, ss. 59-78, 2015.
- [11] M. M. Hosseini-Biyouki, S. Jashfar, B. Vahidi ve H. Askarian-Abyaneh, "Impact of optimal unified power flow controller in electrical transmission systems in reducing transmission cost," *Electric Power Components and Systems*, c. 45, s. 16, ss. 1762-1772, 2017.




- [12] M. A. Kamarposhti ve H. Lesani, "Effects of STATCOM, TCSC, SSSC and UPFC on static voltage stability," *Electrical Engineering*, c. 93, s. 1, ss. 33-42, 2011.
- [13] M. A. Kamarposhti, M. Alinezhad, H. Lesani ve N. Talebi, "Comparison of SVC, STATCOM, TCSC, and UPFC controllers for static voltage stability evaluated by continuation power flow method," *In 2008 IEEE Canada Electric Power Conference*, Vancouver, Canada, 2008, ss. 1-8.
- [14] R. Natesan ve G. Radman, "Effects of STATCOM, SSSC and UPFC on voltage stability," in *Proc. Thirty-Sixth Southeastern Symposium on System Theory*, Atlanta, USA, 2004, ss. 546-550.
- [15] C. A. Canizares, F. L. Alvarado, C. L. DeMarco, I. Dobson ve W. F. Long, "Voltage collapse and transient energy function analyses of AC/DC systems," Ph.D. dissertation, Wisconsin Univ, Madison, USA, 1991.
- [16] B. Yildirim ve M. T. Gencoglu, "Oscillatory stability and eigen value analysis of power system with microgrid," *Electrical Engineering*, c. 100, s. 4, ss. 2351-2360, 2018.
- [17] H. D. Chiang, A. J. Flueck, K. S. Shah ve N. Balu, "CPFLOW: A practical tool for tracing power system steady-state stationary behavior due to load and generation variations," *IEEE Transactions on Power Systems*, c. 10, s.2, ss. 623-634, 1995.
- [18] F. Milano, "An open source power system analysis toolbox," *IEEE Transactions on Power Systems*, c. 20, s. 3, ss. 1199-1206, 2005.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## AISI 2507 Süper Dupleks Paslanmaz Çeliğinin Hibrit Soğutma/Yağlama Yöntemleri Altında Tornalanmasında Yüzey Kalitesinin İncelenmesi

 Emre ÇELİK<sup>a</sup>,  Şenol ŞİRİN<sup>b,\*</sup>,  Turgay KIVAK<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Makina ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup>Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Gümüşova Meslek Yüksekokulu, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>c</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.819984

### ÖZET

Son yıllarda ekolojik soğutma/yağlama yöntemleri sürdürülebilir imalat için metal işleme operasyonlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemlerin başında ise birbirine göre üstün özelliklerin bir araya getirildiği hibrit soğutma/yağlama yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada; AISI 2507 dupleks paslanmaz çeliğinin Minimum Miktarla Yağlama (MMY), kriyojenik soğutma (Kry) ve hibrit (Kry+MMY) soğutma/yağlama koşulları altında tornalanmasında, yüzey kalitesi incelenmiştir. İşlenen yüzeylerin kalitesinin belirlenmesinde yüzey pürüzlülük (Ra), iki boyutlu yüzey görüntüleri ve üç boyutlu yüzey topografyaları kullanılmıştır. Deneyler üç farklı soğutma/yağlama koşulunda (MMY, Kry ve Kry+MMY), kesme hızında (80, 120 ve 160 m/dak) ve ilerlemede (0,16-0,20 ve 0,24 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımında ve optimum koşulların belirlenmesinde Taguchi L<sub>27</sub> tasarımı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara etki eden faktörler ve faktörlerin etki oranlarını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre yüzey kalitesi için optimum koşullar, Kry+MMY hibrit soğutma/yağlama koşulu, 160 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme olarak belirlenmiştir. En iyi Ra değeri (1,151 µm) A3, B3, C1 koşulunda, en kötü Ra değeri ise (-2,861 µm) A2, B1, C3 koşulunda elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kriyojenik soğutma, AISI 2507 süper dupleks paslanmaz çeliği, Optimizasyon, Tornalama, Hibrit soğutma/yağlama

## Investigation of Surface Quality in Turning of AISI 2507 Super Duplex Stainless Steel under Hybrid Cooling/Lubrication Methods

### ABSTRACT

In recent years, ecological cooling/lubrication methods were used in metal processing operations for sustainable manufacturing. The hybrid cooling/lubrication method, which combine superior cooling/lubrication methods with each other, were came to the fore. In this study; surface quality was investigated when turning AISI 2507 duplex stainless steel under Minimum Quantity Lubrication (MQL), cryogenic cooling (Cry) and hybrid (Cry+MQL) cooling/lubrication conditions. Surface roughness (Ra), 2D surface images and 3D surface topography were used to investigate the quality of the machined surfaces. The experiments were carried out in three different cooling/lubrication conditions (MQL, Cry and Cry+MQL), cutting speed (80, 120 and 160 m/min) and feed rate (0.16, 0.20 and 0.24 mm/rev). Taguchi L<sub>27</sub> design was used in experimental design and



determination of optimum conditions. Analysis of variance (ANOVA) was used to determine the factors affecting the experimental results and the effect rates of the factors. According to the experimental results, optimum conditions for surface quality were determined as Cry+MQL cooling/lubrication condition, 160 m/min cutting speed and 0.16 mm/rev feed rate. The best Ra value (1,151  $\mu\text{m}$ ) was obtained under A3, B3, C1 condition and the worst Ra value (-2,861  $\mu\text{m}$ ) was obtained under A2, B1, C3 condition.

**Keywords:** *Cryogenic Cooling, AISI 2507 Super Duplex Stainless Steel, Optimization, Turning, Hybrid Cooling/Lubrication*

## **I. GİRİŞ**

Paslanmaz çelikler göstermiş oldukları, korozyon dayanımları, imalat kolaylığı, ısıl dirençleri ve görünümleri sebebiyle kimya sektöründen, mutfak gereçleri yapımına kadar birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Paslanmaz çelikleri ferritik, östenitik, martenzitik, dubleks ve çökeltme sertleşmeli olmak üzere beş kategoriye toplayabiliriz [1]. Dubleks paslanmaz çelikler genellikle içerisinde yüksek oranda Cr (%20~30) ve Ni (%5~10) elementlerini barındırırlar. Mikroyapılarında ferrit ve östenit fazlarının fazlalığı nedeniyle dubleks paslanmaz çeliklere aynı zamanda ferritik-östenitik paslanmaz çelikler adı da verilmektedir [2]. Dubleks paslanmaz çelikler içerisinde bulunan ferritik yapı sayesinde mukavemet, östenitik yapı sayesinde ise tokluk ve korozyon direnç özellikleri göstermektedirler. Hem ferritik hem de östenitik paslanmaz çelik özelliği gösteren dubleks paslanmaz çelikler son yıllarda pompa millerinde, gıda sanayisinde, makine komponentlerinde, elektrik üretim tesislerinde, petrol rafinerilerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak tüm bu avantajlarının yanında düşük ısıl iletkenlik, yüksek kırılma tokluğu, kesici takım kenarında BUE oluşumu gibi dezavantajları dubleks paslanmaz çelikleri işlenebilirliği zor malzeme grubuna sokmaktadır. Özellikle talaşlı imalat esnasında kesici takıma sıvanan talaşlar (BUE), bir süre sonra takımın bir parçasıyla ayrılarak aşınma mekanizmalarının hızla gelişmesine neden olabilmektedirler[3]. Talaşla temasın en fazla olduğu imalat yöntemlerinden biri de tornalama yöntemidir. Tornalama prosesinde özellikle iş parçası-takım-talaş arasında sürtünme kaynaklı yüzey kalitesinde bozulmalar olabilmektedir. Yüzey kalitesinin toleranslar içerisinde olması istenen bir durumdur. Talaşlı imalat yöntemlerinde yüzey kalitesi soğutma/yağlama yöntemlerinin kullanımı, kesme parametreleri, iş parçası, tezgâh rijitliği vb. faktörlere bağlıdır.

Son yıllarda sürdürülebilirlik kavramının imalat sürecine dahil olmasıyla, araştırmacılar çevreci, ekolojik soğutma/yağlama yöntemlerini araştırmaya başlamışlardır. Çevreci olarak tabir edilen bu yöntemler arasında Minimum Miktarla Yağlama (MMY) ve kriyojenik soğutma yöntemleri yer almaktadır. MMY çok az miktarda kesme yağının (20 mL/saat) basınçlı havayla karıştırılarak kesme bölgesine nozul aracılığıyla gönderilmesi esasına dayanan ekolojik bir yöntemdir [4]. Aynı zamanda yoğun kesme sıvısının kullanıldığı ıslak kesmenin avantajlarını da içerisinde ihtiva eden bir yöntemdir. Ekolojik yöntemlerin bir diğeri sıvı halde CO<sub>2</sub> (-80 °C) veya N<sub>2</sub>'nin (-196 °C) kullanıldığı kriyojenik soğutma (Kry) yöntemidir. Atmosferde serbest halde bulunan ve yoğunlaştırılarak sıvı halde basınçla (15 bar) kesme bölgesine gönderilen bu yöntemde, metallerin plastik deformasyonuna yardımcı sıcaklığı çok fazla düşürdüğünden işlenen yüzey kalitesi istenen toleransların dışında çıkabilmektedir. Bunun iyileştirilmesi adına araştırmacılar MMY ve Kry soğutma yöntemlerini bir araya getiren ve birbirinin üstün özelliklerinin aynı anda uygulandığı hibritsoğutma/yağlama yöntemleri üzerine çalışmalarını geliştirmişlerdir. Bu kapsamda araştırmacılar tarafından yapılan çalışmaların bazılarını aşağıda değinilmiştir.

Zhang ve diğ. H13 çeliğinin frezelenmesinde, MMY ve Kry+MMY (hibrit) soğutma/yağlama koşulları altında, takım aşınması ve kesme kuvvetindeki değişimleri incelemişlerdir. Araştırmacılar deney sonunda hibrit soğutma/yağlama koşulunun takım aşınmasını azalttığını ve kesme kuvveti değerlerini düşürdüğünü ifade etmişlerdir [5]. Shokrani ve diğ. Ti6Al4V malzemeyi ıslak, Kry, MMY ve hibrit soğutma/yağlama koşulları altında frezelenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülük, takım ömrü ve aşınması üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Hibritsoğutma/yağlama koşulunun yüzey pürüzlülük ve takım ömründe daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [6].

Sivaiah ve Chakradhar, 17-4 PH çeliğinin kuru, ıslak, MMY ve Krysoğutma/yağlama koşulları altında tormalanmasında, kesme parametrelerinin takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve talaş geometrisi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışma sonucunda Krysoğutma/yağlama koşulunun diğer koşullara göre daha iyi performans gösterdiğini iddia etmişlerdir [7]. Sun ve diğ. Ti5553 malzemeyi ıslak, MMY, Krysoğutma/yağlama koşulları altında tormalanmasında, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvveti değerlerini araştırmışlardır. Deneysel çalışma sonunda elde ettikleri bilgilere göre Krysoğutma/yağlama koşulunun diğer soğutma/yağlama koşullarına göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir[8]. Pereira ve diğ. AISI 304 paslanmaz çeliğinin kuru, MMY, Kry ve hibritsoğutma/yağlama koşulları altında tormalanmasında, takım aşınması, kesme kuvveti, yüzey kalitesi ve takım aşınmasındaki değişimleri incelemişlerdir. Çalışma sonunda hibritsoğutma/yağlama koşullarının diğer koşullara göre daha iyi performans gösterdiği vurgulanmıştır [9].

Çalışmalar incelendiğinde MMY, Kry ve hibritsoğutma/yağlama koşullarının diğer koşullara üstünlük sağladığı görülmüştür. Ancak özellikle AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliği üzerine yeterli düzeyde çalışmanın yapılmadığı anlaşılmıştır. Yapılacak olan bu çalışma ile literatürde yer alan bu boşluğun doldurulması hedeflenmektedir. Ayrıca son yıllarda üzerinde çalışmaların yoğunlaştığı hibrit soğutma/yağlama koşullarının tormalama prosesinde kullanımıyla farklı bir açıdan değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma ile üzerinde yeterli düzeyde çalışma bulunmayan AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğine, ekolojik soğutma/yağlama koşulları (MMY, Kry ve hibrit) altında tormalama prosesi uygulanmıştır. Tormalamada kesme parametresi olarak kesici takım üreticisinin önerdiği ve ön deneyler sonucunda elde edilen üç farklı kesme hızı (80, 120 ve 160 m/dak) ile üç farklı ilerleme değeri (0,16-0,20 ve 0,24 mm/dev) ve sabit 0,8 mm kesme derinliği kullanılmıştır. Tormalanan yüzeylerin Ra değerleri ölçülmüş ve ölçülen yüzeylerden iki boyutlu görüntüleri alınarak yüzey topografyalarıyla birlikte yüzey bütünlüğü değerlendirilmiştir. L<sub>27</sub> Taguchi optimizasyonu yapılarak, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranlarının belirlenmesinde ANOVA kullanılmıştır.

## II. MALZEME METOD

Tormalama deneyleri 4500 dev/dak azami devri olan Accuway JT150 CNC torna tezgâhında (Şekil 1-a) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 50 mm çapında ve 250 mm uzunluğunda AISI 2507 dubleks paslanmaz çeliği kullanılmıştır. AISI 2507 dubleks paslanmaz çeliğine ait kimyasal özellikler Tablo 1, fiziksel ve mekanik özellikler ise Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** AISI 2507dubleks paslanmaz çeliği kimyasal özellikleri[10].

Malzeme	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	C (%)
AISI 2507	25	7	4	0,02

**Tablo 2.** AISI 2507 dubleks paslanmaz fiziksel ve mekanik özellikleri[10].

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Esneklik Modülü (GPa)	Elektrik Direnci (Wmm <sup>2</sup> /m)	Özgül Isı (J/kgK)	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama A5 (min %)
7,8	200	0,80	500	730-930	25

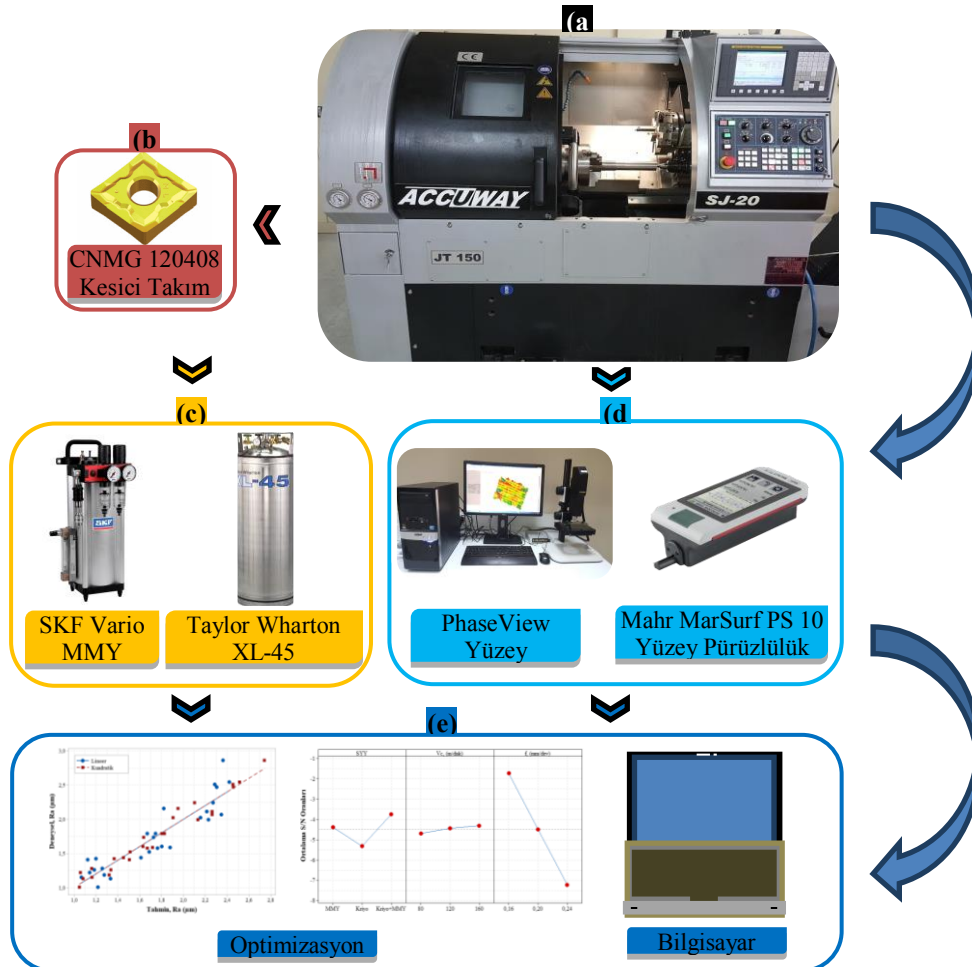
Deneylerde TaeguTec firması tarafından üretilen CNMG 120408 ML numaralı, TT8020 kalite, PVD kaplı takımlar (Şekil 1-b) kullanılmış olup kesme derinliği tüm deneylerde sabit 0,8 mm olarak alınmıştır. Her bir deney parametresinde yeni bir kesici takım kullanılmıştır. MMY deneylerinde SKF firması tarafından üretilen Vario MMY sistemi (Şekil 1-c) kullanılmıştır. MMY sisteminde kesme yağı olarak ağır metal ve klor barındırmayan, biyolojik olarak parçalanabilen bitkisel esaslı yağ

kullanılmıştır. Bitkisel kesme yağına ait ve üretici firmadan alınan teknik özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Bitkisel kesme yağına ait teknik özellikler.

Bitkisel Yağ	Görünüm	Kinematik Viskozite (40 °C, cSt)	Kırılma İndisi (nD <sub>20</sub> )	Parlama Noktası (°C, min)	Bakır Korozyon (3h, 100 °C)
	Test Metodu	-	ASTMD445	ASTMD1218	ASTMD92
Cuttex SYN 5	Açık Sarı	5 ±1	1,460 ±0,01	170	1a

Bitkisel esaslı kesme yağı, kesme bölgesine sabit 25 mm mesafede ve 30° açıda konumlandırılan 2 mm çapında bir nozul aracılığıyla, 50 mL/saat debi ve 8 bar basınçla tatbik edilmiştir. Kry soğutma deneylerinde ise Taylor Wharton firması tarafından üretilen XL-45 HP 176 lt kapasiteli, sıvı azot tankı (Şekil 1-c) kullanılmıştır. Sıvı azot (LN<sub>2</sub>), kesme bölgesine özel olarak üretilen vakum ceketli hortumla, 2 mm çapındaki nozul vasıtasıyla ve sabit 15 bar basınçla tatbik edilmiştir. Kry nozulu, MMY nozulu gibi sabit 25 mm mesafe ve 30° açıyla konumlandırılmıştır. Tornalama deneyleri sonrasında TS 6956 EN ISO 4287 [11] standardına göre ölçülen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülükleri (Ra), Mahr firması tarafından üretilen PS10 taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla (Şekil 1-d) tespit edilmiştir. Her ölçüm öncesi cihaz doğrulama bloğu kullanılarak kalibre edilmiştir. İşlenen yüzeylerin 3D yüzey topografya ölçümlerinde ise Phase View marka optik profil analiz cihazı (Şekil 1-d) kullanılmıştır. Deney düzeneğine ait detaylar Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Deney düzeneği, (a) Torna tezgâhı, (b) Kesici takım, (c) Soğutma/yağlama sistemleri, (d) Yüzey analiz cihazları, (e) Optimizasyon.

### III. OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

Metal kesme proseslerinde zamandan ve maliyetten kaçınmak için optimizasyon yöntemleri kullanılabilir [12]. Yaygın olarak kullanılan optimizasyon yöntemlerinden biri de “Taguchi Optimizasyon” yöntemidir [13]. Bu çalışmada ise optimizasyonlar için Taguchi  $L_{27}$  deneysel tasarımı tercih edilmiştir. Metal kesmede işlenen yüzeylerin kalitesi, birbiriyle temas halinde bulunan makine ekipmanlarının ömrüne doğrudan etki etmektedir [4]. Dolayısıyla işlenen yüzeylerin analiz edilerek kalitesinin optimize edilmesi son derece önem arz etmektedir. Yüzey kalitesine etki eden birçok parametre bulunmakla beraber en bilinenlerini kesme parametreleri, soğutma/yağlama yöntemleri, işlenen malzeme cinsi, kesici takım vb. şeklinde sıralayabiliriz. Optimizasyonda, soğutma/yağlama yöntemleri (SY), kesme hızı (Vc) ve ilerleme (f) kontrol faktörleri olarak tercih edilmiştir. Kontrol faktörleri ve seviyelerini gösteren çizelge, Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 4.** Kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Kontrol Faktörleri	Sembol	Birim	Seviyeler		
			1	2	3
Soğutma/yağlama Yöntemi	A	(SY)	MMY	Kry	Kry+MMY
Kesme Hızı (Vc)	B	(m/dak)	80	120	160
İlerleme (f)	C	(mm/dev)	0,16	0,20	0,24

Taguchi optimizasyon yöntemiyle oluşturulan fonksiyonlar, sinyal/gürültü (signal-to-noise, S/N) oranına dönüştürülerek analizler yapılmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük ortalamalarının (Ra) değerlendirilmesinde S/N oranları kullanılmıştır. S/N oranlarına dönüştürülerek kullanılan fonksiyonlar, nominal iyidir, en büyük iyidir ve en küçük iyidir denklemleriyle analiz edilebilmektedirler. Bu çalışmada Ra değerlerinin düşük olması istendiğinden, en küçük iyidir fonksiyon denklemi (Eşitlik 1) kullanılmıştır.

$$\eta = S / N_s = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Denklemden yer alan deney sayısını,  $y$  ise gözlenen verileri simgelemektedir. Deneyler sonrasında Ra değerlerinin belirlenmesi için üç ölçüm yapılmış ve ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmıştır. Elde edilen Ra değerleri ve S/N oranları, Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 5.** Deneyler sonucunda elde edilen Ra değerleri ve S/N oranları.

No	A SY	B (Vc, m/dak)	C (f, mm/dev)	(Ra) ( $\mu$ m)	S/N (dB)
1	MMY	80	0,16	1,130	-1,06157
2	MMY	80	0,20	1,585	-4,00059
3	MMY	80	0,24	2,547	-8,12058
4	MMY	120	0,16	1,278	-2,13062
5	MMY	120	0,20	1,603	-4,09867
6	MMY	120	0,24	2,067	-6,30681
7	MMY	160	0,16	1,256	-1,97979
8	MMY	160	0,20	1,737	-4,79600
9	MMY	160	0,24	2,241	-7,00884
10	Kry	80	0,16	1,182	-1,45235
11	Kry	80	0,20	2,158	-6,68103
12	Kry	80	0,24	2,861	-9,13036

**Tablo 6 (devam).** Deneyler sonucunda elde edilen Ra değerleri ve S/N oranları.

13	Kry	120	0,16	1,423	-3,06410
14	Kry	120	0,20	1,790	-5,05706
15	Kry	120	0,24	2,512	-8,00039
16	Kry	160	0,16	1,406	-2,95971
17	Kry	160	0,20	1,792	-5,06676
18	Kry	160	0,24	2,113	-6,49799
19	Kry+MMY	80	0,16	1,007	-0,06059
20	Kry+MMY	80	0,20	1,575	-3,94561
21	Kry+MMY	80	0,24	2,471	-7,85745
22	Kry+MMY	120	0,16	1,217	-1,70581
23	Kry+MMY	120	0,20	1,523	-3,65400
24	Kry+MMY	120	0,24	1,995	-5,99886
25	Kry+MMY	160	0,16	1,151	-1,22151
26	Kry+MMY	160	0,20	1,439	-46,0206
27	Kry+MMY	160	0,24	2,026	-46,6891

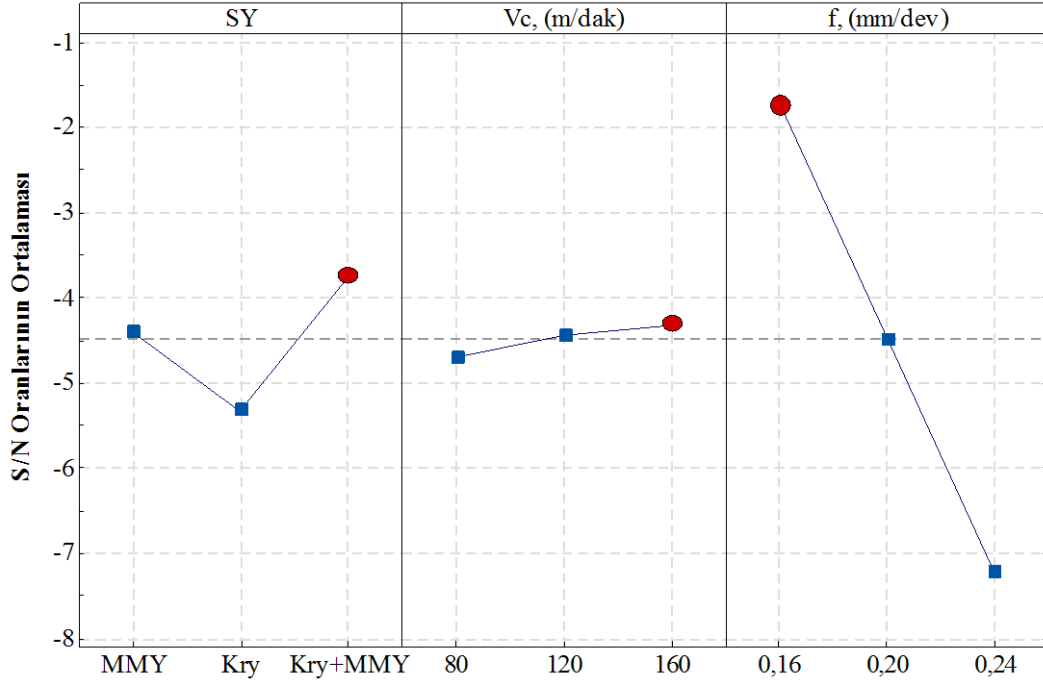
Tablo 5'te yer alan sonuçlara bakıldığında, Ra değerlerinin ve S/N ortalamaları sırasıyla 1,744  $\mu\text{m}$  ve -9,05643 dBolarak hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda Ra kalite karakteristiğinin S/N yanıt çizelgesi Tablo 7'da verilmiştir.

**Tablo 7.** Ra değerleri için S/N yanıt çizelgesi.

Seviyeler	Kontrol Faktörleri		
	Soğutma/yağlama	Kesme Hızı	İlerleme
	Yöntemi (SY)	(Vc - m/dak)	(f - mm/dev)
	A	B	C
1	-4,389	-4,701	<b>-1,737</b>
2	-5,323	-4,446	-4,496
3	<b>-3,749</b>	<b>-4,314</b>	-7,228
Delta	1,575	0,387	5,491

Tablo 7'da koyu ile işaretlenmiş değerler, S/N değerlerinin en yüksek mertebelerini ve kontrol faktörlerine ait optimum koşulları ifade etmektedir. Ra yüzey pürüzlülük değerleri, kontrol faktörleri ve faktörlere ait optimum koşullar Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2 ve Tablo 7 birlikte değerlendirildiğinde Ra yüzey pürüzlülüğün optimum değerine (1,151  $\mu\text{m}$ ) 25 numaralı deneyde A3, B3 ve C1 koşullarında elde edildiği sonucuna varılabilir. Başka bir ifadeyle, AISI 2507 dubleks paslanmaz çeliğinin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimum koşulları Kry+MMY soğutma/yağlama koşulu, Vc 160 m/dak kesme hızı ve f 0,16 mm/dev ilerleme olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Ra değerleri için S/N oranları etki grafiği.

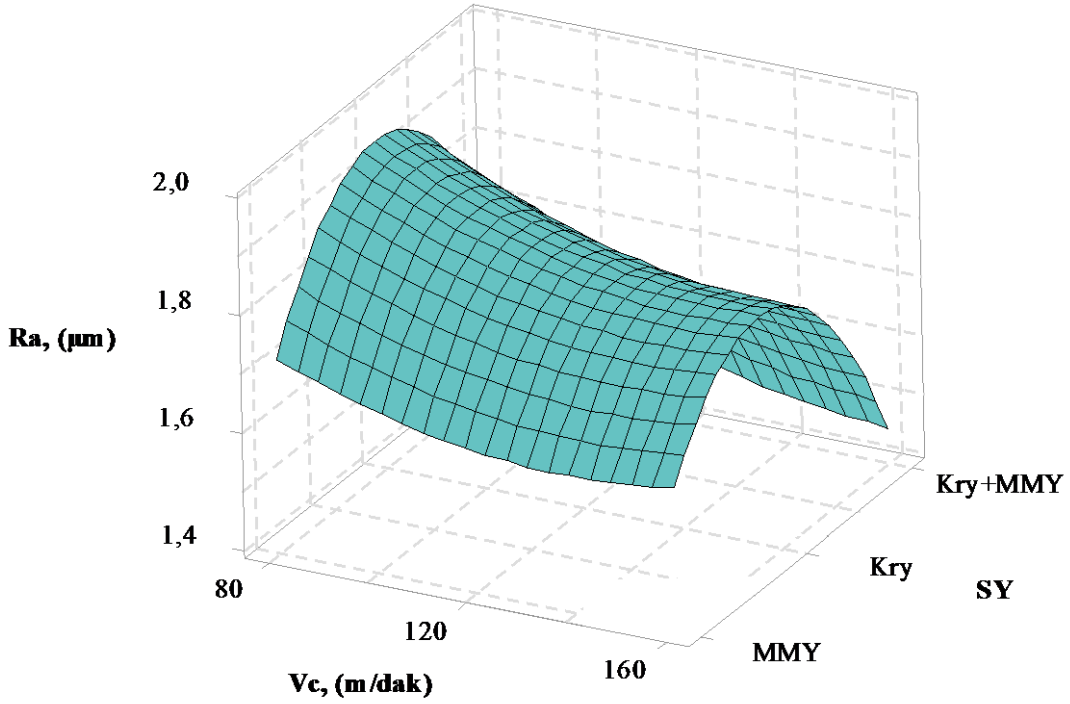
## IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### A. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

#### A. 1. Yüzey Pürüzlülüklerin Değerlendirilmesi

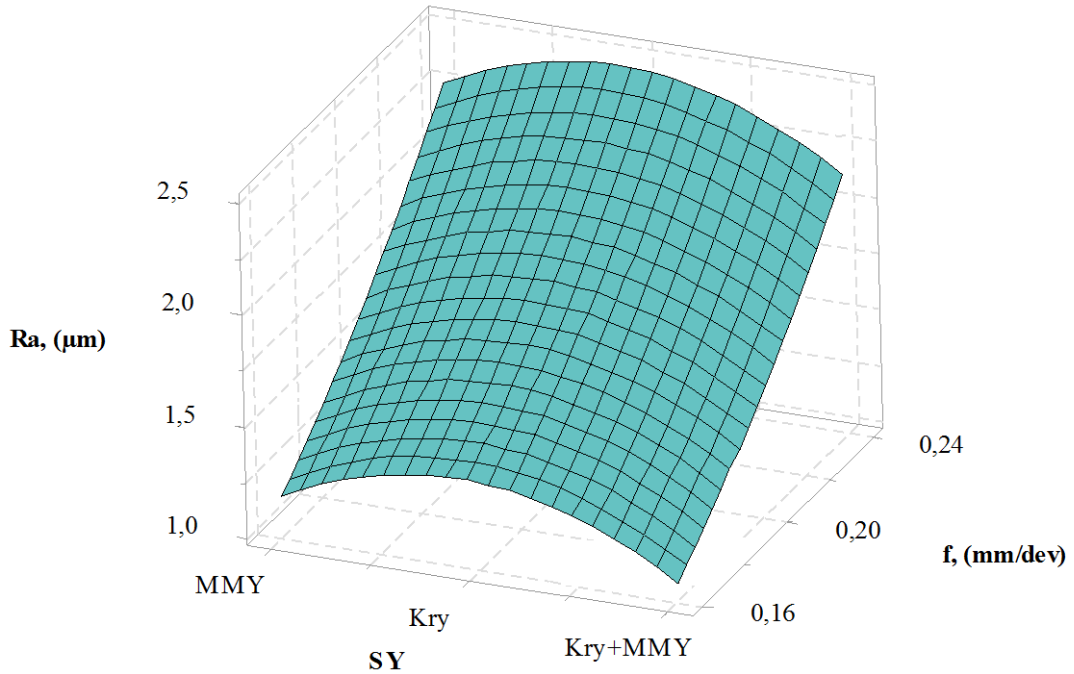
AISI 2507 dubleks paslanmaz çeliğinin farklı soğutma/yağlama koşulları altında tormalanmasında kesme hızına bağlı Ra değişim grafiği Şekil 3. Kesme hızı ve soğutma/yağlama koşullarına bağlı Ra yüzey pürüzlülük değişimleri.Şekil 3'te ve ilerlemeye bağlı Ra değişim grafiği

Şekil 4'te verilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değerine (Ra-1,151  $\mu\text{m}$ ) Kry+MMY soğutma/yağlama koşulunda, 160 m/dak kesme hızında, 0,16 mm/dev ilerlemede ulaşılmıştır. En kötü yüzey pürüzlülük değerine (Ra-2,861  $\mu\text{m}$ ) ise Kry soğutma/yağlama koşulunda, 80 m/dak kesme hızında, 0,24 mm/dev ilerlemede ulaşılmıştır. En düşük Ra yüzey pürüzlülük değerleri Kry+MMY soğutma/yağlama koşulunda elde edilmiştir. Bu durum, Kry'nin kesme bölgesinde oluşan sıcaklığı düşürmede ve MMY'nin ise temas halindeki kesici takım-talaş-iş parçası ara yüzeylerinde sürtünmeyi minimize etmede etkin rol oynadığından kaynaklanmıştır şeklinde ifade edilebilir. Zira benzer şekilde Yıldırım yaptığı çalışmada Kry+MMY soğutma/yağlama koşulunun, kuru ve Kry koşullarına göre yüzey pürüzlülüğünde daha iyi performans gösterdiğini ifade etmiştir [14]. Kry koşulunda ise kesici takımın iş parçasından talaş kaldırma işlemindeki plastik deformasyona yardımcı sıcaklığı, düşük mertebelere indirmektedir [15]. Bitkisel esaslı yağın kullanıldığı MMY soğutma/yağlama koşulunda, yağ moleküllerinin basınçlı olarak kesme bölgesine gönderilmesiyle etkin bir tribolojik yağlama performansı sergilenmiştir. Kry koşuluna göre MMY koşulu yüzey pürüzlülüğünde daha iyi performans göstermesi tribolojik yağlama performansına atfedilmiştir [16].



