



e-ISSN: 2149-3367

e-ISSN: 2149-3367

CİLT / VOLUME: XX

SAYI / NUMBER: 5

EKİM / OCTOBER 2020

## FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Ahmet Necdet Sezer Kampüsü  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
AFYONKARAHİSAR  
Tel: 444 03 03 / 10702  
Belgegeçer: 0 272 228 13 10  
E-posta: fmbd@aku.edu.tr

# Afyon Kocatepe Üniversitesi FEN ve MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

Afyon Kocatepe University  
Journal of Science and  
Engineering



<http://fmbd.aku.edu.tr>

<http://fmbd.aku.edu.tr>

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN VE MÜHENDİSLİK  
BİLİMLERİ  
DERGİSİ**

*Afyon Kocatepe University  
Journal of Science and Engineering*

Cilt / Volume 20  
Sayı / Number 5

e – ISSN: 2149-3367

EKİM 2020

OCTOBER 2020



## **Derginin Amacı ve İçeriği**

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (AK FEMÜBİD), fen ve mühendislik bilimleri alanlarındaki güncel gelişmeleri takip etmek, meslek kuruluşları ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda nitelikli bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, zgn bilimsel araştırmalar ile uygulama çalışmalarına yer veren bir dergidir. Dergide, fen ve mühendislik bilimlerinde yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri içeren bilimsel ve özgün araştırma makalesi türündeki çalışmalara yer verilir.

Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi; Afyon Kocatepe niversitesi tarafından 1999'dan bu yana yılda 2 sayı (Haziran ve Aralık) Türkçe veya İngilizce olarak hazırlanan çalışmaları yayınlanan, bilimsel ve hakemli bir dergidir.

Dergimizde makale değerlendirme sürecinin daha şeffaştırılması ve hızlandırılması için şubat 2013 itibarıyla online makale değerlendirme ve takip sistemi uygulamaya alınmıştır.

Ocak 2015 itibaren dergimiz; yayınlanma süreci ile yazarlara ve gerekse yapılan çalışmalara pratik ulaşma imknları nedeniyle okuyuculara birçok avantajlar sağlayan; elektronik dergi (e-ISSN: 2149-3367) olarak yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos ve Aralık) Türkçe ve İngilizce makaleleri kabul edecek ve çift taraflı kör hakemlik esasına göre en az iki hakemli olarak değerlendirilmektedir. Makale göndermek isteyen yazarlarımız, dergi sayfamızdan (<https://fenbildergi.aku.edu.tr/> yada <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid>) kayıt yaptırarak, özgün bilimsel makalelerini evrimii olarak gönderebilir ve süreci takip edebilirler. Özellikle lisansüstü tezlerden hazırlanan yayınlar veya bu tezlerin bir alt çalışması olarak yapılan özgün bilimsel çalışmalar teşvik edilmektedir.

Ocak 2020 yılından itibaren dergimiz; yılda 6 sayı (şubat, Nisan, Haziran, Ağustos, Ekim ve Aralık) olmak üzere özgün araştırma makalelerini kabul etmektedir.

Dergimizde yayımlanan makaleler izin alınmaksızın başka bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Makalelerin bir kısmı veya tamamı dergimiz kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

Dergimize hem hakem hem de yazar olarak katkılarınızı beklemekteyiz. Dergimize olan desteğiniz için şimdiden teşekkür eder, çalışmalarınızda başarılar dilerim.



**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ**  
*Afyon Kocatepe University*  
*Journal of Science and Engineering*

**EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF**

---

Tamer BAYBURA, Survey Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)  
*e-mail: tbaybura@aku.edu.tr*

**ALAN EDİTÖRLERİ / EDITORIAL BOARD**

---

Afife Binnaz HAZAR, Metallurgy and Materials Engineering, Yıldız Teknik University, (Turkey)

*e-mail: afife.hazar@gmail.com*

Ahmet YILDIZ, Geological Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

*e-mail: ayildiz@aku.edu.tr*

Atilla EVCİN, Material Science and Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

*e-mail: evcin@aku.edu.tr*

Bojan Zlender, Civil Engineering, University of Maribor, (Slovenia)

*e-mail: bojan.zlender@um.si*

Cevat İNAL, Survey Engineering, Konya Teknik University, (Turkey)

*e-mail: cinal@ktun.edu.tr*

Fatih Onur HOCAOĞLU, Electrical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

*e-mail: fohocaoglu@gmail.com*

Hüseyin Ali YALIM, Physics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

*e-mail: hayalim@aku.edu.tr*

Hüseyin BAYRAKÇEKEN, Automotive Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

*e-mail: bceken@aku.edu.tr*

İbrahim EROL, Chemistry, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

*e-mail: ierol@aku.edu.tr*

İsmail Sedat BÜYÜKSAGIŞ, Mining Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

*e-mail: sbsagis@aku.edu.tr*

İsmail ZORLUER, Civil Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

*e-mail: izarluer@aku.edu.tr*

Meltem DİLEK, Chemical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

*e-mail: mdilek@aku.edu.tr*

Muhittin BAŞER, Mathematics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)  
*e-mail: mbaser@aku.edu.tr*

Mustafa YILDIZ, Molecular Biology and Genetics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)  
*e-mail: mustafa\_yildizus@yahoo.com*

Mustaque Hossain, Civil Engineering, Kansas State University, (USA)  
*e-mail: mustak@k-state.edu*

Ramazan ŞEVİK, Food Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)  
*e-mail: ramazansevik03@yahoo.com*

Regita Bendikiene, Department of Production Technologies, Kaunas University of Technology,  
(Lithuania)  
*e-mail: regita.bendikiene@ktu.lt*

Sinan SARAÇLI, Statistics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)  
*e-mail: ssaracli@aku.edu.tr*

Şükrü TALAŞ, Metallurgy and Materials Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)  
*e-mail: stalas@aku.edu.tr*

Uçman ERGÜN, Biomedical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)  
*e-mail: uergun@aku.edu.tr*

Yüksel OĞUZ, Electrical Electronics Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)  
*e-mail: yukseloguz@aku.edu.tr*

**ADRES/ADDRESS:**

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Ahmet Necdet Sezer Kampusu, 03200, AFYONKARAHİSAR  
Telefon: 0 272 218 1460 - 1465/1467  
Belgegeçer: 0 272 228 13 10  
e-posta: fmbd@aku.edu.tr

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

### FEN BİLİMLERİ / SCIENCE

#### BİYOLOJİ / BIOLOGY (10)

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>İnceburun (Kaş) ve Çayağzı (Demre) (Antalya-Türkiye) Arasındaki Bölge Florasına Katkıları<br>A Contribution to the Flora of the Region Between İnceburun (Kaş) and Çayağzı (Demre) (Antalya-Turkey)<br>Özal GÜNER, Özlem ÇETİN | <b>051001 (768-782)</b> |
|--|-------------------------|

#### FİZİK / PHYSICS (11)

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Cu <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> S İnce Filmlerin Hazırlanması ve Fiziksel Karakterizasyonu: Güneş Pillerinde Tampon Tabaka Olarak Kullanılabilirliklerinin Araştırılması<br>Preparation and Physical Characterization of Cu <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> S Thin Films: Investigation of Their Usability as Buffer Layer in Solar Cells<br>Özge ERKEN | <b>051101 (783-793)</b> |
|--|-------------------------|

#### KİMYA / CHEMISTRY (12)

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Reaktif Red 180 Boyar Maddesi İçeren Sulu Çözeltilerin Fotokatalitik ve Foto-Fenton Prosesleriyle Renk ve KOİ Gideriminin Karşılaştırmalı İncelenmesi<br>Comparative Analysis of Color and COD Removal with Photocatalytic and Photo-Fenton Processes of Aqueous Solutions Containing Reactive Red 180 Dyes<br>İbrahim DEMİR, Yasin AYTEPE | <b>051201 (794-801)</b> |
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Poli (Vinil klorür)/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Manyetik Nanopartikül Kompozitlerinin Sentezi, Termal ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi<br>Synthesis, Investigation of Thermal and Electrical Properties Poly(Vinyl chloride)/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Magnetic Nanoparticle Composites<br>Mustafa Ersin PEKDEMİR         | <b>051202 (802-809)</b> |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Amalgam Uzaylarındaki Bazı Çarpanlar ve Rölatif Tamlanış Üzerine<br>On Some Multipliers and the Relative Completion in Amalgam Spaces<br>Cihan ÜNAL  | <b>051301 (810-814)</b> |
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Near Soft Bağlantılılık<br>Near Soft Connectedness<br>Hatice TAŞBOZAN  | <b>051302 (815-818)</b> |
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Verilen Bir Eğri Boyunca Gauss Eğriliği Sabit Olan Yüzeyler<br>Surfaces With Constant Gaussian Curvature Along a Given Curve<br>Ergin BAYRAM   | <b>051303 (819-823)</b> |
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Tarım Sigortası Gerekliliğinin Oyun Teorisi Yardımıyla Gösterilmesi: Matris Norm Yaklaşımı<br>The Demonstration of the Necessity of Agriculture Insurance by the Game Theory: Matrix Norm Approach<br>Burhaneddin İZGİ, Murat ÖZKAYA | <b>051304 (824-831)</b> |

## **MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ / ENGINEERING**

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Hedef Tespiti için Yere Nüfuz Eden Radar Verisinde Ön İşleme Algoritmalarının Karşılaştırılması<br>The Comparison of Pre-processing Algorithms in Ground Penetrating Radar Data for Target Detection<br>Selda GÜNEY, Deniz ÇOLAK | <b>055201 (832-843)</b> |
|--|-------------------------|

*HARİTA, MİMARLIK & ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA / MAP, ARCHITECTURE & CITY AND REGIONAL PLANNING (55)*

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Antarktika Kıtasında Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning-PPP) Tekniğinin Performansının İncelenmesi<br>Performance Analysis of Precise Point Positioning (PPP) Technique in Antarctica Continent<br>Serdar EROL, Bilal MUTLU, Bihter EROL, Serkan KATIGÖZ, Reha Metin ALKAN                              | <b>055501 (844-856)</b> |
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Arazi Toplulaştırma Projelerinde Mülakat ve Blok Öncelik Esaslı Dağıtım Modellerinin Karşılaştırılması: Aydın İli Örneği<br>Comparison of Interview and Block Priority Based Reallocation Models in Land Consolidation Projects: The Case of Aydın Province<br>Fatih İŞCAN, Ayşenur ÇİYLEZ, Dilşah ERKEK, Sultan ÇİNAR | <b>055502 (857-872)</b> |

*İNŞAAT & ULAŞTIRMA / CIVIL ENGINEERING & TRANSPORTATION (56)*

|   |                         |
|---|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Havaalanı Kaplamalarını Asfalt ve Beton ile Yeniden Kaplamanın Karşılaştırmalı Dizayn ve Ekonomik Analizi<br>Comparative Design and Economic Analysis of Asphalt and Concrete Overlays for Airfield Pavements<br>Orhan KAYA | <b>055601 (873-882)</b> |
|---|-------------------------|

*KİMYA & METALURJİ VE MALZEME / CHEMISTRY & METALLURGY AND MATERIALS (57)*

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Kalsiyum Karbonatın Polimorfik Faz Dönüşümünün Prolin Varlığında İncelenmesi<br>An Investigation of Polymorphism of Calcium Carbonate in the Presence of Proline<br>Sevgi POLAT, Bahar DEMİRAY, Berfin TEKİN, Merve KARDAŞ | <b>055701 (883-891)</b> |
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Atık Mermer Tozu Katalizörlüğünde Haşhaş Yağından Biyodizel Eldesi<br>Production of Biodiesel from Poppy Oil by Using Waste Marble Dust as Catalyst<br>Oğuzhan ALAGÖZ, Nur Seda ŞAHİN                                      | <b>055702 (892-899)</b> |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Mevlana Kubbe-i Hadra (Konya) Dış Duvarının 1912 ve 1965 Yıllarındaki Onarımlarında Kullanılan Çinilerin Karakterizasyonu<br>Characterization of Mevlana Green Dome (Konya) Outer Wall Tiles Used in Repairs in 1912 and 1965<br>Çetin ÖZTÜRK | <b>055703 (900-907)</b> |
|---|-------------------------|

*MADEN & JEOLJİ / MINES, & GEOLOGICAL (58)*

|   |                         |
|---|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Bir Bor Sahasının Rezervinin Belirlenmesine Damar Yüzeylerinin Farklı Tekniklerle Modellenmesinin Etkisi<br>The Effect of Modelling Vein Surfaces with Different Techniques on the Determination of Reserve of a Boron Field<br>Ali ATAŞ, İrfan Celal ENGİN | <b>055801 (908-916)</b> |
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Granitik Buzul Çakıllarında Zirkon Tipolojisi Çalışması: Toridler'den Örnek Bir Çalışma (Türkiye)<br>Zircon Typology Study on the Granitic Glacial Pebbles: A Case Study from the Taurides (Turkey)<br>Serhat KÖKSAL  | <b>055802 (917-930)</b> |

*MAKİNE , İMALAT & OTOMOTİV / MACHINERY, MANUFACTURING & AUTOMOTIVE (59)*

|   |                         |
|---|-------------------------|
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Boyuna Uzatılmış Yüzeylerde Dikdörtgensel Oyukların Isı Atımına Etkisi: Bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi<br>Impacts of Rectangular Perforations in Longitudinal Extended Surfaces on Heat Dissipation: A Computational Fluid Dynamics Analysis<br>Erdem CÜCE | <b>055901 (931-940)</b> |
| <b>Araştırma Makalesi / Research Article</b><br>Kaplama Yapılmış Enjektör Gövde Millerinin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması<br>Investigation of Physical Properties of Injector Body Shafts with Plated<br>Hüseyin BAYRAKÇEKEN, Recai KUŞ, Seyit AYTEKİN   | <b>055902 (941-950)</b> |

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| <p><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <p>Karayolu Projelerinin Tasarımındaki Harita Üretim Tekniklerinin Kalite Fonksiyon Yayılımı Sistematiğinde Araştırılması</p> <p>Studying of Mapping Techniques in Design of Highway Projects with Quality Function Deployment Systematic</p> <p>Aytuğ Görkem KALAK, Hikmet ERBIYIK, Eray CAN</p> | <p><b>057101 (951-962)</b></p> |
|---|--------------------------------|

## Araştırma Makalesi / Research Article

**A Contribution to the Flora of the Region Between İnceburun (Kaş) and Çayağzı (Demre) (Antalya-Turkey)**Özal GÜNER<sup>1</sup>, Özlem ÇETİN<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Gazi University, Faculty of Science, Department of Biology, Ankara, Turkey.<sup>2</sup>Selçuk University, Science Faculty, Biotechnology, Konya, Turkey.

\* Corresponding author e-mail: [ozlemcetin8419@gmail.com](mailto:ozlemcetin8419@gmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2886-3409>  
[ozalgnr57@hotmail.com](mailto:ozalgnr57@hotmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5998-8530>

Geliş Tarihi: 06.03.2020

Kabul Tarihi: 04.10.2020

**Abstract**

This study includes the flora of İnceburun (Kaş) and Çayağzı (Demre) regions, which comprises one of the important tourism centers in Turkey. Twelve field trips were made to study area at different times of the year 2018-2019. The collected plant species were pressed and dried according to herbarium procedures and stored after plant identification. In this area, a total of 414 plant taxa and 266 genera, belonging to 66 families, were determined. The number of endemic and rare taxa found in the research area is 28. The family represented by the highest number of taxa was Fabaceae (49 taxa), followed by Asteraceae (48 taxa), Lamiaceae (32 taxa), Poaceae (23 taxa), Apiaceae (18 taxa), Caryophyllaceae (15 taxa), Brassicaceae (14 taxa), Orchidaceae (14 taxa), Boraginaceae (12 taxa), and Plantaginaceae (12 taxa). According to National Red Lists based on criteria and categories of the IUCN, one taxon is critically endangered (CR), two taxa are endangered (EN), eleven taxa are vulnerable (VU), seven taxa are conservation dependent (CD), three taxa are near threatened (NT), four taxa are least concern (LC), of these, *Ophrys argolica* H.Fleischm. is assessed as VU at a global level. Fifteen taxa are included under CITES Appendix II and two species are also protected under Appendix I of the Bern Convention. Maquis, phrygana, forest, rocky, halophytic, and sand dune are the main vegetation types in the area.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

**İnceburun (Kaş) ve Çayağzı (Demre) (Antalya-Türkiye) Arasındaki Bölge Florasına Katkıları****Öz**

Bu çalışma, Türkiye'nin önemli turizm merkezlerinden birisi olan İnceburun (Kaş) ve Çayağzı (Demre) arasındaki bölgenin florasını içermektedir. Çalışma alanına 2018-2019 yıllarında oniki arazi çalışması yapılmıştır. Toplanan bitki örnekleri standart herbarium prosedürlerine göre preslenip kurutulduktan sonra bitki teşhisleri yapılarak saklanmıştır. Bu alanda 66 familyaya ait toplam 414 takson ve 266 cins tespit edilmiştir. Endemik ve nadir bitki taksonlarının sayısı 28'dir. En fazla taksonla temsil edilen familyalar sırası ile; Fabaceae (49 takson), Asteraceae (48 takson), Lamiaceae (32 takson), Poaceae (23 takson), Apiaceae (18 takson), Caryophyllaceae (15 takson), Brassicaceae (14 takson), Orchidaceae (14 takson), Boraginaceae (12 takson) ve Plantaginaceae (12 takson)'dir. IUCN kriterlerine ve kategorilerine dayalı Ulusal Kırmızı Listeye göre, bir tür kritik kategoride, iki taksondan tehlikede kategorisinde (EN), onbir takson duyarlı kategorisinde (VU), yedi takson korumaya tabi kategorisinde (CD), dört takson ise düşük riskli kategorisinde (LC), üç takson tehlikeye yakın kategorisinde (NT) yer almaktadır. *Ophrys argolica* H.Fleischm türü küresel seviyede VU kategorisinde değerlendirilmektedir. CITES listesinde yer alan 15 takson ve Bern sözleşmesinde yer alan 2 takson çalışma alanı içerisinde yayılışa sahiptir. Çalışma alanındaki vejetasyon tipleri maki, frigana, orman, kaya, halofitik ve kumuldur.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Keywords**

Antalya; Endemizm;  
Floristik Study;  
Mediterranean Region

**Anahtar kelimeler**

Antalya; Endemizm;  
Floristik Çalışma;  
Akdeniz Bölgesi



## 1. Introduction

In terms of plant biodiversity, Antalya is one of Turkey's richest provinces. The presence of sudden altitude changes within short distances, climatic variations from coastal to inland areas, as well as variable topography contribute to its rich diversity of species (Deniz *et al.* 2015). Several floristic studies have been conducted in various part of Antalya. These studies ensure that the list of plant taxa distributed in Antalya and the endemism ratio are continuously updated. Flora of the Phaselis region have been published in a series of papers by Göktürk (2015, 2016, 2017), titled the *Flora of the Ancient City of Phaselis I, II and III*. The last study listed 631 taxa belonging to 360 genera and 84 families from this province. A floristic study was carried out in the Kıbrıs River wildlife development area by Fener and Aykurt (2019), which listed 538 taxa belonging to 276 genera and 73 families. The Kaş-Kekova Specially Environmental Protected Area (SEPA) Determination of Biodiversity Project was carried out in 2010, and 272 species were identified by project team (IntKyn. 1).

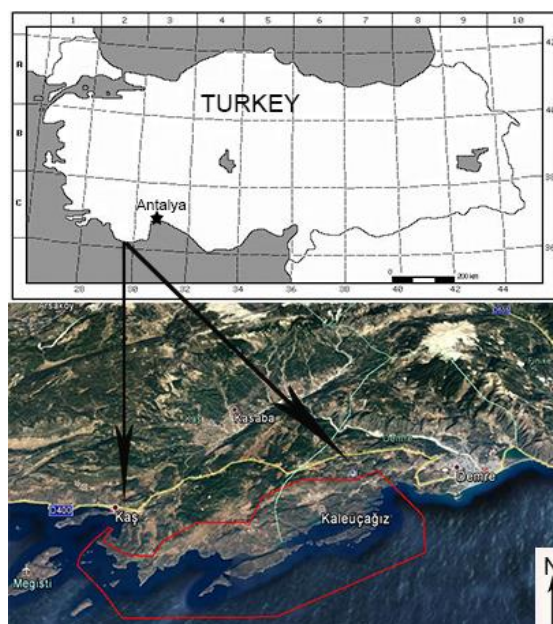
The aim of the present study was to contribute to the flora of the area between İnceburun and Çayağzı. The study area is found in the C2 square according to the grid square system of Davis (1965-1985) and is located within the Mediterranean phytogeographical zone. We consider that floristic studies are still necessary for the development of conservation strategies and the management of the unique Mediterranean maquis in Antalya.

## 2. Material and Method

### 2.1 Study area

In this study, the flora of the area between İnceburun and Çayağzı was examined (Figure 1). The study area comprises Çayağzı region (Demre) and Kaş-Kekova SEPA, and is located in the province of Antalya and the western Mediterranean coast of Turkey. Kekova Island and the surrounding coast were declared a Specially Protected Area in 1990 to protect the biological diversity and cultural richness. As a result of some projects carried out between 2002 and 2006, and with the decision of the Council of Ministers, the

boundaries of Kekova Specially Protected Area have been extended to include the coastline and the islands in the west, up to İnceburunin Kaş. The protected area has been renamed as the Kaş-Kekova Specially Environmental Protected Area (Official Gazette dated 2006). The SEPA covers a total area of 258.3 km<sup>2</sup> and it is composed of 166 km<sup>2</sup> of marine area and 92 km<sup>2</sup> of terrestrial area, with 107km coastline (Akça *et al.* 2012). SEPA consists of three villages, Kapaklı, Çevreli and Üçağzı, and it also includes some parts of Bayındır, Belenli, Boğazcık, and Sahilkılınçlı. Kale-Üçağzı, Çevreli, and Kapaklı villages administratively fall within the Demre District to the east of the SEPA.

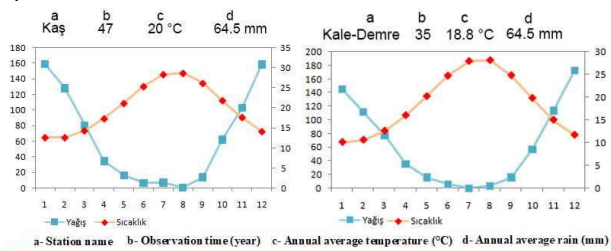


**Figure 1.** Map of study area (Between İnceburun and Çayağzı, Antalya -Turkey)

### 2.2 Climate

Meteorological data were obtained from Kaş and Kale-Demre Meteorological stations (DMİ 2015). According to Kaş Meteorological stations data, the annual average rainfall is 64,5 mm, the most rainy month is January (43,9 mm) and the average temperature is 20 °C, January is the coldest month, with temperatures averaging 12.6 °C, August is the hottest month, with temperatures averaging 28.6 °C in Kaş. According to Kale-Demre Meteorological stations data, the annual average rainfall is 64.5 mm, the most rainy month is December and the average temperature is 18.8 °C, January is the coldest month, with temperatures averaging 10.1

°C, August is the hottest month, with temperatures averaging 28.1 °C in Demre (Figure 2).



**Figure 2.** Thebioclimaticdiagram of Kaş and the Kale-Demre

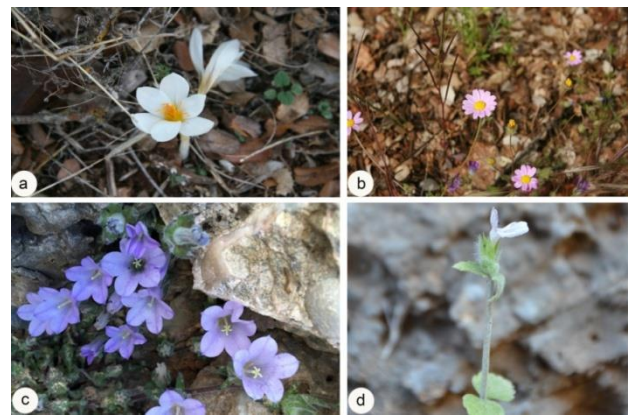
### 2.3 Field survey

Twelve field trips were made to study area at different times of the year 2018-2019. The collected plant species were pressed and dried according to herbarium procedures and stored after plant identification. The Flora of Turkey and East Aegean Islands (Davis 1965-1985, Davis *et al.* 1988, Güner *et al.* 2000), Flora of Cyprus (Meikle 1977, 1985) and Flora of Europea (Tutin *et al.* 1964–1980) were used for the plant identification. The author citations for species name follow Brummitt and Powell (1992) and as updated database of the International Plant Names Index (IPNI). The names of taxa are arranged according to the Turkey Plant List (VascularPlants). Family, genus and taxa names are given in an alphabetical order on the floristic list.

## 3. Results and Discussion

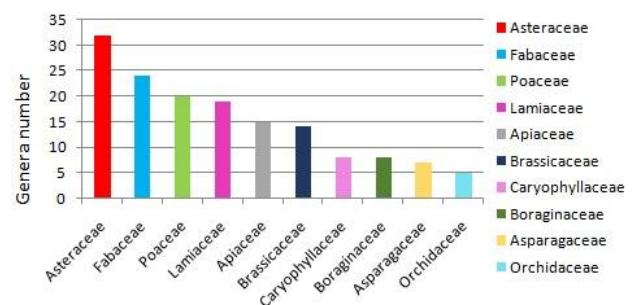
### 3.1 Floristic Results

During this project, 369 plant taxa belonging to 245 genera and 66 families were collected, observed, and photographed in the study area. The literature survey revealed that 272 taxa were previously recorded from the Kaş-Kekova SEPA (IntKyn. 1). According to our field studies, examination of herbarium (GAZI) and screening of literature (only based on previous studies and were not examined by us), the total number reached 414 plant taxa belonging to 266 genera and 66 families. The number of endemic and rare plants found in the research area is 28 (Figure 3). Additions to the flora of the area, either from new records generated in the field study, or from recent literature, are reported in Appendix 1.