**Şekil 3.** Kesme hızı ve soğutma/yağlama koşullarına bağlı  $R_a$  yüzey pürüzlülük değişimleri.

Şekil 3 incelendiğinde, kesme hızının  $R_a$  yüzey pürüzlülük üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Bununla beraber kesme hızının artışıyla birlikte  $R_a$  değerleri bir miktar düşüş eğilimi göstermiştir. Kesme hızının artışı kesici takım-talaş temas alanındaki sürtünmeyi azaltarak  $R_a$  pürüzlülük değerlerinde az da olsa iyileşme sağlamıştır şeklinde ifade edilebilir.



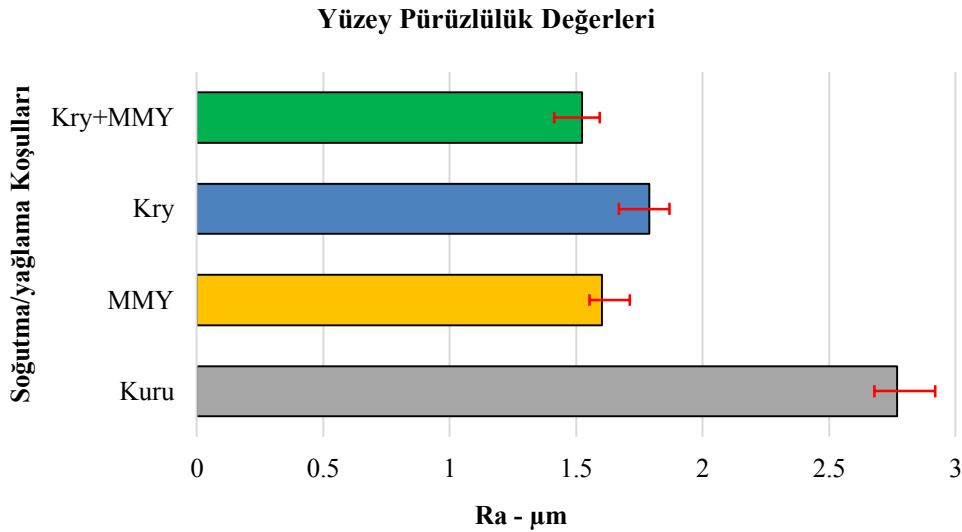
**Şekil 4.** İlerleme ve soğutma/yağlama koşullarına bağlı  $R_a$  yüzey pürüzlülük değişimleri.

Şekil 4 incelendiğinde, ilerlemenin artmasıyla  $R_a$  yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı bir başka ifadeyle kötüleştiği görülmektedir. İlerleme değerlerinin artmasıyla  $R_a$  değerleri her üç

soğutma/yağlama koşulunda da artış göstermiştir. İlerlemenin artması yüzey pürüzlülük sonuçlarını doğrudan etkilemektedir [17]. Kesici takımın birim zamanda aldığı yolun artması, iş parçası yüzeylerinde daha geniş işleme boşluklarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu yüzden ilerleme, yüzey pürüzlülüğünde kesme hızına göre daha etkili bir kesme parametredir şeklinde yorum yapılabilir.

## A. 2. Yüzey Topografya Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde soğutma/yağlama koşullarının kuru kesme koşuluna göre, iki boyutlu yüzey resimleri ve üç boyutlu yüzey topografyaları incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 120 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme değerinde bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen Ra değerleri Şekil 5'te verilmiştir.



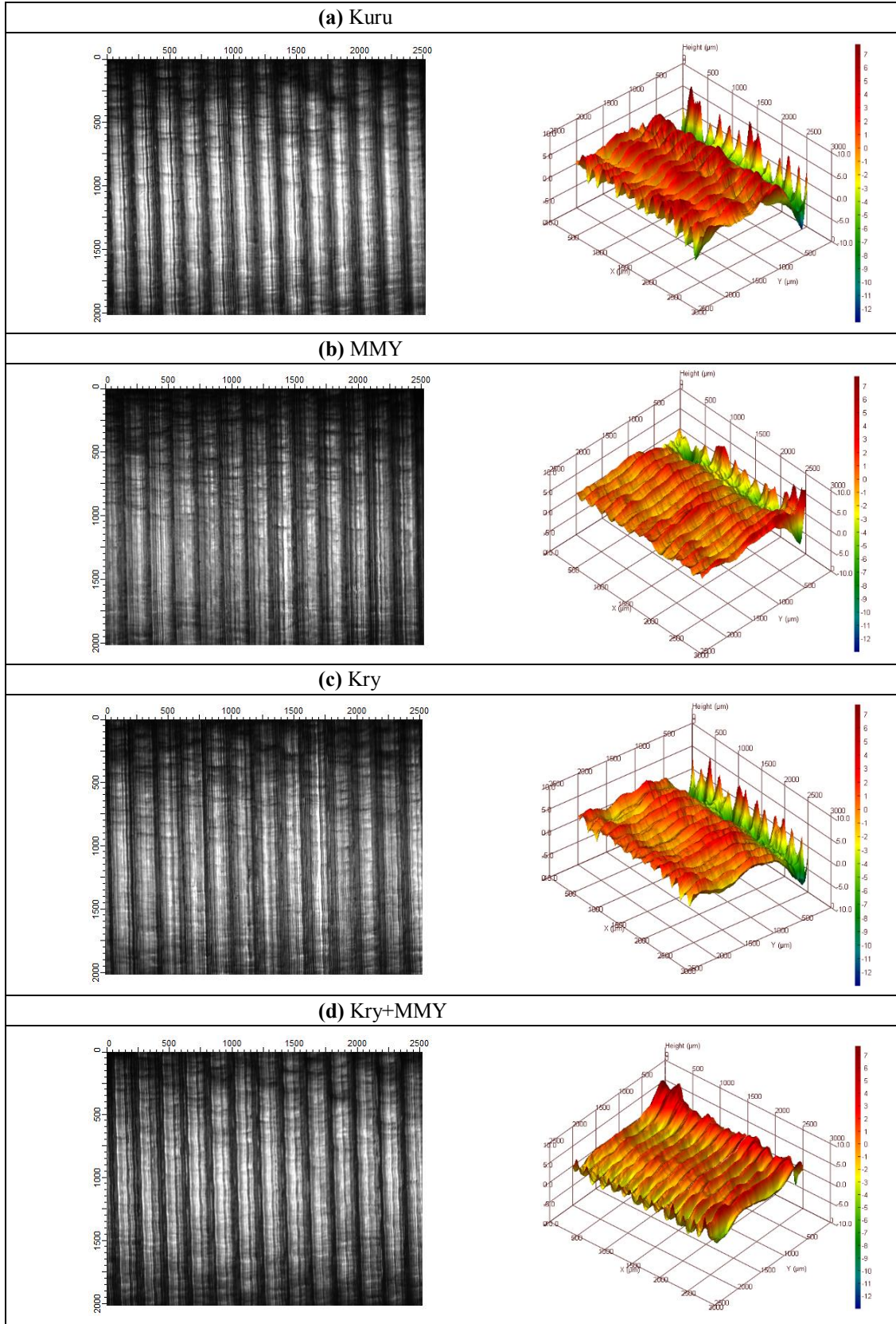
Şekil 5. Soğutma/yağlama koşullarına göre Ra yüzey pürüzlülüğündeki değişim.

Şekil 5 incelendiğinde, kuru kesme koşulunda en kötü yüzey pürüzlülük değerine (2,770 µm) ulaşıırken, Kry+MMY kesme koşulunda ise en iyi yüzey pürüzlülük değerine (1,523 µm) ulaşıldığı görülebilir. Bir başka ifadeyle Kry+MMY kesme koşulunda, kuru kesme koşuluna göre Ra yüzey pürüzlülük değeri %45,02 oranında azalma eğilimi göstermiştir. MMY ve Kry kesme koşulları ise kuru kesme koşuluna göre sırasıyla %42,13 (1,603 µm) ve %38,30 (1,790 µm) oranında azalmıştır. Kry ile kesme bölgesindeki sıcaklığın hızla tahliyesinin ve MMY ile kesici takım-talaş-ış parçası ara yüzeylerinde oluşan üstün yağlayıcılık özelliklerinin kombin edildiği Kry+MMY soğutma/yağlama koşulu yüzey pürüzlülük değerlerini iyileştirmede etkin rol oynadığı düşünülmektedir. MMY kesme koşuluna göre nispeten yüksek Ra mertebesinin olduğu Kry kesme koşulu, yine de kuru kesme koşulundan daha iyi performans sergilemiştir. MMY koşuluna göre daha az yağlayıcılık özelliği gösteren Kry koşulunda, kuru kesme koşuluna göre daha düşük kesme sıcaklığı olduğundan daha iyi bir yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir şeklinde açıklanabilir. Çelik ve diğ. yaptıkları çalışmada Kry kesme koşulunun kuru kesme koşuluna göre kesme sıcaklıklarını düşürmede daha etkili olduğunu vurgulamıştır [18].

Kuru, MMY, Kry ve Kry+MMY soğutma/yağlama koşullarında, 120 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerlemede tormalanan yüzeylerin iki boyutlu yüzey görüntüleri ve üç boyutlu yüzey topografya haritaları Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'daki iki boyutlu yüzey görüntüleri ve üç boyutlu yüzey topografyaları birlikte incelendiğinde, kuru kesme koşulunda daha büyük işleme tepelerinin ve daha derin vadilerin olduğu görülmektedir. Soğutma/yağlama koşullarının kullanımıyla ciddi oranda iyileşmelerin olduğu da gözlenmektedir. MMY kesme koşulunda kesme bölgesine basınçlı bir şekilde aerosol buharı şeklinde gönderilen yağ zerrecikleri etkin bir tribo film yağlayıcı tabaka oluşturarak sürtünmeyi minimize etmiştir. Etkin tribo film tabakası ise yüzey pürüzlülüğün düşürülmesinde etken



rol oynamıştır. Benzer durum literatürde yapılan çalışmalarla da desteklenmiş olup, MMY soğutma/yağlama koşulunun yüzey pürüzlülüğünü ciddi oranda iyileştirdiği belirtilmiştir [19,20].



**Şekil 6.** Tornalanan yüzeylerin, iki boyutlu yüzey görüntüleri ve üç boyutlu yüzey topografyaları, (a) Kuru, (b) MMY, (c) Kry, (d) Kry+MMY.

Kry soğutma koşulunun, MMY soğutma/yağlama koşuluna göre yağlayıcılık performansının düşük olması nedeniyle yüzey formlarında daha dalgalı bir görüntünün oluştuğu Şekil 6-c'de açıkça görülebilmektedir. Fakat Kry kesme koşulu, kesme bölgesindeki sıcaklığı kuru kesme koşuluna göre daha düşük mertebelerde olmasını sağlamasıyla, nispeten daha iyi bir yüzey topografya haritası meydana getirmiştir. Kesme bölgesinde yüksek sıcaklık oluşumlarının, iş parçası yüzeylerinde termal bozulmalara sebep olduğu bilinmektedir [10]. Şekil 6 incelenmeye devam edildiğinde kesme koşulları içerisinde en iyi görüntü ve yüzey topografyasının Kry+MMY hibrit soğutma/yağlama koşulunda elde edildiği görülmüştür. Burada Kry ve MMY yöntemlerin üstünlüklerinin bir araya getirildiği hibrit soğutma/yağlama yönteminin yüzey formlarında ve kalitesinde ciddi iyileşmeler sağladığı aşikârdır.

### A. 3. Ra Değerlerinin ANOVA Analizi

ANOVA analizi, deney tasarımındaki kontrol faktörlerinin birbiriyle olan etkileşimlerini içeren istatistiksel bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [20]. Bu çalışmada ise ANOVA soğutma/yağlama koşulları, kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılmıştır. ANOVA %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiş olup, işleme sonrası oluşan yüzey pürüzlülük değerlerine etki eden parametreler ve seviyeleri **Tablo 8**'de verilmiştir.

**Tablo 8.** Yüzey pürüzlülük sonuçları için ANOVA çizelgesi.

Kontrol Faktörü	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Kareler Ortalaması (MS)	F Oranı	P Değeri	Etki Oranı (%)
SY	2	0,4564	0,22819	7,12	0,005	6,95
Vc	2	0,1157	0,05786	1,81	0,190	1,76
<b>f</b>	<b>2</b>	<b>5,3576</b>	<b>2,67878</b>	<b>83,63</b>	<b>0,000</b>	<b>81,54</b>
Hata	20	0,6406	0,03203	-	-	9,75
Toplam	26	6,5703	-	-	-	100

Kontrol faktörlerine ait P değeri < 0,05 ise sonuçlar anlamlıdır [21]. Vc kontrol faktörü için P değeri < 0,05 olmadığından, Vc sonuçlarının anlamlı olmadığı ifade edilebilir. **Tablo 8** ANOVA çizelgesinde yer alan etki oranlarının belirlenmesinde, F oranları dikkate alınmıştır. Tablodan da anlaşılacağı gibi deneyler sonrası elde edilen sonuçlara göre yüzey pürüzlülüğü üzerine etki eden en önemli parametre %81,54 etki oranı ile ilerleme olmuştur. Bunu %6,95 etki oranıyla soğutma/yağlama koşulu ve %1,76 etki oranıyla kesme hızı takip etmiştir. ANOVA çizelgesinde yer alan hata ise %9,75 düzeyinde kalmıştır. Güvenli bir sonuç için ANOVA tablosunda yer alan hata etki oranlarının %20'nin altında olması beklendiğinden [21], bu çalışmada ANOVA sonuçları standartları karşılamıştır şeklinde ifade edilebilir.

### A. 4. Ra Değerlerinin Regresyon Analizi

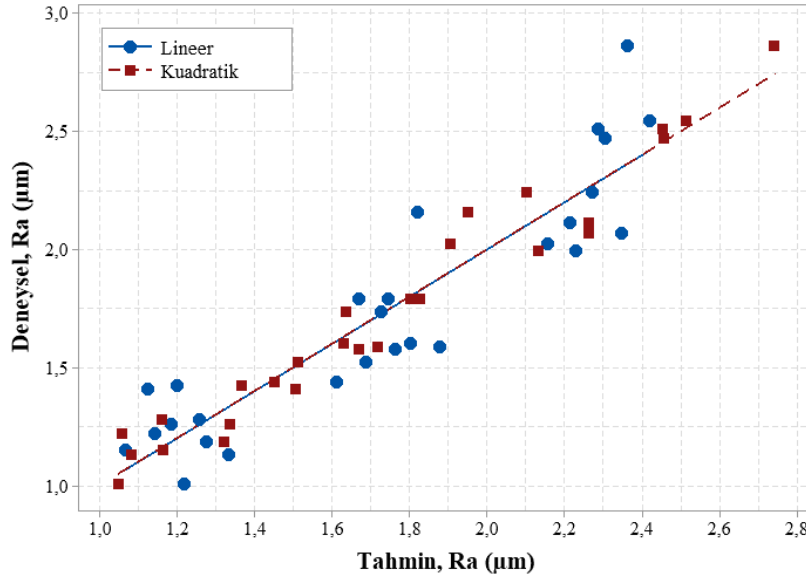
Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimi hesaplama veya analiz etmek için regresyon analizleri kullanılmaktadır [18]. Bu çalışmada ise bağımlı değişken, işleme sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük ortalama değeri Ra, bağımsız değişkenler ise soğutma/yağlama koşulu (SY), kesme hızı (Vc) ve ilerleme (f) olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük ortalama değeri Ra için lineer regresyona ait denklem Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$Ra = -0,632 - 0,0578 SY - 0,00188 Vc + 13,59 f \quad (2)$$

Eşitlik 2'de yer alan denklem sonucunda elde edilen R<sup>2</sup> yüzey pürüzlülük ortalama değeri 0,8339 olarak hesaplanmıştır. Tahmin edilen değerler ile deneyler sonrası elde edilen değerler arasındaki farklar lineer denklem sonuçlarına göre yüksek çıktığından, sonuçların kuadratik denklem kullanılarak hesaplanması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülük ortalama değeri Ra için kuadratik regresyon denklemi Eşitlik 3'te yer almaktadır.

$$Ra = -1,85 + 1,103 SY + 0,01341 Vc + 5,8f - 0,2570 SY*SY + 0,000030 Vc*Vc + 51,4 f*f - 0,000852 SY*Vc - 0,154 SY*f - 0,1038 Vc*f \quad (3)$$

Eşitlik 3'te yer alan kuadratik regresyon denkleminde elde edilen  $R^2$  yüzey pürüzlülük ortalama değeri 0,9551 olarak hesaplanmıştır. Eşitlik 2'de yer alan lineer ve Eşitlik 3'te yer alan kuadratik regresyon tahmini denklemleri ile deneyler sonucunda elde edilen Ra değerleri arasındaki mukayese Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Ra için tahmin edilen ve deneysel sonuçların kıyaslanması.

Şekil 7 incelendiğinde, deneyler sonucunda elde edilen gerçek değerlere en yakın tahmin denklemin kuadratik regresyon analizi ile elde edildiği anlaşılmaktadır.

## IV. SONUC

Bu çalışma ile AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliği kuru, MMY, Kry, Kry+MMY soğutma/yağlama koşulları altında tormalanmıştır. Çalışma üç farklı kesme hızında (80, 120 ve 160 m/dak), ilerlemede (0,16-0,20 ve 0,24 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (0,8 mm) gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda tormalanan yüzeylerin kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla, Ra değerleri ölçülmüş, iki boyutlu yüzey resimleri ve üç boyutlu yüzey topografya haritaları incelenmiştir. Ayrıca işleme parametrelerinin optimum koşullarının tespit edilmesinde Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Deney faktörlerine ait etki oranlarının belirlenmesinde ise ANOVA kullanılmıştır. Deneysel çalışmayılansonuçlar, aşağıda sıralanmıştır.

- Yapılan deneyler sonucunda en düşük ortalama yüzey pürüzlülük Radeğeri(1,151 µm)Kry+MMY hibrit soğutma/yağlama koşulunda, 160 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri (2,861 µm) ise Krysoğutma koşulunda, 80 m/dak kesme hızında ve 0,24 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir.
- %95 güven seviyesinde gerçekleştirilen ANOVA analiz sonuçlarına göre, Ra üzerine en etkili parametre %81,54 etki oranıyla ilerleme olarak tespit edilmiştir. Bunu %6,95 etki oranılasoğutma/yağlama koşulu ve %1,76 kesme hızı takip etmektedir. ANOVA analizi sonucunda meydana gelen toplam hata ise %9,75 mertebelerinde kaldığı görülmüştür.

- AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, yüzey pürüzlülüğü üzerine etkili kesme parametresinin ilerleme olduğu sonucuna varılmıştır.
- Yüzey pürüzlülük ortalama değeri Ra için geliştirilen kuadratik regresyon analiz denklemiyle hesaplanan verilerin, deneysel çalışma sonucunda elde edilen gerçek verilerle %95,51 oranında yakınlık gösterdiği tespit edilmiştir.
- İki boyutlu yüzey görüntülerine ve üç boyutlu yüzey topografyalarına göre en iyi yüzey formu Kry+MMY hibrit soğutma/yağlama koşulunda elde edilmiştir. Kry+MMY hibrit soğutma/yağlama koşulunun hem de yüzey pürüzlülüğü hem de yüzey topografyası üzerine önemli etkileri olduğu görülmüştür.
- AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğinin tornalanmasıyla oluşan iş parçası yüzey kalitesi,soğutma/yağlama koşullarına göre iyiden kötüye doğru şu şekilde sıralanabilir; Kry+MMY, MMY, Kry ve kuru.

Gerçekleştirilen bu çalışmayla, süper dubleks AISI 2507 paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, farklı soğutma/yağlama koşullarının yüzey kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda özellikle Kry'nin soğutma ve MMY'nin yağlama özelliğinin bir araya getirildiği Kry+MMY hibrit soğutma/yağlama koşulunun gelecek çalışmalar adına ümit vadettiği ve yüzey kalitesini iyileştirmede ciddi katkılar sağladığı görülmüştür.

## V. KAYNAKLAR

- [1] B. Aydemir, “17-4 pHçökeltme sertleştirmeli paslanmaz çelik kuvvet dönüştürücü yay elemanlarının iç yapısal özelliklerinin performans üzerine etkilerinin araştırılması,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2003.
- [2] D. Yıldırım, “2205 dubleks paslanmaz çelik ile S355j2 genel yapı çeliğinin birleştirilebilirliğinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2018.
- [3] A. Özer ve E. Bahçeci, “AISI 410 martensitik paslanmaz çeliklerin kesici takım ve kaplamasına bağlı işlenebilirliği,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 24, s. 4, ss. 693-698, 2009.
- [4] Ş. Şirin, “Sürdürülebilir imalat için Inconel X 750 süper alaşımının frezelenmesinde yenilikçi soğutma/yağlama tekniklerinin işleme performansı üzerindeki etkileri,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2020.
- [5] C. Zhang, S. Zhang, X. Yan ve Q. Zhang, “Effects of internal cooling channel structures on cutting forces and tool life in side milling of H13 steel under cryogenic minimum quantity lubrication condition,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 83, ss. 975-984, 2016.
- [6] A. Shokrani, I. Al-Samarrai ve S. Newman, “Hybrid cryogenic MQL for improving tool life in machining of Ti-6Al-4V titanium alloy,” *Journal of Manufacturing Processes*, c. 43, ss. 229-243, 2019.
- [7] P. Sivaiah ve D. Chakradhar, “Effect of cryogenic coolant on turning performance characteristics during machining of 17-4 pH Stainless Steel: A comparison with mql, wet, dry machining,” *Journal of Manufacturing Science and Technology*, c. 21, ss. 86-96, 2018.
- [8] Y. Sun, B. Huang, D. Puleo ve I.S. Jawahir, “Enhanced machinability of Ti-5553 alloy from

cryogenic machining: comparison with mql and floodcooled machining and modeling,” *Procedia Cirp*, c. 3, s. 1, ss. 477-482, 2015.

[9] O. Pereira, A. Rodríguez, A. Fernández-Abia, A.I. Barreirove L. L.de Lacalle, “Cryogenic and minimum quantity lubrication for an eco-efficiency turning of AISI 304,” *Journal of Cleaner Production*, c. 139, ss. 440-449, 2016.

[10] *Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface texture: profile method-terms, definitions and surface texture parameters*, International Organisation Standarts ISO 4287:1997, 1997.

[11] E. Şirin, Y. Turgut, İ. Korkut ve Ş. Şirin, “Frezelemede farklı sertlikteki AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin taguchi metoduyla yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 3, ss. 132–144, 2015.

[12] J. Antony, “Multi-response optimization in industrial experiments using taguchi’s quality loss function and principal component analysis,” *Quality and Reliability Engineering International*, c. 16, c. 1, ss. 3-8, 2000.

[13] Ç. V. Yıldırım, “Experimental comparison of the performance of nanofluids, cryogenic and hybrid cooling in turning of Inconel 625,” *Journal of Tribology International*, c. 137, ss. 366–378, 2019.

[14] Ç. V. Yıldırım, T. Kıvak, M. Sarıkaya ve Ş. Şirin, “Evaluation of tool wear, surface roughness/topography and chip morphology when machining of Ni-based alloy 625 under MQL, Cryogenic Cooling and CryoMQL,” *Journal of Materials Research and Technology*, c. 9, s. 2, ss. 2079-2092, 2020.

[15] S. Asadauskas, J.H. Perez ve J.L. Duda, “Lubrication properties of castor oil-potential basestock for biodegradable lubricants,” *Tribology & Lubrication Technology*, c. 53, s. 12, ss. 35.1997.

[16] H. Gürbüz, U. Şekerve F. Kafkas, “Effects of cutting tool forms on the surface integrity in turning of AISI 316L Stainless Steel,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 35, ss. 225-240, 2020.

[17] E. Çelik, T. Kıvak ve Ş. Şirin, “Dubleks paslanmaz çeliğinin farklı soğutma/yağlama yöntemleri altında tormalanmasında kesme sıcaklığının optimizasyonu,” *VII. Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumu ISMS*, Ankara, Türkiye, 2019, ss. 512-524.

[18] Ş. Şirin ve T. Kıvak, “Performances of different eco-friendly nanofluid lubricants in the milling of Inconel X-750 Superalloy,” *Journal of Tribology International*, c. 137, ss. 180-192, 2019.

[19] Ç. V. Yıldırım, T. Kıvak, M. Sarıkaya ve F. Erzincanlı, “Determination of MQL parameters contributing to sustainable machining in the milling of Nickel-Base Superalloy Waspaloy,” *Arabian Journal for Science and Engineering*, c. 42, s. 11, ss. 4667-4681, 2017.

[20] E. Çelik, “AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğin tormalanmasında hibrit soğutma/yağlama tekniklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.

[21] T. Kıvak, “Optimization of surface roughness and flank wear using the taguchi method in milling of hadfield steel with PVD and CVD coated inserts,” *Measurement*, c. 50, s. 1, ss. 19-28, 2014.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

## Mimarlıkta Bilgisayar Destekli Fabrikasyon Teknolojileri ve Kullanım Yaklaşımları

 Meltem EZEL ÇIRPI <sup>a,\*</sup>,  Dilan ÖNER <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Mimarlık Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Mimarlık Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: m\_azel11@hotmail.com

DOI: 10.29130/dubited.799283

### ÖZET

Fabrikada üretimin ilk örnekleri 1912 yılında gemi endüstrisinde daha sonra diğer endüstrilerde görülse de fabrikasyonun dijitalleşmesi 1944 yılında ilk programlanabilir dijital bilgisayarın tasarlanması ile gelişmeye başlamıştır. Mimaride ise dijital tasarım ve üretim kavramları ile 1990'lardan başlayarak ivme kazanmıştır. Birçok bilim dalında kullanılan Bilgisayar Destekli Fabrikasyon Teknolojilerinin mimaride kullanımlarını ortaya koymak bu çalışmanın amacını oluşturmuştur. Bu kapsamda ilk olarak fabrikasyonun tanımı yapılarak kısaca tarihinden bahsedilmiştir. Ardından Mimaride sayısal fabrikasyonun gelişmesi, avantajları ve sayısal fabrikasyon teknolojilerinden bahsedilerek örnekler verilerek ele alınmıştır. Sonuç kısmında da bilgisayar destekli fabrikasyon teknolojileri mimari de kullanımlarına göre sınıflandırılmış ve mimaride kullanılmasının yarattığı değişimler tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mimaride fabrikasyon, Sayısal fabrikasyon teknolojileri, Sayısal fabrikasyon teknolojileri sınıflandırması, Sayısal üretim araçları ve metotları

## Computer Aided Fabrication Technologies in Architecture and Usage Approaches

### ABSTRACT

Although the first examples of production in the factory were seen in the ship industry in 1912 and later in other industries, the digitalization of fabrication began to develop in 1944 with the design of the first programmable digital computer. In architecture, it has gained momentum starting from the 1990s with the concepts of digital design and production. The aim of this study is to reveal the usage of Computer Aided Fabrication Technologies in architecture. In this context, firstly, the definition of fabrication was made and its history was briefly mentioned. Then, the development of digital fabrication in Architecture, its advantages and digital fabrication technologies are discussed and examples are given. In the conclusion part, computer aided fabrication technologies are classified according to their use in architecture and the changes caused by their use in architecture are discussed.

**Keywords:** Fabrication in architecture, Digital fabrication technologies, Digital fabrication technologies classification, Digital production tools and methods

Geliş: 23/10/2020, Düzeltme: 01/02/2021, Kabul: 04/02/2021

## **I. GİRİŞ**

Endüstri ve teknoloji alanında gerçekleşen devrimler her alanda olduğu gibi mimarlık alanında da birçok değişim ve dönüşümü beraberinde getirmiştir. İlkel insanların ortaya koyduğu mağaralardan başlayan ve gökdelenlere kadar olan süreçte ki değişim ve dönüşüm ile birlikte mimarlık alanında düşünme, tasarlama, üretim biçimleri de değişmiştir. Bu kapsamda en büyük değişimlerden birisi de el yapımından makine yapımına ve sayısal yapıma doğru giden üretim biçimlerinde gerçekleşmiştir. Bunun mimarlıktaki yansımaları da sayısal fabrikasyon olarak karşımıza çıkmaktadır. İlk başlarda mimari de sayısal fabrikasyon, maket yapımında kullanılsa da ilerleyen dönemlerde yapı elemanı ilişkilerinin tasarlanmasında kullanılmıştır. Günümüzde geline en son noktada ise sayısal fabrikasyon yöntemleri ile yapıların tamamının üretimi üzerine gerçekleştirilen çalışmalara yoğunlaşmıştır. Bu süreçte mimarlar, sayısal üretim ile tasarım süreci dışındaki üretim süreçlerine doğrudan dâhil olup, tüm sürece müdahale edebilir duruma gelmiştir. Bu açıdan mimarların sayısal üretim, araç ve yöntemleri konusunda bilgisinin olması kaçınılmaz bir hale gelmiştir. Bu makalede de bu amaçla mimarlara yol gösterici olmak adına bilgisayar destekli sayısal fabrikasyon teknolojileri ve kullanım yaklaşımları ortaya koyularak bir sınıflandırma yapılmıştır.

## **II. FABRİKASYON TANIMI VE TARİHÇESİ**

Mario Carpo [1], el yapımı (hand making), makine yapımı (machine making) ve sayısal yapım (digital making) olmak üzere üç farklı yapım şekli olduğundan bahsetmektedir. Fabrikada yapılarak (üretilecek) tüketime hazır duruma getirilen madde olarak tanımlanan fabrikasyon terimi, Carpo'nun bahsettiği makine ve sayısal yapım şekillerini kapsamaktadır. Fabrikada üretimin ilk örnekleri 1912 yılında gemi, 1917 yılında havacılık ve 1937 yılında ise tekstil endüstrisinde karşımıza çıkmaktadır [2, 3]. 1944 yılında ilk programlanabilir dijital elektronik bilgisayar olan Colossus'un, Tommy Flowers tarafından tasarlanması fabrikasyonun dijitalleşme sürecinin bilgisayar teknolojisine paralel olarak gelişmeye başladığını göstermektedir. Yine bu gelişime paralel olarak 1952 yılında ilk delikli kart ile programlanabilir freze makinası, kompleks uçak parçalarının üretimi için havacılık sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. 1959 yılından itibaren bilgisayar teknolojisindeki ROM'ların (read only memory) kullanılmaya başlanması ile CNC'ler, genel amaçlı işlemciler ve özel geliştirilmiş APT'ler (automatically programmed tools /otomatik programlanmış araçlar) ile programlanmak suretiyle üretim de sayısal üretimin yine öncü aşamaları olarak tarihe geçmiştir [4, 5]. 1954'te George Charles Devol, ilk endüstriyel robot olan Unimate'i icat etmiştir. 1969 yılında ise Victor Scheinman, bilgisayar kontrollü montaj ve otomasyon yapabilen ilk altı eksenli mekanik manipülatör olan Stanford Arm'ın mucidi olmuştur. 1985 yılında ise Carl Deckard ve Joe Beaman çizimden çıktı alabilen 3boyutlu yazıcıyı bilim dünyasına kazandırmıştır [6-8].

## **III. MİMARİDE SAYISAL FABRİKASYON**

Diğer disiplinlerde fabrikasyon teknolojilerindeki gelişmeler devam ederken, mimaride kullanımı ise 1990'larda görülmeye başlamıştır. Streich ve Weisgerber [9] tarafından 1996 yılında yayınlanan "Bilgisayar Destekli Mimari Model Oluşturma" adlı kitap mimari tasarım sürecinde sayısal üretim konusunun bütüncül bir çalışma olarak ele alındığı ilk çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır. 1997 yılında Alvise Simondetti [10] ise "Mimari Tasarımın Erken Aşamalarında Hızlı Prototipleme" başlıklı çalışması ile dijital üretimin mimari modeller yapmak için nasıl kullanılabileceğini ele almıştır. 2003 yılında Delft Teknoloji Üniversitesi'nde Breen vd. [11], CNC freze makinelerinin, lazer kesicilerin ve üç boyutlu yazıcıların mimari model oluşturma sürecinde nasıl kullanılabileceği üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir [12].

Fabrikasyon teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak 2000'li yıllarda sayısal fabrikasyon araçlarının ucuzlaması ve internet üzerinden açık kaynak kodlara ulaşımın sağlanması, sayısal fabrikasyon yöntem

ve araçlarının mimaride yaygınlaşmasına önemli bir etken olmuştur [13]. Bunun yanı sıra hızlı prototipleme yöntemi ve 3 boyutlu yazıcı gibi sayısal fabrikasyon araçları ile sayısal üretim sürecinin, kişiye ve üretime yönelik olarak özelleşmesi de, mimari tasarımın yapılabilir ve özgün olmasını sağlayan diğer bir etken olmuştur. Dijital fabrikasyon araçlarının ofisler ve üniversiteler tarafından kullanılması yaygın hale geldikçe, tasarımcıların ve araştırmacıların dijital fabrikasyon konularında yaptıkları çalışmalar ile yeni yöntemler keşfedilmeye başlanmıştır ve böylece mimarlarda tasarımlarına bu fabrikasyon süreçlerini dâhil eder olmuşlardır.

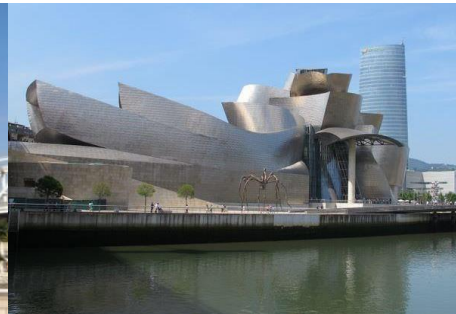
Botha ve Sass [14], malzeme ve tasarım kuralları ile sayısal fabrikasyonun ilişkisini, sayısal ortamda tanımlanan bir mimari tasarımın tamamının CNC ile üretilebilir olduğunu bir konut üzerinde göstermiştir. Gramazio ve diğ. [15, 16], sayısal fabrikasyon ile bilgisayarların bir arada kullanımı, tasarlama ve üretimi bir araya getirip iş akışını değiştirmekle kalmayıp, aynı zamanda mimarlığın tasarım bilgisinin kapsamının da genişlediğini belirtmektedir. Ayrıca sayısal fabrikasyonun, robotik üretim teknolojisi ile birlikte kullanımı ve diğer gelişmelerin, mimarlıkta yeni ifade ve ilişki biçimlerinin ortaya çıkmasında etkili olduğunu belirtmektedir. Rocha [17], mimaride sayısal fabrikasyon teknikleri ile karmaşık geometriler üretileceğini, bir başka deyişle öklid geometrisinden öklid dışı geometri kavramı olan yüzey ötesi kavramına geçilerek tasarımlarda ulaşılamayan formlara ulaşmanın mümkün olduğunu ifade etmektedir. Scheurer [18], birebir ölçekte üretimde, standart olmayan yapı elemanı geometrisinin üretiminden önce yapılacak optimizasyonlar (en iyileme) ile maliyetin düşürülebileceğinden, yapının birbirine komşu elemanlarının geometrisinin sadeleştirilmesi gerektiğinden, birleştirme detaylarının bir kez çözüldükten sonra CNC için standart olmayan biçim ve geometri üretiminin sadece sayısal bilginin değiştirilmesinden ibaret olduğunu bildirmektedir. Örnek olarak, Kas Ossterhouse ONL grup ile tasarladığı 1,5 km'lik akustik bariyerin standart yöntemlere göre yarı yarıya maliyet ile yapıldığını belirtilmektedir.

Özet ile mimaride sayısal fabrikasyonun amaçları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

- Mekânı ve malzemeyi yeniden farklı olasılıklar üzerinden düşündürmeyi sağlamaktadır.
- Yeni ve farklı detay çözümleri elde edilmektedir.
- Statik ve dinamik açıdan malzemenin sınırları zorlanmaktadır.
- Malzeme performans eşikleri arasında sentezlenmiş bir formülasyon ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır.
- Geleneksel üretimde biçime bağlı kullanımı zor veya uygun olmayan malzemelerin yapım sürecine dâhil edilmesini sağlamaktadır.
- Algoritmalar ile denetlenen fiziksel çevre olaylarının tasarıma yansıtılmasını sağlamaktadır.
- Çevresel zararların sonuçlarını azaltarak daha iyi bir çevre yaratmayı sağlamaktadır.
- Tasarımın tasarlandığı şekliyle (file to factory) dosyadan fabrikasyona göndermeyi sağlamaktadır.



Balık Heykeli, 1992, İspanya [19]



Guggenheim Müzesi, 1997, İspanya [20]



Nationale-Nederlanden Binası, 1996, Prag [21]

*Şekil 1. Sayısal üretim ile yapılan projeler.*

## A. SAYISAL ÜRETİM ARAÇLARI, SINIFLANDIRMALARI VE TEKNİKLERİ

Alberti'nin dediği gibi mimarlar artık sadece tasarımdan sorumlu değil, Antoine Picon'un dediği gibi mimar binanın tasarladığı gibi üretilmesinden de sorumlu hale gelmiştir [19]. Dolayısıyla mimarlar, sayısal üretim ile tasarım süreci dışındaki üretim süreçlerine doğrudan dâhil olup, tüm sürece müdahale



edebilir duruma gelmiştir. Kolarevic [20] ise günümüzde bilgisayarda hesaplanabilen her şeyin üretilebilmesinin mümkün olduğunu, sorulan sorunun “bu form yapılabilir mi?” değil, “bu formu üretecek sayısal araçların olup olmadığı” ifadeleri ile bildirmektedir. Bu bağlamda mimari de sayısal üretim ile ilgili çeşitli yöntemler ortaya atılmaktadır. Bu yöntemler yapılan tasarımın, tasarım aşamalarını ve nasıl üretileceği hakkında çeşitli yaklaşımlar sunmaktadır. Projenin verilerine, sınırlarına göre tasarım yöntemine karar verilerek tasarlama süreci başlamaktadır. Bu süreçte yapı elemanları ve bileşenlerinin detaylandırması ve dijital üretim yöntemleri ile nasıl üretileceği de düşünülmeye başlanmıştır. Bu kapsamda sayısal olarak tasarlanan ürünlerin üretilmesi için çeşitli sınıflandırmalar, bu sınıflandırmalara göre nasıl üretilip biçim verileceği ile ilgili teknikler, bu sınıflandırma ve teknikleri aktive edebilmek için de algoritmalar ortaya koyulmaktadır. Bu yüzden sayısal olarak tasarlanan modellerin üretilmesi için sayısal üretim araçları, sayısal üretim biçimleri ve sayısal üretim metotları arasındaki ağın iyi çözümlenmesi gerekmektedir.

## **A. 1. Sayısal Üretim Araçları**

Sayısal üretim araçlarının seçiminde, ürünün nasıl tasarlanacağı, nasıl uygulanacağı ve hangi araçlar kullanılarak üretileceği etkili olmaktadır. Seely [12], sayısal üretim araçlarını CNC (computer numerical control - bilgisayarlı sayısal kontrol) ve hızlı prototipleme olarak sınıflandırmaktadır. Dunn [21] ise, sayısal üretim araçlarını kesim (lazer ve CNC), CNC freze ve kanal açma, hızlı prototipleme, 3B tarama ve robotlar olmak üzere 5'e ayırmıştır. Bu sınıflandırmadan yola çıkarak sayısal üretim araçları Cnc, hızlı prototipleme, robotlar olarak sınıflandırabiliriz (Tablo 1).

### ***A.1.1. CNC (Computer Numerical Control – Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)***

Günümüzde CNC'ler oldukça gelişmiş olup, çeşitli bilgisayar ara yüzleri ile kontrol edilebilmekte ve 2-5 eksenli çalışabilmektedir. CNC'ler de yaygın olarak frezeleme-oyma ve kesme ile malzemeye form verilebilmektedir. Karmaşık üretim prosedürleri ve bunların simülasyonları çeşitli ara yüzlerle gerçekleştirilebilmektedir. CNC ile yapılan New Orleans'daki Moma binası (Tablo 1-b) tüm yapının dijital olarak üretildiği ilk prototip yapı olarak gösterilmektedir. Diğer bir örnek ise Metropol Parasol (Jürgen Mayer H. Architects) projesidir (Tablo 1-a).

### ***A.1.2. Hızlı Prototipleme***

Hızlı prototipleme, kısaca bilgisayar kontrollü hareketlerle malzemenin katmanlar halinde işlenerek nesnelerin oluşturulması olarak tanımlanmaktadır. İşlemin başlatılma şekli genellikle CNC işlemleriyle benzerlik taşımaktadır [12]. Bilim dünyasında daha çok 3b baskı olarak kullanılan hızlı prototipleme; ekleyerek büyütme / ekleyerek üretme / katmanlı üretim olarak bilinmektedir (Tablo 1-c ve 2-d). Hızlı prototipleme zaman, maliyet ve uygulama açısından avantaj sağlamak ve tasarımların farklı malzemeler ile üretilmesine imkân vermektedir.

### ***A.1.3. Robotlar***

Diğer bir dijital üretim aracı ise robotların kullanıldığı robotik uygulamalardır. CNC makineleri gibi, çalışmalarını yönlendirmek için bilgisayarlı veri ile beslenen robotlar ve robot kollar, sayısal verilere göre malzemeleri işlemekte, döndürmekte, delmekte, yatay ve dikey yönde yerleştirmektedir [22]. İlk inşaat robotları modüler evlerin prefabrikasyonunda kaliteyi artırmak için 70'li yılların başında Japonya'da tasarlanmıştır. Otomobil üretim süreçleri, gemi inşaatı ve kimya endüstrisinden alınan fikirler inşaat sektörüne uyarlanmıştır. Robotlar püskürtme, beton yumuşatma, malzeme dağıtma, tavana ekipman montajı, kalıp montajı, cephe montajı, boyama, temizleme ve benzeri özel görevleri yerine getirmek üzere şantiye alanına girerek hesaplamalı montajda da kullanılmıştır [23]. Robotlar, endüstriyel robotlar ve uçan robotlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Robot kol olarak anılan endüstriyel robotla inşa edilen Pike Loop yapısı (New York), geleneksel yapı malzemesi olan tuğladan yapılmış ve 22 metre uzunluğundadır. Tasarımın karmaşık geometrisi 7.000'den fazla tuğlanın örülmesi ile üretilmiştir [21]. (Şekil 2-e).

Uçuş montajlı mimarlık projesi 2011 yılında uçan robotlar tarafından inşa edilen ilk yapılardan biridir (Şekil 2-1). 600 m yüksekliğindeki dikey yerleşimin 1/100'lük modeli olarak düşünülen proje, dört uçan makine tarafından inşa edilmiştir. 6 m uzunluğundaki model, 1500 köpük tuğladan 18 saat içinde inşa edilmiştir. Son araştırmalardan biri olan “Hava İnşaatı: Uçan Makinelerle Çekme Yapılarının Robotik Üretimi” başlıklı çalışmada uçan makinelerle kablo sistemleri örülerek bir köprü oluşturulmuş daha sonra da uzay kafes sistemlerin montajı yapılmıştır (Şekil 2-i) [24, 28].

## **A. 2. Sayısal Üretim Biçimine Göre Sınıflandırma**

Yukarıda anlatılan sayısal üretim araçları ile bilgisayar ortamında oluşturulan sayısal veriyi, fiziksel olarak üretebilmek için yapı bileşenleri ve yapı elemanlarını detaylandırabilmek için çeşitli sayısal üretim biçimlerine ihtiyaç duyulmaktadır [20]. Bu üretim biçimleri tasarlanan ürünün nasıl üretileceğini belirlemek için kullanılmaktadır. Üretim biçimine karar verirken tasarımın iki ya da üç boyutlu olması, tasarımın büyüklüğü ve sayısı, üretilen malzemenin karakteri gibi özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Dunn [21] ve Kolarevic [20] bu üretim yöntemlerini dörde ayırmıştır;

### ***A.2.1. Kesmeye Dayalı Üretim***

Levhalar üzerine iki boyutlu CNC makinalarıyla yapılan ve yüzey üretimi sağlayan teknolojilerdir. Stuttgart'taki Gatehouse (2007), kesmeye dayalı üretim sistemleri kullanılarak yapılmıştır. Yapı için bir dizi atölye çalışması geliştirilmiştir. Yüzey geometrisini ve açıklıkların çatı düzlemi boyunca ilişkisini incelemek için lazer kesim ile ölçekli modeller aracılığıyla çeşitli çatı desenleri araştırılmıştır ve prototipler üretilmiştir [21] (Tablo 2-a).

### ***A.2.2. Çıkarmaya Dayalı Üretim***




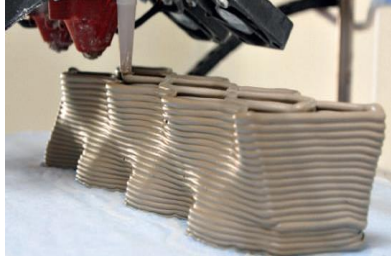



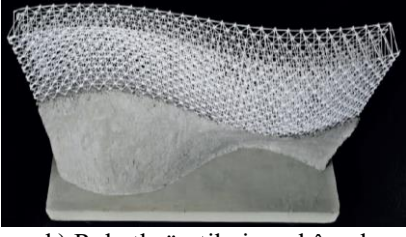


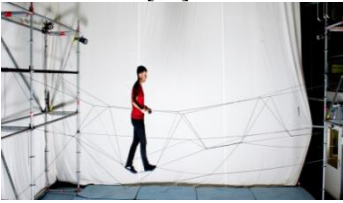
Malzemenin, elektrokimyasal veya mekanik süreçlerle frezeleme işlemiyle katı bir malzemenin belirli bir kısmının çıkarılması işlemidir. Gehry'nin New York'taki Condé Nast Kafeterya (2000) projesinde, kompleks eğrisel yüzeylere sahip lamine cam panellerin üretimi için CNC kullanılmıştır [20] (Tablo 2-b).

### ***A.2.3. Eklemeye Dayalı Üretim (Katmanlı Üretim)***




Eklemeli üretim (additive fabrication), katmanlı üretim (layered manufacturing), katıların serbest formlu üretimi (solid free form fabrication), hızlı prototiplendirme (rapid prototyping), masaüstü prototip (desktop manufacturing) gibi isimlerde kullanımları da görülmektedir [20]. Katmanlı üretim sürecinde malzemenin art arda eklenmesiyle ürün oluşturulmaktadır. Böylece, malzeme kaldırma, işleme, taşıma ve montajları gibi karmaşık işlemler çok sayıda aynı basit işleme indirgenmektedir [26]. 2016 yılında üretilen Daedalus Pavilyonu bu üretim yöntemi ile yapılmıştır (Tablo 2-c). Eklemeli üretim aşağıdaki avantajlarından dolayı birçok sektör de kullanılmaktadır [27, 28].

- Gerekli malzemeler kullanılarak bir kalıba ihtiyaç duymadan ürünler üretilmektedir.
- Maliyet ve zamandan tasarruf sağlanmaktadır.
- Üretim aletlerinin çeşitliliği azalmakta veya tamamen ortadan kalkmaktadır.
- Karmaşık formlarda müşteriye özel, tek seferlik ürünler tasarlanıp üretilmektedir.
- Atık maliyetleri azalmaktadır.
- Depolama ihtiyacı ortadan kalkmaktadır.

**Tablo 1.** Sayısal üretim araçları ile yapılan projeler.

CNC		
	a) Metropol Parasol, Seville [32]	b) Larry Sass, New Orleans [33]
Hızlı Prototipleme		
	c) Villa Rotterdam, 3b model [21]	d) 3b tuğlalar fabricate 2014 [34]
Endüstriyel Robotlar		
	e) Pike Loop, Manhattan, 2009 [21]	f) Programlanmış sütunlar [35]
Robotlar		
	g) Çağdaş sanat ve planlama müzesi sergisi [36]	h) Robotla üretilmiş mekânsal kafesler [34]
Uçan Robotlar		
	i) Uçuş montajlı mimarlık, 2011 [24]	ICD/ITKE Research Pavillion, 2012 [34] 
		i) Uçan robotlar, 2016 [24]

**Tablo 2.** Sayısal üretim biçimlerine örnek projeler.

Kesmeye dayalı üretim biçimi	 <p>a) Gatehouse, Stuttgart, 2007 [21]</p>
Çıkarmaya dayalı üretim biçimi	 <p>b) Conde Nast Kafeterya, New York, 2000 [37]</p>
Ekleme dayalı üretim biçimi	 <p>c) Daedalus Pavilion, Amsterdam, 2016 [38]</p>

### A. 3. Sayısal Üretim Metotları

Sayısal üretim biçimlerinin dışında tasarlanan ürünün; seçilen malzeme ile nasıl yapılacağını, nasıl biçim verileceğini yani nasıl uygulanacağını belirleyebilmek için çeşitli sayısal üretim metotları bulunmaktadır. Iwamoto [22] bu metotları aşağıdaki gibi 5'e ayırmıştır.

#### A.3.1. Kesit Alma (Sectioning)




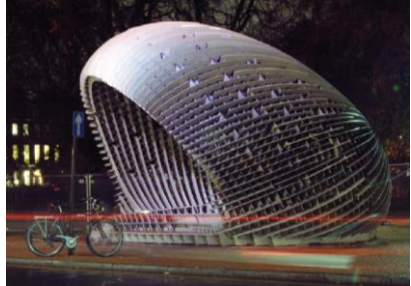

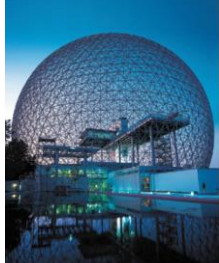
Kesit alma yüzeyin kendisini inşa etmek yerine, bileşenlerin yüzey geometrisine göre profil oluşturma yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Modelleme yazılımındaki kesit alma veya sınırlandırma komutlarının, belirli aralıklarla nesnelere boyunca paralel kesitleri anında alabilmesi, seri hale getirilmiş paralel bölümler oluşturma işlemini etkili bir şekilde kolaylaştırmaktadır. Ronchamp şapeli, Yaşanabilir karton odaları ve C Space pavyonu örnek olarak gösterilmektedir [22] (Tablo 3-a).

#### A.3.2. Mozaikleme (Tessellation)

Bir düzlem veya yüzey oluşturmak için boşluklar olmadan birbirine uyan parçalardan oluşturulan bir derleme olarak tanımlanmaktadır. Sayısal tasarım terminolojisinde ise tek veya çift eğrili yüzeyleri

poligonal ağlarla oluşturma olarak da tanımlanmaktadır. Fuller'in jeodezik kubbeleri, bu yaklaşımın ilk örnekleridir. Ayrıca Huyghe + Puppet Theater MOS yapısı ve BMW Welt projesinin çatısı örnek olarak gösterilmektedir [22] (Tablo 3-b).

**Tablo 3.** Kesit alma ve mozaikleme metotları kullanılan projeler.







<b>a) Kesit alma</b>		
	Yaşanabilir karton odaları, 2007 [22]	Ronchamp Şapeli, Le Corbusier [39]
<b>b) Mozaikleme</b>		
	Burnham pavilyonu, Zaha Hadid [40]	C Space, 2008 [22]
<b>b) Mozaikleme</b>		
	Coop Himmelb(l)au, BMW Welt, Almanya, 2007 [22]	Buckminster Fuller and Shoji Sadao, U.S. Pavilyon, Montreal, 1967 [22]

### A.3.3. Katlama (Folding)

Katlama tekniği ile iki boyutlu düz bir yüzey üç boyutlu bir nesneye dönüştürülmektedir. Bu sayede hem form oluşturulmakta hem de ortaya çıkan geometri ile strüktürel dayanım sağlanmaktadır. 20 yıldan beri bu tekniği kullanan mimarlar, dereceli olarak artan eğimli yüzeyler, mekânlar ve formlar oluşturmuşlardır [22]. Bu teknikte lazer kesiciler malzemenin daha kolay bir şekilde katlanmasını sağlamak için tabaka kesmek yerine tabaka malzemesini yüzeyde tararken, diğer kesiciler katlanmaya yardımcı olmak için bir dizi delik ya da delikler oluşturmaktadır. Bu yüzden lazer kesiciler daha avantajlı olmaktadır. Yüzeyin kıvrımlar, kırışıklıklar ve diğer modülasyonlar vasıtasıyla kontrol edilmesi için, kullanılacak malzeme tabakasının doğada esnek olması gerektiğinden kalın kağıt, metal levha ve plastikler yaygın olarak kullanılmaktadır [21].

Katlama metodu ile tasarlanan yapıların en büyük örnekleri çatı yapılarıdır. Daha geniş açıklık ve daha uygun maliyetli yapı elde etme ihtiyacı bu tip bir yapının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Katlama tekniği ile inşa edilen en önemli binalardan biri ABD'nin Colorado Springs'teki Hava Kuvvetleri Akademisi'ndeki Şapel'dir (Tablo 4-d) [41]. Tablo 4'de yer alan diğer projeler de katlama metoduna örnek olarak gösterilmektedir [21, 22].

**Tablo 4.** Katlama metodu kullanılan örnek projeler.

<b>Katlama</b>		
	a) Akustik bariyer, Utrecht, ONL, 2006 [41]	b) Huyghe + Le Corbusier Kukla Tiyatrosu MOS, 2004 [22]
		
	c) Starlight Theatre, Rockford [21]	d) Hava kuvvetleri akademisi, 1962 [42]
		
	e) Yokohama Yolcu Terminali, 2002 [43]	f) P.S.1 Urban Beach, 2003 [44]

#### **A.3.4. Kontürleme (Contouring)**

Bu teknikte tabaka halinde bulunan kontrplaklar, taş tabakalar, suntalar, MDF'ler, alçıpanlar ve dökme kompozitler gibi iki boyutlu yüzeylerin oyularak yeniden şekillendirilmesiyle üretim yapılmaktadır. Çıkartma yöntemine dayalı bir üretdir [22]. Bu metotta ahşap, köpük ve metaller kullanılmaktadır [21].

Heykeltıraş Erwin Hauer'in eserinden esinlenilerek tasarlanan kemik duvar ve Berkeley sanat müzesi ve Pasifik film arşivi için Faulders Studio tarafından tasarlanan ve tamamlanan BAMscape bu tekniğe örnektir [21, 22] (Tablo 5-a).

#### **A.3.5. Form Verme (Forming)**

Form verme metodunda, üretilmesi istenen bir biçime sahip kalıptan bileşenlerin işlenmesi ile üretim yapılmaktadır. Örneğin yeniden şekillendirilmiş metal malzeme, basınç ile elastik sınırın ötesine geçirilerek ısıtılıp yumuşatılarak şekil verilmektedir. Bu teknik en çok tüketici ürünlerinin seri üretiminde, cephe panelleri, detay bileşenleri ve diğer donanımlar gibi mimari elemanların yapımında kullanılmaktadır [20, 21].

Etrafımıza baktığımızda gördüğümüz ambalajlar, plastik oyuncaklar, cep telefonları, araba gövdeleri gibi birçok nesne form verme metodu ile üretilmektedir. Küçük bir malzemeden çok sayıda ürün oluşturulması nedeniyle, bu teknik kitlesel üretilmiş ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [22]. Form verme tekniğine Lounge peyzaj projesi oturma birimi örnek olarak gösterilmektedir (Tablo 5-b).

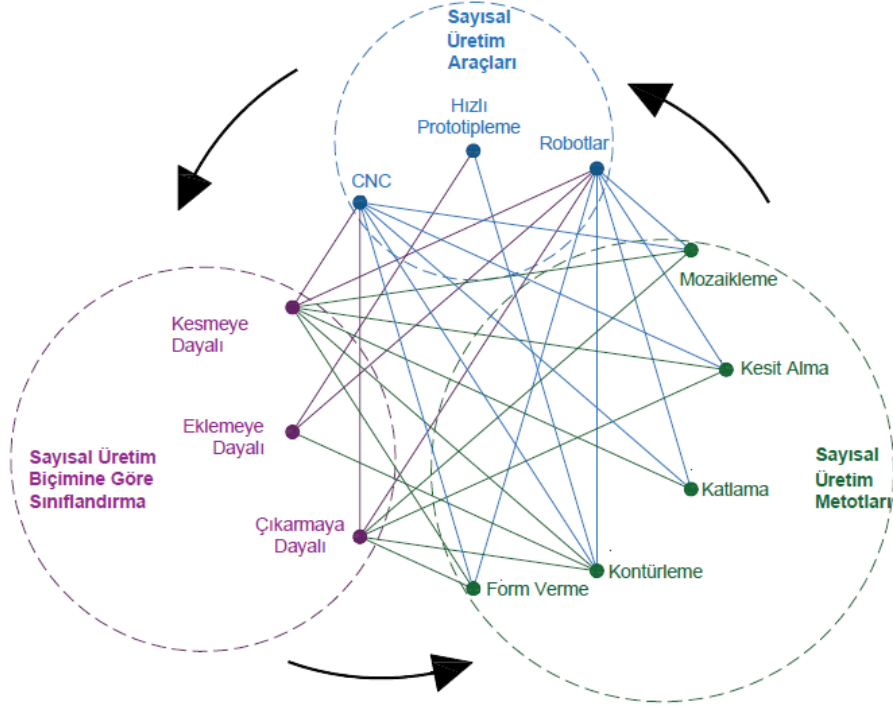
*Tablo 5. Kontürleme ve form verme tekniği ile yapılan projeler.*

<b>a) Kontürleme</b>		
	Kemik duvar, 2006 [22]	BAMscape, Faulders Stüdyo [21]
<b>b) Form verme</b>		
	Lounge projesi oturma birimi [45]	Bubble Projesi [21]

Frankfurt'taki BMW Ticaret Fuarı'ndaki Bubble projesi tasarımdan konstrüksiyona kadar tamamen dijital yollarla yapılmış ilk yapılar arasında gösterilmektedir (Tablo 5-b). Parametrik tasarım modeli ile tasarlanan yapının çerçevesi, tabaka alüminyumdan kesilen 3500 ayrı bileşenin üretilmesi ile oluşturulmuştur. 305 benzersiz akrilik-cam panelden oluşan kaplama elemanları, ayrı ayrı CNC-freze köpük blokları üzerine ısı ile oluşturulmuştur. Soğuduktan sonra, hazırlık aşamasında her bir panel altyapıya bağlantı için kenarlarda kırılmıştır [21].

## **IV. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ**

Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere sayısal üretim araçları, biçimleri ve metotları birbirlerini destekler nitelikte kavramlardır ve aralarındaki ilişkilerin bilinmesi önemli olmaktadır. Bu bakımdan mimaride kullanılan bilgisayar destekli fabrikasyon teknolojileri ve bu teknolojiler arasındaki ilişkiler Şekil 2'deki gibi sınıflandırılmıştır. Tasarım sürecinde bu kavramların iyi bilinmesi ile üretimin hangi üretim aracı, üretim biçimine ve metoduna göre yapılacağını belirlemek, süreçler açısından önem kazandırırken yapılacak hataların da minimumda olmasını sağlayacaktır. Bu kavramlar arasındaki ilişkilerden net olarak görülmektedir ki mimarlar tarafından ilk yapılması gereken, yapılan tasarıma ve kullanılacak malzemenin özelliklerine göre sayısal üretim biçimini, sayısal üretim metodunu ve aracını belirlemek olmalıdır.



**Şekil 2.** Sayısal üretim araçları, sınıflandırmaları ve metotları (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

Yukarıda anlatılan yöntem, teknik ve metotlar ışığında özellikle de 2000’li yıllardan günümüze olan bu süreçte mimaride bilgisayar destekli tasarım ve üretim araştırmalarının ve projelerinin hız kazandığı söylenebilmektedir. Günümüzde bazı endüstrilerde projeler yalnızca dijital olarak tasarlanmakla kalmamakta, dosyadan-fabrikaya prensibiyle üretilmektedir. Ülkemiz de yapı sektöründe örnekleri olmasa da yurt dışında bununla ilgili yapılan ve devam etmekte olan çalışmalar bulunmaktadır. Dünya’da son 10 senedir gerçekleştirilen araştırmalar ve uygulamalar ile katmanlı üretim sistemleri ile 2 saatte üretilen mobil konutlar ve bir haftada üretilen konutlar yapılmaktadır. Hatta gelinen en son aşamada kendi kendini örgütleyen sistemler üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu gelişmeler göz önüne alınarak gelecekte yapılacak yapıların tasarımı, üretimi ve uygulamasının yani tüm inşaat sürecinin insanlar olmadan bilgisayarlar ve robotlar ile üretileceği söylenebilmektedir. Ülkemizin bu gelişmelerin gerisinde kalmasının önüne geçebilmek adına bu konular ile ilgili bilincin ve bilginin artırılması da kaçınılmaz olmaktadır. Bu bağlamda ele alınan mimaride bilgisayar destekli üretim araç, yöntem ve biçimi üzerine yapılan sınıflandırmanın mimarlara yol gösterici nitelikte olması öngörülmektedir.

Ayrıca, sayısal üretim teknolojilerinin mimariye sağlayacağı avantaj ve katkılarda göz ardı edilmemelidir. Sayısal üretim ürün tasarlanması, üretilmesi süreçlerinde yaşanan problemlere çözüm sağlamaktadır. Mimaride ise bilgisayarda çizilen tasarımların benzetimlerinin yapılması ile üretim sürecindeki sorunlar üretim öncesi değerlendirilerek engellenebilmektedir. Hatta yukarıda anlatılan yöntem ve teknikler ile prototipler üretilmekte değişiklikler bunun üzerinden karar verilerek de yapılabilmektedir. Geleneksel yöntemlerle yapıldığında günler haftalarca süren üretimler sayısal üretim yöntemleri ile daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Tasarımlar kişiye ve üretime yönelik olarak özelleşmekte ve özgün tasarımlar ortaya koyulmaktadır. Tasarımda ulaşılamayan karmaşık formlar dijital tasarım yöntemleri ile tasarlanarak dijital üretim yöntemleri ile üretilebilir duruma gelmesi ile de mimarların artık daha özgür tasarımlar yapabilmesi sağlanmaktadır. Bu teknolojilere yönelik farkındalığın artırılması ile ülkemizde de zaman, maliyet ve işçilikten avantaj sağlayan yüksek bitmişlik düzeyinde yapıların üretilmesinin de mümkün olacağı öngörülmektedir.