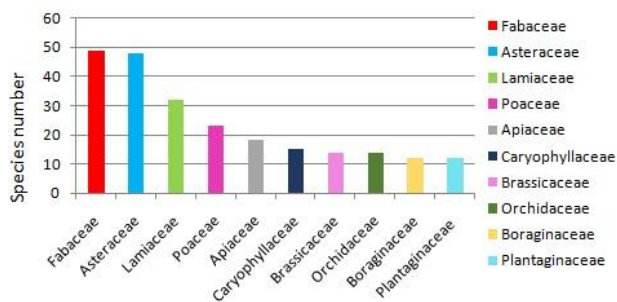
**Figure 3.** Endemic plants distributed in study area. a- *Crocus cancellatus* subsp. *lycius*, b- *Anthemis rosea* subsp. *carnea*, c- *Campanula aktascii*, d- *Stachys bombycine*

The richest families in terms of plant genus were identified as Asteraceae (12.26%; 32 genera) and Fabaceae (9.19%; 24 genera), Poaceae (7.66%; 20 genera), Lamiaceae (7.27%; 19 genera), Apiaceae (5.74%; 15 genera), Brassicaceae (5.36%; 14 genera), Caryophyllaceae (3.06%; 8 genera), Boraginaceae (3.06%; 8 genera), Asparagaceae (2.63%; 7 genera), Orchidaceae (1.91%; 5 genera) respectively (Figure 4).



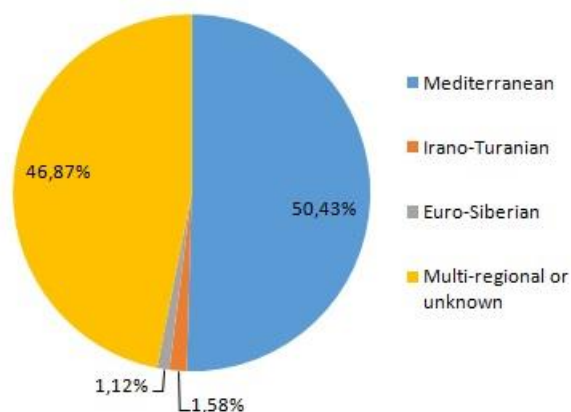
**Figure 4.** The largest 10 families based on the genus number in the study area

The family represented by the highest number of taxa was Fabaceae (49 taxa), followed by Asteraceae (48 taxa), Lamiaceae (32 taxa), Poaceae (23 taxa), Apiaceae (18 taxa), Caryophyllaceae (15 taxa), Brassicaceae (14 taxa), Orchidaceae (14 taxa), Boraginaceae (12 taxa), and Plantaginaceae (12 taxa) (Figure 5).



**Figure 5.** The largest 10 families based on the species number in the study area

In the chorological spectrum the Mediterranean elements predominates, which highlighting the geographical position and climatic characteristics of the study area. Mediterranean elements regarded as first with 50.43%, followed by Irano-Turanian elements (1.58%) and Euro-Siberian elements (1.12%). 46.87% of the taxa are multi-regional, or of unknown phytogeographic region (Figure 6).

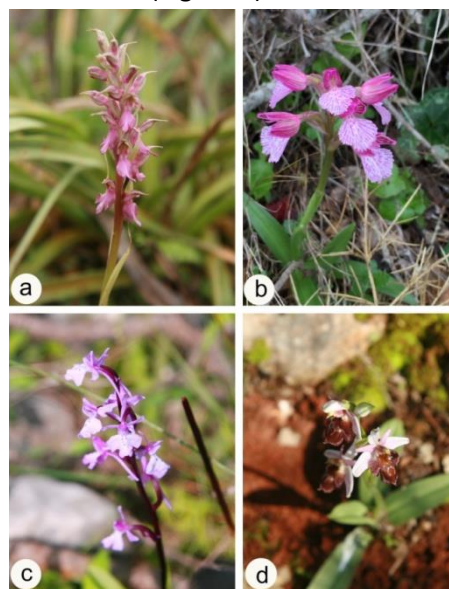


**Figure 6.** Phytogeographic distribution of taxa in studied area

### 3.2 Conservation status

Taxa collected in the field works have been evaluated with conservation and risk status. According to National Red Lists based on criteria and categories of the IUCN (Int Kyn. 2), one taxon is Critically endangered (*Campanula aktascii*), two taxa are endangered (*Campanula lycica*, *Ophrys lycia*), eleven taxa are vulnerable (*Aristolochia guichardii*, *Arenaria luschanii*, *Arenaria pamphylica*, *Silene delicatula*, *Erica bocquetii*, *Teucrium montbretii* Benth. subsp. *pamphylicum*, *Galium pseudocapitatum*, *Limonium effusum*, *Narcissus serotinus*, *Biarum pyrami*, *Barlia robertiana*), seven taxa are conservation dependent (*Anthemis rosea*

subsp. *carnea*, *Alkanna macrosiphon*, *Medicago carica*, *Quercus aucheri*, *Ballota glandulosissima*, *Sideritis albiflora*, *Allium sandrasicum*), four taxa are of least concern (*Bufonia calyculata*, *Scutellaria brevibracteata* subsp. *brevibracteata*, *Rosularia globulariifolia*, *Galium brevifolium* subsp. *brevifolium*), three taxa are near threatened (*Ajuga bombycina*, *Stachys bombycina*, *Crocus cancellatus* subsp. *lycius*), of these, *Ophrys argolica* H.Fleischm. is assessed as VU at a global level. Furthermore, three taxa are included in the Appendix of the Bern Convention, and 16 taxa are included in Appendices II of CITES. More specifically, *Ophrys argolica* and *Ophrys lycia* Renz&Taubenheim are included in the BERN and CITES Convention. *Anacamptis pyramidalis* (L.) Rich., *Barlia robertiana* (Loisel.) Greuter, *Ophrys holoserica* (Burm.f.) Greuter, *Orchis anatolica* Boiss., *Orchis coriophora* L., *Orchis laxiflora* Lam., *Orchis mascula* (L.) L., *Orchis papilionacea* L., *Orchis quadripunctata* Cyr. ex Ten., *Orchis sancta* L., *Serapias bergonii* E.G.Camus, *Serapias orientalis* (Greuter) H.Baumann & Künkele, *Euphorbia dendroides* L., *Cyclamen graecum* Link. Are included in the CITES Convention (Figure 7).



**Figure 7.** Plants protected by CITES Appendix II in study area. a- *Orchis sancta*, b- *Orchis papilionacea*, c- *Orchis anatolica*, d- *Ophrys holoserica*

### 3.3 Vegetation of Study Area

Maquis, phrygana, forest, rocky, halophytic and sand dune are the main vegetation types in the study area (Figure 8). Maquis is a natural habitat



and composed primarily of leathery leaved and evergreen shrubs, semi-shrubs, and small trees (Aksoy 2006). Maquis elements have a deep root system, allowing them to occur even in areas with thin soil cover or stony-rock areas (Atalay and Efe 2010). Maquis species are widespread in the area, and its dominant species are *Quercus aucheri* Jaub. & Spach, *Olea europaea* L., *Arbutus andrachne* L., *Pistacia terebinthus* L., and *Phillyrea latifolia* L.



**Figure 8.** General view of study area a-Okçuöldüğü, b-Çevreli, c-Kale, d- Çayağzı

*Pinus brutia* Ten. is one of the important forest trees of the Mediterranean region, reaching its greatest distribution in southern Turkey (Gezer 1986). *Pinus brutia* forests spread on restricted areas in the southern slopes of Kapaklı, northern slopes of Kekova island, and between Kapaklı and Çevreli villages. In some parts of the study area, maquis and *P. brutia* forests are also found together.

Phrygana (garrigue) species are common in the areas where shrubs were destroyed. They have needles and deep roots, and they require less humidity to survive. Phrygana species have small, thick, and leathery leaves and can resist hot and dry climate (Atalay 1983, Efe and Greenwood 2007, İlseven 2017). *Sarcopoterium spinosum* (L.) Spach, *Genista acanthoclada* DC., and *Euphorbia acanthothamnus* Heldr. & Sart. ex Boiss. are frigana species that commonly occur in the study area. The northwestern regions of Çevreli village, eastern region of Kale village, region between Sahilkılıçlı and Çevreli, and coastal low-lands of Kekova and Akvaryum islands are the areas where phrygana is widely seen.

In several coastal localities, a number of shallow areas fill up with water during the winter, forming muddy, saline marshlands. As the brackish water evaporates in the summer, the salinity dramatically increases, and some marshlands may even dry up, leaving behind a pool rich in mud and salt. There is a saline area such as this one in the Alan region. *Salicornia perennans* Wild., *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M.Bieb. and *Halimione portulacoides* (L.) Aellen are seen in this area.

As a result of the geological formation of the region, the coasts in the study area are mainly characterized by rocky shores and cliffs that can sharply rise to slopes that eventually reach 550 m altitude (Demir 2011). Vegetated sea cliffs of the coast contain *Ptilostemon chamaepeuce* (L.) Less., *Inula heterolepis* Boiss., and *Crithmum maritimum* L. vegetated calcareous inland cliffs present great regional diversity, with many endemic plant species, such as *Teucrium montbretii* Benth. subsp. *pamphylicum* P.H.Davis, *Ballota glandulosissima* Hub-Mor. & Patzak, and *Erica bocquetii* (Peşmen) P.F.Stevens. *Ferula tingitana* L. is also found in this habitat.

The olive tree (*Olea europaea* L. subsp. *europaea*) is the most symbolic species in the Mediterranean Basin due to its ecological, economic, and cultural importance (Anestiadou *et al.* 2017). The culture of olives and olive oil is important for the whole Mediterranean Basin, and olive oil production has been undertaken for many years in the Mediterranean region of Turkey. Pomegranates, grapes, figs, almonds, and olives were discovered in a sunken ship speculated to belong to the Early Bronze Age period, found in Uluburun, in the vicinity of Kaş-Antalya (Efe *et al.* 2011). Also, the existence of candidate monumental olive trees in the region is evidence that olive has been cultivated for thousands of years in the study area. There are at least five candidate monumental olive trees in Ucağzı and Sahilkılıçlı villages.

The most beautiful forest of Boz pınal oak (*Quercus aucheri*), which is endemic to the Eastern Mediterranean, grows in the study area. *Quercus aucheri* was recorded for C1, C2 and C3 squares, which are in the southwest part of Turkey. In this area, the species has a scattered expansion due to

fragmentation of its area (Özel 2003). The *Mediterranean Oaks Networks Reports* pointed out that *Q. aucheri* trees have been degraded by local people in southwest Anatolia in different ways, such as cutting, overgrazing, acorn collecting, etc., suggesting that the distribution area should be protected. Conservation of *Q. aucheri* in the natural habitat is very important to protect genetic resources and biodiversity (Özel 2003).

The study area covers part of the distribution area of the *Ophrys lycia*, which is endemic to Kaş (Antalya) and is only known from its type locality. Orchidaceae is a large family consisting of over 1000 genera; most orchid genera contain one or more threatened or endangered species. Many terrestrial orchids are rare, with specialized habitat requirements, making them particularly susceptible to habitat fragmentation and modification. They have often been used as flagship species in conservation initiatives because of their uniqueness and rarity and, additionally, are often touted as important early warning bioindicators for ecosystem health given their sensitivity to environmental degradation (Wang *et al.* 2015). Like other endangered orchid species, *O. lycia* and its habitat are under threat. The species was previously classified as endangered (Ekim *et al.* 2000), then proposed to be critically endangered (CR) by Deniz (2013). In order to protect the population and ensure the survival of this species,

#### 4. References

Akça, N., Araç, N. and Oruç, A., 2012. Kaş-Kekova specially protected area marine management plan and its implementation—MedPAN South Pilot Project Turkey, WWF, İstanbul, 1-18.

Aksoy, N., 2006. Maki. In: Eken, G., Bozdoğan, M., İsfendiyaroğlu, S., Kılıç, D.T. and Lise, Y. (eds.), Türkiye'nin önemli doğa alanları-I, Doğa Derneği, 40–42.

Anestiadou, K., Nikoloudakis, N., Hagidimitriou, M. and Katsiotis, A., 2017. Monumental olive trees of Cyprus contributed to the establishment of the contemporary olive germplasm. *PlosOne*, **12(11)**, e0187697.

a conservation and research project, *Ophrys lycia* (Lycian Kaş Orchid) Conservation Project, was created by Deniz *et al.* (2016).

The Mediterranean flora of West Anatolia shows many affinities with that of the East Aegean islands and even with Greek mainland (Ekim and Güner 2000). *Ricotia carnosula* Boiss. &Heldr., *Veronica stamatiadae* M.A.Fisch. &Greuter, *Campanula podocarpa* Boiss., *Campanula hagielia* Boiss., *Phlomis lycia* D.Don, *Fritillaria elwesii* Boiss., and *Alkanna tubulosa* Boiss. are endemic to the Eastern Mediterranean, and they are distributed in the east Aegean Islands and western Anatolia.

According to information was obtained from local people, leaves and flowers of *Origanum onites* and leaves of *Salvia fruticosa* and *Laurus nobilis* are consumed as spices, teas and herbal drugs.

#### Acknowledgements:

This study was in partial of the Kaş-Kekova Special Environmental Protection Area Biological Diversity Research Project (2019) which was supported financially by ministry. We are grateful to Ministry of Environment and Urbanization, General Directorate for Protection of Natural Assets for granting this research project. We thanks to Prof. Dr. Varol Tok for project management and coordination. We also thank the Nevin Kurt Karakaya, Şöhret Kumcu, Rızvan Tunç, Emre Keskin, Lale Aktay and Turunç Peyzaj for help in field work and supports.

Atalay, İ. and Efe, R., 2010. Structural and distributional evaluation of forest ecosystems in Turkey. *Journal of Environmental Biology*, **31**: 61–70.

Atalay, İ., 1983. Türkiye vejetasyon coğrafyasına giriş. Ege University Press, 130.

Brummitt, R.K. and Powell, C.E., 1992. Authors of plant names. Royal Botanic Gardens, Kew, 1-732.

Davis, P.H., Mill, R.R. and Tan, K., 1988. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, vol. 10, Edinburgh University Press, 1-550.

Davis, P.H., 1965-1985. Flora of Turkey and the East Aegean Island vols. 1–9. Edinburgh University Press.

- Demir, V., 2011. Marine biological diversity assessment for marine conservation planning in Antalya-Kaş using decision support systems. Doktora Tezi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, 105.
- Deniz, İ.G., 2013. Critically Endangered (CR) *Orchid* species of Antalya province of Turkey, *Acta Horticulturae*, **1002**, 37–41.
- Deniz, İ.G., Aykurt, C. and Başaran, M.A., 2015. Taxonomic and ecologic properties of the endangered *Iris pamphylica* (Iridaceae) endemic to S.W. Anatolia. *Journal of Applied Biological Sciences*, **9(2)**, 01–06.
- Deniz, İ.G., Vural, M., Kara, Ö., Aykurt, C., Cappellaro, E., Başaran, M.A., Ülküdar, M., Kilis, B.T. and Kısa, A., 2016. *Ophrys lycia* (Likya Orkidesi, Kaş Orkidesi) koruma projesi, Tubitak Project No: 111T834.
- Efe, R. and Greenwood, M. 2007. Vegetation zonation patterns on the Göksu Delta (Southern Turkey). *Journal of Applied Science*, **7**, 2277–2284.
- Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ. and Sönmez, S., 2011. Olive and Olive Oil Culture in the Mediterranean Basin. In: Efe, R., Öztürk, M. and Ghazanfar, S. (eds.), *Environment and Ecology in the Mediterranean Region*. Cambridge Scholars Publishing, 51-62.
- Ekim, T. and Güner, A., 2000. The floristic richness of Turkey. *Curtis's Botanical Magazine*, **17(2)**, 48–59.
- Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Aytaç, Z. and Adigüzel, N., 2000. Red data book of Turkish plants (Pteridophyta and Spermatophyta). Turkish Association for the Conservation of Nature, Ankara, Turkey, 1-246.
- Fener, D. and Aykurt, C., 2019. The flora of Kıbrıs River wild life development area (Kaş-Antalya/Turkey). *Biological Diversity and Conservation*, **12(1)**, 107–121.
- Gezer, A., 1986. The silviculture of *Pinus brutia* in Turkey, *Options Mediterraneennes*, **1**, 55–66.
- Appendix 1. The abbreviations used in the text and floristic list are as follows: CR: critically endangered, EN: endangered, LC: least concern, VU: vulnerable, Medit: Mediterranean, E.Medit: East Mediterranean, Göktürk, R.S., 2015. Phaselis Antik Kenti Florası I. *Phaselis*, **1**, 81–131.
- Göktürk, R.S., 2016. Phaselis Antik Kenti Florası II. *Phaselis*, **2**, 57–101.
- Göktürk, R.S., 2017. Phaselis Antik Kenti Florası III. *Phaselis*, **3**, 187–224.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T. and Başer, K.H.C., 2000. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, vol. 11. Edinburgh University Press, 1-656.
- İlseven, S., 2017. Analysis of maquis and garrigue communities on the island of Cyprus and comparison with Calabrian pine communities in terms of ecological characteristics, *Journal of Environmental Biology*, **38**, 955–960.
- Meikle, R.D., 1977. Flora of Cyprus, vol. 1. Kew, The Bentham-Moxon Trust Royal Botanic Gardens, 1-832.
- Meikle, R.D., 1985. Flora of Cyprus, vol. 2. Kew, The Bentham-Moxon Trust Royal Botanic Gardens, 1-1969.
- Özel, N., 2003. Country report: Turkey. In: Bozzano, M. and Turok, J. (eds.), *Mediterranean Oaks Network, Report of the second meeting*, International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 48–50.
- Tutin, T., Heywood, V., Burges, N., Valentine, D., Walters, S. and Webb, D. 1964-1980. *Flora Europaea*, vol 1–5, Cambridge University Press.
- Wang, H.H., Wonkka, C.L., Treglia, M.L., Grant, W.E., Smeins, F.E. and Rogers, W.E., 2015. Species distribution modelling for conservation of an endangered endemic Orchid. *AoB PLANTS*, **7**, 1-12.

#### **İnternet kaynakları**

1. [https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/kas\\_kekova\\_ockb\\_biyolojik\\_cesitliliğin\\_tespit-projesi-20191127153326.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/kas_kekova_ockb_biyolojik_cesitliliğin_tespit-projesi-20191127153326.pdf) (13.03.2029)
2. <http://www.tehditalindabitkiler.org.tr/v2/>

Euro-Sib: Euro-Siberian, Ir.-Tur.: Irano-Turanian, **End.:** Endemic, IUCN: International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources. Localities number: 1- Kapaklı village and its

surrondings, 2- between Kapaklı and Çevreli, 3- Kapaklı canyon, 4- Çevreli village and northern slopes, 5- between Üçağzı and Çevreli, 6- Alan, 7- Kale, 8- Sahilkılınçlı and its surrondings, 9- Okçuöldüğü, 10- Üzüm İskelesi, 11- Sıcak Peninsula, 12-Kocakarı cove, 13- Kekova island, 14- Kişneli island, 15- Çayağzı, 16- western part of Okçuöldüğü, 17- southwest of Boğazcık, 18- Boğazcık, 19- northern side of Okçuöldüğü

#### FLORISTIC LIST

##### PTERIDOPHYTA

###### ASPLENIACEAE

*Asplenium ceterach* L., 9, 01.11.2018, Ö.Çetin 2056 &Ö.Güner

###### PTERIDACEAE

*Cheilanthes pteridioides* (Reich.) C.Chr., 9, 01.11.2018, Ö.Güner 3400 &Ö.Çetin

##### SPERMATOPHYTA

##### GYMNOSPERMAE

###### PINACEAE

*Pinus brutia* Ten., 2, 28.04.2019, Ö.Çetin 1991 &Ö.Güner

##### ANGIOSPERMAE

##### DICOTYLEDONEAE

###### AMARANTHACEAE

*Halimione portulacoides* (L.) Aellen, Literature

*Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M.Bieb., Literature

*Salicornia perennans* Wild., 6, 01.11.2018, Ö.Çetin 2060 &Ö.Güner

###### ANACARDIACEAE

*Pistacia lentiscus* L., 1, 2, 25.05.2018, Ö.Çetin 2011 &Ö.Güner

*Pistacia terebinthus* L. subsp. *terebinthus*, Medit., 1, 6, 7, 25.05.2018, Ö.Çetin 2015 &Ö.Güner

###### APIACEAE

*Anethum graveolens* L., 9, 06.04.2019, Ö.Çetin 2255 &Ö.Güner

*Artemisia squamata* L., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2217 &Ö.Güner

*Bunium ferulaceum* Sm., Medit., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2205 &Ö.Güner

*Bupleurum gracile* d'Urv., E. Medit., 9, 04.04.2019, Ö.Çetin 2324 &Ö.Güner

*Caucalis platycarpus* L., 8, 24.04.2019, Ö.Çetin 2286 &Ö.Güner

*Crithmum maritimum* L., 16, 26.04.2019, Ö.Güner 3481 &Ö.Çetin

*Daucus conchitae* Greuter, 7, 25.05.2018, Ö.Çetin 2030 &Ö.Güner

*Eryngium falcatum* F.Delaroche, E. Medit., 10, 17.05.2019, Ö.Çetin 2340 &Ö.Güner

*Ferula tingitana* L., Medit., 1, 13, 14, 27.04.2019, Ö.Çetin 2329 &Ö.Güner

*Lagoecia cuminoides* L., Medit., 1, 4, 10, 24.04.2019, Ö.Çetin 2280 &Ö.Güner

*Scaligeria napiformis* (Willd.) Grande, E. Medit., 10, 24.04.2019, Ö.Çetin 2272 &Ö.Güner

*Scandix pecten-veneris* L., 7, 8, 05.04.2019, Ö.Çetin 2244 &Ö.Güner

*Smyrniololus atratum* L., Medit., 5, 23.02.2019, Ö.Çetin 2115 &Ö.Güner

*Tordylium apulum* L., Medit., 7, 25.05.2018, Ö.Çetin 2016 &Ö.Güner

*Tordylium trachycarpum* (Boiss.) Al-Eisawi, E. Medit., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2196 &Ö.Güner

*Torilis leptophylla* (L.) Rchb.f., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2192 &Ö.Güner

*Torilis nodosa* (L.) Gaertn., 18, 27.04.2019, Ö.Çetin 2330 &Ö.Güner

*Torilis tenella* (Delile) Rchb.f., 18, 27.04.2019, Ö.Çetin 2320 &Ö.Güner

###### APOCYNACEAE

*Nerium oleander* L., Medit., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2014 &Ö.Güner

###### ARISTOLOCHACEAE

*Aristolochia guichardii* P.H.Davis&M.S.Khan, Medit., **End.**, 7, 25.04.2019, Ö.Çetin 2294 &Ö.Güner

*Aristolochia parvifolia* Sibth. &Sm, Medit., 1, 7, 15.03.2019, Ö.Çetin 2129 &Ö.Güner

###### ASTERACEAE

*Aetheorhiza bulbosa* (L.) Cass., Medit., 7, 15.03.2019, Ö.Güner 3998 &Ö.Çetin

*Anthemis chia* L., E. Medit., 7, 15.03.2019, Ö.Çetin 2128 &Ö.Güner

*Anthemis rosea* Sm. subsp. *carnea* (Boiss.) Grierson, E. Medit., **End.**, 9, 25.04.2019, Ö.Çetin 2293 &Ö.Güner

*Asteriscus aquaticus* (L.) Less, Medit., 10, 17.05.2019, Ö.Çetin 2341 &Ö.Güner

*Asteriscus spinosus* (L.) Sch.Bip., Medit., 7, 17.05.2019, Ö.Çetin 2342 &Ö.Güner

*Atractylis cancellata* L., Medit., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2037 &Ö.Güner

*Bellis annua* L., Medit., 7, 15.03.2019, Ö.Çetin 2144 &Ö.Güner

*Bellis perennis*L., Euro-Sib., 8, 01.11.2018, Ö.Çetin 2061 &Ö.Güner

*Bellis sylvestris*Cirillo, Medit., 8, 01.11.2018, Ö.Güner 3401 &Ö.Çetin

*Calendula arvensis* (Vaill.) L., 1, 9, 16.03.2019, Ö.Çetin 2161 &Ö.Güner

*Carduus argentatus* L., Medit., 18, 17.05.2019, Ö.Çetin 2343 &Ö.Güner

*Carduus nutans* L. subsp. *nutans*, 4, 17.05.2019, Ö.Çetin 2345 &Ö.Güner

*Carduus pycnocephalus* L., 2, 25.05.2018, Ö.Çetin 2013 &Ö.Güner

*Carduus rechingerianus*Kazmi, Medit., 3, 25.04.2019, Ö.Çetin 2299 &Ö.Güner

*Centaurea iberica*Trev. exSprengel, Literature

*Cichorium intybus* L., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2012 &Ö.Güner

*Cichorium pumilum* Jacq., E. Medit., 11, 26.04.2019, Ö.Çetin 2315 &Ö.Güner

*Cirsium creticum* d'Urv subsp. *creticum*, Medit., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2010 &Ö.Güner