## V. KAYNAKLAR

- [1] M. Carpo, *The Alphabet And The Algorithm (Writing Architecture)*. The MIT Press; 1 edition, February 4, 2011.
- [2] C. A. Bennett, *History Of Manual And Industrial Education, 1870 to 1917*. The Manual arts press, Peoria, Illinois, 1937.
- [3] E. C. Johnson, *Marine Corps Aviation: The Early Years, 1912-1940*. University of Michigan Library, 1977.
- [4] N. Metropolis, J. Howlett ve G. C. Rota, *A History Of Computing In The Twentieth Century*. Academic Press, 1980.
- [5] B. Randell, *The Origins of Digital Computers*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1982.
- [6] W. Johanna, *The History of the Industrial Robot*. Linköping: Linköping University Electronic Press, 2008.
- [7] M. E. Moran, "Evolution of Robotic Arms," *J Robotic Surg*, vol. 1, pp. 103–111, 2007.
- [8] H. Lipson ve M. Kurman, *Fabricated: The New World of 3D Printing*. John Wiley & Sons Inc., 2013.
- [9] B. Streich, B. ve W. Weisgerber, *Computergestützter Architekturmodellbau: CAAD Grundlagen Verfahren, Beispiele*. Birkhäuser, 1996.
- [10] A. Simondetti, "Rapid Prototyping in Early Stages of Architectural Design," Master of Science Thesis, MIT, 1997.
- [11] J. Breen, R. Nottrot ve M. Stellingwerff, "Tangible Virtuality – Perceptions of Computer-Aided and Physical Modelling," *Automation in Construction*, vol. 12, no. 6, pp. 649-653, 2003.
- [12] J. Seely, "Digital Fabrication In The Architectural Design Process," Master of Science in Architecture Studies at the Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [13] P. Blikstein, "Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention," In *FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors*, J. Walter-Herrmann & C. Büching (Eds.), Bielefeld: Transcript Publisher, 2013.
- [14] M. Botha ve L. Sass, "Instant House: Design and Digital Fabrication of Housing for Developing Environments," *The Association for Computer Aided Architectural Design Research CAADRIA: Rhythm and Harmony in Digital Space*, Kumamoto, pp. 209-216, 2016.
- [15] T. Bonwetsch, F. Gramazio ve M. Kohler, "Digitales Handwerk," *GAM Architecture Magazine 06*, Springer, Vienna, , vol. 6, pp. 172-179, 2010.
- [16] F. Gramazio ve M. Kohler, *Digital Materiality in Architecture*. Lars Müller Publishers, Baden, 2008.
- [17] A. J. Rocha, *Architecture Theory 1960-1980: Emergence of a Computational Perspective*. Massachusetts Institute of Technology, ABD, 2004.

- [18] F. Scheurer, "Architectural CAD/CAM: Pushing the Boundaries of CNC Fabrication in Building," in *Manufacturing material effects: Rethinking design and making in architecture*, B. Kolarevic, K. Klinger K. (Eds.), New York: Routledge, pp. 211-222, 2008.
- [19] F. Gehry. (2018, April 10). *Fish sculpture in Barcelona* [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/773232/9-entrepreneurial-architects-who-developed-innovative-products-and-services/55ee0ddbe58ece95a8000019-9-entrepreneurial-architects-who-developed-innovative-products-and-services-image>
- [20] (2018, April 10). *Guggenheim Bilbao (1997)* [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/778151/paul-goldberger-frank-gehry-really-doesnt-want-to-be-remembered-as-somebody-who-just-did-a-few-iconic-buildings/565f0003e58ece20b4000229-paul-goldberger-frank-gehry-really-doesnt-want-to-be-remembered-as-somebody-who-just-did-a-few-iconic-buildings-photo>
- [21] D. Sokol ve N. Mafi. (2019, February 15). *31 Spectacular Buildings Designed by Frank Gehry* [Online]. Available: <https://www.architecturaldigest.com/gallery/best-of-frank-gehry-slideshow>
- [22] A. Picon, *Digital Culture in Architecture: An Introduction for the Design Professions*. Birkhäuser Basel, 2010.
- [23] B. Kolarevic, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. London: Spon Press, 2003.
- [24] N. Dunn, *Digital Fabrication in Architecture*. Laurence King Publishing, 2012.
- [25] L. Iwamoto, *Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques*. New York: Princeton Architectural Press, 2008.
- [26] D. Wolf & Partner ZT GmbH. (2015, February 23). *We Start The Future of Construction* [Online]. Available: <https://m.youtube.com/watch?v=R64IEixoYJ0>
- [27] A. Mirjan, "Aerial Construction: Robotic Fabrication of Tensile Structures with Flying Machines," Doctoral Thesis, ETH Zurich, 2016.
- [28] F. Augugliaro, S. Lupashin, M. Hamer, C. Male, M. Hehn, M. W. Mueller, J. S. Willmann, F. Gramazio, M. Kohler ve R. D'Andrea, "The Flight Assembled Architecture Installation: Cooperative construction with flying machines," *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 34, no. 4, pp. 46-64, 2014.
- [29] J. Pegna, "Exploratory Investigation of Solid Freeform Construction," *Automation in Construction*, vol. 5, no. 5, pp. 427-437, 1997.
- [30] D. Bryden, *CAD and Rapid Prototyping for Product Design*. Laurence King Publishing, 2014.
- [31] N. Hopkinson ve P. Dickens, "Analysis of Rapid Manufacturing - Using Layer Manufacturing Processes for Production," *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 217, no. 1, pp. 31-39, 2003.
- [32] M. S. Uihlein, "Architecture, Structure, and Loads: A Moment of Change?," *ARCC JOURNAL* vol. 9, no.1, pp. 53-61.
- [33] D. Smithwick, D. Michaud, L. Rushfelt, L. Davis. (2019, May 12). *Digitally Fabricated House for New Orleans (2017-2018)* [Online]. Available: <https://ddf.mit.edu/milestones/03>

- [34] F. Gramazio, M. Kohler, S. Langenberg, *Fabricate 2014 Negotiating Design & Making*. UCL Press, 2014.
- [35] R. Glynn ve B. Sheil, *Fabricate: Making digital architecture*. UCL Press, 2011.
- [36] (2018, May 15). *Çağdaş Sanat ve Planlama Sergisi Binası Coop Himmelb(l)au* [Online]. Erişim: <http://mimdap.org/2016/10/cadhdath-sanat-ve-planlama-sergisi-binasy-coop-himmelblau/>
- [37] E. Fazzare. (2019, May 15) *Studios Architecture Revamps the Frank Gehry–Designed Former Condé Nast Cafeteria* [Online]. Available: <https://www.architecturaldigest.com/story/frank-gehry-studios-architecture-conde-nast-cafeteria>
- [38] (2020, March 8) *Daedalus Pavilion* [Online]. Available: <https://parametrichouse.com/daedalus-pavilion/>
- [39] S. Medina. (2019, January 27). *Le Corbusier's Ronchamp, Vandalized* [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/469008/le-corbusier-s-ronchamp-vandalized/52dd58b3e8e44e45120001da-le-corbusier-s-ronchamp-vandalized-photo>
- [40] (2018, April 21). *Zaha Hadid Architects Burnham Pavilion* [Online]. Available: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/burnham-pavillion/>
- [41] (2018, May 12). *VAA.ONL - the innovation studio of VAA* [Online]. Available: <https://archello.com/brand/vaaonl-the-innovation-studio-of-vaa4>
- [42] N. Šekularac, J. Ivanović Šekularac ve J. Č. Tovarović, “Folded Structures In Modern Architecture,” *Facta Universitatis Series: Architecture and Civil Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 1-16, 2012.
- [43] F. Agis. (2018, April 21). *Yokohama International Port Terminal* [Online]. Available: <https://wordlesstech.com/yokohama-international-port-terminal/>
- [44] C. Zevi. (2018, May 5). *What Happens to PSI's Young Architect's Program Projects at the End of the Summer?* [Online]. Available: <https://news.artnet.com/art-world/ps1-young-architects-program-summer-324297>
- [45] A. Menges. (2018, March 15). *Lounge Landscape* [Online]. Available: <http://www.achimmenges.net/?p=4467>



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Otellerde İç Mekân Bitki Tercihlerinin Bitkisel Tasarım İlkeleri Kapsamında Değerlendirilmesi ve Bakım Olanaklarının Belirlenmesi: Antalya Örneği

 Ceren SELİM <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, TÜRKİYE*

*\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cerenselim@akdeniz.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.872113

### ÖZET

Bu çalışmada, Antalya ilinde yer alan beş yıldızlı otellerin iç mekânlarında kullanılan bitki türü tercihlerinin, bitkisel tasarım kriterleri açısından değerlendirilmesi ve bakım uygulamalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Türkiye'nin en önemli turizm destinasyonlarının başında gelen Antalya İlinde bulunan yirmi otelde yer alan iç mekan bitkileri, yerinde yapılan gözlemler ve sorumlu departmanlarla yapılan görüşmeler ile işlevleri, bakım uygulamaları, bitkisel tasarım öğeleri ve ilkeleri açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, ekonomik kaygılar ve bakım zorluklarından dolayı tercih edilen iç mekan bitkisi seçiminde genellikle az bakım isteyen ve ekonomik bitkilerin seçildiğini göstermiştir. Ayrıca bitkilerin estetik özellikleri ve vurgu yapma işlevleri nedeniyle bitkisel tasarımlarda yer bulurken, hava kalitesini iyileştirme, insan psikolojisine olumlu katkı sağlama, iş verimini artırma, sınırlama ve yönlendirme işlevlerinin nispeten ön plana çıkmadığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *İç mekân bitkileri, Süs bitkileri, Otel, Bitkisel tasarım, Peyzaj bakımı*

## Evaluation of Indoor Plant Preferences in Hotels within the Scope of Planting Design Principles and Determination of Maintenance Possibilities: The Case of Antalya

### ABSTRACT

In this study, it was aimed to evaluate the plant species preferences in the interiors of five-star hotels in Antalya in terms of plant design criteria and to determine the maintenance practices. In this context, indoor plants preferences, functions, maintenance practices were evaluated in terms of plant design elements and principles in twenty five-star hotels which were located in Turkey's most important tourism district of Antalya province coastal zone. According to the findings, economic concerns and maintenance difficulties have shown that low-maintenance and economical plants are generally chosen in the selection of indoor plants preferred in hotels. In addition, it has been understood that while plants find a place in planting designs due to their aesthetic features and their emphasis functions, the functions of improving air quality, contributing positively to human psychology, increasing work efficiency, restricting, directing functions were ignored.

**Keywords:** *Indoor plants, Ornamental plants, Hotel, Planting design, Landscape management*

# I. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışına paralel olarak artan konut ihtiyacı özellikle kentsel yerleşimlerde betonlaşmayı arttırmakta ve bu durum yeşil doku üzerinde önemli baskı oluşturmaktadır. İnsanoğlunun doğadan uzaklaşmasının sebeplerinden biri olan bu kentleşme süreci ekolojik, estetik, ekonomik ve sosyal olarak birçok fonksiyonu olduğu bilinen yeşil doku varlığının kentlerde yaşanan arazi rantına bağlı olarak yapılar arasında sıkışmasına sebebiyet vermektedir. Günlük yaşantısının %80-90'ını iç mekânlarda geçiren insanoğlu bilgi teknolojilerinin de gelişmesiyle, bilgisayarlara ve iç mekânlara mahkûm kalmaktadır. Bununla birlikte, bilgi teknolojisinin bu denli hızlı yayılımı, yeni bilgisayar teknolojileriyle sağlıklı bir şekilde baş edememenin neden olduğu modern bir hastalık olan “Teknostres” gibi farklı stres faktörlerinin hayatımıza nüfuz etmesine neden olmuştur [1,2]. Yoğun ve sıkışık kent dokusu içerisinde doğaya ve yeşile mahrum kalan insanlar, yeşil dokuya yaşamlarının büyük bir kısmını geçirdikleri yapı blokları içerisinde yer vererek iç mekân bitkilerini kullanmaya başlamışlardır. Yazılı belgeler, bitkilerin iç mekânda kullanımının ilk örneklerini Mısır yazıtlarında ve Pompei kentinde günümüzden yaklaşık 2000 yıl öncesinde kullanılmaya başlandığını göstermiştir [3,4]. Tropikal ve subtropikal bitkiler için daha düşük nakliye ve üretim maliyetleri, iç mekân tasarım uygulamalarındaki farklılıklar ve bitkileri iç mekânda tutmayı mümkün kılan daha yüksek iç mekân sıcaklıklarının sağlanabilmesinden dolayı 20. yüzyılın ikinci yarısında iç mekân bitkilerinin kullanımı daha da yaygınlaşmıştır [4]. Bitkilerin, dış mekândan iç mekâna taşınmasıyla doğanın pozitif enerjisi iç mekânlara yansımaya başlamış, bu da insanların iç mekânlarda kendilerini daha mutlu, huzurlu ve konforlu hissetmelerine olanak sağlamıştır [5]. İç mekânda yapılan bir bitkisel tasarım faaliyeti ile bitkilerin doku, renk, çizgi, ölçü, form vb. gibi tasarımsal özelliklerinden faydalanarak cazip mekânlar yaratmak mümkündür. Cansız elemanların yerine getireceği bazı fonksiyonları, canlı eleman olan bitkilerle yerine getirmek, doğal peyzajın, kapalı mekânlarda sürdürülebilirliğini sağlamaktadır [6]. Çelem ve Arslan [7] iç mekân bitkisi yetiştiren kişilerin kendilerini daha huzurlu ve rahat hissettiklerini belirtmişlerdir. Sürekli değişim halinde olan iç mekân bitkileri çağdaş dünyada insanlara doğa ile ilişki olanağı sunan canlı varlıklar olarak tanımlanmaktadır [8]. Günümüzde dünyanın her yerinde insanlar bitkileri evlerine, iş yerlerine, alışveriş merkezlerine, restoranlara, otellere ve günlük yaşamın diğer ortamlarına taşımışlardır [4].

Doğa ile etkileşim hem yaşam kalitesini artırmak hem de insanlara psikolojik faydalar ve bilişsel performans dahil olmak üzere bir dizi ölçülebilir fayda sağlamak açısından önemlidir [9]. Doğayla bağlantı kurmamızı sağlayan ve hayatımızı renklendiren iç mekân bitkileri birçok estetik, fizyolojik ve psikolojik fayda sağlamaktadır. İç mekân bitkileri, üç boyutlu çevrenin bir parçası olmakta ve birçok yönden insanla etkileşime girmektedir [9]. Bitkiler tarafından gerçekleştirilen fotosentez ve terleme süreçleri bitkiler için önemli süreçlerdir [10]. Fotosentez, bitkilerin karbondioksiti (CO<sub>2</sub>), ışığı ve suyu enerjiye dönüştürdüğü ve yan ürün olarak oksijeni (O<sub>2</sub>) serbest bıraktığı bir süreçtir. O<sub>2</sub>, diğer organizmaların gelişmesi için gereklidir ve bu süreçler dünyanın karbon ve oksijen döngülerini oluşturur [11]. Fotosentez sırasında üretilen negatif hava iyonları insanların sağlığı için faydalıdır [12]. Terleme ise, suyun bitki köklerinden yapraklarına geçerek su buharına dönüştüğü ve atmosfere salındığı bir süreçtir. Bitkilerin bu özelliği, buldukları ortamdaki nemin düzenlenmesine imkân sağlar [13]. Ayrıca bitkilerinin havayı filtreleme özelliğinden dolayı buldukları ortamın hava kalitesini artırarak insan sağlığını olumlu etkilediği [13-20] ve termal konfor sağladığını [21] kanıtlayan birçok araştırma mevcuttur. Bu bağlamda iç mekânda bitkileri kullanarak kirleticilerin ortadan kaldırılması etkili ve ekonomik bir strateji olmakla beraber fizyolojik açıdan da oldukça önemlidir.

İç mekân bitkileri, yalnızca iç mekân hava kirleticilerinin ortadan kaldırılmasında önemli bir rol oynamakla kalmaz, aynı zamanda ortamın iyileştirilmesine, bireyler üzerinde olumlu psikolojik etki sağlayarak stresi azaltma, sağlık ve konforu olumlu yönde teşvik etmeye katkıda bulunur [4,9,22-25]. İç mekân bitkilerinin insanı dinç hissettirdiği, iş verimliliğini arttırdığı ve psikolojik olarak insan sağlığına iyi geldiği yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Özellikle ofislerde çalışanların iş verimini arttırdığı [23,26], okullarda öğrencilerin daha motive olmasına, çalışanların dikkat ve performansları üzerine katkıda bulunduğu ve mekândaki aidiyet ve mutluluk duygularına katkı sağladığı [13,27-34], hastanelerde hastalık semptomlarının azalmasına etki ettiği ve iyileşmeyi çabuklaştırdığı belirtilmiştir [35-37]. İç mekân bitkileri aynı zamanda estetik açıdan iç mekâna katkı sağlayarak, kimlik kazandırır.

Bitkiler sahip oldukları yaprak, çiçek gibi özellikleri ile yaşanabilir ve estetik mekânlar oluşturulmasına katkı sağlamaktadır [8,38]. Bitkiler bu katkıyı, diğer bitkilerle oluşturdukları kompozisyonlar ve mekânı oluşturan diğer öğeler ile sahip oldukları tasarım öğelerini ile (form, çizgi, doku, renk, ölçü) “bitkisel tasarım kriterleri” doğrultusunda gerçekleştirebilirler. İç mekânda gerçekleştirilecek bir bitkisel tasarım faaliyetini; mekânın özellikleri, kullanıcı istekleri ve beklentileri, bitkilerin ekolojik istekleri ve tasarımcının tercihleri şekillendirir [39]. Dolayısıyla bitkisel tasarım öncesinde mekân analizi yapılmalı, mekânın işlevi, kullanım durumu, yoğunluğu, fiziksel özellikleri ve ekolojik koşullar irdelenmelidir. Mekân kullanıcılarının mekânla ilgili istekleri, kullanıcı tipi, yoğunluğu, zevkleri gibi psikolojik, fizyolojik ve sosyolojik gereksinimleri belirlenmelidir. Bitkisel tasarım faaliyetinde kullanılacak bitkilerin ekolojik istekleri, renk, doku, form, ölçü, biçim gibi tasarımsal öğelerin bilinmesi ve iç mekânda var olan diğer cansız öğeler ile ilişkilerin dikkate alınması gerekir [39]. Tasarım tasarımcıya göre değişiklik göstermekle birlikte özgün yaklaşım, bakış açısı vb. etmenlere bağlı olarak algıda farklılığı yaratabilir, kullanıcı üzerinde farklı hisler uyandırabilir. Bitkisel tasarım ilkeleri doğrultusunda yapılacak bitkisel tasarımlarda; vurgu-odak, ritim-tekrar, denge, egemenlik, oran, birlik, uyum-zıtlık ve koram-hiyerarşi oluşturma imkânı sunar. Örneğin; kapalı ve alçak bir mekânı bitkilerin renk, form, ölçü ve çizgi özelliklerinden yararlanarak daha geniş ve yüksek hissettirebilir veya geniş ve yüksek bir mekânı insan ölçeğine indirgeyebilir. Yüksek tavanlı yapılarda (havalimanları, alış-veriş merkezleri, otel lobileri vb.) gerçekleştirilen iç mekân bitkisel tasarımlarında oran, denge ve hiyerarşi gibi tasarım öğeleri kullanılarak bitki materyali ile mekânlar insan ölçeğine indirgenebilir, mekânın insan üzerinden yarattığı baskı ve psikolojik etki olumlu yönde iyileştirilebilir. Bunun yanında bitkilerin ekolojik istekleri, bakım gereklilikleri, saksı tercihleri, işlevsellik, mekâna uyum, amaca uygunluk, doğal/egzotik tür tercihleri ve ekonomik koşullar bitkisel tasarımda düşünülmesi gereken diğer hususlardır.

İç mekân bitkilerinin kendilerinden beklenen faydaları sağlayabilmeleri, sağlıklı bir şekilde gelişebilmeleri mekâna uygun tür seçimine, türlerin ekolojik isteklerinin (ışık, sıcaklık, nem ve su, yetiştirme ortamı) karşılanmasına ve bu isteklere uygun bakım uygulamalarının (sulama, gübreleme, saksı değiştirme, yabancı ot kontrolü, kurumuş dal ve yaprakların temizliği, hastalık ve zararlılarla mücadele) yapılmasına bağlıdır [5,8,40]. İç mekân bitkilerinin büyüme ve gelişmesini etkileyen ekolojik faktörlerin başında sıcaklık gelmektedir. İç mekân bitkilerinin tümü için uygun olan bir sıcaklık derecesi olmamakla birlikte, genel olarak 0-40°C arasında değişiklik gösterir. Uygun sıcaklık, bitkilerin doğal yetişme koşullarına, mevsime göre değişmekle birlikte iç mekân bitkilerini sıcaklık gereksinimlerine göre düşük, orta ve yüksek sıcaklık isteği olan bitkiler olmak üzere üç gruba ayırabiliriz. Örneğin; *Anthurium andraeanum* (Antoryum), *Dieffenbachia maculata* (Difenbahya), *Dracaena spp.* türleri yüksek sıcaklığa (Kışın:16-20 °C, Yazın:18-25 °C) ihtiyaç duyarken, *Begonia rex*. (Yaprak Güzeli Begonya), *Ficus spp.*, *Euphorbia pulcherrima* (Atatürk çiçeği) türleri orta sıcaklık (Kışın:8-15 °C, Yazın:15-18 °C) isteğine ihtiyaç duymaktadır. *Agave spp.* (Sarı sabır), *Fatsia japonica* (Japon aralyası), *Echeveria spp.* türleri ise düşük sıcaklık (Kışın:5-8 °C, Yazın:15-20 °C) isteğine sahiptir. İç mekân bitkilerinin ekolojik gereksinimlerinden bir diğeri ışıktır. Işık, bitkilerde fotosentezi etkileyerek bitkilerin büyüme ve gelişmesini direk olarak etkilemektedir. Bu bakımdan iç mekân bitkilerinin bazıları sürekli ışık isteği olan bitkilerdir (örn. Kaktüs ve Sukkulent türleri). Bu gruba giren bitkileri konumlandırırken güney cephelerde, ışık alabilecek pencere kenarlarını tercih edilmelidir. Daha az ışığa ihtiyaç duyan bitkiler ikinci grubu oluşturmakla birlikte (örn. *Anthurium andraeanum* (Antoryum), *Begonia spp.* (Begonya), *Dieffenbachia maculata* (Difenbahya) türleri, bu bitkilerin yer seçiminde sürekli güneş ışığı almayan, doğu ve/veya batı cephelerin tercih edilmesi gerekmektedir. Bunların dışında gölge koşullarda büyüme ve gelişmeye devam edebilen iç mekân bitkileri de mevcuttur (örn. *Araucaria heterophylla* (Salon çamı), *Chlorophytum comosum* (Kordela), *Monstera spp.* (Deve tabanı) türleri). Bunların ise kuzey cephelerde, güneş almayan yerlerde bulundurulması uygun olacaktır. Bitkilerin yaşayabilmeleri, gelişebilmeleri için zorunlu olan etmenlerden diğeri ise nispi nem ve sudur. İç mekân bitkileri nem isteklerine göre, yüksek orantılı nem isteyenler ve nem istekleri düşük olan türler olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Tropikal kökenli bitkilerin nem ihtiyacı %80’in üzerinde, diğer birçok bitkinin ise %60-70 civarındadır [39]. Yüksek orantılı nem isteyenlere örnek olarak *Fittonia verschaffeltii*, *Adiantum raddianum* (Kadın saçı eğreltisi) verilebilirken, *Kalanchoe daigremontiana* (Aşkın gözyaşları), *Euphorbia obesa* nem isteği düşük olan iç mekân bitkilerine örnek olarak verilebilir. Bitkilerin ekolojik isteklerine, büyüme ve gelişme özelliklerine göre uygulanan bakım işlemleri de farklılık göstermektedir. Bitkilerin nem isteklerine uygun sulama rejimi düzenlenmelidir. Bitkiye

ihtiyacından fazla ya da ihtiyacından az su verilmesi bitkiyi olumsuz etkiler. Genel bir kanı olarak yetiştirme harcının ilk 1-2 cm.si kuru ise sulama işlemi yapılmalıdır. İç mekân bitkilerinin yetiştirme ortamları da bitkinin ihtiyacına göre seçilerek belirlenmesi gerekir. Toprakla birlikte faklı materyaller (torf, perlit, vermikulit vb.) bir araya getirilerek karıştırılmalı ve yetiştirme ortamı oluşturulmalıdır. Bitkilerin büyüme hızlarıyla orantılı olarak saksı değişimi yapılmalı, saksı değişimi esnasında yetiştirme ortamı takviyesi de yapılmaktadır. Bitki türüne göre hazırlanan saksı harcı içinde bulunan besin maddelerinin zamanla tüketilmesi ve sulama ile yıkanması sonucu azalmaktadır. Bu nedenle bitkinin yaşamını sağlıklı şekilde sürdürebilmesi, büyüme ve gelişmesini sağlayabilmesi için ilave besin maddesine gereksinim duyulmaktadır [39,41]. Bitkinin beslenmesinde gerekli olan kimyasal elementleri sağlamak için bitkiye verilen maddelere “gübre” adı verilmektedir [5,41]. Kullanılacak gübrenin Azot (N), Fosfor (P) ve Potasyum (K) miktarları, bitkinin eksikliğine, aktif büyüme dönemine ve mevsime uygun belirlenerek uygulanmalıdır [5]. İç mekân süs bitkilerine uygulanan bir diğer bakım işlemi karşılaşılabilecek birçok hastalık ve zararlı etmenle mücadeledir. Bu gibi etmenlerin ortaya çıkmasına engel olmak, hastalık etmenleri ortaya çıktıktan sonra onlarla mücadele etmekten daha kolay, ekonomik ve yararlıdır [5,41]. Bu durum sağlanamadığında fiziksel ve kimyasal mücadele işlemlerine başvurulmaktadır. İç mekân bitkilerinin yapraklarının temizlenmesi, saksı değişimi sırasında kırılan ve yaşlanan dalların budanması, yabancı otların temizlenmesi de bitkilere uygulanan diğer bakım uygulamalarıdır.

İç mekân bitkisel tasarımlarının yukarıda bahsedilen tür seçimine, türlerin ekolojik istekleri ve bakım uygulamalarına ek olarak estetik ve işlevsel kaygılarla iç mekân dekorasyonun da bir parçası olması ayrıca önem taşımaktadır. Yatırım maliyetleri göz ardı edilemeyecek kadar fazla olan otellerde yapısal dekorasyon yanında bitkisel materyalin de kullanılması ve uyumu müşteri tercihini yönlendiren unsurlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitkiler yapısal unsurlarla bir bütün olmakla birlikte ortamdaki oksijen miktarını artırma ve tozları tutma özellikleriyle de otel iç mekânlarında tercih edilmektedir. Dolayısıyla otellerin giriş, lobi ve bahçelerinde kullanılması yanında kullanıcı odalarında da iç mekân bitkilerine yer verilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Antalya ilinde yer alan beş yıldızlı otellerin iç mekânlarında yer alan bitki türleri tercihlerinin, bitkisel tasarım kriterleri açısından değerlendirilmesi ve bakım uygulamalarının belirlenmesidir. Bu kapsamda Türkiye'nin en önemli turizm destinasyonlarının başında gelen Antalya İline bağlı kıyı turizminin gelişmiş olduğu ilçelerde belirlenen otellerde, yerinde yapılan gözlemler ve sorumlu peyzaj mimarlarıyla yapılan görüşmeler ile otellerdeki iç mekân bitkileri değerlendirilmiştir.

## **II. MATERYAL VE YÖNTEM**

### **A. MATERYAL**

Çalışmanın ana materyalini Antalya ilinde Serik-Belek, Aksu-Kundu, Manavgat, Muratpaşa, Konyaaltı, Kemer ilçelerinde yer alan yirmi adet beş yıldızlı otelin lobi, restoran ve koridorlarında ve odalarındaki iç mekân bitkileri oluşturmaktadır (Şekil 1). Otellerin seçilmesinde sezonluk olarak hizmet verenler tercih edilmemiş, otellerin dört mevsim hizmet vermesi belirleyici kriter olmuştur. Bunlar; Serik-Belek bölgesinde beş adet olmak üzere Güral Premier Belek (H1), Sensimar Belek Resort (H2), Belconti Resort Belek (H3), Alva Donna Exclusive Hotel (H4), Letoonia Golf Resort Belek (H5); Aksu-Kundu bölgesinde iki adet olmak üzere Delphin Imperial (H6) ve Royal Wings Otel (H7); Manavgat bölgesinde dört adet olmak üzere Sunrise Resort Hotel (H8), Starlight Resort Hotel (H9), The Sense Deluxe (H10), Kamelya K Club World Holiday (H11); Muratpaşa bölgesinde dört adet olmak üzere The Marmara Otel (H12), Akra Barut Otel (H13), Su Otel (H14) ve Kervansaray Hotel (H15); Konyaaltı bölgesinde üç adet olmak üzere Rixos Downtown (H16), Sealife Otel (H17), Porto Bello Otel (H18) ve Kemer bölgesinde iki adet olmak üzere Crystal De Luxe Otel (H19) ve Transatlantik Hotel & Spa (H20)'dır.



Şekil 1. Çalışma alanı (Google Earth, 2020).

## B. YÖNTEM

Çalışılan otellerde yerinde gözlemler gerçekleştirilerek kullanılan iç mekân bitkileri belirlenmiştir. Otellerin iç mekân bitkilerinden sorumlu kişilerle birebir görüşmeler yapılmıştır. Bilgilerin bir düzen çerçevesinde elde edilmesi için “Bilgi Formu” oluşturulmuş ve her otelde sorumlu kişi ile görüşme esnasında form doldurulmuştur. Elde edilen cevaplar yüzde cinsinden oranlanmış ve oteller genelinde bu yüzdeye göre değerlendirilmiştir. “Bilgi Formu” üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm 11 adet sorudan oluşmuş olup, otel ile ilgili genel bilgileri, otelde canlı iç mekân bitkisi varlığı, bitkilerle ilgilenen departmanın var olup olmadığı, sorumlu departmanın adı, sorumlu kişinin eğitim durumu, mesleği, mesleki deneyimi, sorumlu olduğu oteldeki hizmet yılı ve departman bünyesinde kaç kişinin görev yaptığı hakkında bilgileri içermektedir.

Formun ikinci bölümünde, otelin iç mekânında yapılan yerinde gözlemlerin ardından doldurulan 17 adet soruyu içermektedir. Öncelikle otelde iç mekân bitkisinin bulunup bulunmadığı, mevcut ise bulunduğu bölümler (lobi, restoran, koridorlar, odalar) belirlenmiştir. Mevcut bitki türleri teşhis edilerek kayıt altına alınmıştır. İç mekân bitkilerinin işlevlerini, bitki kullanımının bitkisel tasarım öğeleri açısından ve bitkisel tasarım ilkeleri açısından derecelendirilerek değerlendirme yapılmıştır. Bitkilerin soliter mi, yoksa bir arada kompozisyon halinde mi kullanıldığı belirlenmiştir. Ayrıca iç mekân bitkilerinin temin durumu, üretim teknikleri, ekolojik isteklerin giderilme yöntemleri hakkında bilgi edinilmiştir.

Formun üçüncü bölümü ise 30 adet sorudan oluşmuş olup iç mekân bitkilerinin bakım uygulamaları ile ilgili sorumlu kişilerden alınan bilgileri sorgulayan soruları içermektedir. En yaygın bakım işlemlerinden sulama (su kaynağı ve miktarı, sulama sıklığı), gübreleme (miktarı ve niteliği), saksı değiştirme (sıklığı, zamanı), kurumuş dallar ve yabancı otların bitkiden uzaklaştırılması, budama ve karşılaşılan hastalık ve zararlılar ve mücadele yöntemleri ile ilgili soruları içermektedir.