*Cirsium vulgare* (Savi) Ten., Literature

*Conyza bonariensis* (L.) Cronquist, 7, 21.07.2019, Ö.Çetin 2352 & Ö.Güner  
*Cota tinctoria* (L.) J.Gay var. *tinctoria*, 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2009 & Ö.Güner  
*Crepis reuteriana* Boiss. & Heldr. subsp. *reuteriana*, E. Medit., 7, 05.04.2019, Ö.Çetin 2231 & Ö.Güner  
*Crepis sancta* (L.) Bornm., 9, 16.03.2019, Ö.Çetin 2188 & Ö.Güner  
*Crupina crupinastrum* (Moris) Vis., 9, 04.04.2019, Ö.Çetin 2267 & Ö.Güner  
*Echinops spinosissimus* Turra. subsp. *spinosissimus*, 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2008 & Ö.Güner  
*Filago arvensis* L., 2, 25.05.2018, Ö.Çetin 2007 & Ö.Güner  
*Filago eriocephala* Guss., E. Medit., 2, 26.04.2019, Ö.Çetin 2276 & Ö.Güner  
*Geropogon hybridus* (L.) Sch.Bip, Medit., 9, 06.04.2019, Ö.Güner 3461 & Ö.Çetin  
*Glebionis coronaria* (L.) Spach, Medit., 1, 7, 04.04.2019, Ö.Çetin 2198 & Ö.Güner  
*Glebionis segetum* (L.) Four., Medit., 1, 7, 04.04.2019, Ö.Çetin 2201 & Ö.Güner  
*Hyoseris scabra* L., Medit., Literature  
*Inula crithmoides* L., 15, 23.02.2019, Ö. Güner 3418 & Ö.Çetin  
*Inula graveolens* (L.) Desf., Medit., 17, 1, 01.11.2018, Ö. Güner 3402 & Ö. Çetin  
*Inula heterolepis* Boiss., E. Medit., 2, 7, 26.05.2018, Ö.Çetin 2034 & Ö.Güner  
*Lamyropsis cynaroides* (Lam.) Dittrich, E. Medit., Literature  
*Notobasis syriaca* (L.) Cass, Medit., 6, 28.04.2019, Ö.Çetin 2336 & Ö.Güner  
*Onopordum rhodense* Boiss. ex Rech. F., 5, 7, 25.05.2018, Ö.Çetin 2006 & Ö.Güner  
*Phagnalon graecum* Boiss. & Heldr., E. Medit., 9, 16.03.2018, Ö.Çetin 2163 & Ö.Güner  
*Picnomon acarna* (L.) Cass., Medit., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2005 & Ö.Güner  
*Ptilostemon chamaepeuce* (L.) Less., E. Medit., 9, 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2004 & Ö.Güner  
*Rhagadiolus stellatus* (L.) Gaertn., Medit., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2169 & Ö.Güner  
*Scorzonera elata* Boiss., D.Akd, 9, 06.04.2019, Ö.Güner 3462 & Ö.Çetin  
*Senecio vernalis* Waldst. & Kit., 5, 23.02.2019, Ö.Çetin 2117 & Ö.Güner  
*Senecio vulgaris* L., 1, 05.04.2019, Ö.Çetin 2230 & Ö.Güner  
*Sonchus asper* (L.) Hill. subsp. *glaucescens* (Jord.) Ball, 7, 23.02.2019, Ö. Güner 3419 & Ö.Çetin  
*Tragopogon buphthalmoides* (DC) Boiss., Ir.-Tur., 9, 06.04.2019, Ö.Çetin 2259 & Ö.Güner  
*Tragopogon porrifolius* L. subsp. *longirostris* (Sch.Bip.) Greuter, 9, 25.04.2019, Ö.Çetin 2292 & Ö.Güner  
*Urospermum picroides* (L.) Scop. ex F.W.Schmidt, Medit., 1, 7, 04.04.2019, Ö.Çetin 2207 & Ö.Güner  
BORAGINACEAE

*Alkanna areolata* Boiss. var. *areolata*, E. Medit., Literature  
*Alkanna macrosiphon* Boiss. & Heldr., **End.**, Literature  
*Alkanna tubulosa* Boiss., E. Medit., 9, 22.02.2019, Ö. Güner 3410 & Ö.Çetin  
*Anchusa azurea* Mill. var. *azurea*, Literature  
*Anchusa hybrida* Ten, Medit., Literature  
*Buglossoides arvensis* (L.) I.M. Johnst., 8, 05.04.2019, Ö.Güner 3451 & Ö.Çetin  
*Echium parviflorum* Moench, Medit., 1, 15, 26.05.2018, Ö.Çetin 2042 & Ö.Güner  
*Echium plantagineum* L., Medit., 6, 05.04.2019, Ö.Çetin 2234 & Ö.Güner  
*Heliotropium hirsutissimum* Grauer, E. Medit., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2021 & Ö.Güner  
*Hormuzakia aggregata* (Lehm.) Guşul., Medit., 15, 15.03.2019, Ö. Güner 3424 & Ö.Çetin  
*Myosotis ramosissima* Rochel, 18, 01.12.2018, Ö. Güner 3425 & Ö.Çetin  
*Onosma frutescens* Lam., E. Medit., 2, 7, 9, 10, 22.02.2019, Ö.Çetin 2081 & Ö.Güner  
BRASSICACEAE  
*Alyssum strigosum* Banks & Sol, 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2174 & Ö.Güner  
*Arabis verna* (L.) R.Br., Medit., 8, 05.04.2019, Ö.Çetin 2254 & Ö.Güner  
*Biscutella didyma* L., 1, 7, 15.03.2019, Ö.Çetin 2138 & Ö.Güner  
*Bunias erucago* L., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2000 & Ö.Güner  
*Cakile maritima* Scop, 15, 25.05.2018, Ö.Çetin 2003 & Ö.Güner  
*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik, 1, 8, 25.05.2018, Ö.Çetin 2017 & Ö.Güner  
*Cardamine hirsuta* L., 8, 15, 15.03.2019, Ö.Çetin 2134 & Ö.Güner  
*Clypeola jonthlasi* L., 7, 15.03.2019, Ö.Çetin 2135 & Ö.Güner  
*Draba verna* L., 8, 22.02.2019, Ö.Çetin 2093 & Ö.Güner  
*Malcolmia chia* (L.) DC., Medit., 1, 9, 18, 04.04.2019, Ö.Çetin 2184 & Ö.Güner  
*Maresia nana* (DC) Batt, 15, 24.02.2019, Ö.Çetin 2122 & Ö.Güner  
*Microthlaspi perfoliatum* (L.) F.K.Mey, 8, 22.02.2019, Ö.Çetin 2092 & Ö.Güner  
*Ricotia carnosula* Boiss. & Heldr., E. Medit., 1, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 22.02.2019, Ö.Çetin 2086 & Ö.Güner  
*Sinapis arvensis* L., 15, 25.05.2019, Ö.Çetin 1988 & Ö.Güner  
CAMPANULACEAE  
*Campanula aktascii* Aytaç & H.Duman, E. Medit., **End.**, 19, 24.04.2019, Ö.Çetin 2278 & Ö.Güner  
*Campanula delicatula* Boiss., E. Medit., 1, Ö.Çetin & Ö.Güner  
*Campanula drabifolia* Sibth. & Sm., E. Medit., 2, 05.04.2019, Ö.Çetin 2223 & Ö.Güner  
*Campanula hagielia* Boiss., E. Medit., 1, 27.04.2019, Ö.Çetin 2321 & Ö.Güner  
*Campanula lycica* Kit Tan & Sorger, **End.**, Literature



*Campanula podocarpa* Boiss., E. Medit, Literature

CAPPARACEAE

*Capparis spinosa* L., 8, 25.05.2018, Ö.Çetin 1978 &Ö.Güner

CAPRIFOLIACEAE

*Knautia integrifolia* (L.) Bert., 9, 25.04.2019, Ö.Çetin 2291 &Ö.Güner

*Scabiosa rotata* Bieb., 9, 26.05.2018, Ö.Çetin 2028 &Ö.Güner

*Valerianella discoidea* (L.) Loisel., Medit., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2183 &Ö.Güner

CARYOPHYLLACEAE

*Arenaria luschanii* McNeill, E. Medit., **End.**, 1, 11, 13, 26.04.2019, Ö.Çetin 2302 &Ö.Güner

*Arenaria pamphylica* Boiss. & Heldr. subsp. *pamphylica*, Medit., **End.**, Literature

*Bufonia calyculata* Boiss. & Balansa, **End.**, Literature

*Dianthus tripunctatus* Sm., Medit., 1, 26.05.2018, Ö.Çetin 2040 &Ö.Güner

*Minuartia hybrida* (Vill.) Schischk. subsp. *hybrida*, 9, 05.04.2019, Ö.Çetin 2253 &Ö.Güner

*Minuartia mesogitana* (Boiss.) Hand.-Mazz. subsp. *mesogitana*, Medit., Literature

*Moenchia coerulea* Boiss., Literature

*Petrorhagia dubia* (Raf.) G.López&Romo, 1, 8, 05.04.2019, Ö.Çetin 2247 &Ö.Güner

*Silene behen* L., 1, 5, 04.04.2019, Ö.Çetin 2203 &Ö.Güner

*Silene delicatula* Boiss. subsp. *pisidica* Coode&Cullen, **End.**, Literature

*Silene discolor* Sibth. & Sm, E. Medit., 15, 24.02.2019, Ö.Çetin 2126 &Ö.Güner

*Silene heldreichii* Boiss., E.Medit., 3, 25.04.2019, Ö.Çetin 2296 &Ö.Güner

*Silene nocturna* L., Medit., 7, 05.04.2019, Ö.Güner 3452 &Ö.Çetin

*Silene vulgaris* (Moench) Garcke, 1, 5, 05.04.2019, Ö.Çetin 2227 &Ö.Güner

*Stellaria media* (L.) Vill., 9, 22.02.2019, Ö.Çetin 2091 &Ö.Güner

CISTACEAE

*Cistus creticus* L., Medit., 1, 5, 6, 25.05.2018, Ö.Çetin 2002 &Ö.Güner

*Cistus salviifolius* L., 5, 6, 26.05.2018, Ö.Çetin 2043 &Ö.Güner

*Fumana arabica* (L.) Spach, 9, 06.04.2019, Ö.Çetin 2257 &Ö.Güner

*Fumana thymifolia* (L.) Spach, 11, 26.04.2019, Ö.Çetin 2303 &Ö.Güner

CONVOLVULACEAE

*Convolvulus arvensis* L., 1, 21.07.2019, Ö.Çetin 2351 &Ö.Güner

*Convolvulus pentapetaloides* L., Medit., 12, 27.04.2019, Ö.Çetin 2331 &Ö.Güner

*Convolvulus siculus* L., Medit., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2212 &Ö.Güner

*Ipomoea purpurea* (L.) Roth, 7, 15.03.2019, Ö. Güner 3426 &Ö.Çetin

CRASSULACEAE

*Rosularia globulariifolia* (Fenzl) Berger, E. Medit., **End.**, 1, 04.04.2019, Ö.Güner 3444 &Ö.Çetin

*Sedum hispanicum* L., Ir-Tur., 11, 23.04.2019, Ö.Çetin 2304 &Ö.Güner

*Sedum litoreum* Guss., Medit., 10, 26.04.2019, Ö.Çetin 2271 &Ö.Güner

*Sedum pallidum* M.Bieb., 9, 15.03.2019, Ö. Güner 3428 &Ö.Çetin

*Sedum rubens* L., Medit., 8, 15.03.2019, Ö. Güner 3427 &Ö.Çetin

*Umbilicus horizontalis* DC., Medit., 7, 8, 9, 16.11.2018, Ö. Güner 3408 &Ö.Çetin

DIOSCOREACEAE

*Dioscorea communis* (L.) Caddick&Wilkin, 3, 04.04.2019, Ö.Güner 3442 &Ö.Çetin

ERICACEAE

*Arbutus andrachne* L., 2, 4, 25.05.2018, Ö.Çetin 2001 &Ö.Güner

*Erica bocquetii* (Peşmen) P.F.Stevens, Medit., **End.**, 2, 15.03.2019, Ö.Çetin 2152 &Ö.Güner

EUPHORBIACEAE

*Chrozophora tinctoria* (L.) A.Juss., 8, 25.05.2018, Ö.Çetin 1977

*Euphorbia characias* L. subsp. *wulfenii* (Hoppe&W.D.J.Koch) Radcl.-Sm., E. Medit., 1, 7, 8, 9, 17, 25.05.2018, Ö.Çetin 1985 &Ö.Güner

*Euphorbia dendroides* L., Medit., 16, 05.04.2019, Ö.Çetin 2237 &Ö.Güner

*Euphorbia falcata* L., 7, 04.04.2019, Ö.Çetin 2210 &Ö.Güner

*Euphorbia helioscopia* L., 7, 2, 05.04.2019, Ö.Çetin 2240 &Ö.Güner

*Euphorbia peplus* L., 7, 05.04.2019, Ö.Çetin 2238 &Ö.Güner

*Euphorbia stricta* L., 1, 15.03.2019, Ö.Çetin 2132 &Ö.Güner

*Mercurialis annua* L., 18, 25.05.2018, Ö.Çetin 1996 &Ö.Güner

*Ricinus communis* L., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 1999 &Ö.Güner

FABACEAE

*Anagyris foetida* L., Medit., 7, 25.05.2018, Ö.Çetin 1993 &Ö.Güner

*Anthyllis vulneraria* L. subsp. *praepropera* (Kerner) Bornm., Medit., 7, 06.04.2019, Ö.Çetin 2261 &Ö.Güner

*Astragalus hamosus* L., 11, 26.04.2019, Ö.Çetin 2309 &Ö.Güner

*Bituminaria bituminosa* (L.) C.H.Stirt., Medit., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 1998 &Ö.Güner

*Calicotome villosa* (Poir.) Link, Medit., 9, 25.05.2018, Ö.Çetin 1995 &Ö.Güner

*Ceratonia siliqua* L., Medit., 1, 2, 3, 9, 11, 25.05.2018, Ö.Çetin 1990 &Ö.Güner

*Genista acanthoclada* DC., E. Medit., 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 27.05.2018, Ö.Çetin 2045 &Ö.Güner

*Hymenocarpus circinnatus* (L.) Savi, 7, 27.05.2018, Ö.Çetin 2046 &Ö.Güner

*Lathyrus aphaca* L., 3, 25.04.2019, Ö.Güner 3468 &Ö.Çetin

- Lathyrus setifolius* L., *Medit.*, 5, 23.02.2019, Ö.Çetin 2114 & Ö.Güner  
*Lotus ornithopodioides* L., *Medit.*, 7, 05.04.2019, Ö.Güner 3469 & Ö.Çetin  
*Lupinus angustifolius* L., 7, 15.03.2019, Ö. Güner 3429 & Ö.Çetin  
*Medicago arabica* (L.) Huds., 1, 04.04.2019, Ö.Güner 3445 & Ö.Çetin  
*Medicago brachycarpa* M.Bieb., Ir-Tur., 2, 27.04.2019, Ö.Güner 3503 & Ö.Çetin  
*Medicago carica* (Hub.-Mor.) E.Small, *Medit.*, **End.**, 18, 27.04.2019, Ö.Çetin 2334 & Ö. Güner  
*Medicago disciformis* DC. *Medit.*, 2, 28.04.2019, Ö.Güner 3492 & Ö.Çetin  
*Medicago granadensis* Willd., E. *Medit.*, 1, 06.04.2019, Ö.Çetin 2263 & Ö.Güner  
*Medicago littoralis* Rohde ex Lois., Literature  
*Medicago marina* L., 15, 24.02.2019, Ö.Çetin 2123 & Ö.Güner  
*Medicago minima* (L.) Bartal., Literature  
*Medicago orbicularis* (L.) Bartal., 1, 15, 04.04.2019, Ö.Çetin 2193 & Ö.Güner  
*Medicago rigidula* (L.) All., 11, 26.04.2019, Ö.Güner 3482 & Ö.Çetin  
*Melilotus elegans* Salzm. ex Ser., *Medit.*, Literature  
*Melilotus indicus* (L.) Lam., *Medit.*, 14, 26.04.2019, Ö.Çetin 2301  
*Melilotus officinalis* (L.) Desr., 9, 25.04.2019, Ö.Çetin 2300 & Ö.Güner  
*Onobrychis caput-galli* (L.) Lam., *Medit.*, 2, 28.04.2019, Ö.Güner 3501 & Ö.Çetin  
*Ononis natrix* L., *Medit.*, 15, 27.04.2019, Ö.Güner 3487 & Ö.Çetin  
*Ononis reclinata* L., *Medit.*, 2, 28.04.2019, Ö.Güner 3489 & Ö.Çetin  
*Pisum fulvum* Sibth. & Sm., E. *Medit.*, 1, 04.04.2019, Ö.Güner 3446 & Ö.Çetin  
*Pisum sativum* L. subsp. *elatius* Aschers. & Graebn. var. *elatius*, *Medit.*, 16, 06.04.2019, Ö.Çetin 2258 & Ö.Güner  
*Scorpiurus subvillosus* L. var. *subvillosus*, 1, 24.04.2019, Ö.Çetin 2281 & Ö.Güner  
*Securigera varia* (L.) Lassen, E. *Medit.*, 1, 05.04.2019, Ö.Çetin 2236 & Ö.Güner  
*Spartium junceum* L., *Medit.*, 16, 25.05.2018, Ö.Çetin 1984 & Ö.Güner  
*Tetragonolobus requienii* (Sanguin.) Sanguin., 2, 27.04.2019, Ö.Çetin 2325 & Ö.Güner  
*Trifolium angustifolium* L., 9, 27.04.2019, Ö.Çetin 2328 & Ö.Güner  
*Trifolium campestre* Schreb., 1, 27.04.2019, Ö.Çetin 2327 & Ö.Güner  
*Trifolium clypeatum* L., E. *Medit.*, 7, 15.03.2019, Ö.Çetin 2137 & Ö.Güner  
*Trifolium grandiflorum* Schreb., E. *Medit.*, 9, 06.04.2019, Ö.Çetin 2266 & Ö.Güner  
*Trifolium hirtum* All., *Medit.*, 1, 27.04.2019, Ö.Çetin 2326 & Ö.Güner  
*Trifolium pilulare* Boiss., 7, 21.07.2019, Ö.Çetin 2355 & Ö.Güner  
*Trifolium purpureum* Lois., *Medit.*, 1, 28.04.2019, Ö.Güner 3490 & Ö.Çetin  
*Trifolium stellatum* L., 1, 7, 04.04.2019, Ö.Çetin 2176 & Ö.Güner  
*Trifolium tomentosum* L., 7, 05.04.2019, Ö.Çetin 2221 & Ö.Güner  
*Trigonella cariensis* Boiss., *Medit.*, 7, 18, 17.05.2019, Ö.Çetin 2339 & Ö.Güner  
*Trigonella monspeliaca* L., *Medit.*, 8, 27.04.2019, Ö.Güner 3504 & Ö.Çetin  
*Trigonella spicata* Sibth. & Sm., E. *Medit.*, 9, 06.04.2019, Ö.Güner 3463 & Ö.Çetin  
*Tripodion tetraphyllum* (L.) Fourr., *Medit.*, 9, 06.04.2019, Ö.Çetin 2261 & Ö.Güner  
*Vicia faba* L., 1, 23.02.2019, Ö. Güner 3420 & Ö.Çetin  
*Vicia hybrida* L., 7, 15, 15.03.2019, Ö. Güner 3430 & Ö.Çetin  
FAGACEAE  
*Quercus aucheri* Jaub. & Spach, E. *Medit.*, **End.** 8, 25.05.2018, Ö.Çetin 2019 & Ö.Güner  
*Quercus coccifera* L., *Medit.*, 8, 25.05.2018, Ö.Çetin 2018 & Ö.Güner  
GENTIANACEAE  
*Blackstonia perfoliata* (L.) Huds. subsp. *perfoliata*, 11, 24.04.2019, Ö.Çetin 2284 & Ö.Güner  
*Centaurium erythraea* Rafn. subsp. *rhodense* (Boiss. & Reut.) Melderis, *Medit.*, 9, 10, 25.05.2018, Ö.Çetin 2026  
*Centaurium pulchellum* (Sw.) Druce, 9, 24.04.2019, Ö.Çetin 2285 & Ö.Güner  
GERANIACEAE  
*Erodium acaule* (L.) Becherer & Thell., *Medit.*, 9, 22.02.2019, Ö.Çetin & Ö.Güner  
*Erodium ciconium* (L.) L Her., 9, 16.03.2019, Ö. Güner 3439 & Ö.Çetin  
*Erodium cicutarium* (L.) L Hér., 15, 16.03.2019, Ö.Güner 3502 & Ö.Çetin  
*Erodium gruinum* (L.) L Hér., E. *Medit.*, 7, 23.02.2019, Ö.Güner 3503 & Ö.Çetin  
*Erodium malacoides* (L.) L Her, *Medit.*, 8, 15.03.2019, Ö.Güner 3504 & Ö.Çetin  
*Geranium lucidum* L., 1, 15.03.2019, Ö. Güner 3431 & Ö.Çetin  
*Geranium molle* L., 1, 16.03.2019, Ö. Güner 3433 & Ö.Çetin  
*Geranium purpureum* Vill., 1, 7, 9 15.03.2019, Ö. Güner 3432 & Ö.Çetin  
LAMIACEAE  
*Ajuga bombycina* Boiss., E. *Medit.*, **End.**, 8, 16.11.2018, Ö.Güner 3464 & Ö.Çetin  
*Ajuga chamaepitys* (L.) Schreb. subsp. *chia* (Schreb.) Arcang., 8, 16.11.2018, Ö. Güner 3409 & Ö.Çetin  
*Ajuga orientalis* L., 7, 23.02.2019, Ö. Güner 3421 & Ö.Çetin  
*Ballota glandulosissima* Hub-Mor. & Patzak, E. *Medit.*, **End.**, 5, 13, 22.07.2019, Ö.Çetin 2359  
*Clinopodium suaveolens* (Sm.) Kuntze, Euro-Sib., 17, 02.11.2018, Ö. Güner 3408 & Ö.Çetin

- Lamium amplexicaule* L., 8, 9, 23.02.2019, Ö.Çetin 2109 & Ö.Güner  
*Lamium moschatum* Mill. subsp. *moschatum*, 1, 17.05.2019, Ö.Çetin 2344  
*Marrubium vulgare* L., Medit., 2, 15.03.2019, Ö. Güner 3434 & Ö.Çetin  
*Mentha longifolia* (L.) L. subsp. *typhoides* (Briq.) Harley, 4, 21.07.2019, Ö.Çetin 2357  
*Micromeria myrtifolia* Boiss. & Hohen., 1, 9, 26.05.2018, Ö.Çetin 2036  
*Origanum onites* L., E. Medit., 1, 2, 7, 25.05.2018, Ö.Çetin 1979  
*Phlomis lycia* D. Don, E. Medit., 1, 7, 15.03.2019, Ö.Çetin 2136  
*Prasium majus* L., Medit., 1, 7, 23.02.2019, Ö.Çetin 2097  
*Rosmarinus officinalis* L., 7, 1, 15.03.2019, Ö. Güner 3435 & Ö.Çetin  
*Salvia fruticosa* Mill., E. Medit., 1, 7, 15.03.2019, Ö. Güner 3436 & Ö.Çetin  
*Salvia verbenaca* L., Medit., 7, 8, 05.04.2019, Ö.Çetin 2249  
*Salvia viridis* L., 9, 16.03.2019, Ö.Çetin 2162  
*Satureja thymbra* L., E. Medit., 9, 06.04.2019, Ö.Çetin 2256  
*Scutellaria brevibracteata* Stapf subsp. *brevibracteata*, E. Medit., **End.**, Literature  
*Sideritis albiflora* Hub.-Mor., E. Medit., **End.**, 3, 17.05.2019, Ö. Güner 3494 & Ö.Çetin  
*Sideritis romana* L. subsp. *curvidens* (Stapf) Holmboe, E. Medit., 1, 7, 04.04.2019, Ö.Çetin 2179  
*Stachys arvensis* (L.) L., 6, 7, 15, 15.03.2019, Ö. Güner 3495 & Ö.Çetin  
*Stachys bombycina* Boiss., E. Medit., **End.**, 3, 22.07.2019, Ö.Çetin 2356  
*Stachys cretica* L. subsp. *smyrnaea* Rech.f., E. Medit., Literature  
*Stachys germanica* L., E. Medit., Literature  
*Stachys spinulosa* Sm., E. Medit., 1, 04.04.2019, Ö. Güner 3447 & Ö.Çetin  
*Teucrium brevifolium* Schreber, E. Medit., 9, 10, 22.02.2019, Ö.Çetin 2080  
*Teucrium divaricatum* Sieber, Medit., 2, 25.05.2018, Ö.Çetin 2031  
*Teucrium montbretii* Benth. subsp. *pamphylicum* P.H. Davis, Medit., **End.**, 7, 02.11.2018, Ö. Güner 3621 & Ö.Çetin  
*Teucrium polium* L., 2, 25.05.2018, Ö.Çetin 2032  
*Thymbra spicata* L., 2, 25.05.2018, Ö.Çetin 2023  
*Vitex agnus-castus* L., Medit., 10, 25.05.2018, Ö.Çetin 1980  
LAURACEAE  
*Laurus nobilis* L., Medit., 13, 26.04.2019, Ö. Güner 3483 & Ö.Çetin  
LINACEAE  
*Linum strictum* L., 11, 26.04.2019, Ö.Çetin 2312  
*Linum trigynum* L., Medit., 9, 24.04.2019, Ö.Çetin 2279  
LYTHRACEAE  
*Lythrum maritimum* Kunth, 6, 21.07.2019, Ö.Çetin 2358  
*Punica granatum* L., 6, 25.04.2019, Ö. Güner 3470 & Ö.Çetin  
MALVACEAE  
*Alcea striata* (DC) Alef., 3, 25.04.2019, Ö. Güner 3471 & Ö.Çetin  
*Althaea hirsuta* L., 18, 17.05.2019, Ö. Güner 3496 & Ö.Çetin  
*Lavatera punctata* All., 7, 17.05.2019, Ö.Çetin 2338  
*Malope malacoides* L., E. Medit., L.  
*Malva cretica* Cav., Medit., 9, 24.04.2019, Ö. Güner 3467 & Ö.Çetin  
*Malva linnaei* M.F. Ray, 6, 26.04.2019, Ö. Güner 3484 & Ö.Çetin  
*Malva nicaeensis* All., 6, 05.04.2019, Ö. Güner 3453 & Ö.Çetin  
MORACEAE  
*Ficus carica* L., Medit., 6, 25.04.2019, Ö. Güner 3472 & Ö.Çetin  
*Morus alba* L., 6, 25.04.2019, Ö. Güner 3473 & Ö.Çetin  
MYRTACEAE  
*Myrtus communis* L., 15, 24.02.2019, Ö. Güner 3454 & Ö.Çetin  
OLEACEAE  
*Olea europaea* L., Medit., 1, 8, 25.05.2018, Ö. Çetin 1976  
*Phillyrea latifolia* L., 1, 01.11.2018, Ö. Güner 3403 & Ö. Çetin.  
OROBANCHACEAE  
*Orobanche caryophyllacea* Sm., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2206  
*Orobanche ramosa* L., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2216  
*Parentucellia latifolia* (L.) Caruel, 8, 15.03.2019, Ö.Çetin 2149  
*Parentucellia viscosa* (L.) Caruel, Medit., 7, 05.04.2019, Ö. Güner 3506 & Ö.Çetin  
OXALIDACEAE  
*Oxalis pes-caprae* L., 9, 16.03.2019, Ö. Güner 3440 & Ö.Çetin  
PAPAVERACEAE  
*Fumaria macrocarpa* Parl., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2171  
*Fumaria capreolata* L., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin  
*Papaver gracile* Aucher ex Boiss., Medit., 3, 25.04.2019, Ö.Çetin 2297  
*Papaver rhoeas* L., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 1975  
PHYLLANTHACEAE  
*Andrachne telephioides* L., 9, 24.04.2019, Ö.Çetin 2288  
PLANTAGINACEAE  
*Cymbalaria longipes* (Boiss. & Heldr.) A. Chev., E. Medit., 5, 23.02.2019, Ö.Çetin 2119  
*Kickxia commutata* (Rchb.) Fritsch subsp. *commutata*, Medit., 9, 26.05.2018, Ö.Çetin 2035  
*Misopates orontium* (L.) Raf., 7, 05.04.2019, Ö. Güner 3455 & Ö.Çetin  
*Plantago cretica* L., E. Medit., 8, 05.04.2019, Ö.Çetin 2252  
*Plantago lagopus* L., Akd, 8, 16.03.2019, Ö.Çetin 2158

- Plantago lanceolata* L., 7, 15.03.2019, Ö. Güner 3437 & Ö.Çetin  
*Plantago major* L. subsp. *intermedia* (Gilib.) Lange, 1, 15.03.2019, Ö. Güner 3438 & Ö.Çetin  
*Plantago scabra* Moench, 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2175  
*Veronica cymbalaria* Bodard, *Medit.*, 9, 16.03.2019, Ö.Çetin 2167  
*Veronica hederifolia* L., 9, 22.02.2019, Ö. Güner 3411 & Ö.Çetin  
*Veronica stamatiadae* M.A.Fisch. & Greuter, *Medit.*, 9, 16.03.2019, Ö.Çetin 2166  
*Veronica syriaca* Roem. & Schult., *Medit.*, 8, 05.04.2019, Ö. Güner 3456 & Ö.Çetin  
PLATANACEAE  
*Platanus orientalis* L., 2, 26.05.2018, Ö.Çetin 1974  
PLUMBAGINACEAE  
*Limonium effusum* (Boiss.) Kuntze, *E. Medit.*, **End.**, Literature  
POLYGALACEAE  
*Polygala supina* Schreb, 3, 25.04.2019, Ö.Çetin 2295  
POLYGONACEAE  
*Polygonum aviculare* L., 11, 26.04.2019, Ö. Güner 3508 & Ö.Çetin  
*Polygonum equisetiforme* Sibth. & Sm., 16, 15.11.2018, Ö. Güner 3457 & Ö.Çetin  
*Rumex crispus* L., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 1971  
*Portulaca oleracea* L., 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 1972  
PRIMULACEAE  
*Anagallis arvensis* L., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2213  
*Asterolinon linum-stellatum* (L.) Duby, *Medit.*, 8, 15.03.2019, Ö. Güner 3458 & Ö.Çetin  
*Cyclamen graecum* Link, *Medit.*, 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 01.11.2018, Ö.Çetin 2054  
RANUNCULACEAE  
*Anemone coronaria* L., 1, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 23.02.2019, Ö.Çetin 2118  
*Clematis cirrhosa* L., 4, 10.11.2018, Ö.Çetin 2070  
*Clematis vitalba* L., 8, 25.05.2018, Ö.Çetin 1970  
*Ranunculus chius* DC., *E. Medit.*, 6, 26.04.2019, Ö.Çetin 2310  
*Ranunculus constantinopolitanus* (DC.) d'Urv., Literature  
*Ranunculus peltatus* Schrank subsp. *fucoides* (Frey) Muñoz Garm., 6, 23.02.2019, Ö.Çetin 2101  
*Staphisagria macrosperma* Spach, *Medit.*, 8, 21.07.2019, Ö.Çetin 2353  
RHAMNACEAE  
*Rhamnus lycioides* L. subsp. *oleoides* (L.) Jahandiez & Maire, 1, 22.02.2019, Ö. Güner 3413 & Ö.Çetin  
ROSACEAE  
*Amygdalus graeca* Lindl., 9, 22.02.2019, Ö. Güner 3412 & Ö.Çetin  
*Sanguisorba minor* L., 7, 25.05.2018, Ö.Çetin 1973  
*Sarcopoterium spinosum* (L.) Spach, 4, 25.05.2018, Ö.Çetin 1982  
RUBIACEAE  
*Crucianella angustifolia* L., *Medit.*, Literature  
*Crucianella latifolia* L., *Medit.*, 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2218  
*Galium aparine* L., 2, 15.03.2019, Ö.Çetin 2153  
*Galium brevifolium* Sm. subsp. *brevifolium*, **End.**, Literature  
*Galium graecum* L., *E. Medit.*, 1, 10.11.2018, Ö.Çetin 2069  
*Galium pseudocapitatum* Hub.-Mor. ex Ehrend. & Schönb.-Tem., *E. Medit.*, **End.**, 1, 27.05.2018, Ö.Çetin 2048  
*Galium setaceum* Lam., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2190  
*Rubia rotundifolia* Banks & Sol., *E. Medit.*, 1, 06.04.2019, Ö.Çetin 2264  
*Rubia tenuifolia* d'Urv., 9, 04.04.2019, Ö.Çetin 2204  
*Sherardia arvensis* L., *Medit.*, 1, 8, 9, 04.04.2019, Ö.Çetin 2187  
*Valantia hispida* L., *Medit.*, 8, 9, 16.03.2019, Ö.Çetin 2165  
RUTACEAE  
*Ruta chalepensis* L., 1, 13, 27.04.2019, Ö.Çetin 2333  
SCROPHULARIACEAE  
*Scrophularia lucida* L., *Medit.*, 16, 16.03.2019, Ö.Çetin 2164  
*Scrophularia peregrina* L., *Medit.*, 1, 7, 15.03.2019, Ö.Çetin 2130  
*Scrophularia pinardii* Boiss., *E. Medit.*, 5, 7, 23.02.2019, Ö.Çetin 2113  
*Verbascum levanticum* I.K.Ferguson, *E. Medit.*, 3, 27.04.2019, Ö.Çetin 2332  
*Verbascum sinuatum* L., *Medit.*, 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 2033  
SMILACACEAE  
*Smilax aspera* L., 3, 25.05.2018, Ö.Çetin 1983  
*Smilax excelsa* L., 3, 25.04.2019, Ö. Güner 3474 & Ö.Çetin  
SOLANAECAE  
*Hyoscyamus aureus* Bertol., *E. Medit.*, 3, 25.04.2019, Ö.Çetin 2298  
*Mandragora autumnalis* Bertol., *Medit.*, 9, 22.02.2019, Ö.Çetin 2084 & Ö. Güner  
*Solanum americanum* Mill., 9, 25.05.2018, Ö.Çetin 2039  
STYRACACEAE  
*Styrax officinalis* L., 1, 04.04.2019, Ö. Güner 3448 & Ö.Çetin  
THYMELAEACEAE  
*Daphne gnidioides* Jaub. & Spach, 1, 2, 16.11.2018, Ö.Çetin 2075  
*Thymelaea hirsuta* (L.) Endl., *Medit.*, 15, 24.02.2019, Ö.Çetin 2125  
URTICACEAE  
*Parietaria lusitanica* L., *Medit.*, 7, 18, 25.04.2019, Ö.Çetin 2290  
*Urtica pilulifera* L., 9, 16.03.2019, Ö.Çetin 2159  
ZYGOPHYLLACEAE  
*Tribulus terrestris* L., 7, 16.11.2018, Ö.Çetin 2074  
**MONOCOTYLEDONEAE**  
AMARYLLIDACEAE

- Allium amethystinum* Tausch, *Medit.*, 7, 17.05.2019, Ö.Güner 3493 & Ö.Çetin  
*Allium junceum* Sm. subsp. *junceum*, *E. Medit.*, 7, 24.04.2019, Ö.Çetin 2282 & Ö.Güner  
*Allium myrianthum* Boiss., *Ir.-Tur.*, 10, 24.04.2019, Ö.Güner 3465 & Ö.Çetin  
*Allium nigrum* L., *Medit.*, 6, 05.04.2019, Ö.Güner 3450 & Ö.Çetin  
*Allium sandrasicum* Kollmann, Özhatay & Bothmer, *E. Medit.*, **End.**, Literature  
*Allium scorodoprasum* L. subsp. *rotundum* (L.) Stearn, 9, 24.04.2019, Ö.Güner 3466 & Ö.Çetin  
*Allium subhirsutum* L., 7, 15.03.2019, Ö. Güner 3422 & Ö.Çetin  
*Narcissus serotinus* L., 17, 23.02.2019, Ö. Güner 3413 & Ö.Çetin  
*Narcissus tazetta* L., 16, 16.11.2018, Ö.Çetin 2072 & Ö.Güner  
ARACEAE  
*Arum dioscoridis* Sm. var. *dioscoridis*, *E. Medit.*, 1, 25.05.2018, Ö.Çetin 1989 & Ö.Güner  
*Biarum pyrami* (Schott) Engl., 2, 01.11.2018, Ö.Çetin 2059 & Ö.Güner  
*Arisarum vulgare* O.Targ.Tozz, *Medit.*, 16, 16.11.2018 Ö.Çetin 2073 & Ö.Güner  
*Dracunculus vulgaris* Schott, *E. Medit.*, 6, 25.05.2018, Ö.Çetin 1987 & Ö.Güner  
ASPARAGACEAE  
*Asparagus acutifolius* L., *Medit.*, 6, 25.05.2018, Ö.Çetin 1986 & Ö.Güner  
*Bellevalia trifoliata* (Ten.) Kunth, *Medit.*, 7, 15.03.2019, Ö.Güner 3423 & Ö.Çetin  
*Drimia maritima* (L.) Stearn, 1, 10, 25.05.2018, Ö.Çetin 1997 & Ö.Güner  
*Muscari comosum* (L.) Mill., *Medit.*, 8, 05.04.2019, Ö.Çetin 2251 & Ö.Güner  
*Muscari parviflorum* Desf., *Medit.*, 6, 02.11.2018, Ö.Güner 3404 & Ö.Çetin  
*Ornithogalum narbonense* L., *Medit.*, 14, 26.04.2019, Ö.Güner 3473 & Ö.Çetin  
*Ornithogalum pyrenaicum* L., 11, 23.02.2019, Ö.Güner 3414 & Ö.Çetin  
*Ornithogalum umbellatum* L., 10, 23.02.2019, Ö.Güner 3415 & Ö.Çetin  
*Prospero autumnale* (L.) Speta, *Medit.*, 9, 01.11.2018, Ö.Çetin 2058 & Ö.Güner  
*Ruscus aculeatus* L., 18, 25.05.2018, Ö.Çetin 1994 & Ö.Güner  
COLCHICACEAE  
*Colchicum stevenii* Kunth, *E. Medit.*, 1, 2, 9, 02.11.2018, Ö.Çetin 2062 & Ö.Güner  
CYPERACEAE  
*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla subsp. *maritimus*, 11, 26.04.2019, Ö.Güner 3474 & Ö.Çetin  
*Carex remota* L. subsp. *remota*, 11, 26.04.2018, Ö.Güner 3475 & Ö.Çetin  
IRIDACEAE  
*Crocus cancellatus* Herb. subsp. *lycius* B.Mathew, *E. Medit.*, **End.**, 4, 10.11.2018, Ö.Çetin 2071 & Ö.Güner  
*Gladiolus italicus* Mill., 1, 04.04.2019, Ö.Güner 3441 & Ö.Çetin  
*Gynandris sisyrinchium* (L.) Parl, 1, 04.04.2019, Ö.Güner 3442 & Ö.Çetin  
*Romulea bulbocodium* (L.) Sebast. & Mauri, Literature  
*Romulea tempskyana* Freyn, *E. Medit.*, 9, 15, 22.02.2019, Ö.Çetin 2083 & Ö.Güner  
JUNCACEAE  
*Juncus heldreichianus* T.Marsson ex Parl., *E. Medit.*, 11, 26.04.2019, Ö.Güner 3476 & Ö.Çetin  
LILIACEAE  
*Fritillaria elwesii* Boiss., *E. Medit.*, 1, 23.02.2019, Ö.Çetin 2106 & Ö.Güner  
*Gagea fibrosa* (Desf.) Schult. & Schult.f., 8, 23.02.2019, Ö.Çetin 2112 & Ö.Güner  
*Gagea graeca* (L.) Irmsch., *E. Medit.*, 8, 18, 15.03.2019, Ö.Çetin 2150 & Ö.Güner  
*Gagea peduncularis* (C.Presl) Pascher, *Akd.*, 9, 23.02.2019, Ö. Güner 3415 & Ö.Çetin  
ORCHIDACEAE  
*Anacamptis pyramidalis* (L.) Rich., 1, 04.04.2019, Ö.Çetin 2195 & Ö.Güner  
*Barlia robertiana* (Loisel.) Greuter, *Medit.*, Literature  
*Ophrys argolica* H.Fleischm., 18, 23.02.2019, Ö.Çetin 2111 & Ö.Güner  
*Ophrys holoserica* (Burm.f.) Greuter, 10, 24.04.2019, Ö.Çetin 2274 & Ö.Güner  
*Ophrys lycia* Renz & Taubenheim, *Medit.*, **End.**, Literature  
*Orchis anatolica* Boiss., *E. Medit.*, 8, 15.03.2019, Ö.Çetin 2147 & Ö.Güner  
*Orchis coriophora* L, 10, 24.04.2019, Ö. Çetin 2273 & Ö.Güner  
*Orchis laxiflora* Lam. subsp. *laxiflora*, *Medit.*, Literature  
*Orchis mascula* (L.) L. subsp. *pinetorum* (Boiss. & Kotschy) G.Camus, *E. Medit.*, Literature  
*Orchis papilionacea* L., 7, 23.02.2019, Ö.Çetin 2098 & Ö.Güner  
*Orchis quadripunctata*, Cyr. ex Ten., *E. Medit.*, 4, 26.04.2019, Ö.Çetin 2306 & Ö.Güner  
*Orchis sancta* L, *E. Medit.*, 12, 25.05.2019, Ö.Çetin 2314 & Ö.Güner  
*Serapias bergonii* E.G.Camus, *Medit.*, 12, 26.04.2019, Ö.Güner 3477 & Ö.Çetin  
*Serapias orientalis* (Greuter) H.Baumann & Künkele, *Medit.*, Literature  
POACEAE  
*Aegilops umbellulata* Zhuk., *Ir.-Tur.*, 12, 26.04.2019, Ö.Güner 3478 & Ö.Çetin  
*Aeluropus littoralis* (Gouan) Parl., 12, 26.04.2019, Ö.Güner 3479 & Ö.Çetin  
*Alopecurus myosuroides* Huds., *Euro-Sib.*, 1, 02.11.2018, Ö. Güner 3405 & Ö.Çetin  
*Avena barbata* Pottex Link, 3, 17.05.2019, Ö.Güner 3498 & Ö.Çetin  
*Brachypodium distachyon* (L.) P.Beauv., *Medit.*, 1, 04.04.2019, Ö.Güner 3443 & Ö.Çetin  
*Briza maxima* L., 10, 24.04.2019, Ö.Çetin 2277 & Ö.Güner

*Briza minor* L., 9, 25.05.2018, Ö.Çetin 1992 &Ö.Güner  
*Bromus diandrus* Roth, 12, 26.04.2019, Ö.Güner 3480  
&Ö.Çetin  
*Bromus japonicus* Thunb., Literature  
*Bromus tectorum* L., Literature  
*Chrysopogon gryllus* (L.) Trin., 6, 02.11.2018, Ö. Güner  
3407 &Ö.Çetin  
*Cynosurus effusus* Link, Literature  
*Dactylis glomerata* L. subsp. *hispanica* (Roth) Nyman,  
Literature  
*Henrardia persica* (Boiss.) C.E.Hubb., Literature  
*Lolium perenne* L., Literature  
*Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. &Schweinf., 6,  
10.11.2018, Ö. Güner 3408 &Ö.Çetin  
*Phleum bertolonii* DC., 9, 02.11.2018, Ö.Güner 3406  
&Ö.Çetin

*Phragmites australis* (Cav.) Trin. exSteud., 15,  
28.04.2019, Ö.Güner 3491 &Ö.Çetin  
*Poa bulbosa* L., Literature  
*Polypogon monspeliensis* (L.) Desf., Literature  
*Psilurus incurvus* (Gouan) Schinz&Thell., 1, 04.04.2019,  
Ö.Güner 3448 &Ö.Çetin  
*Stipa bromoides* (L.) Dörfl., Medit., Literature  
*Taeniatherum caput-medusae* (L.) Nevskisubsp.  
*crinitum*(Schreb.) Melder, Literature  
XANTHORRHOEACEAE  
*Asphodeline lutea* (L.) Rchb., Literature  
*Asphodelus aestivus*Brot., 5, 23.02.2019, Ö. Güner  
3416 &Ö.Çetin  
*Asphodelus fistulosus* L., 18, 23.02.2019,Ö. Güner 3417  
&Ö.Çetin

# Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S İnce Filmlerin Hazırlanması ve Fiziksel Karakterizasyonu: Güneş Pillerinde Tampon Tabaka Olarak Kullanılabilirliklerinin Araştırılması

Özge ERKEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Adıyaman Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Adıyaman.

e-posta: ozgerken@adiyaman.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6493-3059>

Geliş Tarihi: 06.03.2020

Kabul Tarihi: 27.10.2020

## Öz

Bu çalışmada, Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S ince filmler kimyasal depolama yöntemi kullanılarak ticari cam alt tabanlar üzerine elde edilmiştir. Cu-katkılamaya oranının Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S ince filmlerin yapısal, morfolojik, elektriksel ve optiksel özellikler üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu özelliklere bağlı olarak filmlerin güneş pillerinde tampon tabaka olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır. XRD ölçümleri filmlerin amorf bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinden katkılamaya miktarının artırılması ile daha sıkı bir yapının oluştuğu gözlenmiştir. Film kalınlıkları gravimetrik analiz ile 250-422 nm aralığında hesaplanmıştır. Filmlerin optik özellikleri UV/vis spektrofotometresi ile 300-1100 nm dalga boyu aralığında oda sıcaklığında elde edilen optik geçirgenlik (%T) değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S ince filmlerinin görünür bölgedeki optik geçirgenlik değerleri %44-92 olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar kırılma indisi (*n*) değerlerinin görünür bölgede 1.36-2.67 arasında olduğunu göstermiştir. Optik bant aralığı değerleri (*E<sub>g</sub>*) 3.19-3.91 eV aralığında bulunmuştur. Hall ölçümleri Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S ince filmlerin *p*-tipi iletken olduğunu göstermiştir.

## Anahtar kelimeler

Kimyasal Depolama;  
Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S İnce Filmler;  
Güneş Pilleri;  
Tampon Tabaka

## Preparation and Physical Characterization of Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S Thin Films: Investigation of Their Usability as Buffer Layer in Solar Cells

### Abstract

In this study, Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S thin films were obtained by using chemical bath deposition method on commercial glass substrates. The effect of Cu-doping ratio on the structural, morphological, electrical and optical of Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S thin films were examined in detail. Also of the films were investigated usability as a buffer layer in solar cells depending on these features. XRD measurements showed that the films have an amorphous structure. It was observed that a tighter structure is formed by increasing the doping amount from the scanning electron microscope (SEM) images. The film thicknesses were calculated 250-422 nm by using gravimetric analysis. The optical properties of the films were designated by optical transmittance (*T*%) measurements obtained wavelength range 300-1100 nm with UV/vis spectrophotometer at room temperature. The optical transmittance values of Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S thin films were found 44-92% in the visible region. The calculations indicated that the refractive index (*n*) values 1.36-2.67 in the visible region. The optical band gap (*E<sub>g</sub>*) values of the films were determined calculated in the range of 3.19-3.91 eV. Hall measurements showed that Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S thin films are *p*-type conductivity.

### Keywords

Chemical Deposition;  
Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S Thin Films;  
Solar Cells;  
Buffer Layer

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

## 1. Giriş

Günümüzde teknolojik gelişmelerin temel ve belirleyici unsurlarından birini yarı iletken teknolojisi oluşturmaktadır. Yarı iletken malzemeler arasında ince filmler fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak güneş pillerindeki uygulamaları sebebiyle araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. CdS ince

filmler, güneş pillerinde tampon tabaka olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Cd endüstriyel ve çevresel kirleticilerden biri olan ve canlılar üzerindeki toksik etkileri bilinen metallere dendir. Bu nedenle CdS'nin zehirli olması çevresel sorunlara neden olabilmektedir (Erdem 2010, Goudarzi *et al.* 2014, Agrawal *et al.* 2019). Güneş pillerinin optik

performansı CdS tampon tabakadan etkilenebilir, çünkü bant aralığı sadece 2.43 eV'dir ve düşük bant aralığı enerji kayıplarına sebep olmaktadır (Karthik *et al.* 2019). Bu sebeplerle alternatif ince filmlerin üretilmesi ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları devam etmektedir. Literatürde Zn(OH,S), ZnSe, Zn(Se,OH), Zn(O,OH), Zn(O,S,OH), In(OH,S), In(OH)<sub>3</sub>, In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub> ve Sn(S,O)<sub>2</sub> alternatif tampon tabakalar üzerine çalışmalar mevcuttur (Jeon *et al.* 2016). II-VI yarı iletken bileşikler içinde ZnS ince filmler; biyosensörler (Mohaghehpour *et al.* 2009), X-ray sensörleri (Sarma *et al.* 2017), fotovoltaiik güneş hücreleri (Ramli *et al.* 2013), optik alanda yansıtıcı (Tec-Yam *et al.* 2012), ışık yayan diyotlar (LED) (Jrad *et al.* 2016) gibi teknolojinin birçok potansiyel uygulamasında kullanılmaktadır. Ayrıca ZnS'nin 3.5 eV'den 3.9 eV'ye kadar değişen geniş optik bant aralığına, yüksek optik geçirgenliğe ve yüksek kırılma indisine sahip olması (2.3) (Manjulavalli *et al.* 2015, Erken *et al.* 2017), güneş pillerinde tampon tabaka olarak kullanılan CdS'nin yerini alacak en umut verici adaylardan biri olarak öne çıkmaktadır. Ancak katkısız ZnS ince filmlerin 10<sup>7</sup> Ωcm gibi yüksek özdirenç değerine sahip olması güneş pillerindeki tampon katmanları için uygun değildir (Liao *et al.* 2013). Bu nedenle özellikle katkılı ZnS ince filmlerin elde edilmesi ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi güneş pillerindeki uygulama alanları açısından son derece önemli ve güncel araştırma konularından biridir.