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

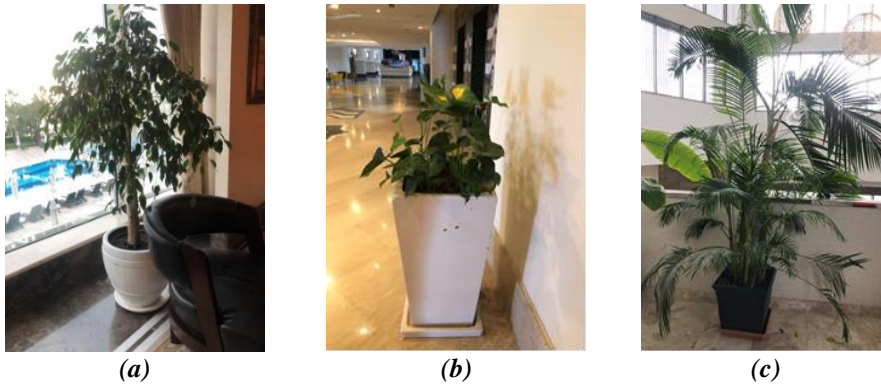
Elde edilen bulgularda, otellerin tamamının iç mekânlarında bitkilere yer verildiği belirlenmiştir. Tüm otellerin “Bahçe Departmanları” mevcut olup, iç mekân bitkilerinden bu departmanın sorumlu olduğu bildirilmiştir. İç mekân bitkilerinden sorumlu kişiler bu departmanın başında görev yapmakta olup %60’i Peyzaj Mimarlığı Lisans eğitimi almış, %25’si Ziraat Mühendisliği Lisans eğitimi almış, %15’i ise ilköğretim-lise mezunudur. Mesleki deneyimleri ortalama 12 sene olup, görev yaptıkları otellerde ortalama 4 yıldır çalışmakta olduklarını beyan etmişlerdir. Tüm oteller birlikte değerlendirildiğinde ilgili departmanlarda yazın ortalama 26, kışın 14 işçi görev yapmaktadır. Turizm sezonunun yaz aylarına yayılmış olmasından dolayı oteller yaz aylarında en yoğun dönemlerini geçirmekte, kullanıcılar otelde konakladıkları süre boyunca bakımlı ve göze hoş gelen iç mekânlarda zaman geçirmek istemeleri, aynı



zamanda vejetasyon döneminin yine yaz ayları olmasından dolayı bahçe departmanlarında istihdam edilen işçi sayısının bu dönemde artması beklenen bir durumdur.

Araştırma kapsamında incelenen otel iç mekânlarında tüm otellerin lobi, restoran ve koridorlarında iç mekân bitkisi bulunurken, sadece %20'sinde (4 otel) kullanıcı odalarında da iç mekân bitkisi bulunduğu belirlenmiştir. İç mekân bitkilerinden sorumlu kişilerle yapılan görüşmeler doğrultusunda otel odalarında iç mekân bitkilerinin bakımının zor olacağını düşündükleri için genellikle odalarda vazo ve restoranlarda kesme çiçek tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Tercih edilen kesme çiçek türleri; gül, gerbera, karanfil, hüsnüyusuf, lilyum, antoryum, kadife çiçeği, krizantem olduğunu belirtmişlerdir. Bazı otellerde (H1 ve H6) spa girişleri ve kapalı havuz çevresinde de iç mekân bitkileriyle karşılaşmıştır. Her otelde iç mekân bitkisi ile karşılaşmış olup tespit edilen tür sayısı otelden otele değişiklik göstermiştir. Tüm oteller birlikte değerlendirildiğinde 42 farklı iç mekân bitki türüyle karşılaşmıştır. Bu türlerin otellere göre dağılımı Tablo 1.'de belirtilmiştir.

Otellerde en sık tercih edilen türlerinin *Ficus benjamina*, *Schefflera actinopylla* ve *Dypsis lutescens* olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Bu türler genel olarak az bakım isteyen, kanaatkar ve maddi değer açısından ekonomik, ayrıca kolay çoğaltılabilen türlerdir. İç mekân bitkilerinin ekolojik isteklerinin (ışık, sıcaklık, nem ve su, yetiştirme ortamı) [5,8.] karşılanmasına ilişkin yapılan gözlemlere göre otel içinde bitkileri konumlandırılmasında sınırlayıcı olan temel faktörün ışık olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan sözlü görüşmeler ve gözlemler sonucunda iç mekân bitkilerinin genellikle ışık alan pencere önlerinde konumlandırıldığı, aksi uygulamaların başarısız bitkisel tasarımlara neden olduğu belirtilmiştir.



**Şekil 2.** Otellerde en çok karşılaşılan iç mekân bitki türleri (a) Kamelya Collection Selin otel lobisinde *Ficus benjamin* türü. (b) Sunrise otel lobisinde *Anthurium andraeanum* türü. (c) The Sense otelinin kat koridorunda *Dypsis lutescens* türü.

Otellerin %35'inde (7 otel) iç mekân bitkilerinin yanında özellikle restoranlar, odalar, konferans salonları gibi ışık şiddetinin az ve bitki bakımının zor olduğu mekânlarda canlı bitki kullanımı yerine yapay(plastik) bitki kullanımı tercih edildiği gözlemlenmiştir (Şekil 3).



**Şekil 3.** Otellerde yapay iç mekân bitkisi kullanımına örnekler (a) The Sense otel lobisindeki yapay bambu (b) Güral Premier Belek restoran bölümünde yapay iç mekân bitkisi kullanımı (c) Sealife Otel Lobisi yapay şimşir kullanımı.

**Tablo 1.** Araştırma kapsamında ele alınan otelerde yer alan iç mekân bitkileri türleri.

		Oteller																			
Tür/Çeşit ismi (Latince)	*H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	
1 <i>Agave americana</i>																					x
2 <i>Anthurium andraeanum</i>	x			x	x			x	x	x			x								
3 <i>Aptenia cordifolia</i>	x																				
4 <i>Bambusa multiplex</i>				x									x								x
5 <i>Calathea makoyana</i>	x																				
6 <i>Chamaedorea elegans</i>													x								x
7 <i>Chlorophytum comosum</i>																					x
8 <i>Citrus mitis</i>																					x
9 <i>Cyclamen persicum</i>																					x
10 <i>Cycas revoluta</i>	x																				x
11 <i>Cyperus alternifolius</i>																					x
12 <i>Dieffenbachia maculata</i>				x	x					x											x
13 <i>Dracaena dramensis</i>				x	x																
14 <i>Dracaena fragrans</i>						x				x			x		x				x	x	
15 <i>Dracaena massangena</i>	x	x		x			x				x										
16 <i>Dracaena marginata</i>	x				x						x										x
17 <i>Dracaena sanderiana</i>				x																	
18 <i>Dracaena bicolor</i>		x									x										
19 <i>Dyopsis lutescens</i>		x								x		x	x			x	x	x			
20 <i>Euphorbia pulcherrima</i>										x											
21 <i>Ficus benjamina</i>		x	x		x			x	x	x	x		x		x						
22 <i>Ficus binnendijkii 'Alii'</i>								x	x												
23 <i>Ficus elactica</i>																					x
24 <i>Ficus lyrata</i>								x	x	x	x										
25 <i>Hemionitis arifolia</i>				x																	
26 <i>Howeia forsteriana</i>	x																				x
27 <i>Monstera deliciosa</i>													x								
28 <i>Musa sp.</i>	x									x			x								x

**Tablo 1 (devam).** Araştırma kapsamında ele alınan otellerde yer alan iç mekân bitkileri türleri.

		Oteller																			
		*H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
29	<i>Olea europea</i>																				x
30	<i>Pelargonium zonale</i>										x										
31	<i>Phalaenopsis amabilis</i>	x					x														
32	<i>Phoenix dactylifera</i>						x														
33	<i>Rhaphidophora aurea</i>			x	x												x				
34	<i>Ruellia brittoniana</i>										x										
35	<i>Sansevieria trifasciata</i>	x																			
36	<i>Schefflera actinopylla</i>		x			x					x	x				x			x		
37	<i>Scindapsus aureus</i>				x	x			x	x		x					x				
38	<i>Spathiphyllum wallisii</i>				x							x									
39	<i>Strelitzia nicolai</i>	x															x				
40	<i>Tradescantia pallida</i>										x										
41	<i>Yucca spp.</i>											x					x				
42	<i>Zamioculcas zamiifolia</i>	x																			

\* Güral Premier Belek (H1), Sensimar Belek Resort (H2), Belconti Resort Belek (H3), Alva Donna Exclusive Hotel (H4), Letoonia Golf Resort Belek (H5), Delphin Imperial (H6), Royal Wings Otel (H7), Sunrise Resort Hotel (H8), Starlight Resort Hotel (H9), The Sense Deluxe (H10), Kamelya K Club World Holiday (H11), The Marmara Otel (H12), Akra Barut Otel (H13), Su Otel (H14), Kervansaray Hotel (H15); Rixos Downtown (H16), Sealife Otel (H17), Porto Bello Otel (H18), Crystal De Luxe Otel (H19), Transatlantik Hotel & Spa (H20).

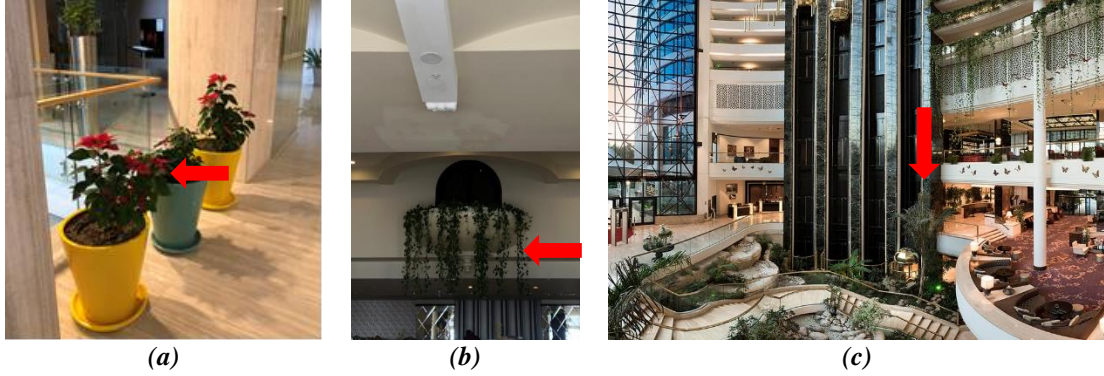
Otellerin 17'sinde(%85) iç mekân bitkileri saksı içinde kullanılırken, 3 otelde (%15) bir arada kompozisyon oluşturularak kullanıldığı tespit edilmiştir. Sorumlu kişilerle yapılan sözlü görüşmeler ve gözlemler doğrultusunda otellerde bulunan iç mekân bitkilerinin işlevlerini derecelendirilmiştir. Bu derecelendirme sonucunda otellerde iç mekân bitkisi kullanımlarında en çok estetik(görsel) (ort. 4,7) ve vurgu (ort. 4,3) işlevleri sağlaması için bitki kullanımına yer verildiği belirlenmiştir (Tablo 2). Bitkilerin birçok bilimsel çalışma ile de ortaya konulmuş hava kalitesini iyileştirme, insan psikolojisine olumlu katkı sağlama, iş verimini artırma, sınırlama, yönlendirme işlevlerinin [4,9,13-25,27-34] bitki tercihinde ikinci planda kaldığı anlaşılmıştır.

**Tablo 2.** Araştırma kapsamında ele alınan otellerde yer alan iç mekân bitkilerinin işlevlerin, bitkisel tasarım öğeleri ve kriterleri açısından değerlendirilmesi.

		Oteller																					
		*H 1	H 2	H 3	H 4	H 5	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 11	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	H 18	H 19	H 20	Ort	
<b>Yapay bitki kullanımı</b>		x	x	x							x							x		x	x		
<b>İç mekân bitkilerinin sağladığı işlevler</b> (Derecelerine göre; 1; Çok az, 2; az, 3; orta 4; yüksek, 5; çok yüksek)																							
İşlevler	Estetik (Görsel)	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4	4	4,7	
	Sınırlama	3	3	2	3	2	3	3	1	3	3	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	2	2,5
	Yönlendirme	1	2	3	1	1	1	2	3	1	1	3	2	1	2	2	1	3	1	3	3	3	1,9
	Vurgu	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	5	4	5	5	5	4,3
	İç mekân hava kalitesini iyileştirme	2	1	1	2	3	2	1	2	2	2	1	1	3	1	1	3	1	2	1	1	1	1,7
	İnsan psikolojine olumlu katkısı	1	2	3	1	1	2	3	4	4	4	2	2	5	1	2	4	1	2	3	2	2	2,45
	İş verimini artırma	1	2	2	2	3	2	1	2	3	2	1	2	4	1	2	4	2	1	2	3	3	2,1
<b>Bitkisel Tasarım Öğeleri</b> (Derecelerine göre; 1; Çok az, 2; az, 3; orta 4; yüksek, 5; çok yüksek)																							
Tasarım Öğeleri	Form	5	5	5	4	5	5	5	4	5	4	4	5	5	5	5	5	4	5	5	4	4	4,7
	Çizgi	4	5	2	3	4	5	4	4	4	5	5	3	3	4	5	5	4	4	4	4	5	4,1
	Doku	4	4	5	3	4	3	3	4	4	2	4	4	3	4	4	5	4	3	3	4	4	3,7
	Renk	3	5	4	5	5	4	4	3	4	3	3	4	4	5	5	5	4	4	5	4	4	4,2
	Ölçü	4	4	3	3	4	5	4	4	5	5	4	5	3	4	5	4	4	4	4	5	5	4,2
<b>Bitkisel Tasarım İlkeleri</b> (Derecelerine göre; 1; Çok az, 2; az, 3; orta 4; yüksek, 5; çok yüksek)																							
Tasarım İlkeleri	Vurgu-Odak	5	4	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5	5	4	3	4	3	4	5	4	4	4,3
	Ritim-Tekrar	5	4	3	2	3	4	3	4	2	5	4	3	1	4	2	2	3	4	4	3	3	3,25
	Denge	2	1	3	4	2	1	2	1	1	3	4	4	2	4	1	1	2	4	5	4	4	2,55
	Egemenlik	3	2	3	3	2	2	1	2	3	4	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2
	Oran	5	4	5	4	4	2	4	5	3	4	5	4	2	3	4	4	3	4	3	3	3	3,75
	Birlik	1	2	1	3	4	2	2	1	2	3	4	1	3	2	2	3	4	3	1	2	2	2,3
	Uyum-Zıtlık	4	2	1	3	2	4	1	2	2	3	4	3	3	4	2	2	3	4	2	3	3	2,7
	Koram-Hiyerarşi	2	1	2	2	2	4	2	3	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1,8

\* Gural Premier Belek (H1), Sensimar Belek Resort (H2), Belconti Resort Belek (H3), Alva Donna Exclusive Hotel (H4), Letoonia Golf Resort Belek (H5), Delphin Imperial (H6), Royal Wings Otel (H7), Sunrise Resort Hotel (H8), Starlight Resort Hotel (H9), The Sense Deluxe (H10), Kamelya K Club World Holiday (H11), The Marmara Otel (H12), Akra Barut Otel (H13), Su Otel (H14), Kervansaray Hotel (H15); Rixos Downtown (H16), Sealife Otel (H17), Porto Bello Otel (H18), Crystal De Luxe Otel (H19), Transatlantik Hotel & Spa (H20).

Otellerde bulunan iç mekân bitkileri bitkisel tasarım öğeleri açısından değerlendirildiğinde bitkilerin sahip oldukları form, çizgi, doku, renk, ölçü özelliklerinden farklı düzeylerde faydalandığı belirlenmiştir (Tablo 2). Örneğin; *Scindapsus aureusx gibi* çizgisel özelliklere sahip sarkıcı bitkiler kullanılan tasarımlarla karşılaşılmış, bitkilerin sahip oldukları renkli çiçekler (*Euphorbia pulcherrima*, *Anthurium andraeanum*, *Pelargonium zonale gibi*) ile odak noktası oluşturulmak istenmiş, kaba dokulu (*Ficus lyrata gibi*)-ince dokulu (*Dypsis lutescens*) bitkilere yer verilmiş, otellerin yüksek tavanlı lobilerinde uzun boylu (*Howeia forsteriana*) bitkilere yer verilerek mekân insan ölçeğine indirgenmeye çalışılmıştır (Şekil 4). Bitkisel tasarım öğelerinin her biri kendi içinde değerlendirildiğinde tüm otellerde kullanılan iç mekân bitkilerinin sağladığı bitkisel tasarım öğeleri sırasıyla form (4,7), renk (4,2) ve ölçü (4,2), çizgi (4,1) ve doku (3,7) şeklindedir.



**Şekil 4.** Otellerde bulunan iç mekân bitkilerinin bitkisel tasarım öğeleri açısından değerlendirilmesi (a) The Sense Otelde saksı içinde kullanılan *Euphorbia pulcherrima* bitkisinin çiçeklerinin renk tasarım öğesinden faydalanılmış (b) Sunrise otelde sarkıcı karakterdeki *Scindapsus aureusx* bitkisinin çizgisel tasarım öğesinden yararlanılmış (c) Rixos Downtown iç mekânında merdiven boşluklarının oluşturduğu mekânda kullanılan boylu *Howeia forsteriana* palmyesinin ölçü tasarım öğesinden faydalanılmış.

Otellerdeki iç mekân bitkileri bitkisel tasarım ilkeleri açısından değerlendirildiğinde; bitki varlığıyla sırasıyla vurgu-odak (4,3), oran (3,75), ritim-tekrar (3,25), uyum-zıtlık (2,7), denge (2,55), birlik (2,3), egemenlik (2) ve konum-hiyerarşi (1,8) ilkeleri göz önünde bulundurularak tasarım oluşturulduğu belirlenmiştir (Şekil 10).



**Şekil 5.** Otellerde bulunan iç mekân bitkilerinin bitkisel tasarım ilkeleri açısından değerlendirilmesi (a) The Sense Otel lobisinde metal saksı içinde konumlandırılmış *Anthurium andraeanum* türü ile oluşturulan bitkisel tasarımda vurgu-odak (b) Akra Barut farklı boylarda bitki grupları kullanılarak gerçekleştirilen bitkisel tasarımda oran (c) The Sense otelinin kat koridorunda *Dracaena fragrans* türü ile gerçekleştirilen bitkisel tasarımda ritim- tekrar.

İç mekân bitkilerinin temin edilme şekline bakıldığında otellerin %40'ının (8 otel) kendi bünyesinde üretim serasına sahip olduğu ve çelikle çoğaltım tekniği kullanarak üretim yaptıkları belirlenmiştir. Kullanılan çelik çeşitleri türden türe değişiklik göstermektedir. Otellerde bulunan iç mekân bitkilerinin toprak, plastik, metal, kompozit saksılar içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. Farklı materyallerden yapılmış, farklı doku ve renge sahip saksıların kullanımı bitkisel tasarımlara katkı sağlayan bir

uygulamadır [41]. Saksı içerisinde bulunan bitkilerin yanında üç otelde bitkiler avlu, kaya bahçesi ve parter şeklinde kullanılarak bitkisel tasarımlar gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

İç mekân bitkilerinin bakım uygulamaları ile ilgili alınan bilgilere göre; tüm bitkilere düzenli bakım uygulanmaktadır. En yaygın bakım işlemlerinden sulama genel olarak yaz aylarında daha sık, kış aylarında daha seyrek olarak gerçekleştirilmektedir. Sulama suyu olarak çeşme suyunun yaygın olarak kullanıldığı belirlenmiş olup, iç mekân bitkilerinin sulanmasında suyun niteliğinin önemli bir kriter olduğu bilinen bir gerçektir. Bu doğrultuda bitkilerin sulanmasında eğer çeşme suyu kullanılacak ise kaynamış-soğutulmuş ya da dinlendirilerek bekletilmiş şekilde kullanımı tavsiye edilmektedir [41]. Böylelikle su kireçten arındırılır ve bitkiye zarar vermez. Otelerde yapılan sulama işlemi bu yönüyle eksik bir uygulama olduğu tespit edilmiştir. Otelerde uygulanan bir diğer bakım işlemi olan gübrelemenin bitkilerin aktif büyüdüğü vejetasyon döneminde (yaz) ayda ortalama 1-2 kere, genellikle azot ağırlıklı gübreler ile yapıldığı belirlenmiştir. Bu kapsamda yapılan gübrelemelerin dönem ve sıklığının doğru olduğu belirlenmekle birlikte, bitkilerde besin elementi eksikliklerini gösterir semptomların takip edilmesi, bitkilerin eksikliklerini gidermeye yönelik bir gübreleme planı yapılması ve uygulanması sürdürülebilir bitkisel tasarımlar açısından daha doğru bir uygulama olacaktır [39, 41]. Bitkilerin gelişimlerini etkileyen bir diğer faktör olan yetiştirme ortamları açısından değerlendirildiğinde genel olarak bahçe toprağı, torf, perlit, vermikülit karışımlarının kullanıldığı tespit edilmiştir. Otelerin %85'inde saksı değişimi ilkbahar ve sonbahar aylarında yapıldığı belirlenmiştir. Saksı değişim zamanları türlere göre değişmekle birlikte bu işlemin bahar aylarında yapılması uygun bir uygulamadır [41]. Ayrıca kurumuş dallar/yaprakların, yabancı otların temizliğinin de rutin olarak yapıldığı, bu uygulamanın da uygunluğu belirlenmiştir. İç mekân bitkilerinde görülen ve sıklıkla rastlanan hastalık ve zararlıların genel olarak mantar hastalıkları, yaprak bitleri ve kırmızı örümcek olduğu belirtilmiştir. Bu hastalık ve zararlıların mücadelesinde kullanılan yöntemlerde ise sıklıkla insektisit, fungusit gibi kimyasal ilaç uygulamaları şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Oysaki bu gibi etmenlerin ortaya çıkmasına engel olmak, hastalık etmenleri ortaya çıktıktan sonra onlarla mücadele etmekten daha kolay, ekonomik ve yararlı olduğu bilinen bir gerçektir [5,41]. Bu durum sağlanmadığında kimyasal mücadele işlemlerine başvurulması gerektiği bilinciyle uygun bakım işleminin yapılması daha doğru bir uygulama olacaktır.

#### **IV. SONUC**

Türkiye'nin en önemli turizm destinasyonlarının başında gelen ve çalışma alanı olarak belirlenen Antalya İli otellerindeki iç mekân bitkileri, bitkisel tasarım kriterleri kapsamında değerlendirilmiş ve bu otellerin bitkisel tasarımlarından sorunlu kişilerin çoğunlukla bitki bilgisine sahip uzmanlar (peyzaj mimarı, ziraat mühendisi) tarafından yönetildiği bulgusu ile yapılan tasarımların olumlu olduğu anlaşılmıştır. Bu uzmanların otellerdeki varlığı, bitkilerin kullanım, bakım ve işlevselliğini büyük oranda etkilemiş, bitkisel tasarım kriterlerinin uygulandığı sonucuna ulaşılmıştır. Ancak, ekonomik kaygılar ve bakım zorlukları, tür seçiminde genellikle az bakım isteyen ve sık kullanılan ekonomik bitkilerin seçildiğini göstermiştir. Dolayısıyla, iç mekânda arzu edilen işlevi ve estetiği sağlaması için seçilmesi gereken bitkiler, ekonomik kaygılar neticesinde çeşitlenememiş ve tür çeşitliliği genel olarak kısıtlı kalmıştır. Bunun yanında, bitki tercihlerinde, bitkilerin hava kalitesini iyileştirme, insan psikolojisine olumlu katkı sağlama, iş verimini artırma, sınırlama, yönlendirme işlevlerinin ön plana çıkmadığı anlaşılmıştır. Genellikle estetik özellikleri ve görünüşleri, tür seçiminde en etkili faktör olmuştur. Sulama ve bakım faaliyetleri için ise, eldeki imkanların kullanılması, bu otellerdeki çoğu bitkisel materyalin istenilen form, doku ve renge yeterince ulaşamamasına ve istenilen işlevi tam anlamıyla yerine getirememesine sebep olmuştur.

Otelerde kullanılan iç mekân bitkilerinin sürdürülebilir kullanımının sağlanması, öncelikle bitkisel tasarımların uzman kişilerce yapılmasına ve bakım gerekliliklerinin yerine getirilmesine bağlıdır. Bitkisel tasarımlar, ilgili yapıların tasarımlarının yapılması aşamasında sisteme dahil olmalı ve birlikte planlanmalıdır. Yapıların, bitkisel materyaller düşünülmeden tamamlanması, bitkilerin kullanımı aşamasında, ışık, gölge, sıcaklık, nem vb. sorunları doğurmakta ve bu sorunlar kullanılan bitkilerin

istenilen işleve ulaşamamasına neden olmaktadır. Otellerde yapılan incelemelerde ve görüşmelerde, bu sorun sıklıkla göze çarpmıştır. Buna rağmen, bitkisel materyalin iç mekânlarda tercih edilmesinin kullanıcı üzerindeki olumlu etkisi bilindiğinden, çalışma kapsamındaki otellerin tamamında iç mekân bitkilerinin kullanıldığı ve bu bitkilerin sahip oldukları tasarım öğeleri ile bir ve birkaç tasarım kriterine uygun yerleştirildiği sonucuna varılmıştır.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] C. Brod, *Technostress: The Human Cost of The Computer Revolution*, Reading, USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1984.
- [2] M. S. Lee, J. Lee, B. J. Park and Y. Miyazaki, "Interaction with indoor plants may reduce psychological and physiological stress by suppressing autonomic nervous system activity in young adults: A randomized crossover study," *Journal of physiological anthropology*, vol. 34, no. 21, pp. 1–6, 2015.
- [3] G. H. Manaker, *Interior Landscapes: Installation, Maintenance, and Management*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [4] T. Bringslimark, T. Hartig and G.G. Patil, "The psychological benefits of indoor plants: A critical review of the experimental literature," *Journal of Environmental Psychology*, vol. 29, no. 4, pp. 422–433, 2009.
- [5] C. Selim, İ. Akgün ve R. Olgun, "Ofislerde kullanılan iç mekân bitki tercihlerinin, bakım olanaklarının ve hava kalitesi üzerine etkilerinin değerlendirilmesi: Akdeniz Üniversitesi örneği," *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s. 3, ss. 702–715, 2020.
- [6] Ö.L. Çorbacı, D. Duran Gökalp ve P. Göker, "İç mekânda bitkilerle tasarımda ışığın önemi," *Eğitim Odağında Artvin Sempozyumu*, Artvin, Türkiye, 2012, ss. 211-222.
- [7] H. Çelem, M. Arslan, *İç Mekân Bitkileri*, Ankara, Türkiye: Tagey Yayıncılık, 1995.
- [8] I. Sezen, B. Aytatlı, R. Ağrılı ve E. Patan, "İç mekân tasarımında bitki kullanımının birey ve mekân üzerine etkileri," *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi*, c. 1, s.1, ss. 25-34, 2017.
- [9] L. Deng, Q. Deng, "The basic roles of indoor plants in human health and comfort," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 25, pp. 36087–36101, 2018.
- [10] G. P. Bot, "Developments in indoor sustainable plant production with emphasis on energy saving," *Comput. Electron. Agric.*, vol 30, pp. 151–165, 2001.
- [11] J. Messinger, G. Renger, "Photosynthetic water splitting," in *Primary Processes of Photosynthesis, Part 2: Principles and Apparatus*, Cambridge, UK: RSC Publishing, 2008, pp. 291–351.
- [12] X. Yan, H. Wang, Z. Hou, S. Wang, D. Zhang, Q. Xu and T. Tokola, "Spatial analysis of the ecological effects of negative air ions in urban vegetated areas: A case study in Maiji, China," *Urban For Urban Green*, vol. 14, pp. 636–645, 2015.
- [13] A. R. Khan, A. Younis, A. Riaz and M. M. Abbas, "Effect of interior plantscaping on indoor academic environment," *Journal of Agriculture Research*, vol. 43, pp. 235–242, 2005.

- [14] F. Korte, G. Kvesitadze, D. Ugrehelidze, M. Gordeziani, G. Khatisashvili, O. Buadze and G. Zaalishvili, "Organic toxicants and plants," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 47, no.1, pp. 1–26, 2000.
- [15] B. Guieysse, C. Hort, V. Platel, R. Munoz, M. Ondarts and S. Revah, "Biological treatment of indoor air for VOC removal: potential and challenges," *Biotechnology Advances*, vol. 26, pp. 398–410, 2008.
- [16] B. C. Wolverton, A. Johnson and K. Bounds. (1989, September 15). *Interior landscape plants for indoor air pollution abatement* [Online]. Available: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19930073077/downloads/19930073077.pdf>
- [17] G. A. Beattie, J. R. Seibel, "Uptake and localization of gaseous phenol and p-cresol in plant leaves," *Chemosphere*, vol. 68, pp. 528–536, 2007.
- [18] R. L. Orwel, R. L. Wood, J. Tarran, F. Torpy and M. D. Burchett, "Removal of benzene by the indoor plant/substrate microcosm and implications for air quality," *Water Air Soil Pollut.*, vol. 157, pp. 193–207, 2004.
- [19] Y. J. Liu, Y. J. Mu, Y. G. Zhu, H. Ding and N. C. Arens, "Which ornamental plant species effectively remove benzene from indoor air?," *Atmos. Environ.*, vol. 41, pp. 650–654, 2007.
- [20] H. Şevik, M. Çetin ve K. Işınkaralar, "Bazı iç mekân süs bitkilerinin kapalı mekânlarda karbondioksit miktarına etkisi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, ss. 493–500, 2016.
- [21] L. Pastore, R. Corrao and P. K. Heiselberg, "The effects of vegetation on indoor thermal comfort: The application of a multi-scale simulation methodology on residential neighborhood renovation case study," *Interdisciplinary Energy and Buildings*, vol. 146, pp. 1–11, 2017.
- [22] K. Dijkstra, M. E. Pieterse and A. Pruyn, "Stress reducing effects of indoor plants in the built healthcare environment: The mediating role of perceived attractiveness," *Preventive Medicine*, vol. 47, pp. 279–283, 2008.
- [23] T. Fjeld, B. Veiersted, L. Sandvik, G. Riise and F. Levy, "The effect of indoor foliage plants on health and discomfort symptoms among office workers," *Indoor Built Environ.*, vol. 7, pp. 204–209, 1998.
- [24] K. T. Han, "Influence of limitedly visible leafy indoor plants on the psychology, behavior and health of students at a junior high school in Taiwan," *Environ. Behav.*, vol. 41, pp. 658–692, 2009.
- [25] Z. Xu, L. Wang and H. Hou, "Formaldehyde removal by potted plant–soil systems," *J. Hazard Mater.*, vol. 192, pp. 314–318, 2011.
- [26] C. A. Shoemaker, P. D. Relf and V. I. Lohr, "Social science methodologies for studying individuals' responses in human issues in horticulture research," *HortTechnology*, vol. 10, pp. 87–93, 2010.
- [27] R.K. Ranaas, K. Horgen Evensen, D. Rich, G. Sjøstrøm, G. Patil, "Benefits of indoor plants on attention capacity in an office setting," *Journal of Environmental Psychology*, vol. 31, pp. 99–105, 2011.
- [28] T. Fjeld, "The effect of interior planting on health and discomfort among workers and school children," *HortTechnology*, vol. 10, pp. 46–52, 2000.
- [29] V. I. Lohr, C. H. Pearson-Mims, "Physical discomfort may be reduced in the presence of interior plants," *HortTechnology*, vol. 10, pp. 53–58, 2000.