Katkılı ve katkısız ZnS ince filmler, püskürtme (Offor *et al.* 2018, Jubimol *et al.* 2018, Sabitha *et al.* 2018), sol-gel (Goktas 2015, Sathishkumar *et al.* 2019), termal buharlaştırma (Barman *et al.* 2019), RF magnetron saçtırma (Chalana *et al.* 2016), ultrasonik püskürtme (Derbali *et al.* 2018, Hurma 2018), spin kaplama (Liu *et al.* 2018), elektrokimyasal depolama (Ghezali *et al.* 2017), SILAR (Priya *et al.* 2017), kimyasal depolama (Zhou *et al.* 2011, Erken *et al.* 2017, Li *et al.* 2017, Sinha *et al.* 2018) gibi üretim teknikleriyle elde edilebilmektedir. Bu teknikler arasında kimyasal depolama yöntemi, diğer tekniklere göre bazı avantajlar sunar: (1) düşük sıcaklıklarda ve kolay uygulanabilir; (2) ucuz ve tekrarlanabilir; (3) geniş alan uygulamaları için uygun; (4) herhangi bir vakum

işlemi gerektirmez ve (5) çevre dostudur (Goktas *et al.* 2015, Hone and Abza 2019, Diliiegros-Godines *et al.* 2019). Teknolojik uygulamalarda birbiriyle örtüşen özelliklere sahip ve aynı amaç için kullanılan ince filmlerin düşük maliyetlerle elde edilebilmesi ayrıca önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmler kimyasal depolama yöntemi kullanılarak 80 °C'de ve depolama süresi bir kez daldırma için 7 saatte sabit tutularak ticari cam alt tabanlar üzerinde elde edilmiştir. Çalışmada, Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) filmlerin fiziksel özelliklerinin karakterizasyonu ile Cu-katkılama oranının filmlerin yapısal, morfolojik, elektriksel ve optik özellikleri üzerindeki etkisi ve bu özelliklere bağlı olarak güneş pillerinde tampon tabaka olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S İnce Filmlerin Elde Edilmesi

Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmler kimyasal depolama yöntemi kullanılarak ticari cam alt tabanlar üzerinde elde edilmiştir. Filmleri depolamadan önce 76 mm x 26 mm x 1 mm ebatlarındaki cam alt tabanların temizleme işlemi yapılmıştır. Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S ince filmleri elde etmek için kullanılan kimyasal malzemeler, depolama çözeltisindeki işlevleri göz önünde bulundurularak titizlikle seçilmiştir. Filmleri elde etmek için çinko kaynağı olarak ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, kükürt kaynağı olarak N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>CS (Tiyöüre), NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>Cl (tampon çözelti) (pH=10.7), C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O (TSS), N(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH)<sub>3</sub> (TEA) ve saf su karışımından oluşan çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti içerisine bakır kaynağı olarak CuCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O bileşiği farklı oranlarda ilave edilerek Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin üretilmesi için kullanılan depolama çözeltileri hazırlanmıştır. Depolama çözeltileri sterilize edilmiş beherlere konularak manyetik karıştırıcıda homojen olana kadar karıştırılmıştır. Bu işlem bittikten sonra temizlenmiş camlar hazırlanan çözeltilere daldırılmıştır. Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin depolanma sürecinde depolama sıcaklığı 80 °C'de ve depolama süresi bir kez daldırma için 7 saatte sabit tutulmuştur. Daldırma



işlemi bittikten sonra filmler saf sudan geçirilmiş ve son olarak hava ortamında kurutulmuştur. Fiziksel özelliklerin araştırılabilmesi için camın iki yüzünde oluşan filmlerin bir tarafı kromik asite daldırılan pamuklu çubuk yardımıyla temizlenmiş ve yeniden saf sudan geçirilerek 24 saat süre ile hava ortamında kurumaya bırakılmıştır.

## 2.2. Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S İnce Filmlerin Karakterizasyonu

Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin kristal yapısının belirlenebilmesi için X-ışını kırınım ölçümleri Rigaku RadB-Dmax II difraktometre sistemi kullanılarak (CuK<sub>α1</sub>, λ=1.5405 Å, 40 kV, 30 mA, tarama hızı 6 derece/dakika) 2θ = 10° – 80° aralığında ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Filmlerin yüzey morfolojisi LEO-EVO 40 model taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Elektriksel özelliklerin belirlenebilmesi için Ecopia marka Hall Effect Measurement System HS-3000 kullanılmış ve ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır.

Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin optik özelliklerini belirlemek için oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik (%T) ölçümleri Perkin Elmer UV/vis Lambda 2S spektrofotometresi kullanılarak 300-1100 nm dalga boyu aralığında yapılmıştır. Optik geçirgenlik (%T) değerleri kullanılarak filmlerin yansımaya (%R), soğurma katsayısı (α), kırılma indisi (n), sönüm katsayısı (k) gibi optiksel parametreleri aşağıdaki ilgili denklemlerle hesaplanmıştır.

$$\alpha = -\frac{1}{t} \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (1)$$

$$R = 1 - \left[ \left( \frac{T}{T_0} \right) e^{\alpha t} \right]^2 \quad (2)$$

$$k = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \quad (3)$$

$$n = \frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad (4)$$

Denklemlerde T ve T<sub>0</sub> sırası ile filmde geçen ve spektrofotometreden gelen ışık miktarını göstermektedir. Film kalınlıkları (t) gravimetrik tartım metodu kullanılarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$t = \frac{m}{A\rho} \quad (5)$$

Burada m filmin kütlesini g olarak, ρ filmin yoğunluğunu gcm<sup>-3</sup> olarak ve A ise depolanan filmin yüzey alanını cm<sup>2</sup> olarak göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin optik bant aralıkları Tauc denklemi ile hesaplanmıştır.

$$(\alpha h\nu) \propto A (h\nu - E_g)^n \quad (6)$$

Burada A bir sabit, hν foton enerjisini, E<sub>g</sub> optik bant aralığını göstermektedir. n değeri ise doğrudan izinli geçişler için ½ ve dolaylı izinli geçişler için 2 değerini alır. (αhν)<sup>2</sup>-hν grafiklerinde; grafiklerin lineer kısmının hν eksenini (αhν)<sup>2</sup>=0'da kestiği nokta belirlenerek izinli direk geçişler için optik bant aralığı (E<sub>g</sub>) değerleri belirlenmiştir.

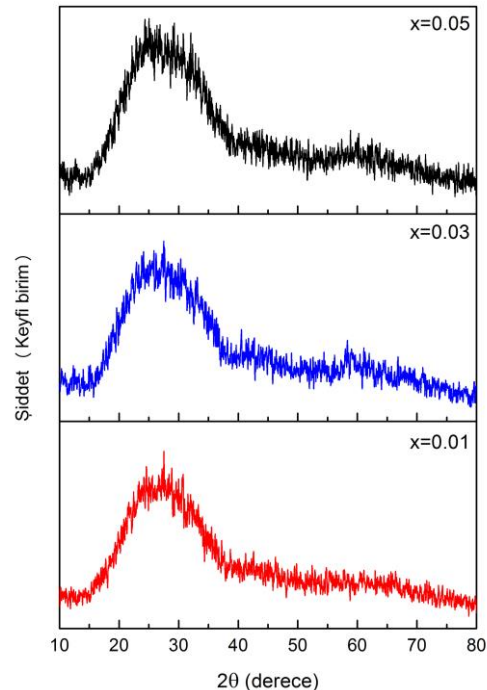
Elektriksel iletkenlik (σ), mobilite (μ) ve taşıyıcı yoğunluğu (N) arasındaki ilişkiyi gösteren bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$\sigma = Ne\mu \quad (7)$$

## 3. Bulgular

### 3.1. Yapısal ve Morfolojik Özellikler

Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin 10°-80° aralığında alınan XRD kırınım deseni Şekil 1'de verilmiştir.

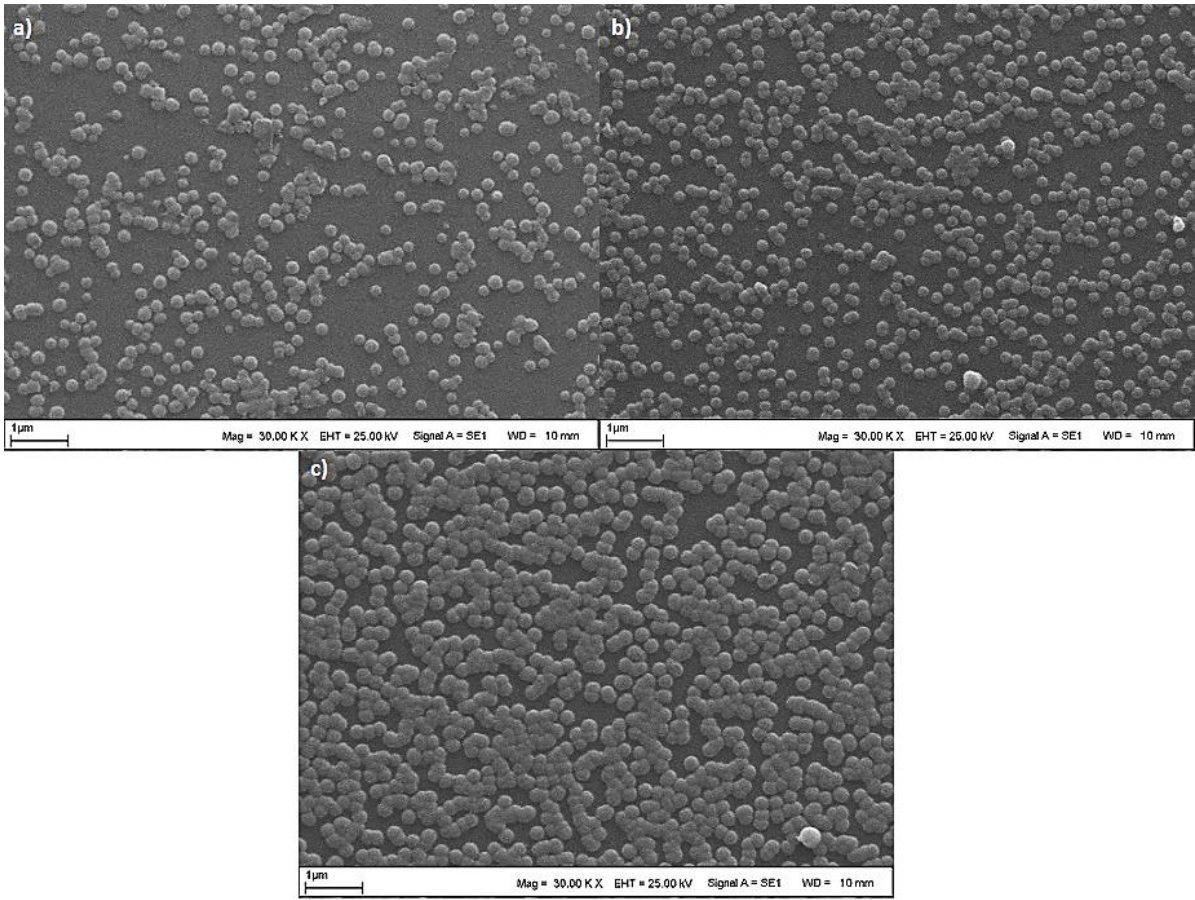


**Şekil 1.** Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S ince filmleri için XRD kırınım desenleri.

Filmlerin yapısında herhangi bir kristal faza rastlanmamış ve filmler amorf bir yapı deseni göstermiştir. Bu desen 20-38° aralığında geniş bir yayılım gösteren bir amorf yapı pikidir.

Farklı bakır konsantrasyonlarına sahip Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin yüzey morfolojilerini gösteren SEM görüntüleri Şekil 2(a-c)'de ve EDX analizleri sonucunda elde edilen atomik yüzde oranları Çizelge 1'de verilmiştir. x=0.01 için elde edilen ince filmin yüzeyinde partikül şeklinde

oluşan tanecikler arasında boşluklar olduğu, kümelenme olmadığı ve düzgün dağıldığı görülmektedir (Şekil 2a). x=0.03 için elde edilen ince filmin yüzeyinde partikül şeklinde oluşan tanecik sayısının arttığı, tanecikler arasında boşluklar olduğu, kümelenme olmadığı ve düzgün dağıldığı görülmektedir (Şekil 2b). x=0.05 için elde edilen ince filmin yüzey morfolojisinde tanelerin bir miktar daha büyüdüğü, daha sıkı bir yapının oluştuğu ve tanecikler arasındaki boşlukların azaldığı bir yüzey morfolojisi oluşmuştur (Şekil 2c).



**Şekil 2. a) x=0.01 b) x=0.03 c) x=0.05 için elde edilen Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S filmlerinin SEM görüntüleri.**

**Çizelge 1.** EDX sonuçlarından elde edilen Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S ince filmlere ait atomik yüzde oranları.

| x    | Atomik (%) |       |       |
|------|------------|-------|-------|
|      | Cu         | Zn    | S     |
| 0.01 | 0.92       | 48.75 | 50.33 |
| 0.03 | 2.40       | 49.32 | 48.28 |
| 0.05 | 4.24       | 49.55 | 46.21 |

### 3.2. Optiksel Özellikler

Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) film kalınlıkları gravimetrik analiz metodu kullanılarak hesaplanmış

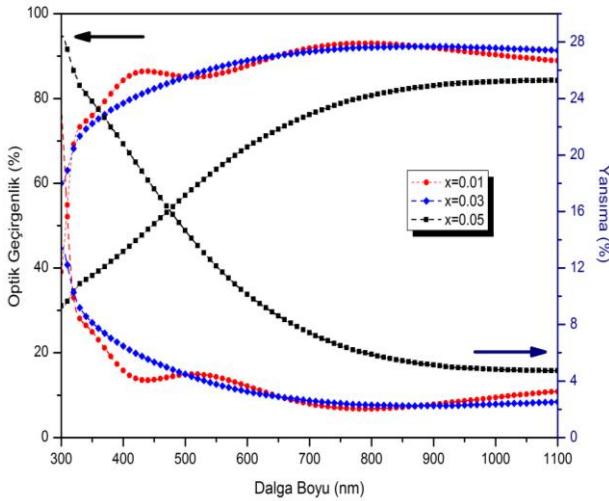
ve Çizelge 2'de verilmiştir. Katkılama oranının arttırılması ile film kalınlıklarının arttığı açıkça görülmektedir.

**Çizelge 2.** Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin kalınlık değerleri.

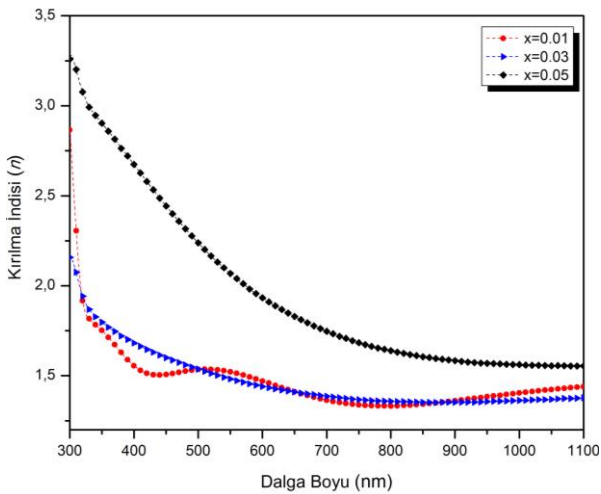
| x    | Film Kalınlığı (t) (nm) |
|------|-------------------------|
| 0.01 | 250                     |
| 0.03 | 264                     |
| 0.05 | 422                     |

Şekil 3'te verilen dalga boyuna bağlı optik geçirgenlik spektrumları incelendiğinde; filmlerin %T değerlerinin görünür bölgede %44-92 aralığında değiştiği görülmektedir.  $\lambda=550$  nm'de  $x=0.01$  ve  $x=0.03$  için elde edilen  $Cu_xZn_{1-x}S$  ince filmlerin optik geçirgenlik değerleri %85'in üzerinde iken  $x=0.05$  için elde edilen  $Cu_xZn_{1-x}S$  ince filmin aynı dalga boyundaki optik geçirgenlik değeri %63'tür.

$Cu_xZn_{1-x}S$  ( $x=0.01, 0.03, 0.05$ ) ince filmlerin dalga boyuna bağlı yansıma (%R) grafiklerinden Cu-katkılama oranının artırılması ile birlikte yansıma (%R) değerlerinin arttığı belirlenmiştir.  $x=0.01, x=0.03$  ve  $x=0.05$  Cu-katkılama ile elde edilen  $Cu_xZn_{1-x}S$  filmlerin optik geçirgenlik spektrumları da bu analizi destekler niteliktedir.



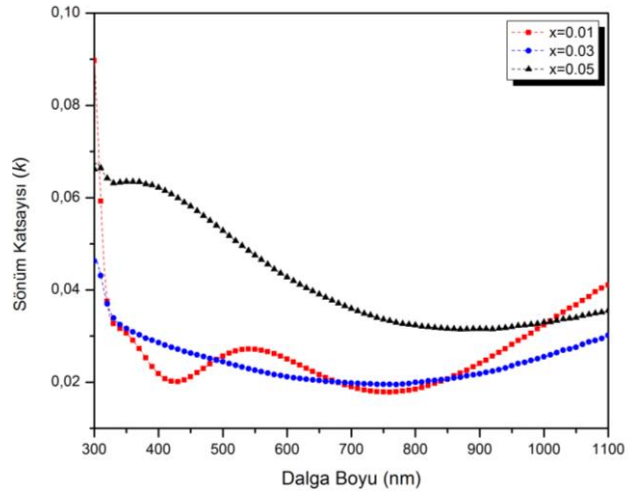
Şekil 3.  $Cu_xZn_{1-x}S$  ( $x=0.01, 0.03, 0.05$ ) filmlerinin %T ve %R değişimleri.



Şekil 4.  $Cu_xZn_{1-x}S$  filmlerinin kırılma indisi değişimleri.

$Cu_xZn_{1-x}S$  ( $x=0.01, 0.03, 0.05$ ) ince filmlerinin dalga boyuna bağlı kırılma indisi ( $n$ ) değişimleri Şekil 4'te

ve sönüm katsayısı ( $k$ ) değişimleri Şekil 5'te verilmiştir.



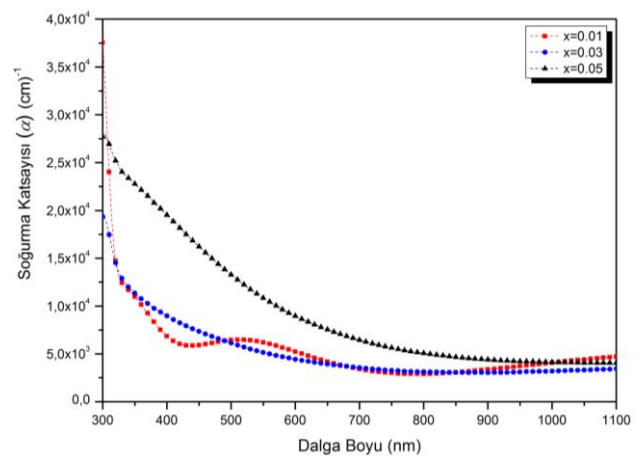
Şekil 5.  $Cu_xZn_{1-x}S$  filmlerinin sönüm katsayısı değişimleri.

Kırılma indisinin film yoğunluğuna bağlılığı Clausius-Mossotti ilişkisi ile açıklanmıştır (Talebian ve Talebian 2013). Filmlerin görünür bölgedeki (400-700 nm) kırılma indisi değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3.  $Cu_xZn_{1-x}S$  ince filmleri için görünür bölgedeki (400-700 nm) en küçük ve en büyük  $n$  değerleri.

| $x$  | Kırılma indisi ( $n$ ) |
|------|------------------------|
| 0.01 | 1.36-1.55              |
| 0.03 | 1.38-1.68              |
| 0.05 | 1.74-2.67              |

$Cu_xZn_{1-x}S$  ( $x=0.01, 0.03, 0.05$ ) filmlerinin dalga boyuna bağlı soğurma katsayısı ( $\alpha$ ) değişimleri Şekil 6'da verilmiştir.



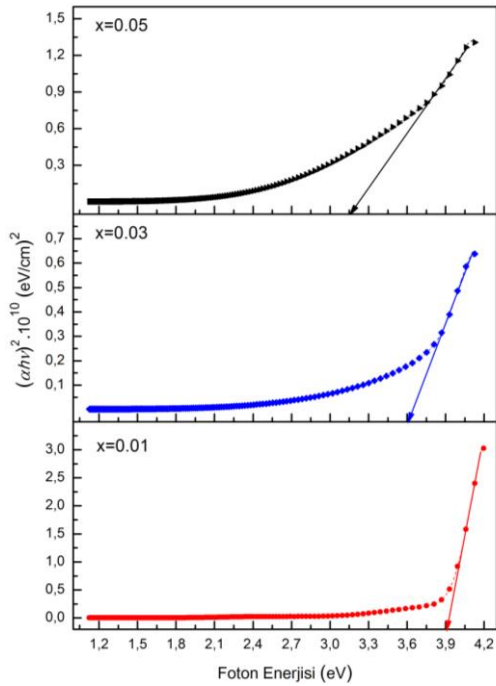
Şekil 6.  $Cu_xZn_{1-x}S$  ( $x=0.01, 0.03, 0.05$ ) filmleri için soğurma katsayısı değişimleri.

$Cu_xZn_{1-x}S$  ( $x=0.01, 0.03, 0.05$ ) filmleri için  $(\alpha h\nu)^2$  değerlerinin foton enerjisine göre değişimi Şekil 7 ile

verilmiştir. Şekil 7’de değişimin lineer kısmına karşılık gelen doğrunun foton enerjisini  $(\alpha h\nu)^2=0$ ’da kestiği nokta doğrudan izinli geçişler için optik bant aralığı ( $E_g$ ) değerlerini göstermektedir ve bu değerler Çizelge 4’te verilmiştir.

**Çizelge 4.** Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S ince filmleri için optik bant aralığı değerleri.

| x    | E <sub>g</sub> (eV) |
|------|---------------------|
| 0.01 | 3.91                |
| 0.03 | 3.60                |
| 0.05 | 3.19                |



**Şekil 7.** Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) filmleri için  $(\alpha h\nu)^2$  değerlerinin foton enerjisine göre değişimleri.

### 3.3. Elektriksel Özellikler

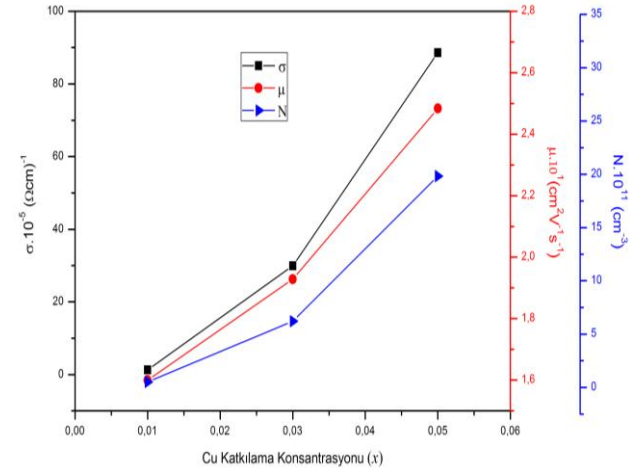
Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin Hall ölçümleri ile belirlenen elektriksel iletkenlik ( $\sigma$ ), mobilite ( $\mu$ ), taşıyıcı yoğunluğu (N) ve Hall katsayısı ( $R_H$ ) değerleri Çizelge 5’te verilmiştir.

**Çizelge 5.** Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) filmlerinin elektriksel parametreleri.

| x    | $\sigma$ ( $\Omega\text{cm}$ ) <sup>-1</sup> | $\mu$ ( $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) | N ( $\text{cm}^{-3}$ ) | $R_H$ ( $\text{cm}^2\text{C}$ ) |
|------|--|---|------------------------|---------------------------------|
| 0.01 | 1.301x10 <sup>-5</sup>                       | 1.600x10 <sup>1</sup>                             | 5.205x10 <sup>10</sup> | 2.209x10 <sup>8</sup>           |
| 0.03 | 2.992x10 <sup>-4</sup>                       | 1.928x10 <sup>1</sup>                             | 6.209x10 <sup>11</sup> | 9.371x10 <sup>7</sup>           |
| 0.05 | 8.862x10 <sup>-4</sup>                       | 2.484x10 <sup>1</sup>                             | 2.983x10 <sup>12</sup> | 3.574x10 <sup>7</sup>           |

iletkenlik tipinin belirlenmesini sağlayan Hall katsayısından ( $R_H$ ) ve taşıyıcı konsantrasyonundan (N) tüm filmlerin p-tipi iletkenlik gösterdiği Çizelge

5’te görülmektedir. Bununla birlikte Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin Hall ölçümleri ile belirlenen elektriksel iletkenlik ( $\sigma$ ), mobilite ( $\mu$ ) ve taşıyıcı yoğunluğu (N) değişimleri Şekil 8’de verilmiştir.



**Şekil 8.** Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S filmlerinin elektriksel iletkenlik, mobilite ve taşıyıcı yoğunluğu değişimleri.

### 4. Tartışma ve Sonuç

Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmler kimyasal depolama yöntemi kullanılarak ticari camlar üzerinde depolama sıcaklığı 80 °C’de ve depolama süresi bir kez daldırma için 7 saatte sabit tutularak elde edilmiştir.

Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) filmlerinin Şekil 1 ile verilen XRD kırınım desenlerinde cam alt tabanla ilişkili 20-38° arasındaki geniş aralık, filmlerde kristalleşmesinin zayıf olduğunu ve cam kırınım pikinin baskın olduğunu göstermektedir. Piklerin konumu, şiddeti ve genişliği, filmlerin depolanma parametrelerine sıkı sıkıya bağlıdır ve elde edilen XRD analiz sonuçları literatürle örtüşmektedir (Goktas *et al.* 2015, Nikzad *et al.* 2019). Bunun yanı sıra Şekil 2 ile verilen SEM görüntülerinde Cu-katkılama oranının arttırılmasıyla tanecik sayısının arttığı ve taneciklerin büyüdüğü gözlenmiştir. Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin yüzey morfolojilerinde gözlemlenen tanecikler arası boşluklar filmlerin XRD kırınım desenleri ile belirlenen amorf yapısını desteklemektedir.

Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerde Cu oranının arttırılmasıyla taşıyıcı konsantrasyonu artar ve bu durum film kalınlığının artmasına neden olur



(Mohamed *et al.* 2010, Ortíz-Ramos *et al.* 2014, Goktas *et al.* 2015, Sabitha *et al.* 2018).  $x=0.01, 0.03$  ve  $0.05$  için elde edilen  $Cu_xZn_{1-x}S$  filmlerin kalınlıkları gravimetrik analiz ile sırasıyla 250, 264 ve 422 nm olarak bulunmuştur ki katkı miktarının artırılması ile film kalınlıklarının artması beklenen bir sonuçtur. Optik geçirgenlik (% $T$ ) değerlerinin film kalınlığı ile azaldığı Şekil 3'te görülmektedir. Dalga boyuna karşılık gelen optik geçirgenlik (% $T$ ) değerleri görünür bölgede %44-92 aralığında değişmektedir.  $x=0.01$  ve  $x=0.03$  için elde edilen  $Cu_xZn_{1-x}S$  ince filmlerin  $\lambda=550$  nm'deki optik geçirgenlik değerleri %85'in üzerinde iken  $x=0.05$  için elde edilen filmin aynı dalga boyundaki optik geçirgenlik değeri %63'tür. Ayrıca katkı artışı lineer olmasına karşın  $x=0.05$  için optik geçirgenlik (% $T$ ) değerlerinin daha keskin bir şekilde düşmesi şu şekilde açıklanabilir: (1) Cu iyonlarının eklenmesiyle çekirdekleşme hızında artış olduğu ve bunun sonucunda depolama sürecinde film büyüme oranının diğerlerine göre ( $x=0.01$  ve  $x=0.03$ ) daha hızlı arttığı söylenebilir; (2) Depolama çözeltisindeki iyonların cam yüzeyinde oluşan çekirdeklenme yerlerine daha iyi tutunmasıyla film kalınlığı daha kısa sürede artmış olabilir (Pathan ve Lokhande 2004, Ortíz-Ramos *et al.* 2014). Bununla birlikte Cu-katkılama oranının arttırılmasına bağlı olarak artan film kalınlığı birlikte yansıma değerlerinin de arttığı Şekil 3'te görülmektedir. Elde edilen sonuçlar katkılama miktarının optik geçirgenlik ve yansıma üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra literatürde Cu oranının arttırılmasıyla elde edilen ZnS ince filmler için yapılan çalışmalarda film kalınlığı, % $T$  ve % $R$  değerlerinin değişimi buradaki sonuçlarla örtüşmektedir (Farid *et al.* 2014, Ortíz-Ramos *et al.* 2014, Goktas *et al.* 2015, Sabitha *et al.* 2018).

Şekil 4'te artan dalga boyu ile kırılma indisi ( $n$ ) değerlerinin azaldığı, bu bağlamda filmlerin normal dağılım özelliği gösterdiği söylenebilir. Ayrıca artan dalga boyu ile kırılma indisi değerlerinin azalması, Cu-katkılama oranının arttırılması sonucunda filmlerin optik geçirgenliğindeki değişim ile ilişkilendirilebilir (Mimouni *et al.* 2015, Erken *et al.* 2017). Bununla birlikte Cu-katkılama oranının arttırılması ile kalınlığı artan filmlerin kırılma indisi

( $n$ ) değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5 ile verilen dalga boyuna bağlı sönüm katsayısı ( $k$ ) değişimleri incelendiğinde diğerlerinden farklı olarak  $x=0.01$  için elde edilen  $Cu_xZn_{1-x}S$  ince filmin sönüm katsayısı ( $k$ ) değerlerinin dalgalandığı durumlar görülmektedir. Bu, gelen ışığın numuneden birçok kez geçtiği ve geçirgen bölgede girişim saçakları olduğu anlamına gelmektedir (Suhail ve Ahmed 2014, Samba Vall *et al.* 2018). Şekil 3 ile verilen optik geçirgenlik (% $T$ ) değişimleri bu sonucu desteklemektedir. Girişim saçaklarının olduğu bölgelerde sönüm katsayısındaki ( $k$ ) dalgalanmalar banttan-banda geçişten kaynaklanmaktadır (Horng *et al.* 2020, Kumar Das *et al.* 2020). Ayrıca yakın kızıl ötesi bölgede girişim etkisi soğurma ile kaybolduğundan bu bölgede sönüm katsayısı artmış olabilir (Hofmeister *et al.* 2003, Gungor *et al.* 2016). Bunun yanı sıra Cu-katkılama oranının arttırılmasına bağlı olarak artan film kalınlığından dolayı optik saçılım ve optik kayıp artacağından  $k$  değerleri yakın kızıl ötesi bölgede artmış olabilir. Şekil 6 ile verilen  $Cu_xZn_{1-x}S$  ince filmlerin soğurma katsayısı ( $\alpha$ ) değişimleri, sönüm katsayısındaki ( $k$ ) değişimleri destekler niteliktedir.  $Cu_xZn_{1-x}S$  filmlerindeki kırılma indisi ( $n$ ) ve sönüm katsayısı ( $k$ ) değerlerinin değişimine film yapısının tane sınırları da sebep olabilir (Mimouni *et al.* 2015, Erken *et al.* 2017). Ayrıca bu değişimler iyonların polarize edilebilirliği ve Cu-katkılama oranının değiştirilmesiyle ZnS içinde yerel alandaki varyasyondan kaynaklanabilir (Goktas ve Mutlu 2016, Hassanien *et al.* 2020).

$Cu_xZn_{1-x}S$  ( $x=0.01, 0.03, 0.05$ ) ince filmlerde Cu oranının arttırılmasıyla optik bant aralığı ( $E_g$ ) değerlerinin 3.91 eV'den 3.19 eV'ye kadar azaldığı ve bu değerlerin CdS'nin optik bant aralığı ( $E_g$ ) değerinden (2.43 eV) (Karthik *et al.* 2019) yüksek olduğu Çizelge 4'te açıkça görülmektedir. Optik bant aralığı ( $E_g$ ) değerlerinin azalması ZnS'ye Cu katkılama oranının arttırılmasıyla yapısal değişikliklerle ilgilidir. Katkılama ile birlikte  $Cu^{+2}$  iyonları yapıdaki ara yerleri işgal edebilir veya  $Zn^{+2}$  iyonları ile yer değiştirebilir, bu durumda yapısal kusurlar oluşur (Hasanzadeh *et al.* 2013, Goktas *et al.* 2015, Chalana *et al.* 2016, Nikzad *et al.* 2019). Katkısız ZnS'de elektronik geçişler değerlik bandından iletim

bandına doğrudan gerçekleşir (Chalana *et al.* 2016). Ancak Cu-katkılı ZnS'de dolu olmayan Cu<sup>+2</sup> s-d durumları elektronları yakaladığından elektronlar iletim bandına doğrudan uyarılmaz ve bu durumda valans bandı kenarına yakın enerji seviyeleri oluşur (Choudhury *et al.* 2013, Chalana *et al.* 2016). Kuantum mekaniksel değerlendirmelere göre Cu katkılamaya bağlı olarak oluşan yapısal bozukluk yerel bir elektrik alan oluşumuna yol açar ve bu durum bant yapısında lokalize durumlar oluşturarak ZnS'nin bant aralığının azalmasına neden olur (Prathap *et al.* 2007, Chalana *et al.* 2016). Bu çalışmada Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerde Cu oranının arttırılmasıyla optik bant aralığı (E<sub>g</sub>) değerlerinin azaldığı sonucu literatürle örtüşmektedir (Mohamed *et al.* 2010, Farid *et al.* 2014, Goktas *et al.* 2015, Chalana *et al.* 2016, Ganesha Krishna ve Mahesha 2020).

Şekil 8'den Cu-katkılama oranının arttırılması ile elektriksel iletkenlik (σ), mobilite (μ) ve taşıyıcı yoğunluğunun (N) orantılı bir şekilde arttığı açıkça görülmektedir. Bunun sebebi şu şekilde açıklanabilir: Cu-katkılama oranının arttırılması ile ZnS yapısına giren Cu<sup>+2</sup> iyonlarının Zn<sup>+2</sup> iyonları ile yer değiştirmesi veya yapıdaki ara yerleri işgal etmesi sonucunda Cu<sup>+2</sup> iyonları alıcı görevi görür ve yapıdaki boşluk sayısı artar, bu durum taşıyıcı konsantrasyonunun artmasına neden olur ve böylelikle elektriksel iletkenlikte artış meydana gelir (Samanta *et al.* 2009, Ganesha Krishna ve Mahesha 2020). Özdirenç elektriksel iletkenliğin tersi olarak tanımlanır ve oda sıcaklığında yarı iletkenlerin özdirencinin 10<sup>-3</sup>-10<sup>7</sup> Ωcm aralığında olduğu bilinmektedir (Kumar Singh 2017). Dolayısıyla Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin elektriksel iletkenlik ölçümleri (Çizelge 5) filmlerin yarı iletken davranışını ortaya koymaktadır. Ayrıca bir yarı iletkenin iletkenlik tipi Hall katsayısı (R<sub>H</sub>) ve taşıyıcı yoğunluğu (N) işareti ile belirlenir. Bu parametreler pozitif ise yarı iletken p-tipi olarak adlandırılır (Ellmer 2012). Çizelge 5'te görüldüğü gibi Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin Hall katsayısı (R<sub>H</sub>) ve taşıyıcı yoğunluğu (N) değerleri pozitifdir. Buna bağlı olarak filmlerin p-tipi iletkenlik gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada elde edilen Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin

elektriksel özellikleri daha önce yapılan çalışmalarla uyum içerisinde (Samanta *et al.* 2009, Ortíz-Ramos *et al.* 2014, Goktas *et al.* 2015, Ganesha Krishna ve Mahesha 2020).

Güneş pillerinde tampon tabaka olarak kullanılabilen ince filmler optiksel ve elektriksel açıdan bazı özelliklere sahip olmalıdır. Bu özellikler: (1) optik geçirgenlik değerlerinin görünür bölgede yüksek olması (%T>60); (2) film kalınlığının 450 nm'den küçük olması; (3) optik bant aralığı (E<sub>g</sub>) değerlerinin yüksek ve geniş bant aralığına sahip olmasıyla birlikte enerji kayıplarına yol açmaması; (4) optiksel parametrelerin yanı sıra ince filmin özdirencinin ~10<sup>3</sup>-10<sup>5</sup> Ωcm aralığında olması; şeklinde ifade edilebilir (Goudarzi *et al.* 2014, Kim *et al.* 2014, Lee ve Ebong 2017, Agrawal *et al.* 2019). Bu çalışmada Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerde Cu-katkılama oranının değişmesiyle yüzey morfolojisinin, elektriksel ve optiksel özelliklerinin önemli ölçüde değiştiği belirlenmiş olup elde edilen sonuçlar literatürle uyum içerisinde (Ortíz-Ramos *et al.* 2014, Goktas *et al.* 2015, Chalana *et al.* 2016, Nikzad *et al.* 2019). Yapılan analizler sonucunda Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin görünür bölgede yüksek optik geçirgenlik (%T), film kalınlığı, geniş optik bant aralığı (E<sub>g</sub>) ve elektriksel iletkenlik (σ) değerlerinin güneş pillerinde kullanılan tampon tabakalar için uygun olduğu söylenebilir. Ayrıca pratik anlamda yaygın kullanılan CdS'nin bant aralığının düşük olması (2.43 eV) sebebiyle güneş pillerinde enerji kayıplarına yol açtığı ve toksik etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Karthik *et al.* 2019). Bu nedenlerle güneş pillerinde tampon tabaka olarak kullanılabilen alternatif ince filmlerin üretilmesi ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları devam etmektedir. Literatürde CdS yerini alabilecek güneş pillerinde tampon tabaka olarak kullanılabilen ince filmlere yönelik çalışmalar mevcuttur (Goudarzi *et al.* 2014, Kaushalya *et al.* 2018, Agrawal *et al.* 2019). Sonuç olarak, CdS ince filmine alternatif olması amacıyla üretilen Cu<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>S (x=0.01, 0.03, 0.05) ince filmlerin yukarıda açıklanan özelliklere göre güneş pillerinde tampon tabaka olarak kullanılacak yarı iletken ince filmler arasında umut vaat eden bir aday olduğu kanısına varılmıştır.

## 5. Kaynaklar

- Agrawal, D., Patel, S.L., Himanshu, Chander, S., Kannan, M.D., Dhaka, M.S., 2019. Role of low-cost non-toxic MgCl<sub>2</sub> treatment on ZnS films: Optimization of physical properties for buffer layers. *Optik*, **199**, 163307.
- Barman, B., Kasturi, V.B., Shivakumar, G.K., 2019. Preparation of thermally deposited Cu<sub>x</sub>(ZnS)<sub>1-x</sub> thin films for opto-electronic devices. *Journal of Alloys and Compounds*, **772**, 532–536.
- Chalana, S.R., Jolly Bose, R., Reshmi Krishnan, R., Kavitha, V.S., Sreeja Sreedharan, R., Mahadevan Pilla, V.P., 2016. Structural phase modification in Cu incorporated nanostructured zinc sulfide thin films. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **95**, 24–36.
- Choudhury, B., Dey, M., Choudhury, A., 2013. Defect generation, d-d transition, and band gap reduction in Cu-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *International Nano Letters*, **3**, 25.
- Derbali, A., Attaf, A., Saidi, H., Benamra, H., Nouadji, M., Aida, M.S., Attaf, N., Ezzaouia, H., 2018. Investigation of structural, optical and electrical properties of ZnS thin films prepared by ultrasonic spray technique for photovoltaic applications. *Optik*, **154**, 286–293.
- Diliegros-Godines, C.J., Lombardero-Juarez, D.I., Machorro-Mejia, R., Silva González, R., Pal, M., 2019. Electrical properties and spectroscopic ellipsometry studies of covellite CuS thin films deposited from non ammoniacal chemical bath. *Optical Materials*, **91**, 147–154.
- Ellmer, K., 2012. Hall Effect and Conductivity Measurements in Semiconductor Crystals and Thin Films. Characterization of Materials. In Characterization of Materials, E.N. Kaufmann (Ed.), *John Wiley & Sons*, 564-579.
- Erdem, T., 2010. Ratlarda Tek Doz Uygulanan Kadmiyum Toksikasyonunun Patolojisi ve Eş Zamanlı Uygulanan Klorpromazinin Koruyucu Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya, 110.
- Erken, O., Gunes, M., Gumus, C., 2017. Synthesis of Mn-doped ZnS thin films by chemical bath deposition: Optical properties in the visible region. *AIP Conference Proceedings*, **1833**, 020093.
- Erken, O., Gunes, M., Ozaslan, D., Gumus, C., 2017. Effect of deposition time on optical and electrical properties of semiconductor ZnS thin films prepared by chemical bath deposition. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, **55**, 471–477.
- Farid, H., Rafea, M.A., El-Wahidy, E.F., El-Shazly, O., 2014. Preparation and characterization of ZnS nanocrystalline thin films by low cost dip technique. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **25**, 2017–2023.
- Ganesha Krishna, V.S., Mahesha, M.G., 2020. Characterization of transparent p-type Cu:ZnS thin films grown by spray pyrolysis technique. *Journal of Alloys and Compounds*, **848**, 156568.
- Ghezali, K., Mentar, L., Boudine, B., Azizi, A., 2017. Electrochemical deposition of ZnS thin films and their structural, morphological and optical properties. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **794**, 212–220.
- Goktas, A., 2015. Sol-gel derived Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>S diluted magnetic semiconductor thin films: Compositional dependent room or above room temperature ferromagnetism. *Applied Surface Science*, **340**, 151–159.
- Goktas, A., Aslan F., Tumbul A., 2015. Nanostructured Cu-doped ZnS polycrystalline thin films produced by a wet chemical route: the influences of Cu doping and film thickness on the structural, optical and electrical properties. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, **75**, 45–53.
- Goktas, A., Mutlu, i.H., 2016. Structural, Optical, and Magnetic Properties of Solution-Processed Co-Doped ZnS Thin Films. *Journal of Electronic Materials*, **45**, 5709–5720.
- Goudarzi, A., Namghi, A.D., Ha, C.S., 2014. Fabrication and Characterization of Nano-structured ZnS Thin Films as the Buffer Layers in Solar Cells. *RSC Advances*, **4**, 59764–59771.
- Gungor, T., Gungor, E., Saka, B., 2016. Fast and interference fringe independent optical characterization of zinc oxide nano thin films using model-based genetic algorithm for optoelectronic applications. *Nanomaterials and Nanotechnology*, **6**, 1–7.
- Hasanzadeh, J., Taherkhani, A., Ghorbani M., 2013. Luminescence and Structural Properties of ZnS:Cu Nanocrystals Prepared Using a Wet Chemical Technique. *Chinese Journal of Physics*, **51**, 540–550.
- Hassanien, A.S., Sharma, I., Akl, A.A., 2020. Physical and optical properties of a-Ge-Sb-Se-Te bulk and film samples: Refractive index and its association with electronic polarizability of thermally evaporated a-Ge<sub>15-x</sub>Sb<sub>x</sub>Se<sub>50</sub>Te<sub>35</sub> thin-films. *Journal of Non-Crystalline Solids*, **531**, 119853.
- Hofmeister, A M., Keppel, E., Speck, A.K., 2003. Absorption and reflection infrared spectra of MgO and other diatomic compounds. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **345**, 16–38.

- Hone F.G., Abza, T., 2019. Short Review of Factors Affecting Chemical Bath Deposition Method for Metal Chalcogenide Thin Films. *International Journal of Thin Films Science and Technology*, **8**, 43–52.
- Horng, J., Martin, E.W., Chou, Y.S., Courtade, E., Chang, T.C., Hsu, C.Y., Wentzel, M.H., Ruth, H.G., Lu, T.C., Cundif, S.T., Wang, F., Deng, H., 2020. Perfect Absorption by an Atomically Thin Crystal. *Physical Review Applied*, **14**, 024009.
- Hurma, T., 2018. Structural and optical properties of nanocrystalline ZnS and ZnS:Al films, *Journal of Molecular Structure*, **1161**, 279–284.
- Jrad, A., Naffouti, W., Ben Nasr, T., Turki-Kamoun, N., 2016. Comprehensive optical studies on Ga-doped ZnS thin films synthesized by chemical bath deposition. *Journal of Luminescence*, **173**, 135–140.
- Jubimol, J., Sreejith, M.S., Sudha Kartha, C., Vijayakumar, K.P., Louis, G., 2018. Analysis of spray pyrolysed copper zinc sulfide thin films using photoluminescence. *Journal of Luminescence*, **203**, 436–440.
- Karthik K, Pushpa S, Madhukara Naik M, Vinuth M., 2019. Influence of Sn and on structural, optical and magnetic properties of spray pyrolysed CdS thin films. *Materials Research Innovations*, **24**, 82–86.
- Kaushalya, Patel, S.L., Purohit, A., Chander, S., Dhaka, M.S., 2018. Thermal annealing evolution to physical properties of ZnS thin films as buffer layer for solar cell applications. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, **101**, 174–177.
- Kim, J., Park, C., Pawar, S.M., Inamdar, A.I., Jo, Y., Han, J., Hong, J.P., Park, Y.S., Kim, D.Y., Jung, W., Kim, H., Im, H., 2014. Optimization of sputtered ZnS buffer for Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> thin film solar cells. *Thin Solid Films*, **566**, 88–92.
- Kumar Das, S., Parvin, S., Honey, U., Rana, S., Jewena, N., Khandaker, J.I., Ahmed, F., 2020. Bandgap Saturation in Room Temperature Synthesized Cobalt Doped ZnS Nanoparticles. *Journal of Materials Science and Engineering A*, **10**, 103–110.
- Kumar Singh, V., 2017. Band Gap And Resistivity Measurements of Semiconductor Materials For Thin Films. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, **4**, 1200–1210.
- Lee, T.D., Ebong, A.U., 2017. A review of thin film solar cell technologies and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **70**, 1286–1297.
- Li, Y., Liu, Z., Duo, S., Zhong, R., Liu, T., 2017. Structural, optical, photocurrent and mechanism-induced photocatalytic properties of surface-modified ZnS thin films by chemical bath deposition. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **28**, 28–42.
- Liao, J., Cheng, S., Zhou, H., Long, B., 2013. Al-doped ZnS thin films for buffer layers of solar cells prepared by chemical bath deposition. *Micro & Nano Letters*, **8**, 211–214.
- Liu, K., Li, J., Xu Y., Li, H., Gao, W., 2018. Investigation of ZnS films prepared with different solvents and zinc sources under different experimental conditions. *Results in Physics*, **11**, 749–754.
- Manjulavalli, T.E., Kannan, A.G., 2015. Structural and optical properties of ZnS thin films prepared by chemical bath deposition method. *International Journal of ChemTech Research*, **8**, 396–402.
- Mimouni, R., Kamoun, O., Yumak, A., Mhamdi, A., Boubaker, K., Petkova, P., Amlouk, M., 2015. Effect of Mn content on structural, optical, opto-thermal and electrical properties of ZnO:Mn sprayed thin films compounds. *Journal of Alloys and Compounds*, **645**, 100–111.
- Mohaghehpour, E., Rabiee, M., Moztarzadeh, F., Tahriri, M., Jafarbeglou, M., Bizari, D., Eslami, H., 2009. Controllable synthesis, characterization and optical properties of ZnS:Mn nanoparticles as a novel biosensor. *Materials Science and Engineering C*, **29**, 1842–1848.
- Mohamed, S.H., 2010. Photocatalytic, optical and electrical properties of copper-doped zinc sulfide thin films. *Journal of Physics D: Applied Physics*, **43**, 035406.
- Nikzad, M., Khanlary, M.R., Rafee, S., 2019. Structural, optical and morphological properties of Cu-doped ZnS thin films synthesized by sol-gel method. *Applied Physics A*, **125**, 507.
- Offor, P.O., Okorie, B.A., Lokhande, C.D., Patil, P.S., Ezema, F.I., Omah, A.D., Aigbodion, V.S., Ezekoye, B.A., Ezema, I.C., 2018. The properties of spray-deposited zinc sulfide thin films using trisodium citrate complexant. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **95**, 1849–1857.
- Ortíz-Ramos, D.E., González, L.A., Ramirez-Bon, R., 2014. p-type transparent Cu-doped ZnS thin films by the chemical bath deposition method. *Materials Letters*, **124**, 267–270.
- Pathan, H.M., Lokhande, C.D., 2004. Deposition of metal chalcogenide thin films by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method. *Bull. Mater. Sci.*, **27(2)**, 85–111.
- Prathap, P., Subbaiah, Y.P.V., Ramakrishna Reddy, K.T., Miles, R.W., 2007. Influence of growth rate on



- microstructure and optoelectronic behaviour of ZnS films. *Journal of Physics D: Applied Physics*, **40**, 17.
- Priya, K., Ashith, V.K., Rao, G.K., Sanjeev, G., 2017. A comparative study of structural, optical and electrical properties of ZnS thin films obtained by thermal evaporation and SILAR techniques. *Ceramics International*, **43**, 10487–10493.
- Ramli, H., Rahim, S.K.A., Rahim, T.A.B.D., Aminuddin, M.M., 2013. Optimization of zinc sulfide (ZnS) electron affinity in copper indium sulfide (CIS) based photovoltaic cell. *Chalcogenide Letters*, **10**, 189–195.
- Sabitha, C., Deva Arun Kumar, K., Valanarasu, S., Saranya, A., Hubert Joe, I., 2018. Cu:ZnS and Al:ZnS thin films prepared on FTO substrate by nebulized spray pyrolysis technique. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **29**, 4612–4623.
- Samanta, K., Bhattacharya, P., Katiyar, R.S., 2009. Microstructural and ferromagnetic properties of Zn<sub>1-x</sub>Cu<sub>x</sub>O thin films. *Journal of Applied Physics*, **105**, 113929.
- Samba Vall, C.M., Chaik, M., Ait Dads, H., El Aakib, H., Elyaagoubi, M., Aggour, M., Outzourhit, A., 2018. Effect of RF power on the structural and optical properties of ZnS thin films prepared by RF-sputtering. *Journal of Semiconductors*, **39**, 123001.
- Sarma, M.P., Kalita, J.M., Wary, G., 2017. Chemically deposited ZnS thin film as potential X-ray radiation sensor. *Materials Science in Semiconductor Processing*, **61**, 131–136.
- Sathishkumar, M., Saroja, M., Venkatachalam, M., 2019. Influence of (Cu, Al) doping concentration on the structural, optical and antimicrobial activity of ZnS thin films prepared by Sol-Gel dip coating techniques. *Optik*, **182**, 774–785.
- Sinha, T., Lilhare, D., Khare, A., 2018. Effects of Various Parameters on Structural and Optical Properties of CBD-Grown ZnS Thin Films: A Review. *Journal of Electronic Materials*, **47**, 1730–1751.
- Suhail, M.H., Ahmed, R.A., 2014. Structural, optical and electrical properties of doped copper ZnS thin films prepared by chemical spray pyrolysis technique. *Advances in Applied Science Research*, **5(5)**, 139–147.
- Talebian E., Talebian M., 2013. A general review on the derivation of Clausius–Mossotti relation. *Optik*, **124**, 2324–2326.
- Tec-Yam, S., Rojas, J., Rejón, V., Oliva, A.I., 2012. High quality antireflective ZnS thin films prepared by chemical bath deposition. *Materials Chemistry and Physics*, **136**, 386–393.
- Zhou, L., Tang, N., Wu S., Hu, X., Xue, Y., 2011. Influence of Deposition Time on ZnS Thin Films Performance with Chemical Bath Deposition. *Physics Procedia*, **22**, 354–359.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 051201 (794-801)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 051201 (794-801)

DOI: 10.35414/akufemubid.762059

Araştırma Makalesi / Research Article

# Reaktif Red 180 Boyar Maddesi İçeren Sulu Çözeltilerin Fotokatalitik ve Foto-Fenton Prosesleriyle Renk ve KOİ Gideriminin Karşılaştırmalı İncelenmesi

İbrahim DEMİR<sup>1\*</sup>, Yasin AYTEPE<sup>2</sup><sup>1\*</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Afyonkarahisar.<sup>2</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.Sorumlu yazar e-posta: [ibrahimdemir75@gmail.com](mailto:ibrahimdemir75@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2709-8223>e-posta: [yasinaytepe@hotmail.com](mailto:yasinaytepe@hotmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7162-8119>

Geliş Tarihi: 01.07.2020

Kabul Tarihi: 19.10.2020

## Öz

### Anahtar kelimeler

Fotokatalitik; Foto-Fenton; Foto katalizör; Oksidasyon; Renk Giderimi

Bu çalışmada, tekstil endüstrisinde kullanılan Reaktif Red 180 boyar maddesinin sulu çözeltilerinde Fotokatalitik ve Foto-Fenton oksidasyon yöntemleriyle renk ve kimyasal oksijen ihtiyacı giderim verimleri incelenmiştir. Reaktif Red 180 boyar maddesinin Fotokatalitik deneylerinde 100 ppm boya konsantrasyonu için pH ve foto katalizör konsantrasyonu denemeleri yapılmıştır. Optimum pH ve foto katalizör konsantrasyonunda renk ve kimyasal oksijen ihtiyacı giderimleri incelenmiştir. Foto-Fenton deneylerinde ise 100 ppm boya konsantrasyonu için pH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ve Fe<sup>2+</sup> konsantrasyonu denemeleri yapılmıştır. Belirlenen optimum şartlarda renk ve kimyasal oksijen ihtiyacı giderimleri incelenerek, foto katalitik ve foto-fenton oksidasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır.