- [30] S. Shibata, N. Suzuki, "Effects of indoor foliage plants on subjects' recovery from mental fatigue," *Journal of Psychology*, vol. 3, pp. 385–396, 2001.
- [31] S. Shibata, N. Suzuki, "Effects of the foliage plant on task performance and mood," *Journal of Environmental Psychology*, vol. 22, pp. 265–272, 2002.
- [32] E. Kim, R. H. Mattson, "Stress recovery effects of viewing red-flowering geraniums," *Journal of Therapeutic Horticulture*, vol. 13, pp. 4–12, 2002.
- [33] M. Liu, E. Kim and R. H. Mattson, "Physiological and emotional influences of cut flower arrangement and lavender fragrance on university students," *Journal of Therapeutic Horticulture*, vol. 14, pp. 18–27, 2003.
- [34] S. Shibata, N. Suzuki, "Effects of an indoor plant on creative task performance and mood," *Scandinavian Journal of Psychology*, vol. 45, pp. 373–381, 2004.
- [35] S. H. Park, R. H. Mattson and E. Kim, "Pain tolerance effects of ornamental plants in a simulated hospital patient room," *Acta Horticulturae*, vol. 639, pp. 241–247, 2004.
- [36] S. H. Park, R. H. Mattson, "Therapeutic influences of plants in hospital rooms on surgical recovery," *HortScience*, vol. 44, pp. 1–4, 2009.
- [37] S. H. Park, R. H. Mattson, "Effects of flowering and foliage plants in hospital rooms on patients recovering from abdominal surgery," *HortTechnology*, vol. 18, pp. 563–568, 2008.
- [38] A. Esentürk, Ö. Yerli, "Peyzaj tasarımında yeni bir bitki yetiştirme sanatı: Kokedama," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, ss. 1858–1866, 2019.
- [39] Z. Dilaver. (2019, 24 Nisan). *İç mekân bitkileri ve tasarımı* [Online]. Available: <https://acikders.ankara.edu.tr/course/view.php?id=5473,%202019>.
- [40] A. Ulus, "Bazı iç mekân bitkilerinin kullanım tekniği üzerine çalışmalar," *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 56, s. 2, ss. 146–161, 2006.
- [41] N. Oral, *İç Mekân Süs Bitkileri Özellikleri, Üretimi ve Bakımı*, Yalova, Türkiye: Tarımsal Araştırmaları Destekleme ve Geliştirme Vakfı, 1987.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Kalıp Şartlandırıcı Serpantinde Oluşan Korozyonun İnhibitör Kullanımıyla Engellenmesi

İbrahim SARIOĞLU<sup>a,\*</sup>, Mine KURTAY<sup>a</sup>, Mesut YILDIZ<sup>a</sup>, Mustafa KETREZ<sup>b</sup>, Hüsnü GERENGİ<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Korozyon Araştırma Laboratuvarı, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: saribrahim2401@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.829751

### ÖZET

Plastik enjeksiyon üretiminde üretilen ürünün, kalıptan soğutulması için su kullanılmaktadır. Zamanla kullanıma bağlı olarak ısınan suyun sıcaklığını istenilen derecede tutmak için chiller cihazları kullanılmaktadır. Enjeksiyon makinelerinde ısınan su, chiller cihazlarında bulunan bakır serpantin (eşanjör) yardımıyla soğutulmuş ve tekrar kullanıma hazır hale getirilmektedir. Bu çalışmada; bakır serpantin korozyonu yapay soğutma suyu (SCW) ve yapay soğutma suyuna katılan 1000 ppm NaNO<sub>2</sub> ortamlarında 21 gün süreyle sürekli su devir daimi yapılarak araştırılmıştır. Deney öncesi ve sonrası bakır serpantin yüzeyi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı X-Ray Kırınımı (EDS) ve Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) yöntemleri ile incelenmiştir. Korozyon inhibitörü olarak kullanılan NaNO<sub>2</sub> bileşiğinin, bakır serpantin üzerinde bir koruyucu film oluşturarak korozyona karşı koruduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bakır serpantin, Korozyon, NaNO<sub>2</sub>, Yapay soğutma suyu

## Preventing Corrosion In The Mold Conditioner Serpentine By Using An Inhibitör

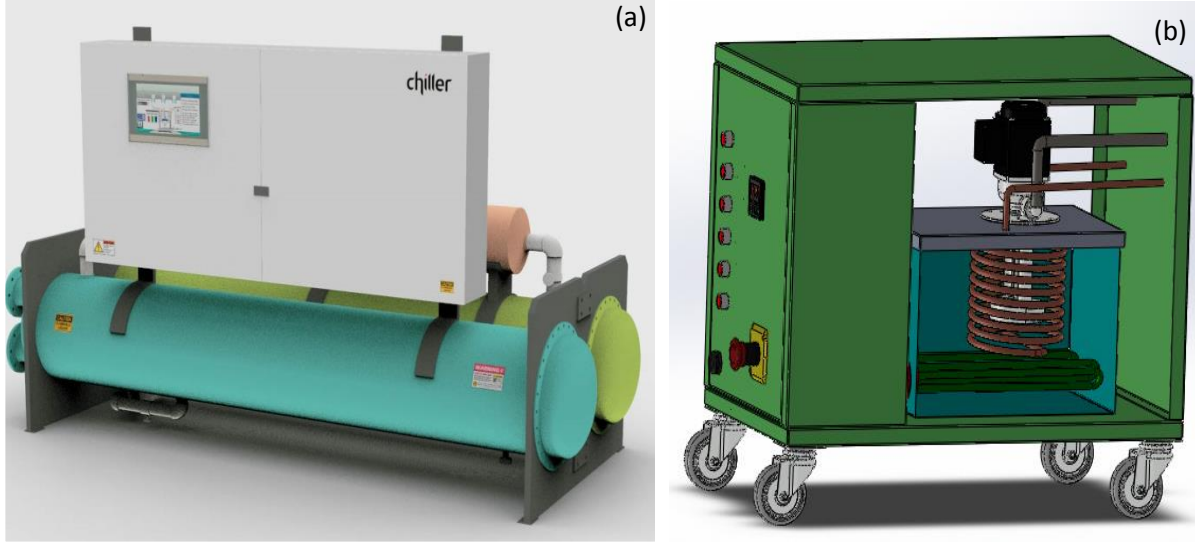
### ABSTRACT

Water is used to remove the product generated in plastic injection production by cooling from the mold. Chiller devices are used to keep the temperature of the heated water at the desired temperature depending on the use over time. The water heated in the injection machines is cooled with the help of the copper serpentine (exchanger) in the chiller devices and made ready for use again. In this study; the corrosion of the copper serpentine was investigated in simulated cooling water (SCW) and 1000 ppm NaNO<sub>2</sub> added simulated cooling water environments by continuous water circulation for 21 days. The surface of the copper serpentine was examined by Scanning Electron Microscope (SEM), Energy Dispersive X-Ray Diffraction (EDS) and Atomic Force Microscope (AFM) before and after the experiments. It has been determined that the NaNO<sub>2</sub> compound used as a corrosion inhibitor protects against corrosion by forming a protective layer on the copper serpentine.

**Keywords:** Copper serpentine, Corrosion, NaNO<sub>2</sub>, Simulated cooling water

# I. GİRİŞ

Su, istenmeyen ısıyı ısı transfer yüzeylerinden uzaklaştırmak için en yaygın olarak kullanılan soğutma sıvısıdır. Günümüzde sınırlı su kaynaklarının daha iyi kullanılmasının önemli bir nedeni nüfus artışı ve sanayileşmeden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, soğutma suyunu yeniden kullanan açık devridaim soğutma suyu sistemleri, büyük merkezi hizmet istasyonlarında, kimya, petrokimya ve petrol arıtma tesislerinde, çelik ve kâğıt fabrikalarında ve her tür işleme tesislerinde sıklıkla kullanılmaktadır [1].

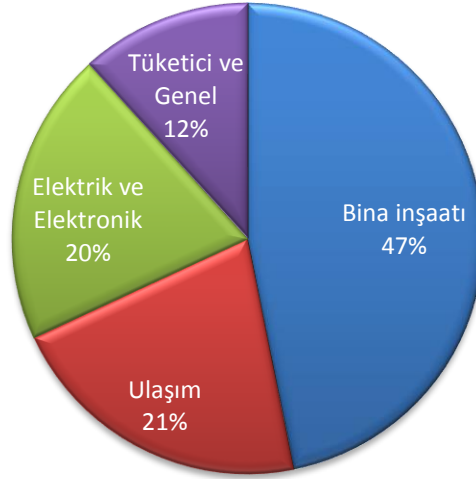


*Şekil 1. (a) Chiller ve (b) Sıcaklık Kontrol Cihazları*

Isı eşanjörleri, ısıyı bir ortamdan diğerine aktaran cihazlardır. Bu ortam, bir gaz, sıvı veya her ikisinin bir kombinasyonu olabilir. Ortamların karışmasını önlemek için yüksek ısı transfer katsayısına sahip bir malzemeyle ayrılır ve yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa ısı geçişi olur. Isı eşanjörlerinde; eşanjörden akan akışkanlardan biri ısı transferinden dolayı ısı kazanırken diğeri ısı kaybetmektedir. İşlem buharlaşma veya yoğuşmayı içermiyorsa, her iki akışkanında sıcaklığı değişmektedir. Isı eşanjörleri hem soğutma hem de ısıtma işlemlerinde kullanılmaktadır [2]. Plastik sektöründe hammaddenin sıcaklığını ayarlamak, chiller ve sıcaklık kontrol cihazlarında plastik enjeksiyon makinasındaki hammaddenin ısıtılması ve kalıpta şekil aldıktan sonra soğutulmasını sağlamak amacıyla ısı eşanjörleri kullanılmaktadır (Şekil 1). Isı eşanjörleri, chiller cihazlarında soğutucu akışkan tarafından eşanjörde suyun soğutulmasına ve sıcaklık kontrol cihazlarında rezistans tarafından ısıtılan akışkanın (yağ veya su) serpantin vasıtasıyla soğutulmasını sağlamaktadır.

Isı eşanjörlerinin verimli olması için yapımında bakır ve alüminyum gibi yüksek ısı transferine sahip malzemeler tercih edilmektedir. Ayrıca serpantin tipi ısı değiştiriciler, yüksek ısı transfer katsayıları ile küçük bir alanda yüksek ısı transfer bölgesi nedeniyle ısı eşanjörleri için çok verimlidir. Son zamanlarda ısı değiştiricilerdeki gelişmeler, daha fazla ısı transfer alanı ve daha iyi akış avantajı sağlaması nedeniyle spiral bobin tipi ısı değiştiricilerin kullanımını arttırmıştır [2].

Günlük yaşamımız için gerekli bir mineral ve element olan bakır, yüksek sünekliği, şekil alması, ısı ve elektrik iletkenliği ve korozyona dayanımı nedeniyle büyük ilgi gören endüstriyel metallerden biridir [3]–[6]. ABD'de tüketilen miktarlar bakımından demir ve alüminyumdan sonra üçüncü sırada yer alan bakır ve alaşımları, elektronik endüstrilerinde, denizcilik endüstrilerinde, elektrik santrallerinde, ısı eşanjörlerinde ve soğutma kulelerinde tel, levha ve boru hatlarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2) [6]–[8].



**Şekil 2.** Bakırın kullanım alanları

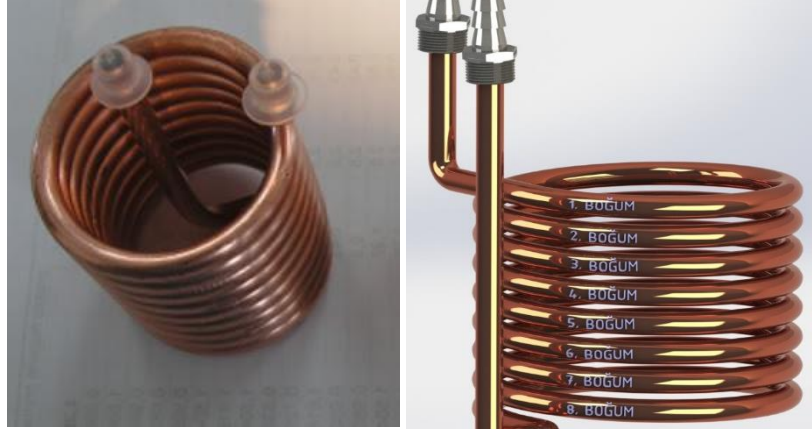
Korozyon bir malzemenin bulunduğu ortamla kimyasal veya elektrokimyasal etkileşime girmesi sonucunda bozulması ve işlevini kaybetmesi olayıdır. Soy metaller hariç metallerin büyük bir kısmı atmosferik ve doğal koşullarda zamanla az veya çok korozyona uğramaktadır [9]. Metallerde korozyonu önlemek için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden biri de uygulaması kolay ve ekonomik bir yöntem olan inhibitör kullanmaktır [10]. İnhibitörler, metallerde oluşan korozyon hızını azaltabilir ve metallerin kullanım ömrünü arttırılabilir. Proses endüstrisi, ısıtma ve soğutma sistemleri, paketleme, kaplama endüstrisi ve daha birçok teknik uygulamada onlarca yıldır başarıyla kullanılmaktadır [10]–[12]. Agresif iyonların malzemeye nüfuz etmesini önlemeye odaklanan tekniklerin aksine inhibitörler, agresif iyonlar mevcut olduğunda veya korozyon süreci başladığında dahi korozyona karşı koruma sağlayabilir [3].

Isı eşanjörlerinde kullanılan malzemeler zamanla bulunduğu ortamla etkileşime uğrayarak malzemede korozyona neden olmaktadır. Isı eşanjörlerinin korozyon arızaları yaygındır ve genellikle yüksek bakım veya onarım maliyetleri gerektirmektedir [13]. Çoğu arıza, çukurcuk veya gerilme korozyonu gibi korozyon biçimlerinden kaynaklanmaktadır. Uygulaması basit ve kullanışlı bir yöntem olan korozyon inhibitörleri [14] ısı eşanjörlerinde korozyonu azaltmakta ve sistemin verimli olarak çalışmasını sağlamaktadır [15]–[19]. Bir korozyon inhibitörü olarak,  $\text{NaNO}_2$  1940’larda petrol endüstrisi, benzin ve diğer petrol ürünlerinde çelik boru hatlarındaki iç korozyonu önlemek için test edilmiştir [20]. Deneyler, %0,1 (1000 ppm) konsantrasyonlarda,  $\text{NaNO}_2$ ’nin oldukça etkili olduğunu göstermiştir. A. Wachter’ın 1945 yılındaki çalışmasından iki yıl sonra ürün ABD’deki benzin boru hatlarının üçte birinden fazlasında kullanılmıştır [21].  $\text{NaNO}_2$  sulu ortamda korozyon inhibitörü olarak başarıyla kullanılmaktadır [22]–[24]. Belirgin inhibisyon için ihtiyaç duyulan  $\text{NaNO}_2$ , koşullara, suyun pH ve bileşimine göre değişmektedir.  $\text{NaNO}_2$ , NaCl çözeltilerinde ve sulu alkol çözeltilerinde çeliği korozyona karşı korumaktadır. Ayrıca pas ile kaplanmış çelik üzerinde de etkilidir [20],[23].

Bu çalışmada; bakır serpantin korozyonu SCW ve  $\text{NaNO}_2$  ilaveli SCW ortamlarında 21 gün süreyle sürekli su devir daimi yapılan sistemde araştırılmıştır. Ayrıca, yapay soğutma suyuna katılan inhibitörün 21 gün sonunda serpantin yapımında kullanılan bakır malzemenin morfolojik yapısına etkisi tartışılmıştır.

## II. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, korozyon deneyleri için Bulgaristan Sofia Med Ad'dan [25] temin edilen %99,9 saflıktaki bakır serpantinler iki farklı ortama maruz bırakılmıştır [26]. Ayrıca 8 boğumdan oluşan bakır serpantinler yukarıdan aşağıya doğru 1'den 8'e kadar numaralandırılmıştır (Şekil 3).

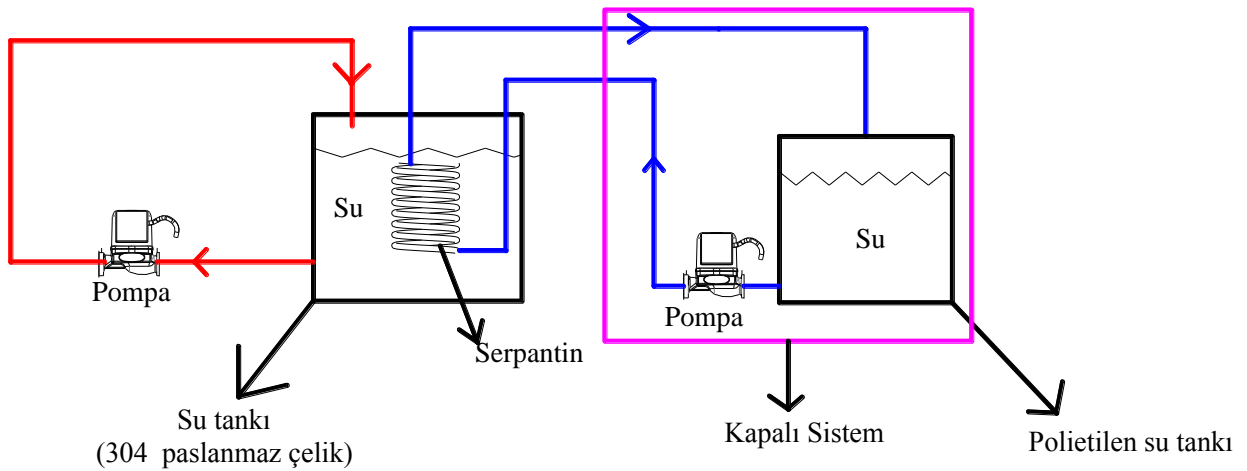


*Şekil 3. Deneyde kullanılan bakır serpantin*

Birinci ortamda; serpantin yapay soğutma suyuyla hazırlanmış ortama maruz bırakılmış ve serpantin hem iç hem de dış yüzeyinde sirkülasyonu sağlanmıştır. İkinci ortamda ise sistemin her iki tankında da SCW + 1000 ppm NaNO<sub>2</sub> kullanılarak sistem çalıştırılmıştır (pH=7.9). Deneylerin yapıldığı yapay soğutma suyunun (pH=7.07) kimyasal içeriği Tablo 1'de gösterilmiştir [27]. Korozyon deneylerinin araştırılması için oluşturulmuş sistem ve sistemin işleyişine ait görseller Şekil 4 ve Şekil 5'te detaylı olarak verilmiştir.

*Tablo 1. Yapay soğutma suyunun kimyasal içeriği*

Kimyasal madde	NaCl	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>
mmol/L	7.50	2.00	3.50	0.25	0.50



*Şekil 4. Deney Seti Akış Şeması*



*Şekil 5. Kullanılan Deney Seti*

Şekil 5’te görülen 5 numaralı pompa plastik tanktan aldığı suyu bakır (Cu %99,99) serpantine (eşanjöre) göndermektedir ve serpantin sistemdeki suyun soğumasını sağlamaktadır [26]. 2 numaralı pompa ise paslanmaz tanktan aldığı suyu tankın içinde sirküle etmektedir. Oluşturulan sistem bu prosesle 21 gün boyunca durmadan çalıştırılmıştır. Deney sonrası bakır numunelerin yüzeyinde meydana gelen değişimler AFM (Park system XE-100E model cihaz) ve SEM-EDS (Quanta FEG 250 (FEI, Holland) model cihaz) yüzey analizi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir.

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Bu çalışmada, 21 gün süreyle farklı ortamlara (SCW ve 1000 ppm NaNO<sub>2</sub> ilaveli SCW) maruz bırakılan bakır serpantinlerde meydana gelen korozyon davranışları gözlemlenmiştir (Şekil 6). Bakır serpantinlerin deney sonrası yüzeyinde meydana gelen değişimler AFM ve SEM-EDS analizleri ile belirlenmiştir.





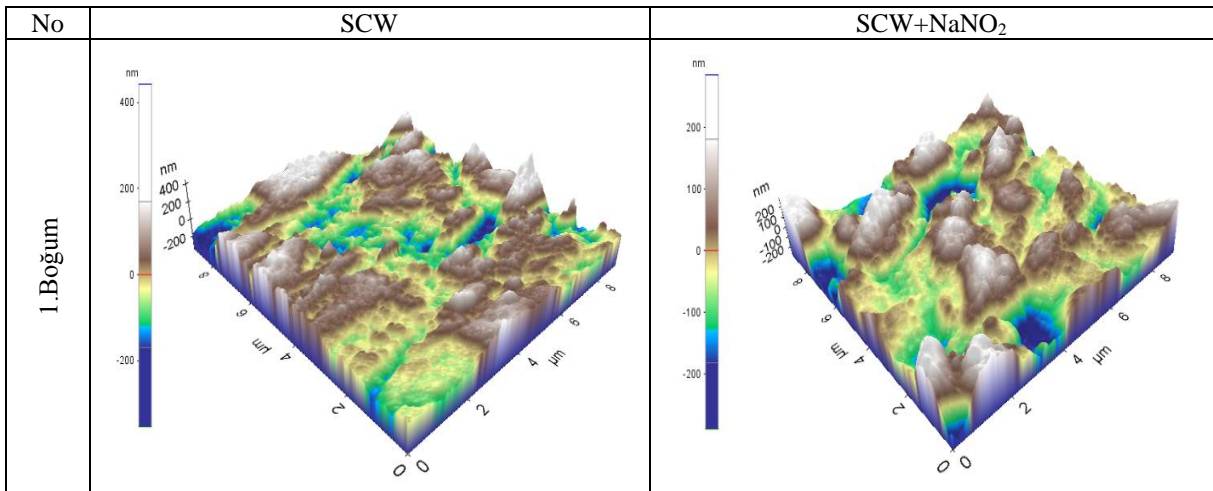
**Şekil 6.** 21 gün boyunca farklı ortamlarda korozyona maruz bırakılmış bakır serpantinler; (a) SCW, (b) SCW+NaNO<sub>2</sub>

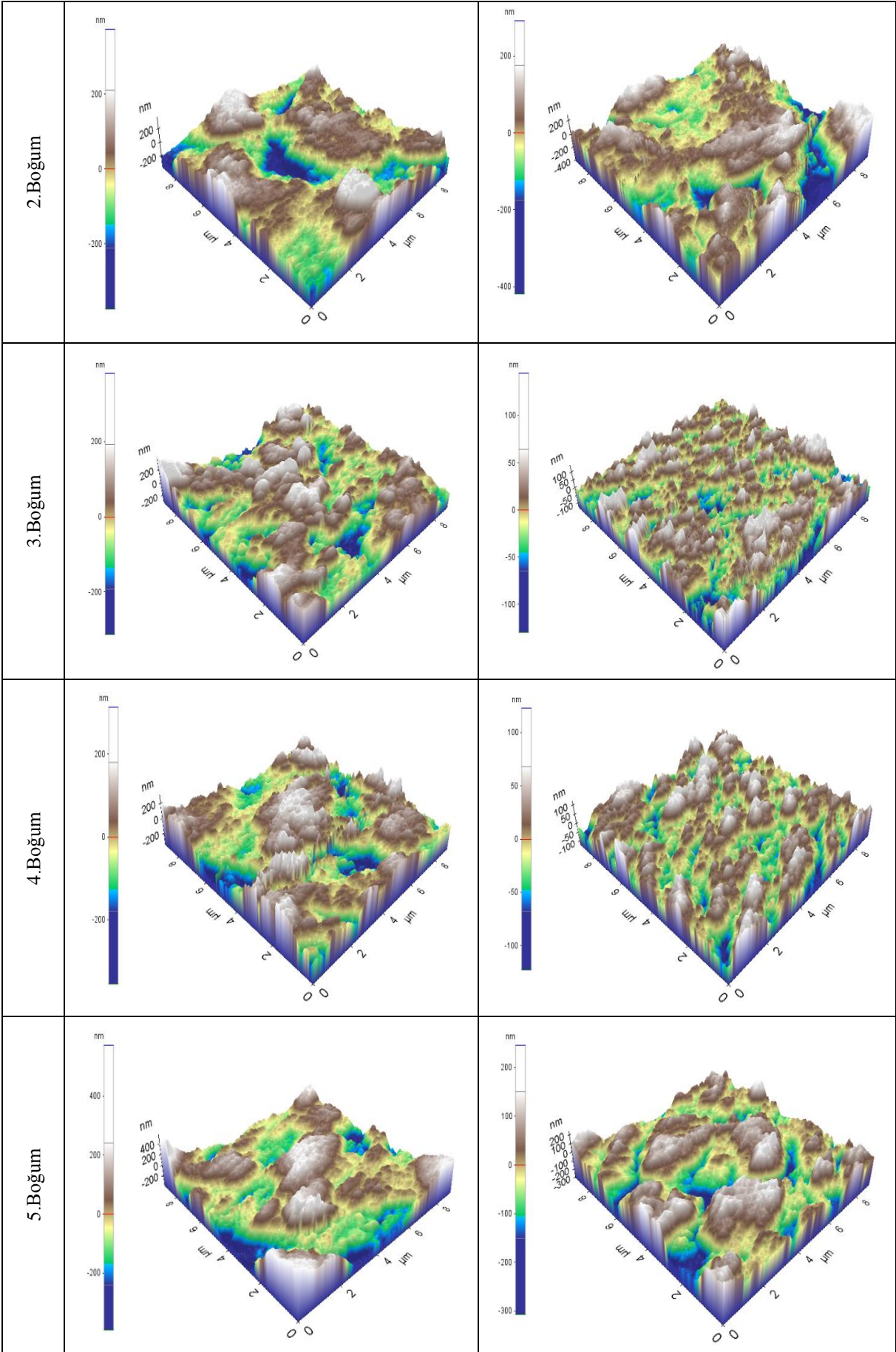
Şekil 6’da 21 gün sonunda deney düzeneğinden alınan bakır serpantinlere ait korozyon görüntüleri yer almaktadır. Şekil 6-(a)’da görüldüğü üzere serpantin yüzeye yakın ilk 3 boğumunda oluşan yeşil renk bakırın korozyona uğraması sonucu yüzeyde oluşan karakteristik Cu<sub>2</sub>O tabakasının oluştuğunu göstermektedir. Serpantin kalan diğer boğumlarının (4-8) yüzeylerinde SCW yapısında bulunan tuzların etkisiyle tabaka oluşumu görülmektedir.

Şekil 6-(b)’de 21 gün sonunda oluşan görüntü Şekil 6-(a)’dan farklı olduğu açıkça görülmektedir. Serpantin yüzeyinde oluşan siyah renk; yüzeyde CuO tabakasının oluştuğunu kanıtlamaktadır. Anodik inhibitör olarak kullanılan [28] NaNO<sub>2</sub> sayesinde serpantin yüzeyinde kireçlenmeye bağlı tabaka oluşumu gözlemlenmemiştir. Isı transfer sistemlerinde, metal yüzeyinde oluşan kireç tabakaları cihazların çalışma verimlerinde azalmaya neden olan en önemli faktörlerden biridir. Oluşan kireç tabakası metali bir müddet korozyona karşı korursa da zamanla oluşacak kabuk altı korozyon cihazın servis dışına çıkmasına neden olabilmektedir.

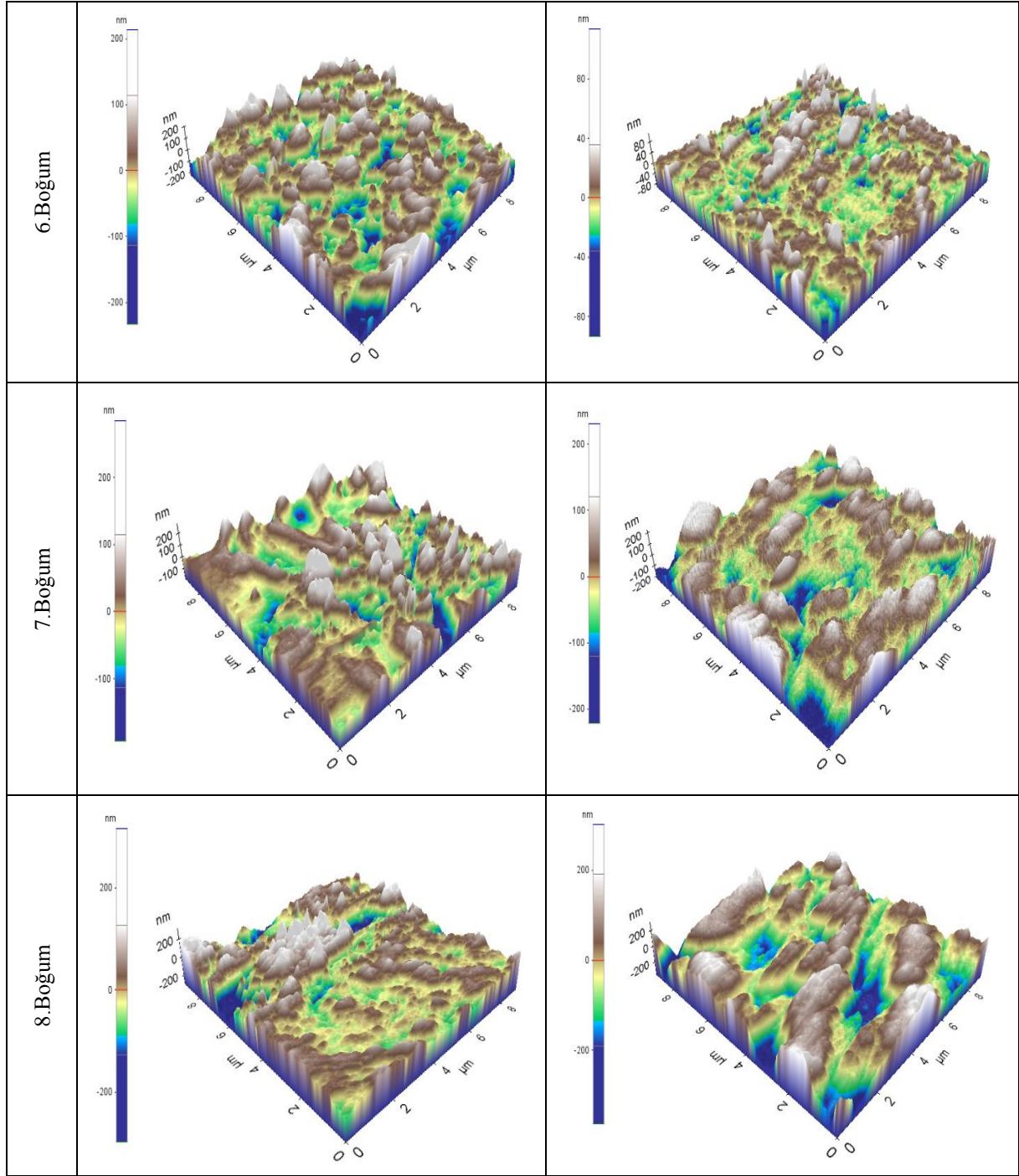
### A. AFM ANALİZİ

Deney sonrası ortamdan alınan bakır serpantinlerin korozyon davranışlarının daha detaylı incelenmesi amacıyla yapılan AFM analizleri Şekil 7’de gösterilmiştir. 8 boğumdan oluşan bakır serpantinler yukarıdan aşağıya olacak şekilde 1’den 8’e kadar numaralandırılarak her boğuma ait görüntü analizleri ayrı ayrı belirlenmiştir.









**Şekil 7.** 21 gün sonunda bakır serpantinlere ait AFM görüntüleri

Şekil 7’de yer alan AFM görüntülerinde 21 gün süreyle inhibitörlü ve inhibitörsüz ortama maruz bırakılan bakır serpantinlerin yüzey şekillerinin değiştiği görülmektedir. Ayrıca yapay soğutma suyu ortamına ilave edilen  $\text{NaNO}_2$ ’nin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması için uygulanan AFM yöntemine ait sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.  $R_a$  yüzeyde gözlemlenen pürüzlülük değerlerinin ortalamasını;  $R_z$  ise on noktadan alınan yüksekliklerin ortalamasını ifade etmektedir [29].