## Comparative Analysis of Color and COD Removal with Photocatalytic and Photo-Fenton Processes of Aqueous Solutions Containing Reactive Red 180 Dyes

### Abstract

In this study, color and chemical oxygen demand removal efficiencies were investigated by using Photocatalytic and Photo-Fenton oxidation methods in aqueous solutions of Reactive Red 180 dyestuff used in textile industry. In photocatalytic experiments of Reactive Red 180 dyestuff, pH and photo catalyst concentration tests were performed for 100 ppm dye concentration. At optimum pH and photo catalyst concentration, color and chemical oxygen requirement removals were investigated. In Photo-Fenton experiments, pH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentration and Fe<sup>2+</sup> concentration tests were performed for 100 ppm dye concentration. Photocatalytic and photo-fenton oxidation methods were compared by examining the color and chemical oxygen requirement removals at the optimum conditions determined.

### Keywords

Photocatalytic; Photo-Fenton; Photo Catalyst; Oxidation; Color Removal

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Sanayileşmenin artmasına paralel olarak kullanılan su miktarı ve alıcı ortama deşarj edilen atık su miktarı da artmaktadır. (Sen vd. 2013). Artan nüfusla birlikte tekstil endüstrisi önem kazanmakta ve üretim kapasitesi artmaktadır. Özellikle tekstil

endüstrisinde boyar madde kullanımı oldukça fazladır. Tekstil üretimi sonunda arıtılmadan doğal yaşam ortamına deşarj edilen bu boyar maddeler, insan sağlığı ve çevreye önemli zararlar doğurmaktadır (Güngörmedi vd. 2009).

Atık sularda bulunan organik kirleticilerin etkili bir şekilde gideriminin yapılabilmesi için bir çok kimyasal arıtım (ileri oksidasyon prosesleri) işlemleri uygulanır. Atık sularda bulunan toksik ve ayrıştırmaya karşı dirençli kirleticilerin arıtılmasında İleri oksidasyon proseslerinin avantajı, klasik atık su arıtma yöntemlerine göre daha fazladır (Sen vd. 2013). Dünya yüzeyinin yaklaşık olarak %70' i sulardan oluşmasına rağmen, su kaynaklarındaki kirlilikler nedeniyle içilebilir su kaynakları özelliklerini giderek kaybetmektedir. (Vijayaraghavan et all. 2008).

Kirleticiler genellikle iki sınıfta incelenirler. Bunlar da organik ve inorganik kirleticilerdir. Organik su kirleticilerinin bazıları endüstriyel çözücüler, uçucu organik bileşikler, insektisitler, pestisitler, boyar maddeler gibi kirleticileri bünyesinde bulundurur. İnorganik su kirleticileri ise metal, gübre gibi asidik kirleticileri içerirler (Vijayaraghavan et all. 2008). Bu kirletici maddelerin arıtımı için çeşitli fizikokimyasal ve biyolojik yöntemlerle endüstriyel atık suların alıcı ortama deşarj edilmesinden önce arıtımı yapılmalıdır (Hai et all. 2007).

Boyar maddeler tekstil, boya, kâğıt, baskı ve kozmetik endüstrilerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Tahmini olarak yılda 280.000 ton ağırlığında çeşitli boyar madde atık sularla birlikte alıcı ortamına deşarj edilmektedir (Maas et all. 2005). Tekstil endüstrileri, yaş dokuma süreçlerinde kullanılmak üzere çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedir. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik yapılarıdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atık suların özellikleri de farklılık göstermektedir (Kocaer vd. 2002). Ortaya çıkan bu renkli atık suların yeterli arıtımı yapılmadan alıcı sulara verilmesi sucül ortamlarda yaşayan canlılara ve insanlara doğrudan ve dolaylı olmak üzere kanserojenik, toksik, mutajenik etkileri görülebilir. Bunun yanı sıra bu durum estetik açıdan da çevreye zarar vermektedir (Fernandes et all 2004, Safarikova et all. 2005).

Kimyasal yapılarındaki azo bağları nedeniyle parçalanmaya karşı dirençli olan boyar maddeler,

çevrede birikme yapabilirler. Asidik ve bazik şartlar altında kararlı olmaları, aerobik parçalanmaya, ısı ve ışığa karşı dayanıklılık göstermeleri boyar maddelerin konvansiyonel arıtma yöntemleriyle arıtılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenlerle bazı durumlarda reaktif boyar madde arıtım işleminden %90 gibi yüksek oranda arıtılmadan çıktığı bilinmektedir (Ertuğrul vd. 2009).

Tekstil endüstrisi başta olmak üzere endüstriyel atık suları akarsu, deniz ve alıcı ortamlara deşarj edilmeden önce çeşitli yöntemlerle arıtılmalı, ayrıca atık su yöntemlerine göre zehirli maddeler ve inhibitörlerden belirli oranda arıtılarak kirlilik miktarının azaltılması gerekmektedir (Uğurlu 2003).

## **2. Materyal ve Metot**

Çalışmalarda kullanılan reaktif ve çözücüler; sodyum hidroksit, demir(II) sülfat heptahidrat, hidroklorik asit (Merck), hidrojen peroksit (Riedel-de Haen), çinko oksit ve reaktif red 180 (Sigma-Aldrich) firmasından satın alınmış ve herhangi bir saflaştırma işlemi uygulanmamıştır.

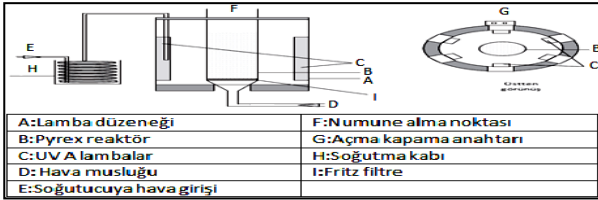
Deneysel çalışmalar HACH LANCE LT 200 Termoreaktör ile gerçekleştirilmiştir. Renk giderimlerinin ölçülmesinde HACH LANGE DR 2800 UV-Visible Spektrofotometre, pH ayarlamaları için Thermo ORION 3 STAR pH metre kullanılmıştır. Santrifüj için ROTOFIX 32 A ve SHIMADZU AUX320 hassas terazi kullanılarak deneysel aşamalar tamamlanmıştır.

### **2.1. Deney Düzenegi**

Deneysel çalışmalarda 500 mL hacminde silindirik cam reaktör (50 cm x 4.6 cm) ve UV lamba (6 adet 8W UV-A) sistemi kullanılmıştır. Alttan beslemeli hava sistemi ile reaktör karışımı gerçekleştirilmiştir.

Düzenekte kullanılan UV lamba sistemi yüksekliği 33.5 cm ve çapı 14.3 cm' dir. İç yüzeyinde eşit mesafelerde 6 adet UV lamba konulmasına ve lamba tipini değiştirilebilmesi için hegzagonal şekilde dizayn edilerek aliminyum folyo ile kaplanmıştır.

Kullanılan lamba sistemi tek tip UV aralığına sahip olmakla birlikte, UVA (315-400 nm) olarak Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (International Commission on Illumination) sınıflandırmasında mevcuttur. Fotokatalitik ve Foto-Fenton deneyleri için deney düzeneği aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Yatmaz vd. 2013).



**Şekil 1.** Foto katalitik ve Foto-Fenton Oksidasyon Prosesinde UVA ışığı uygulanarak kullanılan reaktör sisteminin şematik gösterimi.

## 2.2. Fotokatalitik proses çalışmaları

Fotokatalitik deneylerinde 100 ppm konsantrasyondaki boyar madde çözeltisi pH 4' e 0.1 M NaOH ve HCl ile ayarlanmış, 500 ml boyar madde çözeltisi cam reaktöre konulmuştur. Daha sonra çeşitli miktarlarda ZnO katılarak, UV lambalar açılmış ve reaksiyon başlatılmıştır. Belirlenen optimum katalizör konsantrasyonunda optimum pH belirleme çalışmaları yapılmıştır. Son olarak belirlenen optimum koşullarda farklı boyar madde konsantrasyonları çalışılmıştır. Deneyler 100 dakika süreyle devam etmiştir. Her 20 dakikada bir numune alınarak 5 dk. boyunca 4000 rpm de santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminden sonra alınan numunelerin konsantrasyon değişimi, kimyasal oksijen ihtiyacı ve renk giderimi verimleri incelenmiştir.

## 2.3. Foto-Fenton proses çalışmaları

Foto-Fenton deneylerinde 100 ppm konsantrasyondaki pH 3' e 0.1 M NaOH ve HCl ile ayarlanmış 500 ml boya çözeltisi cam reaktöre konulmuştur. Daha sonra çeşitli miktar ve konsantrasyonlarda Fe<sup>2+</sup> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltisi katılarak, UV lambalar açılmış ve reaksiyon başlatılmıştır. Belirlenen optimum Fe<sup>2+</sup> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

konsantrasyonunda optimum pH değeri belirlenmiştir. Son olarak belirlenen optimum koşullarda farklı boyar madde konsantrasyonları çalışılmıştır. Deneyler 100 dakika süreyle devam etmiş olup, her 20 dakikada bir alınan numuneler 5 dk. süreyle 4000 rpm de santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işlemi sonrasında alınan numunelerin konsantrasyon değişimi, kimyasal oksijen ihtiyacı ve renk giderimi verimleri incelenmiştir.

## 2.4. Renk ölçümü

Renk ölçümü; spektrofotometre cihazında numuneler 10 mm olan quartz hücreye konularak 510 nm dalga boyunda absorbans birimi okunarak ölçülmüştür. Renk giderim verimleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$(1) \% RGV = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

Burada; renk giderim verimi (RGV) (%), C<sub>0</sub> ve C<sub>t</sub> sırasıyla başlangıç ve t anındaki boya konsantrasyonlarıdır.

## 2.5. KOİ Deneyleri

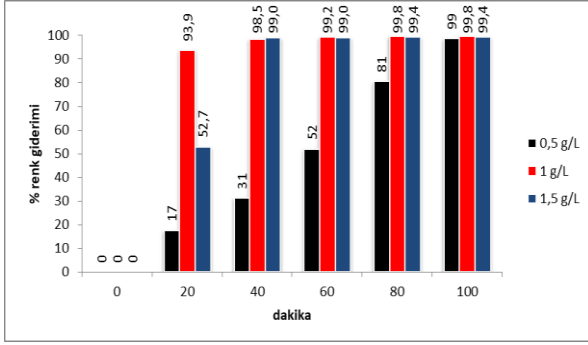
KOİ deneyleri APHA 5220 B' de belirtilen standart metot uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Page, 1999).

## 3. Bulgular

### 3.1. Fotokatalitik deneylerinde optimum katalizör konsantrasyonu ve KOİ giderimi belirleme

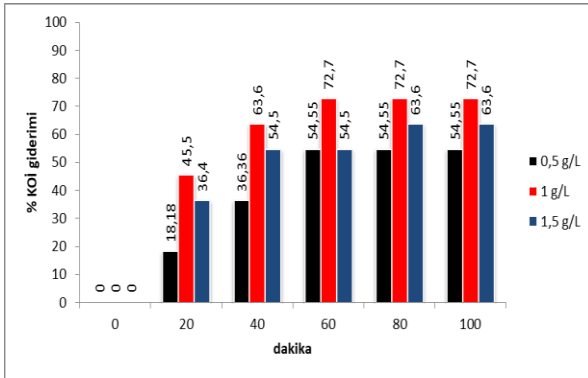
Renk ve kimyasal oksijen ihtiyacına foto katalizör konsantrasyonun etkisini incelemek amacıyla 0,5 g/L, 1g/L ve 1,5 g/L konsantrasyon değerleri

çalışılmıştır.



**Şekil 2.** Farklı katalizör konsantrasyonları için % renk giderim sonuçları grafiği (pH 4, 100 ppm RR180,  $\lambda=510$  nm).

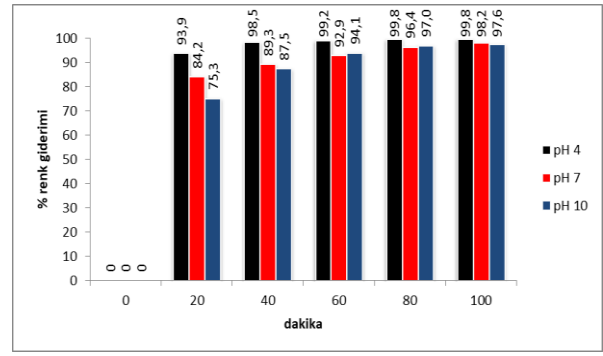
0,5 g/L katalizör konsantrasyonunda renk giderim veriminin düşük olduğu gözlenmiştir. 1 g/L ve 1,5 g/L katalizör konsantrasyonlarında sırasıyla %99,8 ve %99,4 renk giderimi elde edilmiştir. Optimum katalizör konsantrasyonu 1 g/L olarak belirlenmiştir. Bu katalizör konsantrasyonunda %99,8 renk giderim verimi ve %72,7 KOİ giderimi elde edilmiştir.



**Şekil 3.** Farklı katalizör konsantrasyonları için % KOİ giderim sonuçları grafiği (pH 4, 100 ppm RR180,  $\lambda=510$  nm).

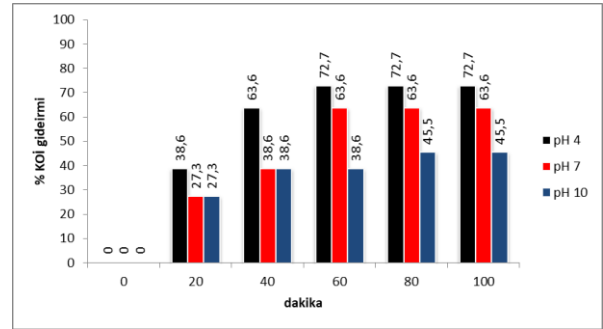
### 3.2. Fotokatalitik deneylerinde optimum pH belirleme

Renk ve kimyasal oksijen ihtiyacına pH etkisini incelemek amacıyla pH 4, pH 7 ve pH 10 değerleri çalışılmıştır.



**Şekil 4.** Farklı pH değerleri için % renk giderim sonuçları grafiği (1 g/L ZnO, 100 ppm RR180,  $\lambda=510$  nm).

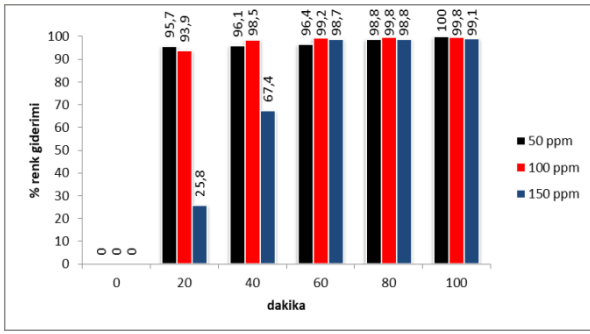
Fotokatalitik oksidasyon için optimum pH, pH 4 olarak belirlenmiştir. Bu pH değeri için %99,8 renk giderim verimi ve %72,7 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.



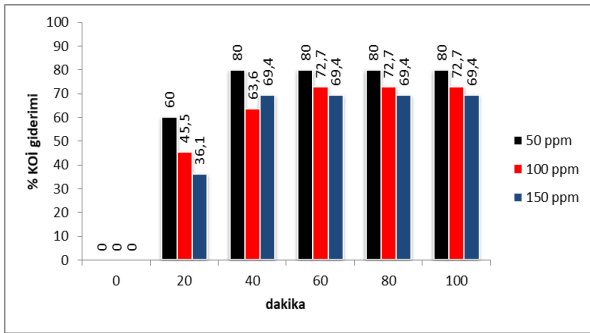
**Şekil 5.** Farklı pH değerleri için % KOİ giderim sonuçları grafiği (1 g/L ZnO, 100 ppm RR180,  $\lambda=510$  nm).

### 3.3. Boya konsantrasyonu çalışması

Boya konsantrasyonları çalışmasında ise 50, 100 ve 150 ppm konsantrasyonundaki boya çözeltileri için optimizasyon çalışmaları ile belirlenen 1 g/L katalizör ZnO ve pH 4 değerlerinde renk ve KOİ giderim verimleri incelenmiştir.



**Şekil 6.** Farklı boya konsantrasyonları için % renk giderim sonuçları grafiği (1 g/L ZnO, pH 4,  $\lambda=510$  nm).

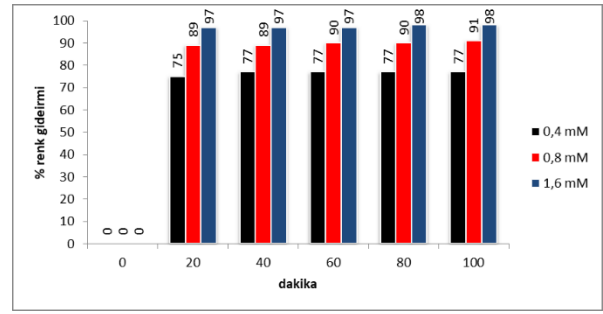


**Şekil 7.** Farklı boya konsantrasyonları için % KOİ giderim sonuçları grafiği (1 g/L ZnO, pH 4,  $\lambda=510$  nm).

Bu optimum şartlar altında 50 ppm boya çözeltisinde 100 dakikada %100 renk giderimi verimi ile 40 dakikada %80 KOİ giderim verimi gerçekleşmiştir. 100 ppm boya çözeltisinde 100 dakikada %99,8 renk giderim verimi ile 60 dakikada %72,7 KOİ giderim verimi ve 150 ppm boya çözeltisinde ise 100 dakikada %99,1 renk giderimi verimi ile 60 dakikada %69,4 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

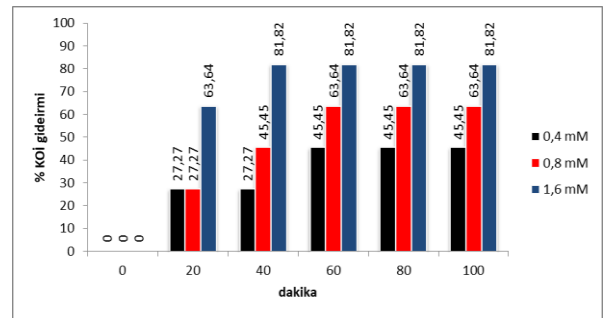
### 3.4. Foto-Fenton Prosesinde Optimum $H_2O_2$ konsantrasyonu belirleme

Foto-Fenton prosesiyle boyaların parçalanmasında  $H_2O_2$  'nin maliyetinden dolayı uygun  $H_2O_2$  konsantrasyonunun seçimi önemli bir noktadır. Optimum  $H_2O_2$  konsantrasyonu belirleme çalışmalarında 0,4 mM, 0,8 mM ve 1,6 mM  $H_2O_2$  konsantrasyonları ile denemeler yapılmıştır



**Şekil 8.** Farklı  $H_2O_2$  konsantrasyonları için % renk giderim sonuçları grafiği (30 mg/L  $Fe^{2+}$ , 100 ppm RR180, pH 3,  $\lambda=510$  nm).

Şekil 8. deki grafikten de görüleceği gibi en yüksek renk giderim veriminin 1,6 mM  $H_2O_2$  konsantrasyonunda %98 ile gerçekleştiği en düşük renk giderim veriminin %77 ile 0,4 mM  $H_2O_2$  konsantrasyonunda gerçekleştiği görülmüştür.



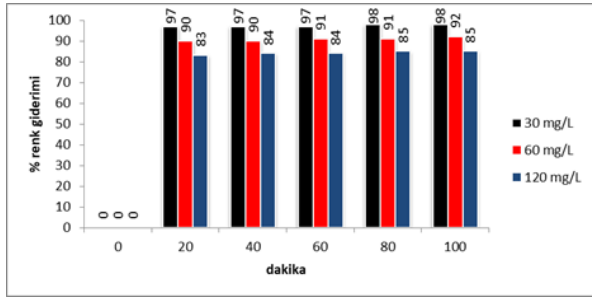
**Şekil 9.** Farklı  $H_2O_2$  konsantrasyonları için % KOİ giderim sonuçları grafiği (30 mg/L  $Fe^{2+}$ , 100 ppm RR180, pH 3,  $\lambda=510$  nm).

Şekil 9. deki grafikten de görüleceği gibi en yüksek KOİ giderim veriminin 1,6 mM  $H_2O_2$  konsantrasyonunda % 81,86 ile gerçekleştiği en düşük KOİ giderim veriminin % 45,45 ile 0,4 mM  $H_2O_2$  konsantrasyonunda gerçekleştiği görülmüştür.

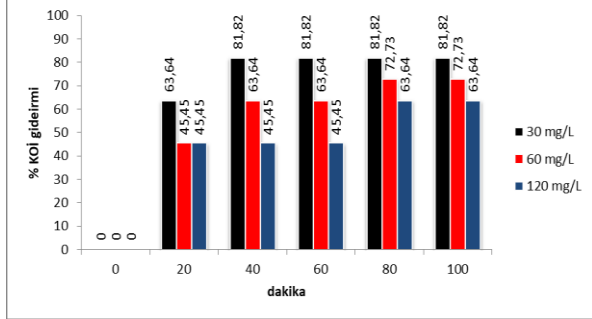
Optimum  $H_2O_2$  konsantrasyonu olan 1,6 mM değerinde %98 renk giderim verimi elde edilmiş ve %81,82 kimyasal oksijen ihtiyacı giderim verimi elde edilmiştir.

### 3.5. Foto-Fenton Prosesinde Optimum $Fe^{2+}$ konsantrasyonu belirleme

Optimum  $Fe^{2+}$  konsantrasyonu belirlemek için 30 mg/L, 60 mg/L ve 120 mg/L  $Fe^{2+}$  konsantrasyonları ile denemeler yapılmış ve en yüksek verimin 30 mg/L ile gerçekleştiği en düşük verimin 120 mg/L konsantrasyonunda gerçekleştiği görülmüştür. Optimum  $Fe^{2+}$  konsantrasyonu olan 30 mg/L değerinde %98 renk giderim verimi elde edilmiş ve %80 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.



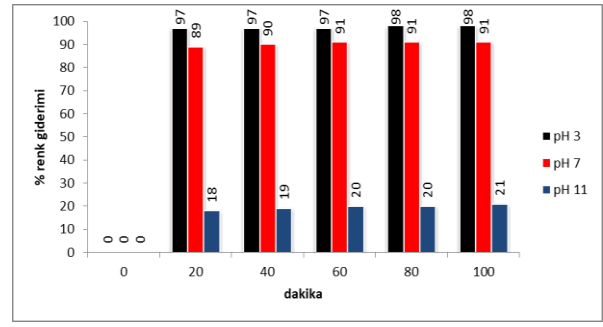
Şekil 10. Farklı  $Fe^{2+}$  konsantrasyonları için % renk giderim sonuçları grafiği (1,6 mM  $H_2O_2$ , 100 ppm RR180, pH 3,  $\lambda=510$  nm).



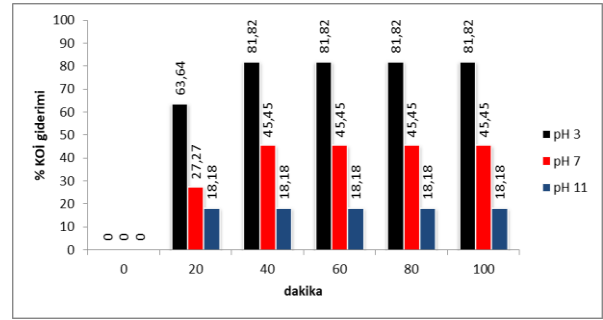
Şekil 11. Farklı  $Fe^{2+}$  konsantrasyonları için % KOİ giderim sonuçları grafiği (1,6 mM  $H_2O_2$ , 100 ppm RR180, pH 3,  $\lambda=510$  nm).

### 3.6. Foto-Fenton Prosesinde Optimum pH belirleme

Fenton sistemleriyle üretilen  $OH^{\cdot}$  radikalleri ortam pH 'sından etkilenir.  $OH^{\cdot}$  radikalleri özellikle asidik şartlar altında etkili bir şekilde biçimlenebilir. Renk ve KOİ' na pH etkisini incelemek amacıyla pH 3, pH 7 ve pH 11 değerleri çalışılmıştır.