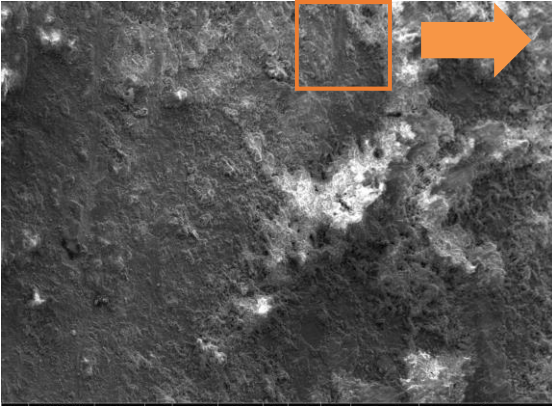
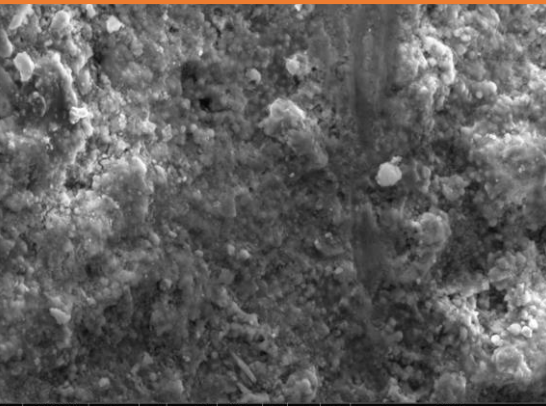
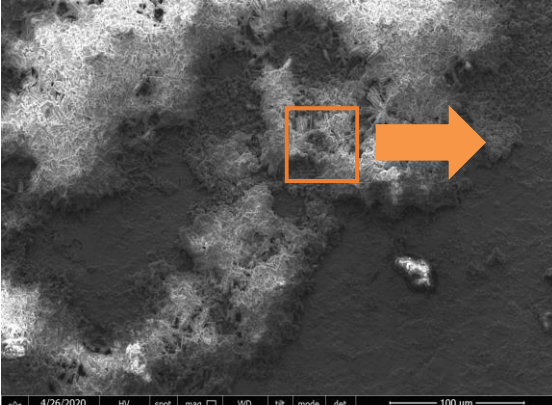
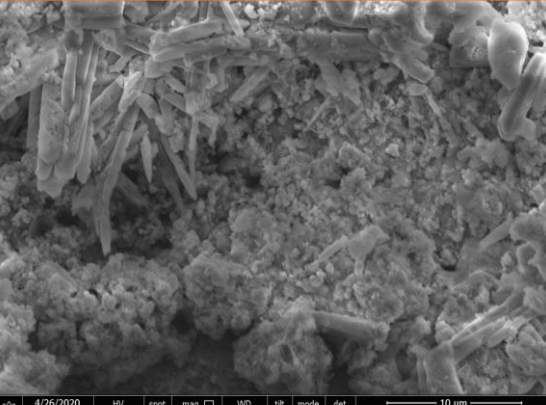
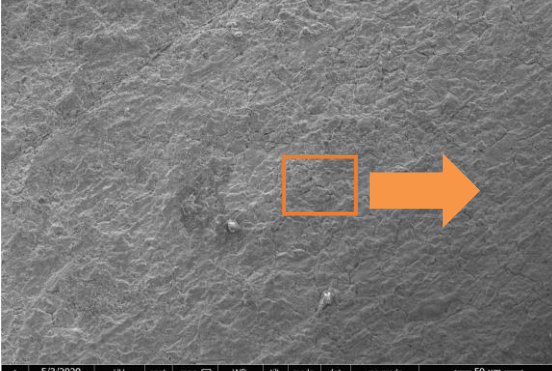
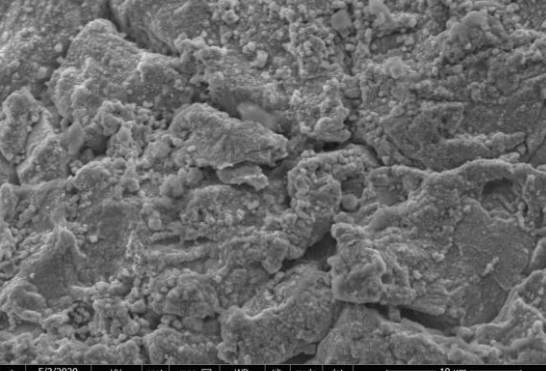
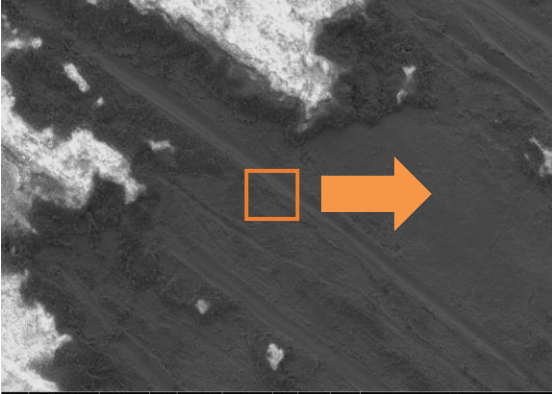
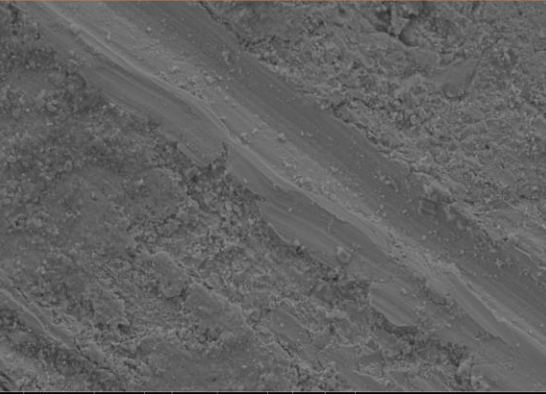
**Tablo 2.** İnhibitör ilaveli SCW ortamındaki bakır serpantinlere ait AFM sonuçlarının kıyaslanması.

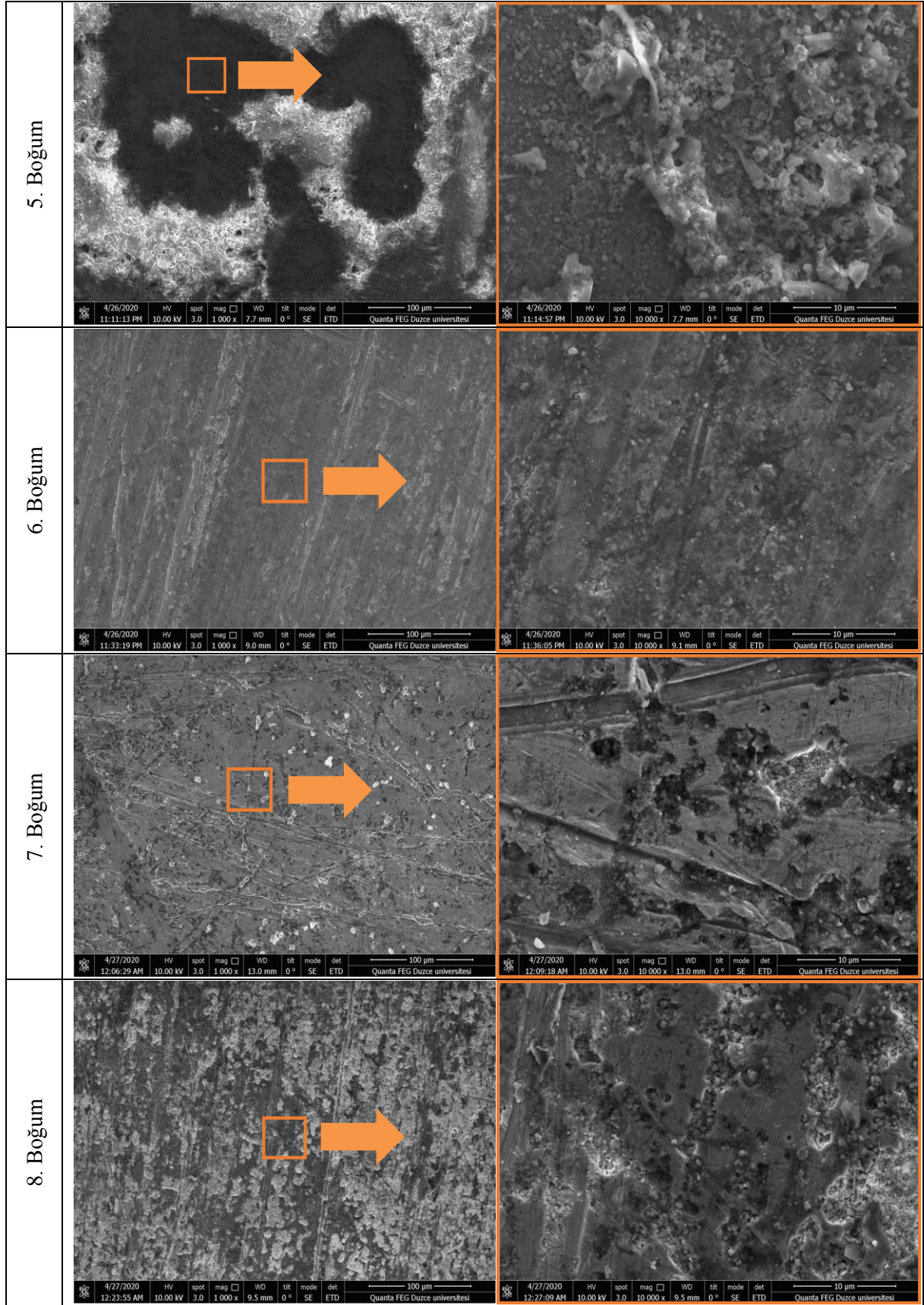
Boğum No	SCW	SCW+NaNO <sub>2</sub>	$R_a$ değişim SCW / SCW+NaNO <sub>2</sub>	SCW	SCW+NaNO <sub>2</sub>	$R_z$ değişim SCW / SCW+NaNO <sub>2</sub>
	$R_a$ (nm)	$R_a$ (nm)	$R_a$ değerinde % Azalış	$R_z$ (nm)	$R_z$ (nm)	$R_a$ değerinde % Azalış
1	96,265	79,715	17,19	960,213	692,083	27,92
2	83,286	72,452	13,01	732,387	651,179	11,09
3	78,635	68,11	13,38	731,193	568,842	22,20
4	73,816	61,462	16,74	656,93	533,586	18,78
5	68,575	48,243	29,65	629,797	441,265	29,94
6	48,114	28,165	41,46	586,552	269,995	53,97
7	46,167	25,838	44,03	451,889	236,335	47,70
8	44,913	13,555	69,82	421,898	195,32	53,70

Tablo 2’de yer alan pürüzlülük değerleri incelendiğinde SCW ortamına ilave edilen 1000 ppm NaNO<sub>2</sub>’nin  $R_a$  ve  $R_z$  değerlerini azalttığı görülmektedir. Örneğin bakır serpantinin 1 nolu boğumu için SCW ortamında  $R_a$  değeri 96,265 nm;  $R_z$  değeri 960,213 nm iken; inhibitör ilavesi ile  $R_a$  değeri 79,715 nm;  $R_z$  değeri ise 692,083 nm olduğu belirlenmiştir. İnhibitör ilavesi ile  $R_a$  değerinde meydana gelen % azalış değerlerinin 6 ve 7. boğumlarda yaklaşık %40; 8. boğumda ise %70 oranında meydana geldiği görülmüştür. Benzer şekilde  $R_z$  değerlerinde meydana gelen yüzde değişim inhibitör ilavesi ile 6, 7 ve 8. boğumlarda yaklaşık %54 olarak belirlenmiştir. Pürüzlülük değerlerinin her iki ortamda da 1 nolu boğumdan 8 nolu boğuma doğru azaldığı görülmektedir. İnhibitörlü ortam elde edilen  $R_a$  ve  $R_z$  değerleri inhibitörsüz ortama kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir.

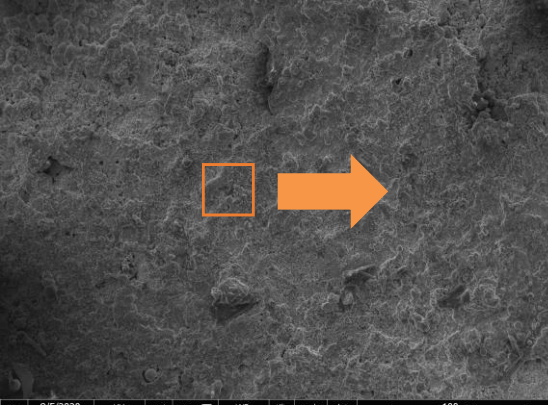
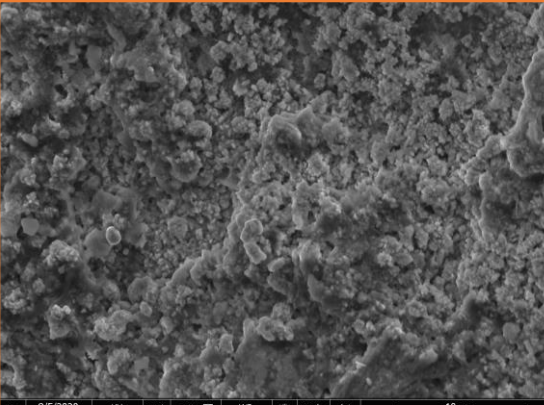
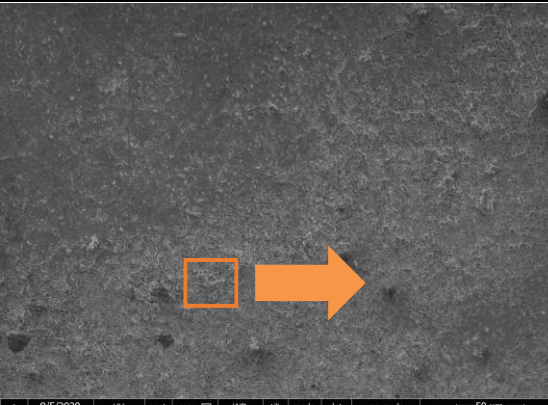
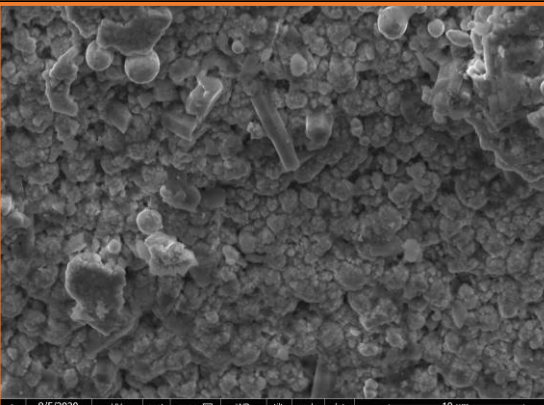
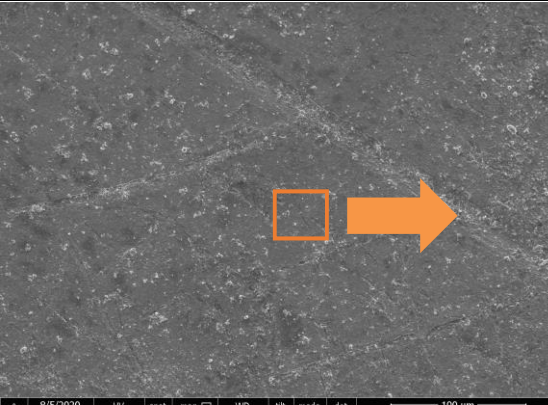
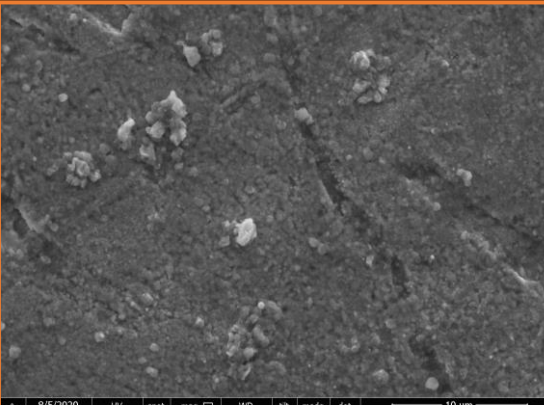
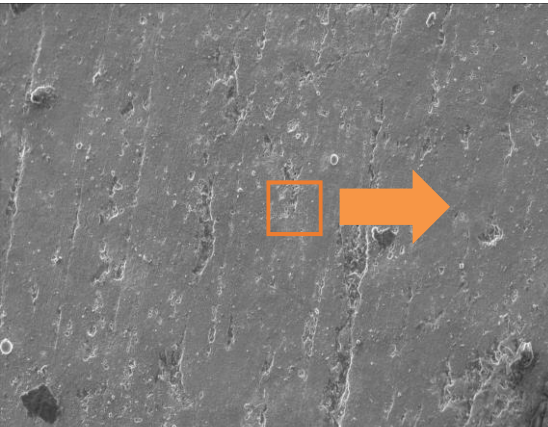
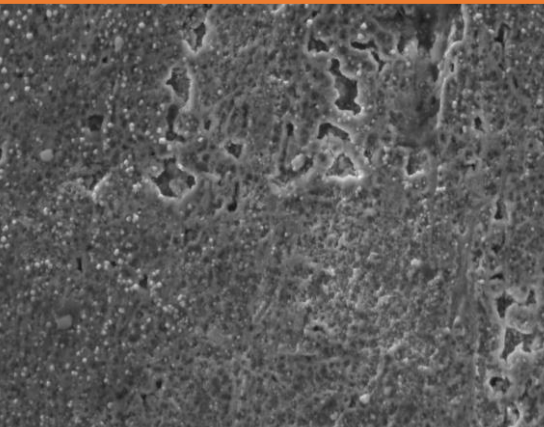
## B. SEM-EDS ANALİZLERİ

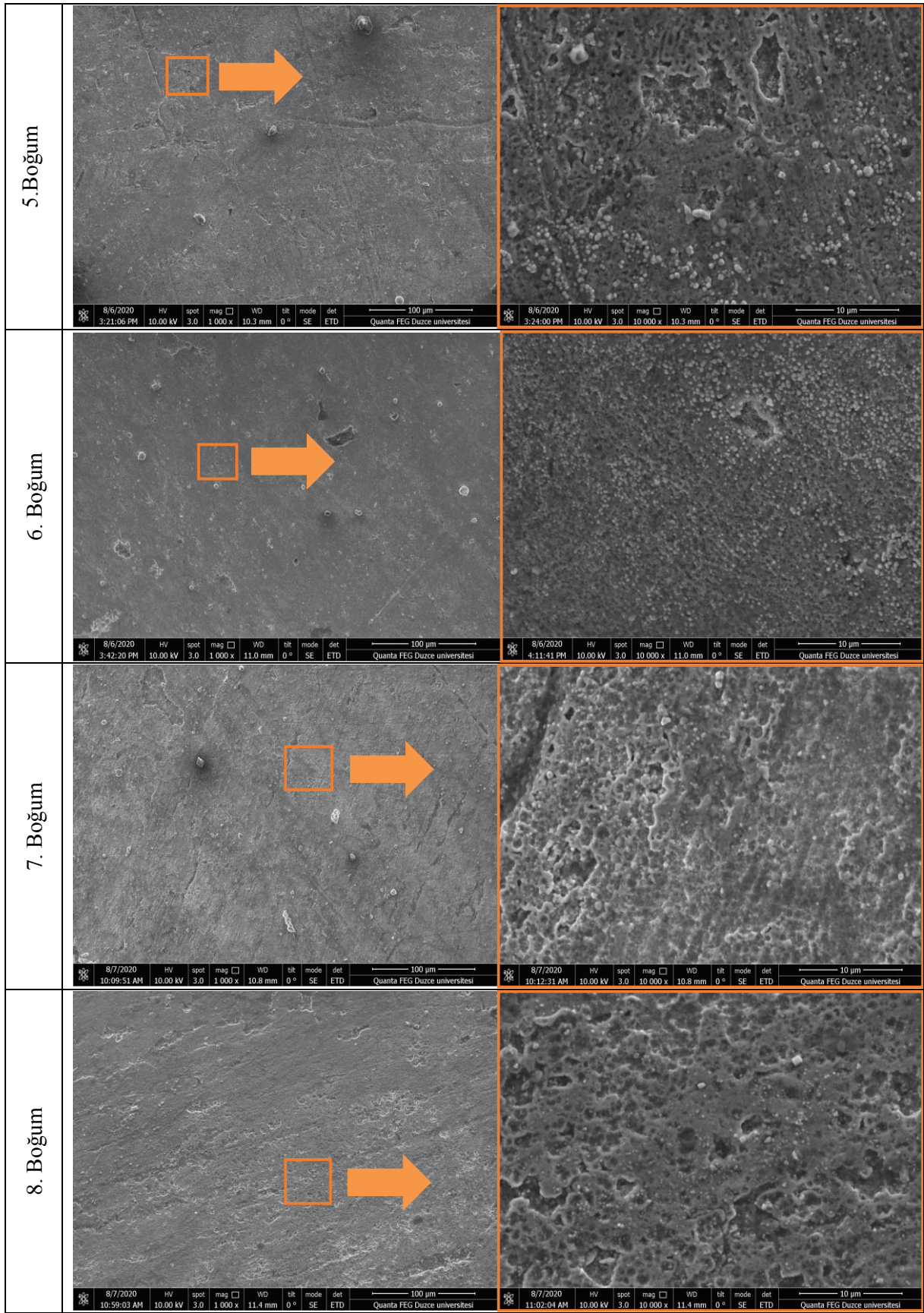
İnhibitörlü ve inhibitörsüz yapay soğutma suyu (SCW) ortamlarına 21 gün süreyle maruz bırakılan bakır serpantinlerin yüzeylerinde oluşan morfolojik değişiklikler SEM ile incelenmiştir (Şekil 8-9). Her boğumun (1-8) ayrı ayrı SEM ile incelendiği noktalarda ayrıca genel EDS analizi yapılmıştır (Tablo 3). Bakır serpantinin 21 gün sonunda SCW ortamının etkisiyle korozyona uğradığı açıkça Şekil 8’de görülmektedir. Serpantin konulduğu 304 paslanmaz çelik tankındaki su seviyesinden alta indikçe, Şekil 6’da görüldüğü üzere 4-8 boğumlarında daha az korozyon ürünün metal yüzeyinde oluştuğu görülmektedir. Çünkü yüzeye yakın serpantinin 1-3 boğumları daha çok oksijene maruz kalarak diğer boğumlara kıyasla yüzeylerinde daha kalın yeşil oksit tabaka oluşturmuştur [30]. Şekil 8’de görüleceği üzere SCW etkisiyle serpantinin 7 ve 8. boğumlarında çukurcuk korozyonun oluştuğu görülmüştür. Korozyon ürünlerinin temel bileşimleri; çalışma numunesinin esas bileşeni olan Cu ve metal yüzeyinde oluşan oksit filmi tanımlayan oksijen elementidir (Tablo 3). Bakır yüzeydeki Cu ve O’nun atomik yüzdesi sırasıyla %53,33 ve %30,87’dir. Farklı bölgeler için EDS sonuçları incelendiğinde 1 numaradan 8 numaraya doğru gidildikçe O elementinin atomik yüzdesinin azaldığı, Cu elementinin yüzdesinin ise arttığı görülmektedir. Şekil 9’da inhibitör ilaveli SCW ortamındaki bakır serpantinlere ait görüntüler incelendiğinde korozyon ürünlerinin azaldığı görülmektedir. İnhibitör ilavesiyle 1 numaralı bölgeye ait EDS analizlerinde Cu ve O elementlerine ek olarak NaNO<sub>2</sub> varlığında bulunan N elementi de yüzeyde gözlemlenmektedir. İnhibitör ilaveli ortamda elde edilen EDS verileri incelendiğinde bakır serpantin yüzeyinde yer alan Cl elementlerinin atomik yüzdesinin NaNO<sub>2</sub> ilavesiyle azaldığı görülmektedir. Bu durum metal yüzeyinde inhibitörün adsorblandığını ifade etmektedir. SEM-EDS analizleri sonucunda elde edilen verilerin AFM analizleri ile tutarlı olduğu görülmektedir.

No	SCW	
1. Boğum		
2. Boğum		
3. Boğum		
4. Boğum		



Şekil 8. 21 gün sonunda SCW ortamındaki bakır serpantinlere ait SEM görüntüleri

No	SCW+NaNO <sub>2</sub>	
1. Boğum		
2. Boğum		
3. Boğum		
4. Boğum		



Şekil 9. 21 gün sonunda SCW+NaNO<sub>2</sub> ortamındaki bakır serpantinlere ait SEM görüntüleri

**Tablo 3.** İnhibitör ilaveli SCW ortamındaki bakır serpantinlere ait EDS sonuçlarının kıyaslanması.

SCW ortamında serpantinin 1-8 nolu boğumlarına ait analiz sonuçları									SCW+NaNO <sub>2</sub> ortamında serpantinin 1-8 nolu boğumlarına ait analiz sonuçları								
Element /Wt%	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
C	8,78	5,27	5,64	4,15	6,21	8,36	9,81	7,23	10,97	8,8	9,5	9,15	9,57	9,31	8,27	9,74	
O	30,87	15,38	13,56	14,98	9,63	9,27	8,58	6,16	17,4	10,03	8,55	6,78	6,57	5,8	6,25	5,14	
Na	1,72	1,32	0,77	0,78	0,23	0,84	0,58	0,55	1,72	1,14	0,6	0,61	0,37	0,46	0,44	0,3	
Mg	0,85	0,62	0,12	0,1	0,25	0,19	0,2	0,32	0,98	0,31	0,19	0,27	0,21	0,18	0,3	0,22	
S	0,25	0,21	0,12	0,31	0,22	0,31	0,17	0,24	0,25	0,3	0,46	0,18	0,27	0,36	0,21	0,43	
Cl	0,59	2,51	0,73	1,77	1,13	0,99	1,09	0,73	0,32	0,47	0,41	0,57	0,39	0,88	0,52	0,7	
Ca	3,61	0,98	6,01	1,97	0,31	0,44	0,53	0,31	1,27	1,61	1,88	0,36	0,34	0,45	0,42	0,39	
Cu	53,33	73,71	73,05	75,94	82,03	79,6	79,04	84,46	66,48	77,04	77,75	81,87	82,06	82,3	83,18	82,83	
N	x	x	x	x	x	x	x	x	0,61	0,3	0,66	0,21	0,22	0,26	0,41	0,25	

## IV. SONUC

Bu çalışmada inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan yapay soğutma suyuna 21 gün süreyle maruz bırakılan bakır serpantinlerin korozyonu araştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

- Yapay soğutma suyunda bakır serpantinlerde gözlemlenen korozyonun NaNO<sub>2</sub> ilaveli ortama kıyasla daha fazla olduğu,
- AFM analizleri incelendiğinde yüzeyde meydana gelen pürüzlülük değerlerinin ( $R_a$  ve  $R_z$ ) SCW ortamına inhibitör ilave edilmesiyle azaldığı,
- SEM ve EDS analizleri incelendiğinde yapay soğutma suyu ortamlarına maruz bırakılan bakır serpantinlerin yüzeyinde meydana gelen korozyon ürünlerinin inhibitör ilavesiyle azaldığı ve NaNO<sub>2</sub>'nin bakır yüzeyinde adsorplanarak farklı bir oksit film (CuO) oluşturduğu,
- Metal yüzeyinde meydana gelen korozyonun belirlenmesi amacıyla uygulanan yüzey analizi yöntemleri (AFM ve SEM-EDS) ile elde edilen verilerin birbirlerini destekler nitelikte olduğu,
- Kapalı devre sistemlerinin korozyona karşı korunmasında inhibitör kullanımının oldukça etkili bir yöntem olduğu ve sadece yüzey görüntüleme metotları kullanılarak da bu etkinliğin belirlenebileceği bu çalışma ile ortaya konulmuştur.
- İlerleyen çalışmalarda; Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemi kullanılarak, zamana bağlı inhibitör etkinliğinin nasıl değiştiğinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Böylece sisteme tekrar ne zaman NaNO<sub>2</sub> ilave edilmesi gerektiği ortaya konulabilecektir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2020.06.05.1076)

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] D. J. Choi, S. J. You, J. G. Kim, “Development of an environmentally safe corrosion, scale, and microorganism inhibitor for open recirculating cooling systems,” *Materials Science and Engineering A.*, vol. 335 pp. 228–235, 2002.
- [2] S. S. Gaddamwar, A.N. Pawar, P.A. Naik, “Similitude of membrane helical coil with membrane serpentine tube for characteristics of high-pressure syngas: A review, in: *AIP Conference Proceedings*, ” American Institute of Physics Inc., pp. 020005, 2018.
- [3] I. Milošev, Inhibition of copper corrosion by 1 , 2 , 3-benzotriazole : A review, vol. 52, pp. 2737–2749, 2010.
- [4] EPA, Copper Facts, US Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs, 2008.
- [5] R. D. Prabu, S. Valanarasu, V. Ganesh, M. Shkir, S. AlFaify, A. Kathalingam, S.R. Srikumar, R. Chandramohan, “An effect of temperature on structural, optical, photoluminescence and electrical properties of copper oxide thin films deposited by nebulizer spray pyrolysis technique,” *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2018.
- [6] M. A. Amin, K. F. Khaled, Copper corrosion inhibition in O<sub>2</sub>-saturated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions, *Corrosion Science*, vol.52, pp. 1194–1204, 2010.
- [7] L. Ö. Avni YAZAN, “Bakır ve Bakır Ürünleri Kullanım Alanları,” *M.T.A. Enstitüsü Teknoloji Şubesi*, pp. 43–47, 2006.
- [8] Copper: introduction to the chemical element - Explain that Stuff, (n.d.). <https://www.explainthatstuff.com/copper.html> (accessed October 5, 2020).
- [9] R.W. Revie, H.H. Uhlig, *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering: Fourth Edition*, 2008.
- [10] H. Gerengi, Anticorrosive properties of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit juice on 7075 type aluminum alloy in 3.5% NaCl solution, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol.51, pp. 12835–12843, 2012.
- [11] H. Gerengi, H. Goksu, P. Slepski, The inhibition effect of mad honey on corrosion of 2007-type aluminium alloy in 3.5% nacl solution, *Materials Research*, vol.17, pp. 255–264, 2014.
- [12] H. Gerengi, P. Slepski, G. Bereket, “Dynamic electrochemical impedance spectroscopy and polarization studies to evaluate the inhibition effect of benzotriazole on copper-manganese-aluminium alloy in artificial seawater,” *Materials and Corrosion*, vol. 64, pp. 1024–1031, 2013.
- [13] W. Faes, S. Lecompte, Z.Y. Ahmed, J. Van Bael, R. Salenbien, K. Verbeken, M. De Paepe, “Corrosion and corrosion prevention in heat exchangers, *Corrosion Revie*, vol. 37, pp. 131–155, 2019.
- [14] P. Slepski, H. Gerengi, A. Jazdzewska, J. Orlikowski, K. Darowicki, “Simultaneous impedance and volumetric studies and additionally potentiodynamic polarization measurements of molasses as a carbon steel corrosion inhibitor in 1M hydrochloric acid solution,” *Construction and Building Materials*, vol. 52, pp. 482–487, 2014.



- [15] T. K. Hou, S. N. Kazi, A. B. Mahat, C. B. Teng, A. Al-Shamma'a, A. Shaw, *Industrial Heat Exchanger: Operation and Maintenance to Minimize Fouling and Corrosion*, in: *Heat Exchangers - Advanced Features and Applications*, InTech, 2017.
- [16] C. Frayne, *Effective Control Of Waterside Corrosion and Heat Transfer Efficiency in Chemical Plant Cooling Systems*, n.d.
- [17] J. S. Gill, "Inhibition of silica-silicate deposit in industrial waters," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 74, pp. 101–106, 1993.
- [18] G. Tansuğ, T. Tüken, E.S. Giray, G. Findikkiran, G. Sigircik, O. Demirkol, M. Erbil, A new corrosion inhibitor for copper protection, *Corrosion Science*, vol. 84, pp. 21–29, 2014.
- [19] C. Pearson, Role of iron in the inhibition of corrosion of marine heat exchangers-a review, *British Corrosion Journal*, no. 7, pp. 61–68, 1972.
- [20] E. Chemistry, A. wachter, pp. 9–11, 1945.
- [21] A. Wachter, Sodium Nitrite as Corrosion Inhibitor for Water., *Industrial & Engineering Chemistry*, vol. 37, pp. 749–751, 1945.
- [22] J. Zuo, B. Wu, C. Luo, B. Dong, F. Xing, "Preparation of MgAl layered double hydroxides intercalated with nitrite ions and corrosion protection of steel bars in simulated carbonated concrete pore solution," *Corrosion Science*, vol. 152, pp.120–129, 2019.
- [23] I.M. Dmytrakh, R.L. Leshchak, A.M. Syrotyuk, "Influence of sodium nitrite concentration in aqueous corrosion solution on fatigue crack growth in carbon pipeline steel," *International Journal of Fatigue*, vol. 128, pp. 105192, 2019.
- [24] J.K. Das, B. Pradhan, "Effect of cation type of chloride salts on corrosion behaviour of steel in concrete powder electrolyte solution in the presence of corrosion inhibitors," *Construction and Building Materials*, vol. 208, pp.175–191, 2019.
- [25] ISI-TAN – Isı Kontrol Sistemleri, (n.d.). <https://www.isitan.com.tr/> (accessed November 15, 2020).
- [26] M.G. Lavastrou, P. General, A. Mendoza, *Quality certificate*, vol. 3559, pp. 1–7, 2008.
- [27] J. Sha, H. Ge, C. Wan, L. Wang, S. Xie, X. Meng, Y. Zhao, "Corrosion inhibition behaviour of sodium dodecyl benzene sulphonate for brass in an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano fluid and simulated cooling water," *Corrosion Science*, vol. 148, pp. 123–133, 2019.
- [28] M. Hayyan, S.A. Sameh, A. Hayyan, I.M. Alnashef, *Utilizing of Sodium Nitrite as Inhibitor for Protection of Carbon Steel in Salt Solution*, 2012. [www.electrochemsci.org](http://www.electrochemsci.org) (accessed December 21, 2019).
- [29] H. Gerengi, G. Bereket, M. Kurtay, "A morphological and electrochemical comparison of the corrosion process of aluminum alloys under simulated acid rain conditions," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 58, pp. 509–516, 2016.
- [30] N. Fredj, T.D. Burleigh, "Transpassive Dissolution of Copper and Rapid Formation of Brilliant Colored Copper Oxide Films," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 158, pp. 104, 2011.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makale

## Yapıştırıcı Birleştirmelerde Bağlantı Mukavemetini Etkileyen Faktörler: Yüzey Morfolojisi ve Yüzey Enerjisi

 Ali GÜRSEL <sup>a,\*</sup>,  Salih YILDIZ <sup>b</sup>

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

<sup>b</sup> Department of Mechanical Engineering, The City College of New York, NY, USA

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [aligursel@duzce.edu.tr](mailto:aligursel@duzce.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.884675

### ÖZET

İmalat sektöründe birleştirme teknolojilerinin önemi artarak devam etmektedir. Birleştirme teknolojileri yarı mamül ürün birleştirmelerinden kompleks yapılar ve kompozit malzeme üretimleri, eklemeli imalat teknolojilerine kadar her alanda kullanılmaktadır. Bu kapsamda, yapıştırıcılar vasıtasıyla yapılan birleştirme teknolojileri farklı cins malzemelerin birleştirmelerine olanak sağladığı gibi, birleştirilecek malzemelerde deformasyona sebep olmadığından büyük avantajlar sağlamaktadır. Yüksek mukavemetli yapıştırıcı uygulamalarında en önemli işlem yüzey hazırlama süreçleridir. Yapışma mekanizmalarında da en yaygın kabul gören ve ispatlanmış teori mekanik kilitlenmedir. Yüzey hazırlama süreçlerinde, malzemelerin optimum yüzey pürüzlülüğüne sahip olmaları durumunda, bağlantılardan istenen mukavemet değerleri elde edilebilir. Yapıştırıcı bağlantılarda birleştirilecek malzemelerin yüzey enerjisi, hem yapıştırıcı reçineyi absorbe etme, hem de yapıştırıcıyla bağ oluşturma bakımından büyük önem taşır. Yüzey hazırlamada uygun yüzey morfolojisi ile birlikte yüzey enerjisini arttırıcı işlemler göz önünde bulundurulmalı ve uygulanmalıdır.

**Anahtar kelimeler:** Yapıştırıcı birleştirmeler 1, Yapışma mekanizması 2, Yüzey hazırlama 3, Yüzey morfolojisi 4, Katıların yüzey enerjisi 5.

## Affecting Factors of Bond Strength in Adhesive Joints: Surface Morphology and Surface Energy

### ABSTRACT

In the manufacturing industry, the importance of joining technologies has been increasing continuously. Joining techniques are widely employed in many fields such as additive manufacturing, bonding semi-products, manufacturing composite and complex structures. Particularly, adhesively bonded joints provide exceptional advantages over conventional joining techniques such as environmental resistance, thermal/electrical resistance, weight-saving and its ability to join dissimilar materials. In the bonding process of high-strength adhesives, surface preparation of adherends play a significant role in the performance of adhesive joints. Although there are many theories on adhesion mechanism, the most accepted and proven theory is 'mechanical-interlocking'. In the light of mechanical-interlocking theory, desired strength of adhesive joints can be achieved by keeping the roughness of bonding surfaces optimum. Overall, appropriate surface morphology and other procedures increasing the surface energy should be taken into account for surface preparation step of adhesive joint manufacturing.

**Keywords:** Adhesively bonded joints 1, Adhesion mechanisms 2, Surface preparation 3, Surface morphology 4, Surface energy of solids 5.

Geliş: 22.02.2021, Düzeltme: 15.03.2021, Kabul: 19.03.2021

# **I. GİRİŞ**

İmalat sanayiinde yeni nesil malzemelerin ve kompleks yapıların gelişmesiyle, üretim ve birleştirme tekniklerinin de buna paralel olarak gelişme zorunluluğu doğmuştur. Bu tür malzemelerin çeşitliliklerinin artması ve kombinasyonu ile birlikte, yapıştırıcılar vasıtasıyla yapılan birleştirmeler tercih edilmekte, hafiflik ağırlık ve uygulama kolaylığı gibi alternatifler sunmaktadır.

Yapıştırıcı birleştirme teknikleri, metalik malzemeler de dahil olmak üzere, polimerler ve seramiklerin, hafif materyallerin, benzer veya farklı yapıdaki malzemelerin, farklı kombinasyonlar içeren kompleks, kompozit ve hibrit malzemelerin birleştirmelerinde kullanımı artmaktadır [1], [2]. Yapışma mekanizması, polimer ve yüzey kimyası, fizik, kırılma mekaniği, malzeme mekaniği ve diğer alanlar gibi çok disiplinli alanları ilgilendiren karmaşık bir konudur. Literatürde difüzyon, mekanik, termodinamik, moleküler ve kimyasal faktörlerden etkilendiği tartışılmaktadır [3]-[8].

Kaynak teknolojileri ve mekanik birleştirme teknikleri, imalat endüstrisindeki en yaygın birleştirme yöntemleridir, ancak yapıştırma haricindeki yöntemlerde birleştirilen malzemeler bu birleştirme teknikleriyle tahrip edilmektedir [2]. Cıvata, vida vb gibi mekanik bağlama tekniklerinde delme ve diğer işlemlere ihtiyaç vardır ve ana malzemeleri tahrip edilir veya süreksizliklere sebep olur. Kaynak uygulamalarında ise genellikle ana malzemelerin ve dolgu malzemelerinin bir kısmının eritilmesi gerekir, daha sonra hızlı katılaşmalar meydana gelir ki, bu da mikro yapılarda bozulmalara, kalıcı gerilmelere, distorsiyonlara ve hasara neden olmaktadır. Bunlara ek olarak, kaynak tekniklerinin birbirinden farklı malzemelerin birleştirilmesinde sınırlamaları vardır. Yapıştırıcı birleştirme tekniği bu sorunlara sebep olmayan iyi bir alternatiftir ve ana malzemeleri tahrip etmeyerek farklı malzemelerin birleştirilmesine olanak sağlamaktadır [9].

Bu çalışmada, yapışma mekanizmaları ile yüzey hazırlama yöntem ve aşamalarının, yüzey enerjisinin, yüzey morfolojisinin ve yüzey pürüzlülüğünün yapışma başarısına etkileri tartışılacaktır. Bu doğrultuda, yapıştırıcılar ve özellikleri, yapıştırıcı bağlantılara uygulanan mekanik testler, yapışma mekanizmaları, yapıştırıcı bağlantılardaki hatalar ve yapışma teorileri ile iyi bir birleşmeyi etkileyen faktörler tartışılacak, yüzey enerjisi ile yüzey pürüzlülüğü ve morfolojisinin birleşmeye etkisi incelenecektir.

## **II. YAPIŞTIRMA PROSESLERİ VE YÜZEY HAZIRLAMA**

Yapıştırma yöntemiyle yapılan birleştirmelerde işlem basamakları; yapıştırılacak malzemelerin istenen boyut ve özelliklerde hazırlanması, yüzey temizliği, yüzey hazırlama işlemleri, kütleme ve yapıştırma sonrası temizlik işlemleri olarak sıralanabilir. Bu işlemlerden en kritik ve zaman alan aşama yüzey hazırlama işlemleridir.

Yapıştırma işlemlerinde bağlantı yüzeylerinin durumu, yapıştırıcı ve yapıştırılacak malzemelerin yüzeyleri arasındaki kimyasal ve fiziksel ara yüzün kalitesini etkilemektedir. Yüksek ve dinamik yükler karşı dayanıklı bir birleşme alanı oluşturmak için, ana malzemeye, yapıştırıcıya ve kullanım amacına uygun yüzey işleme prosedürleri uygulanmalıdır [10]-[12].

Yüzey hazırlama işlemleri; yüzeyin kir ve yağlardan temizlenmesi, taşlama ve kumlama vb yöntemlerle istenen yüzey pürüzlülüğü için aşındırma, yapıştırma yüzeyine inorganik ve organik malzemeler arasında bağ elde etmek için malzeme cinsine göre kimyasal solüsyon uygulama şeklinde sıralanan işlem basamaklarından oluşmaktadır. [13].

Yapıştırmadan önce yüzey işlemleri uygulamanın ana nedenleri şunlardır [13]:

- . ana malzemelerin yüzeyinde oluşan zayıf tabakayı kaldırmak veya önlemek,
- . ana malzeme üzerinde optimum yüzey morfolojisini ve mikro yapısı oluşturmak,
- . yapıştırıcı veya astar ile ana malzeme yüzeyi arasındaki moleküler etkileşim derecesini arttırmak,
- . arayüzler boyunca gelişen yapışma kuvvetlerini optimize etmek ve bağın çalışma ömrü boyunca yeterli birleşme mukavemetini sağlamak.

Lukas ve arkadaşlarına (2018) göre yüzey hazırlama işlemleri; yüzeye uygulanan yapıştırıcıyı absorbe edilebilir hale getirmek, mekanik olarak sağlam bir yüzey oluşturmak, yaşlanma, çevresel etkiler ve korozyon veya uygulanan yükler gibi harici faktörlerin potansiyel olarak zarar verici etkilerini en aza indirecek uygun bir yüzey sağlamak şeklinde sıralanmaktadır [14].

Yapıştırma ve kütleme işlemleri sırasında yapıştırıcı ile ana malzeme arasındaki yakın moleküler bağ seviyesini arttırmak için yüksek serbest yüzey enerjisinin oluşturulması gerekir. Yapıştırma işlemlerinden önce yapıştırıcının yüzey enerjilerini pasifleştirmek gerekir. Pasifleştirme işlemleri, ana malzemede elektrokimyasal ve korozyon direnci sağlayarak yapıştırma sonrasında yüzeyin korunmasını sağlar [14]. Pasifleştirilen yapıştırıcı reçine, yüzey hazırlama prosesleriyle aktive edilen ana malzemeler tarafından daha kolay absorbe edilir ve bu işlemler bağ oluşumunu destekler.

Aşındırma veya kumlama gibi mekanik aşındırma işlemleri uygulanmış yüzeylerin daha iyi bir yapışmaya (mekanik kenetlenme) imkan sunduğu bilinmektedir. Özellikle metallerin birleştirilmesi için kimyasal tabaka oluşturma ve metallerin anodik oksidasyonu dahil olmak üzere oldukça karmaşık, çok aşamalı işlemler uygulanmaktadır, ve bunların yapışma performansını arttırdığı kabul edilmektedir [14].

### **III. BAĞLANTI YÜZEYLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

Bağlantı yüzeylerini etkileyen faktörler; arayüz, yüzey enerjisi (yapıştırıcının), yüzey gerilimi, yüzey serbest enerjisi, katıların yüzey enerjisi (yapıştırılan malzemelerin) olarak sıralanabilir.

#### **A. ARAYÜZ**

Temas halindeki katı veya sıvı fazlar, arayüz adı verilen izafi bir düzlemin her iki tarafında bulunan atomlara/moleküllere sahiptir. Arayüzey taneleri faz sınırında olmaları ve diğer fazlar ile etkileşimleri nedeniyle her fazın kütledeki enerjileri farklıdır. Bileşme ve enerji, arayüz boyunca bir fazdan diğerine sürekli olarak geçişgen haldedir. Bu bölge, genellikle 0,1  $\mu\text{m}$ 'den daha az olan sonlu bir kalınlığa sahiptir [15].

#### **B. YÜZEY GERİLİMİ**

Yüzey gerilimi; bir yüzeyin alanını bir birim miktarda izotermal ve tersinir şekilde artırmak için gereken iş olarak tanımlanır. Yüzey gerilimi ( $\gamma$ ), birim alan başına yüzey enerjisi ve alternatif olarak birim uzunluk başına kuvvet olarak ifade edilir. Sıvıların yüzey gerilimi doğrudan ölçülebilir ve birim alandaki iş veya enerji birimleri ( $\text{erg}/\text{cm}^2$ ) cinsinden ifade edilebilir, bu daha sonra  $\text{din}/\text{cm}$  ( $\text{erg}/\text{cm}^2$  5  $\text{din}$ ;  $\text{cm}/\text{cm}^2$  5  $\text{din}/\text{cm}$ ) olarak sadeleştirilir [13].

Metaller yüksek yüzey gerilimine, polimerler düşük yüzey gerilimine sahiptirler. Düşük yüzey gerilimine sahip maddeler yüksek yüzey gerilimine sahip maddeler tarafından absorbe edilir [13]. Bu nedenle iyi bir

yapıştırma işlemi için birleştirilecek malzemelerin (katı) yüzey enerjilerini arttırmak (aktive etmek), yapıştırıcı reçinelerin enerjilerini düşürmek (pasivize etmek) gerekir.

## C. YÜZEY ENERJİSİ

Yapıştırıcı bağlantılarda ıslatma mekanizmasından hareketle, yüzey enerjisi veya yüzey gerilimi kavramları genellikle yapıştırıcı sıvı reçinelerle ilgili olarak ele alınmaktadır. Yapıştırıcı reçinenin vizikositesi ve yüzey enerjisinin, ıslatma mekanizmasında en belirleyici faktör olduğu düşünülür.

Bir sıvının molekülleri çekim kuvvetleriyle bir arada tutulur ve kütesinde bulunan herhangi bir molekül üzerindeki tüm çekim kuvvetlerinin toplamının ortalaması sıfırdır. Bir yüzey molekülü üzerindeki net kuvvet 'kohezyon kuvveti' olarak adlandırılır, kütleyle doğru yönde ve sıfırdan farklı bir miktardır. Bu, yüzey alanını artırmak için karşı konulması gereken kuvvettir; bunun için sarfedilen enerjiye yüzey enerjisi denir. Arayüz üzerindeki dengesiz kuvvetler, minimum yüzey alanına indirgenmesine neden olur. Bir hacim için minimum yüzey alanına sahip şekil küredir, bu nedenle damlacıklar küreseldir. Bir sıvının yüzey gerilimi ve yüzey serbest enerjisi eşitken, katı bir yüzey için aynı şey geçerli değildir.

### C. 1. Yüzey Serbest Enerjisi

Yüzey serbest enerjisi kavramı da genellikle sıvılar için ele alınan bir konudur. Bir sistemin toplam serbest enerjisi, sıvı kütle ve yüzeydeki sıvının enerjisinden oluşur. Birim alan başına yüzey serbest enerjisinin, yüzey alanı ile çarpımına eşittir. Saf bir maddenin serbest yüzey enerjisi, yüzey gerilimine eşittir. Tersinir bir sistemde, yeni yüzeyin ortadan kaldırılmasıyla ilişkili ısı, entropi veya yüzey entropisiyle ilişkilendirilebilir. Toplam yüzey enerjisi ( $E_S$ ), sıvı yüzeye Gibbs serbest enerjisi (birim alandaki yüzey enerjisi  $G_S$ ) ve entropi (entropi  $S$ , yüzey entropisi  $S_S$ ) ile entalpi ilişkisi ( $H_S$ ) uygulanarak hesaplanır (Eşitlik 1) [13].

$$H_S = E_S = G_S + T S_S \quad (1)$$

Sıvıların yüzey gerilimi, artan sıcaklıkla doğrusal bir şekilde azalır. Sıcaklık ve yüzey gerilimi arasındaki ilişkiyi tanımlayan ifade Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$\gamma V^{2/3} = k(T_C - T) \quad (2)$$

$V$  molar hacimdir,  $k$  sabiti çoğu sıvı için aynı değere sahiptir ( $2.1 \text{ erg/K}$ ),  $T_C$  sıvının kritik sıcaklığı ve  $T$  sıvı sıcaklığıdır. Burada beklenti, bir sıvının yüzey geriliminin kritik sıcaklığında sıfıra yaklaşmasıdır [13].

### C. 2. Katıların Yüzey Enerjisi

Sert ve gerilime dirençli malzemeler 'katı' malzemeler olarak adlandırılır. Katı bir yüzey, yüzey serbest enerjisi ve yüzey enerjisi ile ifade edilebilir. Bir katının yüzey enerjisi (gerilimi), yüzeyinin tersinir formda olmayışı nedeniyle sıvılarınkine benzer şekilde ölçülemez.

Katı malzeme yüzeyleri, yüksek veya düşük yüzey enerjili malzemeler olarak iki kategoriye ayrılabilir [16]: Yüksek yüzey enerjili malzemeler arasında; metaller ve oksitler, silikatlar, silika, elmas ve nitrürler gibi inorganik bileşikler bulunur. Yüksek enerjili malzemelerin yüzey gerilimi 200-500 din/cm'dir. Düşük enerjili malzemeler esas olarak kritik yüzey gerilimi 100 din'den daha az olan polimerler dahil organik

bileşiklerden oluşur. Polimer yüzeyler düşük, orta veya yüksek yüzey enerjili olarak sınıflandırılmıştır [17]. Düşük yüzey enerjili polimerler (katı) 10-30 din/cm kritik yüzey gerilimi aralığında, orta enerjili 30 ila 40 din/cm aralığında ve 40 din/cm'den daha büyük olduğunda da yüksek enerjili olarak adlandırılır [13].

Sistemin serbest yüzey enerjilerinin az olması nedeniyle yağlar, polimer bazlı sıvılar gibi düşük enerjili malzemeler yüksek enerjili yüzeyler tarafından kendiliğinden emilir. Bu, normal atmosfer ortamına maruz kalan temiz ve yüksek enerjili bir yüzeyin, uzun süre temiz kalmayacağı anlamına gelir ki; su, yağ ve özellikle organik partiküllerin çevreden emilmesi söz konusu olacaktır. Bu nedenle yapıştırıcı veya kaplama uygulamasından hemen önce çevre etkilerine maruz kalan malzeme yüzeylerinde temizleme işlemleri yapılır [9].

## **IV. YAPIŞMA MEKANİZMASI**

Yapışma mekanizması, iki fazın arayüzünü denge durumundan sonsuz ayırma mesafesine ayırmak için gereken tersinir termodinamik bir fonksiyon olarak tanımlanır.

Eşitlik (3), bir likid-solid kombinasyonu için yapışma mekanizmasını gösterir [13].

$$W_a = \gamma_L + \gamma_S - \gamma_{SL} \quad (3)$$

$\gamma_L$  sıvı fazın yüzey enerjisidir (gerilim),  $\gamma_S$  katı fazın yüzey enerjisidir,  $\gamma_{SL}$  arayüzey yüzey gerilimidir ve  $W_a$  yapışma fonksiyonudur. Arayüzey çekiminde bir artış, yapışma mekanizmasında da artışa neden olur. Eşitlik (3), iki faz aynı olduğunda ( $\gamma_L = \gamma_S$  ve  $\gamma_{SL} = 0$ ) kohezyonu ( $W_c$ ) belirlemek için yeniden yazılabilir ve Eşitlik (4) katı faz için.

$$W_a = 2\gamma_S \quad (4)$$

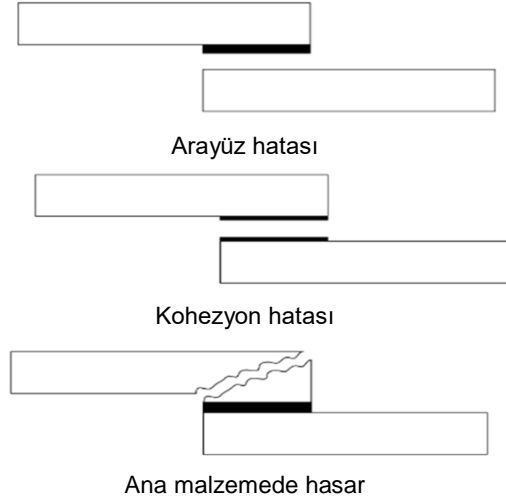
biçiminde yazılır [13].

### *Yapışma mekanizmaları/teorileri*

Yapışma; yapışan yüzeylerin arayüzündeki atomlararası ve moleküllerarası etkileşimdir [18]. Yapışma mekanizmaları, malzemelerin yüzey özelliklerine bağlıdır. Yapışma mekanizmalarının anlaşılması, daha hafif iş parçalarının, daha az deformasyonun ve diğer avantajlarla daha az üretim sürecinin gerçekleşmesine yardımcı olacaktır [2]. Yapıştırıcı bağlantıları etkileyen temel faktör polimer yapıştırıcılarla esas malzemeler arasındaki arayüzlerdir [19]-[22].

Yapıştırıcı bağlantılar hakkında yapılan araştırmaların çoğu polimer malzemelerin birleştirilmesi hakkındadır. Ve yapışma mekanizmalarının esası hala iyi bilinmemektedir ve tüm yapışma fenomenlerini veya mekanizmalarını ayrıntılı olarak açıklayacak tek bir genel metodoloji veya teori yoktur [2], [22], [24]. Yapıştırıcılar farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve her bir malzemede kompleks bağ teorilerini ihtiva etmektedir. Bağlanma süreçlerini ve mekanizmalarını açıklayacak altı temel sistem veya teori vardır. Bu teoriler, "mekanik kenetlenme teorisi, elektronik veya elektrostatik teori, zayıf sınır tabakası teorisi, absorpsiyon teorisi, difüzyon veya inter-difüzyon teorisi ve kimyasal bağ teorisi" olarak sıralanabilir [24]-[27].





*Şekil 2 Yapıştırıcı bağlantılarda muhtemel hata modları [28]*

Yapışma hatası modunda, yapıştırıcı ile yapışan malzeme arasındaki arayüzde hata meydana gelir ve yapışma tam gerçekleşmez. Bu tür bir hata, yapıştırıcı ile ana malzeme arasındaki kötü yüzey kalitesinden ve kimyasal bağlarda sulanmadan kaynaklanır. Hatalı yüzey hazırlama yönteminin kullanılması, kirletici maddelerin yüzeyden temizlenememesi veya uygun olmayan kütleme döngüsü (malzemeye yapışmaya ve bağ oluşturmaya fırsat olmadan yapıştırıcının hızlı kürlenmesi) yapışma başarısızlığının temel nedenleri olabilir. Ayrıca, herhangi bir yapışma (ara yüzey) hatası, uygun olmayan yapıştırma işlemi, yükleme koşulları (sıyırılma gerilimi, yorgunluk veya yapışkanın sünmesi) bu tür hatalara sebep olabilmektedir [9].

İnce veya zayıf malzemeler güçlü yapıştırıcı bağlar ile birleştirildiğinde, hasar ana malzemede meydana gelebilir [28]. Bu hata modunda, bağlantıların performansı tam olarak sağlanmış olur. Bu sadece, yapıştırıcının yük kapasitesinin ana malzemenin mukavemetinden çok yüksek olması durumunda düşünülebilir.

Kohezyon hatası modunda yapıştırıcı, ana malzemeye yapışan kısımların her iki tarafında da mevcut olabilir. Bu tür bir hata, kesme ve soyulma ile bunların gerilmelerinin bir kombinasyonundan kaynaklanabilir [9]. Kohezyon hatalarına, yapışkan bağlantı tasarımındaki bazı hatalar (aşırı sıyırılma gerilimi, yetersiz örtüşme alanı) ile zayıf yapıştırıcı ve yapıştırıcı eksikliği de sebep olabilir.

## **VI. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Yapışma, yapışan malzeme yüzeylerinin arayüzündeki atomlar ve moleküller arası etkileşimle ilgilidir [18]. Yapışma mekanizması çok karmaşık konulardır [3]-[8], bunlar hala net bir şekilde açıklanamamaktadır ve tüm yapışma mekanizmalarını ayrıntılı olarak tanımlayacak tek bir metodoloji veya teori yoktur [23], [24].

Yapıştırılan malzemelere, yapıştırıcılara ve yapıştırma prosedürlerine ilişkin uygulamalar için yapışma mekanizmalarının bilinmesi gerekir. Örneğin, balistik ve patlama yükleri gibi çok yüksek ve darbeli yükler için yapıştırıcı uygulama prosedürleri oldukça karmaşıktır ve hassas süreçlerden oluşur. Bu



uygulamalarda işlem sayısının azaltılması, daha az zaman kaybı ve daha düşük üretim maliyeti için yeni araştırmalara ihtiyaç vardır.

Literatürde bahsedildiği üzere, yapıştırıcı bağlanma mekanizmalarını açıklayan altı temel sistem veya teori olduğu belirtilmektedir [23]. Mekanik kenetlenme modeli veya teorisi en yaygın olarak kabul edilen teoridir ve mekanik bağlanma için malzeme üzerindeki yüzey pürüzlerinin yapıştırmanın temeli olduğu iddia edilmektedir. Mekanik kenetlenme modelini etkileyen faktörler; uygun viskoziteye ve yüksek arayüz mukavemetine sahip yapıştırıcılarla yeterli ıslatma ve nüfuziyet, yüzey pürüzlülüğü, düzensizliklerdir. İyi bir yapıştırma işlemi için bu özellikler dikkatle uygulanmalıdır.

Amaca uygun yüzey hazırlığı ve prosedürler, yapıştırıcı bağlar için çok önemli rol oynamaktadır. İyi bir kenetlenme bağı, kolaylıkla uygulanan taşlama ve zımparalama işlemleriyle elde edilen yüzey pürüzlülüğü sayesinde sağlanabilmektedir. Bu doğrultuda, zaman kaybını ve genel üretim maliyetini azaltmak için, araştırmacılar mekanik kenetlenmeye dayalı yapıştırıcı bağlantılara yönelik çalışmalara odaklanabilirler.

Yapıştırıcıların hata modunun sınıflandırılması, yapışma bağlantılarının bozulmasının nedenini anlamak için önemlidir. Yapışma (ara yüzey) hatası, kohezyon hatası ve ana malzemede hasar olmak üzere üç temel yapışma hata modu bulunmaktadır. Yapıştırıcı bağlantılar için seçilen uygulama prosedürleri, ara yüzey hatalarına neden olmamalıdır. Kohezyon hatası; uygun olmayan yapıştırma prosedürü ve kötü bir uygulamanın göstergesidir. Yapıştırıcı bağların güçlendirilmesi için güçlü ve yapıştırılacak malzemeler için uyumlu yapıştırıcıların seçilmesi, sağlam uygulamalar için önemlidir.

## **7. KAYNAKLAR**

- [1] A., Baldan, “Adhesion phenomena in bonded joints,” *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 38, pp. 95–116, 2012.
- [2] A. Gursel, “Fundamentals in Adhesive Bonding Design for Complex Structures and Conditions,” *Journal of Advanced Technology Sciences*, vol. 8, no.1, pp. 1-10, 2019.
- [3] F. Awaja, Gilbert M, Kelly G, Fox B, Pigram PJ., *Prog Polym Sci*, vol. 34, pp. 948–68, 2009.
- [4] R.Y. Qin Schreiber, H.P., *Colloids Surf.*, vol. 156, pp. 85–93, 1999.
- [5] J. L. Been, N. M. Bikales, J. J. Bickerman, R.F. Blomquist, E. Moks, G. P. Kovach, *Adhesion and Bonding*, 1st ed. John Wiley and Sons Inc., 1971.
- [6] M. C. Van Leeden, G. Frens, “Surface Properties of Plastic Materials in Relation to Their Adhering Performance,” *Advanced Engineering Materials*, vol. 4, no.5, pp. 280–289, 2002.
- [7] H. R. Brown, “Polymer adhesion,” *Materials Forum*, vol. 24, pp. 49–58, 2000.
- [8] W. C. Wake, “Adhesion and the Formulation of Adhesives,” 2nd ed. Essex: Applied Science Publishers Ltd., New York, 1982.
- [9] A. Gursel, A. A. Mohamad, M. F. M. Nazeri “Adhesion mechanism and failure modes in adhesively bonded joints,” 4. International Conference on Material Science and Technology (IMSTEC’19) Proceedings, pp. 106-114, Kızılcahamam, 2019.

- [10] S. Yildiz, Y. Andreopoulos, F. Delale, "Mode I characterization of toughened epoxy adhesive joints under shock-wave loading," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 90 pp. 71–87, 2019.
- [11] K. Gollins, J. Chui, A. Gursel, F. Delale, B.M. Liaw, "Comparison of Manufacturing Techniques Subject to High Speed Impact," *ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2014-39677*, Montreal-Canada, 2014.
- [12] A. Gursel, H.M. Cekirge, "Adhesive Joints Subjected to Impact Loading: A Review," *International Journal of Materials Engineering*, vol. 9, no.1, pp. 16-21, 2019.
- [13] S. Ebnesajjad, C. Ebnesajjad, "Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding Elsevier Inc.," pp. 3-24, 2014.
- [14] Lucas F. M. da Silva, Andreas Öchsner, Robert D. Adams - *Handbook of Adhesion Technology*, Springer International Publishing, pp. 133-144, 2018.
- [15] Wu S. *Polymer interface and adhesion*. 1st ed. New York: Marcel Dekker Inc., 1982.
- [16] Fox HW, Zissman WA., "The spreading of liquids on low energy surfaces," I. polytetrafluoroethylene, *Journal of Colloid Science*, vol. 5, no. 6, pp. 514-531, 1950.
- [17] L.H. Lee, "Fundamentals of adhesion," New York: Plenum Press, 1991.
- [18] B. Pukanszky, E. Fekete, "Adhesion and Surface Modification," *Mineral Fillers in Thermoplastics: Adhesive in Polymer Science*, vol. 139, pp. 109–153, 1999.
- [19] J. C. Roberts, "The Chemistry of Paper 1st ed. Cambridge," UK: The Royal Society of Chemistry, 1996.
- [20] N. Amouroux, L. Leger, "Modulation of Adhesion at Acrylic Adhesive-Silicone Elastomer Interfaces," *The Journal of Adhesion*, vol. 82, no. 9, pp. 919-932, 2006.
- [21] C. T. Lo, F. C. Laabs, B. Narasimhan, "Interfacial adhesion mechanisms in incompatible semicrystalline polymer systems," *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, vol. 42, no.14, pp. 2667–2679, 2004.
- [22] J. Raghavan, R. P. Wool, "Interfaces in repair, recycling, joining and manufacturing of polymers and polymer composites," *Journal of Applied Polymer Science*, vol.71, no.5, pp. 775–785, 1999.
- [23] J. P. Oliver, C. Huh, S. G. Mason, "An experimental study of some effects of solid surface roughness on wetting," *Colloids Surface*, vol.1, no.1, pp. 79-104, 1980.
- [24] S. Yang, L. Gu, R. F. Gibson, "Nondestructive detection of weak joints in adhesively bonded composite structures," *Compos Structures*, vol. 51, no.1, pp. 63–71, 2001.

- [25] A. Buchman, H. Dodiuk-Kenig, "Laser surface treatment to improve adhesion," In: Mittal KL, Pizzi A, editors Adhesion promotion techniques: technological applications, pp. 205-243. New York: Marcel Dekker, Inc. 2002.
- [26] E. Maeva, I. Severina, S. Bondarenko, G. Chapman, B. O'Neill, F. Severin, R.G. Maev, "Acoustical methods for investigations of adhesively bonded structures: a review," Canadian Journal of Physics, vol. 82, pp. 891-1025, 2004.
- [27] G. Fourche, "An overview of the basic aspects of polymer adhesion, " Part I: Fundamentals. Polymer Engineering and Science, vol. 35, pp. 957-967, 1995.
- [28] L. J. Hart-Smith, "Effects of flaws and porosity on strength of adhesive-bonded joints, " Douglas Aircraft Company Report MDC J4699, 1981.