Şekil 12. Farklı pH değerleri için % renk giderim sonuçları grafiği (1,6 mM  $H_2O_2$ , 30 mg/L  $Fe^{2+}$ , 100 ppm RR180,  $\lambda=510$  nm).

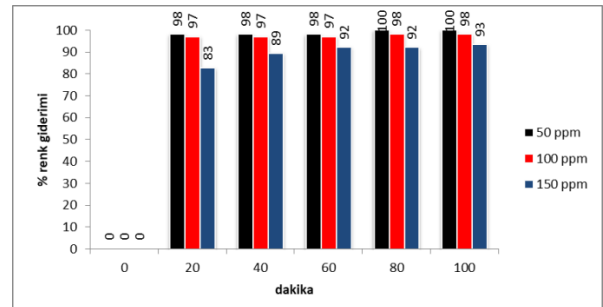


Şekil 13. Farklı pH değerleri için % KOİ giderim sonuçları grafiği (1,6 mM  $H_2O_2$ , 30 mg/L  $Fe^{2+}$ , 100 ppm RR180,  $\lambda=510$  nm).

Şekil 12 ve şekil 13' ten de anlaşılacağı gibi, Foto-Fenton oksidasyonu için optimum pH, pH 3 olarak belirlenmiştir. Bu pH değeri için %98 renk giderim verimi ve %81,82 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

### 3.7. Boya konsantrasyonu çalışması

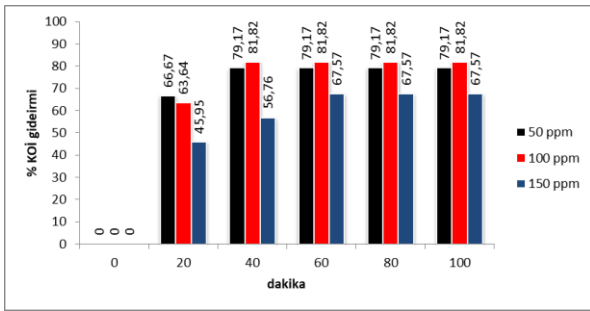
Farklı boya konsantrasyonları çalışmasında 50, 100 ve 150 ppm konsantrasyonundaki boya çözeltileri için pH 3, 30 mg/L  $Fe^{2+}$  ve 1,6 mM  $H_2O_2$  konsantrasyonunda renk ve KOİ giderim verimleri incelenmiştir.





**Şekil 14.** Farklı boya konsantrasyonları için % renk giderim sonuçları grafiği (1,6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 30 mg/L Fe<sup>2+</sup>, pH 3, λ=510 nm )

En düşük giderim verimi 150 ppm de olduğu görülmüştür. Farklı konsantrasyonlardaki boya çözeltileri ile yapılan çalışmada 50 ppm konsantrasyonundaki boya çözeltisi için %100 renk giderim verimi ile %79,17 KOİ giderim verimi, 100 ppm konsantrasyonundaki boya çözeltisi için %98 renk giderim verimi ile %81,82 KOİ giderim verimi, 150 ppm konsantrasyonundaki boya çözeltisi için ise %93 renk giderim verimi ile %67,57 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.



**Şekil 15.** Farklı boya konsantrasyonları için % KOİ giderim sonuçları grafiği (1,6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 30 mg/L Fe<sup>2+</sup>, pH 3, λ=510 nm).

Şekil 13' te de görüldüğü gibi 30 mg/L Fe<sup>2+</sup> ve 1,6 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyon değerlerinde ve pH 3 değerinde 100. dakikada 50 ppm boya çözeltisinde %100, 100 ppm boya çözeltisinde %98, 150 ppm boya çözeltisinde %93 renk giderim verimi elde edilmiştir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Reaktif Red 180 boyar maddesinin Fotokatalitik ve Foto-Fenton ileri oksidasyon prosesleri ile renk ve KOİ giderim verimleri incelenerek iki prosesin birbirine karşı üstünlükleri araştırılmıştır.

Literatür incelendiğinde tekstil atık suları için, en önemli kirlilik parametresinin renk olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmada ise yeterli renk giderim verimi elde edilmiştir.

Fotokatalitik oksidasyon metodunda 100 ppm boya çözeltisi için optimum katalizör miktarının 1 g/L,

optimum boya pH değerinin 4 olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Belirlenen bu optimum şartlarda %99,8 renk giderim verimi, %72,7 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Foto-Fenton oksidasyon metodunda ise optimum Fe<sup>2+</sup> konsantrasyonu 30 mg/L, optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu 1,6 mM, optimum boya konsantrasyonu 100 ppm, optimum ortam pH 'sı ise 3 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu optimum koşullarda %98 renk giderim verimi elde edilirken %80 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Düşük konsantrasyon da(50 ppm) her iki oksidasyon işleminde 100 dakikada % 100 renk giderim verimi gerçekleşmiştir. Ancak yüksek konsantrasyonlara çıktıkça (150 ppm), Foto-Fenton oksidasyon işleminde renk giderim verimi % 93'e düşmektedir. Fotokatalitik oksidasyon işleminde ise % 99,1 renk giderim verimi elde edilmektedir. Her iki oksidasyon işleminin zamana göre etkinliğini inceleyecek olursak; Fotokatalitik oksidasyon işlemi 80 dakikada tüm konsantrasyonlarda etkili bir % renk giderimi gerçekleştirirken, Foto-Fenton oksidasyon işleminde ise bu süre 40 dakikaya düşmektedir. Bu durum, yüksek konsantrasyon ve daha uzun süre gerektiren işlemlerde Fotokatalitik oksidasyon işlemi, daha kısa sürelerde ve düşük konsantrasyonlarda ise Foto-Fenton oksidasyon işleminin etkili olduğunu göstermiştir.

Her iki oksidasyon işlemini % KOİ giderim verimleri yönünden karşılaştıracak olursak; düşük konsantrasyonda(50 ppm), her iki oksidasyon işleminde de birbirine yakın sonuçlar görülmüştür(% 80, % 79,17). Ancak 100 ppm çözeltide Fotokatalitik oksidasyon işleminde % KOİ giderim verimi düşerken(%72,7), Foto-Fenton oksidasyon işleminde yükselmiştir(%81,82). Konsantrasyon 150 ppm olduğunda ise; Fotokatalitik oksidasyon işleminde % KOİ giderim verimi %69,4 olurken, Foto-Fenton oksidasyon işleminde ise % KOİ giderim verimi % 67,57 olmuştur.



Bu sonuçlar yüksek konsantrasyonlarda Fotokatalitik oksidasyon işleminin % KOİ gideriminin de daha etkili olduğunu göstermiştir.

### Teşekkür

Bu çalışmaya FEB 2014/27-YÜLTEP numaralı proje ile finansal destek sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

### 5. Kaynaklar

Ertuğrul, S., Dönmez G., 2009. Tekstil atık suyu kaynaklı bakterilerin boya ve boyar madde arıtımında kullanımı. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, **Cilt: 1** Sayı: 2, 075-082.

Fernandes, A., Mora, A., Magrinho, M., Lopes, A. and Goncalves, I., 2004. Electrochemical degradation of C. I. Acid Orange 7. *Dyes and Pigments*, **61**, 287–296.

Güngörmedi G, Şaşmaz S, Aytar P, Gedikli S, Ünal A, Çabuk A, Kolankaya N, 2009. Trametes Versicolor Biyokütlesi İle Reaktif Red 198 Boyarmaddesinin Biyosorpsiyonu. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **Cilt:XXII**, Sayı:2, 247-264.

Hai, F. I., Yamamoto K. and Fukushi K., 2007. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **37**, 315-377

Kocaer, F., O. ve Alkan, U., 2002. Boyar madde içeren tekstil atık sularının arıtım alternatifleri. Uludağ Üniversitesi *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **Cilt 7**, Sayı 1, pp 47-55.

Maas, R., Chaudhari, S., 2005. Adsorption and biological decolorization of azo dye reaktif red 2 in semicontinuous anaerobic reactors. *Process Biochemistry*, **40**, 699–705.

Page, I., 1999, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Copyright by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Lenore S. Clesceri, WEF, Chair, Arnold E. Greenberg, APHA, Washington DC, 55-70.

Safarikova, M., Ptackova, L., Kibrikova, I., and Safarik, I., 2005. Biosorption of water-soluble dyes on magnetically modified *Saccharomyces cerevisiae* subsp. *uvarum* cells. *Chemospher*, **e 59**, 831–835.

Sen N, Bektas N, Tekbas M, Huseyin Yatmaz C, 2013. Evsel Atıksulardan Toplam Organik Karbon (TOK) Gideriminin Foto-Fenton Prosesi ile İncelenmesi. *Ekoloji*, **22**, 88, 58-64.

Uğurlu, M., 2003. Kağıt Endüstrisi Atık Sulardan Lignin ve Fenol' ün Perlit Minerali İle Giderimi. *Ekoloji*, **47**: 11-16.

Vijayaraghavan K and Yun Y. S, 2008. Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnology Advances*, **26**, 266–291.

Yatmaz, C.H., Şen, N., Bektaş, N. ve Tekbaş, M., 2013. Evsel Atıksularında Toplam Organik Karbon (TOK) Gideriminin Foto-Fenton Prosesi ile İncelenmesi. *Ekoloji*, **22**, 88, 58-64.

# Poli (Vinil klorür)/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Manyetik Nanopartikül Kompozitlerinin Sentezi, Termal ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

Mustafa Ersin PEKDEMİR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Elazığ, Türkiye.

e-posta: epekdemir@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4979-1777>

Geliş Tarihi: 01.07.2020

Kabul Tarihi: 19.10.2020

## Öz

Çalışmada manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartikülleri birlikte çöktürme yöntemiyle sentezlendi. Sentezlenen nanopartiküllerin TEM ve partikül boyutlandırıcı ile boyutlarının 20 nm civarında olduğu ve XRD ile yapılarının küre şeklinde olduğu belirlendi. VSM ile elde edilen manyetizasyon eğrisinden doygunluk manyetizasyon değeri (M<sub>s</sub>) 53.28 emu/g olarak bulundu. Ardından Poli(vinil klorür) ile farklı yüzdelerde manyetik nanopartikül kullanılarak kompozitler hazırlandı. Hazırlanan kompozitlerin karakterizasyonu FT-IR spektrofotometresi ile yapıldı. TGA ve DSC ile termal analizleri yapıldı ve nanopartiküllerle hazırlanan kompozitlerde T<sub>g</sub> değerlerinin saf PVC' den daha yüksek olduğu görüldü. Elektriksel ölçüm sonuçlarından, MNP ilavesinin dielektrik sabitini düşürdüğü görüldü. Ayrıca AC iletkenliğinin artan frekansla artış göstermesine rağmen kompozitlerin iletkenliğinin saf PVC' den daha düşük olduğu belirlenmiştir.

### Anahtar kelimeler

Manyetik nanopartikül;  
PVC; Kompozit;  
Termal; Dielektrik

## Synthesis, Investigation of Thermal and Electrical Properties Poly(Vinyl chloride)/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Magnetic Nanoparticle Composites

### Abstract

In this study, magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles were synthesized by co-precipitation. It was determined that the dimensions of the synthesized nanoparticles with TEM and Particle Sizer were around 20 nm and their structures were spherical by XRD. Saturation magnetization value (M<sub>s</sub>) from the magnetization curve obtained by VSM was found as 53.28 emu/g. Then, composites were prepared using Poly (vinyl chloride) with different percentages of magnetic nanoparticles. The PVC/magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles were characterized by FT-IR spectrophotometer. Thermal analyzes were carried out by DSC and TGA, and T<sub>g</sub> values of composites were found to be higher than pure PVC. From the electrical measurement results, it was observed that the addition of MNP reduced the dielectric constant. Additionally, although AC conductivity increases with increasing frequency, it is determined that the conductivity of composites is lower than pure PVC.

### Keywords

Magnetic nanoparticle;  
PVC; Composite;  
Thermal; Dielectric

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Nanomalzemelerin sentezindeki ilerleme, nanokompozitlerin üretiminde olası kullanımlarına yönelik araştırma ilgisini canlandırmıştır (Byrne and Gun'ko 2010; Thostenson *et al.* 2001).

Nanokompozitler, çoğunlukla polimerlerin konak görevi gördüğü konak matrislerde nanometre boyutlarında dolgu maddesi olarak hazırlanır. Nanokompozitler her zaman araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Bunun nedeni konak materyallerin

fiziksel özellikleri, uygun şartlarda eklenen nanoboyuttaki malzemelere uygun hale gelebilmesidir. Manyetik olmayan bir materyale az miktarda manyetik nanotaneçiklerin ilave edilmesi ile manyetik hale getirilebilmesi bu duruma örnek olarak gösterilebilir (Wilson *et al.* 2004). Benzer

şekilde yalıtkan polimer matrisine iletken dolgu maddesinin uygun miktarda ve şartlarda eklenmesiyle elektriksel iletkenliği değiştirilebilir (Moniruzzaman and Winey 2006). Nanokompozitlerin avantajlarından birisi nano boyutta inorganik katkı maddeleri ısıl kararlılık gösterir yani farklı sıcaklıklarda ve uzun zamanlı kullanımda boyutlarında değişiklik göstermezler. Çoğu uygulamalarda polimerik malzemelerin uzun zamanlı ve farklı sıcaklıklarda kullanıldığında ısıl kararlılık göstermesi istenmektedir (Tavman and Turgut 2006).

Nanoparçacıklar polimer hacmine göre oldukça yüksek yüzey alanına sahiptirler. Ayrıca nanoparçacıklarda birden çok atomun farklı bağlarla etkileşmesinden dolayı, polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı, gerilme kuvveti, ısıl bozunma ve kimyasal dirençlerinde büyük oranda iyileşmeye sebep olduğu görülmüştür (Balazs *et al.* 2006; Bayramoğlu and Eşiyok 2017). Demir oksit nanoparçacıklarının ve bunların kompozit nanomalzemelerinin hazırlanması, elektronik, manyetik, katalitik, kimyasal ve biyolojik özellikleri nedeniyle hem temel hem de pratik ilgiyi çekmiştir (Haruna *et al.* 2020; Khan *et al.* 2010; Reddy *et al.* 2008; Reddy *et al.* 2007). Manyetik nanoparçacıkların uygulama alanlarından birkaçı, tıbbi tanı için manyetik rezonans görüntüleme, kontrollü ilaç salınımı, yüksek yoğunluklu manyetik kayıt, kataliz ve enerji dönüşümüdür (Li *et al.* 2003; Pekdemir *et al.* 2012; C. Sun *et al.* 2008; S. Sun *et al.* 2000). Nanoparçacıkların uygulama alanlarının çoğu boyutlarının kolay kontrol edilebilmesi, morfolojisi ve yüzey özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Shafi *et al.* 2001; S. Sun *et al.* 2004; Teng and Yang 2004; Woo *et al.* 2004).

Poli vinil klorür (PVC) malzemeleri, pipet, elektrik kabloları, kesit çubukları gibi geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Son yıllarda PVC'yi modifiye etmek ve sertliğini artırmak için yapılan çalışmalar yoğun bir şekilde artmıştır (Chen *et al.* 1995; Klarić *et al.* 2000). PVC, plastizerler, ısı stabilizatörleri, yağlayıcılar, dolgu maddeleri ve diğer monomerlerle kopolimerizasyon gibi katkı maddelerinin dahil edilmesiyle gelişme göstermiştir (Endo 2002). Bu yöntemler arasında PVC'nin inorganik dolgu

maddeleri ile birleştirilmesi uygun ve verimli yöntemlerden birisidir. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin, dolgu maddesinin en boy oranıyla doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir (Xie *et al.* 2004). Manyetik nanoparçacık içeren polimerik lifler, yüksek frekanslı elektronik uygulamalarda etkileyici materyaller olan manyetik nanoparçacıkların yüksek manyetik hassasiyeti ile polimerik nanofiber materyallerin özelliklerini (yüksek hacim /yüzey oranı, iyi mekanik esneklik ve yüksek elektriksel direnç) birleştirirler (Chiscan *et al.* 2012).

Nanoparçacıkların polimer matrisinde homojen dağılım göstermesi nanoparçacıkların güçlendirici ve sertleştirici etkisinin en önemli anahtarıdır (Thio *et al.* 2002). Bu çalışma da; PVC matris tabakasında çekirdek olarak Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıklarının yer aldığı misel bir ortamda in situ polimerizasyon yöntemi kullanılarak PVC/manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kompozit nanopartikülleri sentezlenmiştir. Farklı yüzdelerde nanopartikül kullanılarak elde edilen kompozitlerin FT-IR spektroskopisi ile karakterizasyonu yapılmıştır. Ayrıca termal özellikleri incelenmiş ve SEM ile de yüzey morfolojilerine bakılmıştır. Son olarak kompozitlerin elektriksel özellikleri ve iletkenlik değerlerindeki değişim karşılaştırmalı olarak yapılmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1 Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanopartiküllerinin (MNP) Sentezi**

Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartikülleri birlikte çöktürme yoluyla elde edilmeye çalışıldı. FeCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O ve FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O çözeltileri Fe<sup>+2</sup>/Fe<sup>+3</sup> oranı ½ olacak şekilde 50 mL'lik çözeltisi hazırlandı. Hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcıda karışırken üzerine 250 mL 0.3 M NaOH çözeltisinden damla damla ilave edildi. Çözelti rengi siyaha dönene kadar karıştırılmaya devam edildi. Elde edilen nanopartiküller miknatıs altında toplandı ve santrifüj tüplerine alındı. 12500 rpm' de santrifüj edilerek saf su ile yıkama yapıldı ve bu işlem 3 kez tekrarlandı. Ardından 0.03 M HCl çözeltisi tüplere ilave edildi ve 24 saat çalkalayıcıda bırakıldı. Son olarak 3 kez 13000 rpm' de santrifüj edilerek saf su

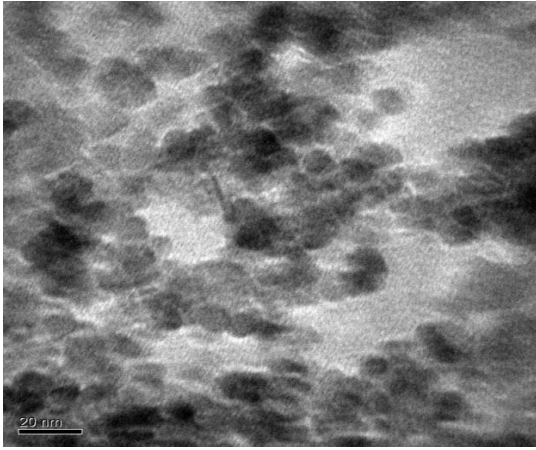
ile yıkama yapıldı ve kuruması için 40 °C' lik etüv de 2 gece kurumaya bırakıldı.

## 2.2 Poli (vinil klorür) / Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanopartikül Kompozitlerinin Sentezi

1.0 gram poli (vinil klorür) (PVC) 10 mL susuz tetrahidrofuran içerisinde çözüldü. Üzerine farklı yüzdelerde sırasıyla % 0.5, %1, %5, %10 ve %15 oranlarında MNP ilave edildi. Ultrasonik homojenizatör de 30 dakika boyunca dispers edildi. Ardından etil alkol içerisinde PVC/MNP kompozitleri çöktürülerek vakumlu etüvde 40 °C' de 24 saat bekletildi.

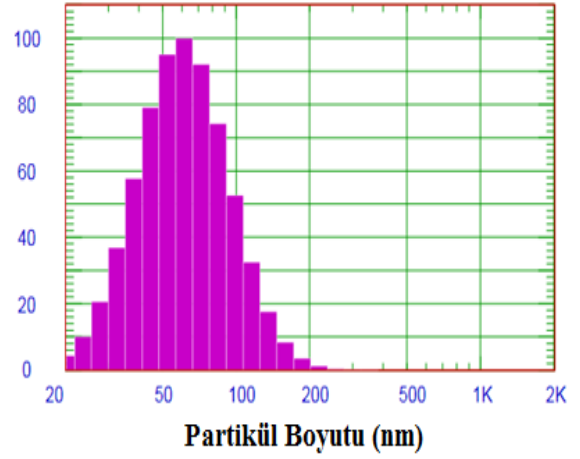
## 3. Bulgular

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin yüzey morfolojisi Şekil 1' de TEM ile incelendi. Görüntülere bakıldığında taneciklerin küre şeklinde olduğu ve tanecik boyutlarının 20 nm homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Nanopartiküllerin yüzey alanlarının geniş olması ve yüzey enerjilerinin yüksek olmasından dolayı agrege oldukları görülmüştür.



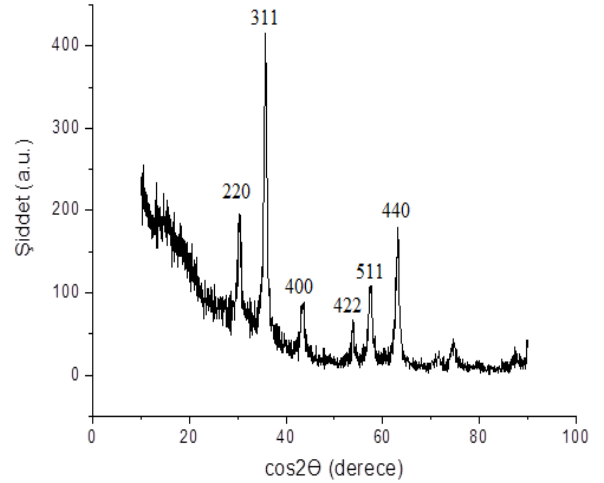
Şekil 1. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin TEM görüntüsü

Şekil 2' de sentezlenen manyetik nanopartiküle ait tanecik boyut dağılımı gösterilmiştir. Nanopartikül tanecik boyutlarının %90' dan daha fazlasının 100 nm'den daha küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin tanecik boyut dağılımı

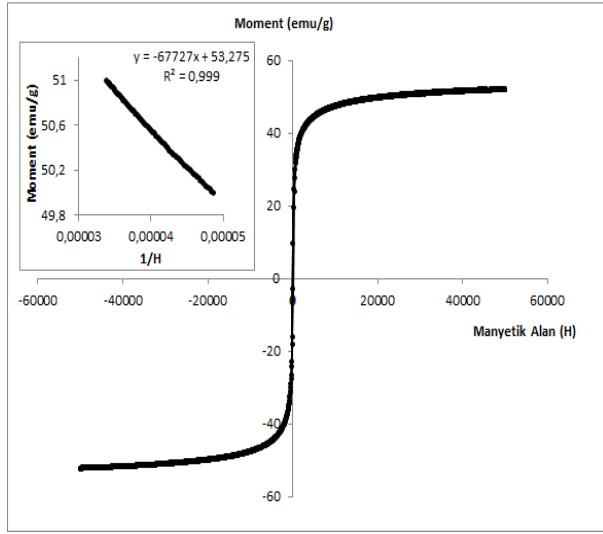
Nanopartiküllerin XRD ölçümü 1.5406 °A dalga boyunda CuK $\alpha$  radyasyonlu D8 ADVANCE model bir difraktometre cihazı ile gerçekleştirildi. Kübik yapıda olan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerine ait karakteristik 2 $\theta$  açılarının 30.5°, 35.5°, 43.1°, 53.4°, 57.6° ve 62.8° olduğu önceki çalışmalardan bilinmektedir. Bu açılar kırınım tepe noktaları sırasıyla; (220), (311), (400), (422) ve (440) 'a karşılık gelmektedir (Woo et al. 2004).



Şekil 3. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin XRD spektrumu

Manyetik nanopartikülün manyetik özelliklerini incelemek için VSM cihazı kullanılarak 300 K sıcaklığında manyetik ölçümleri yapıldı ve Şekil 4' teki manyetizasyon eğrisi elde edildi. Sentezlenen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin doygunluk manyetizasyon değeri 53.28 emu/g olarak bulundu. Doymunluk manyetizasyonu, moment değerlerinin 1/Manyetik

alan (H)' a karşı elde edilen doğrusal grafiğin y eksenini kestiği noktadan hesaplandı.

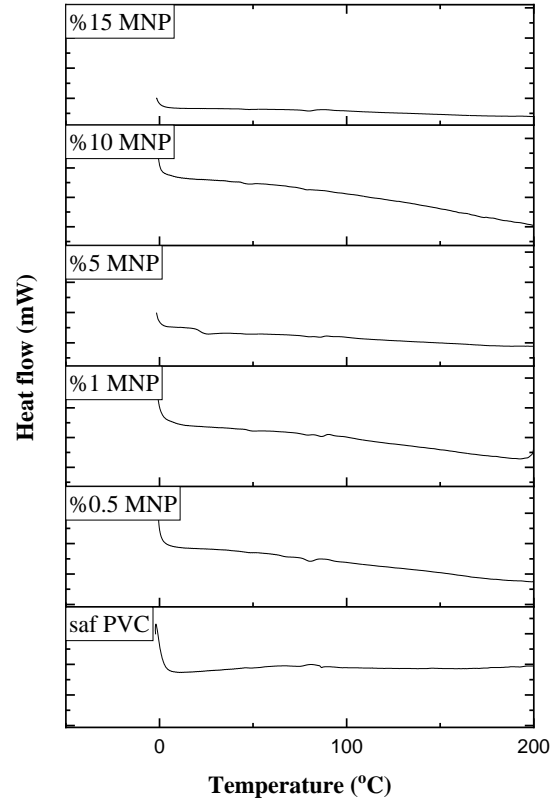


Şekil 4. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin Manyetizasyon eğrisi

Şekil 5' de saf PVC ve farklı yüzdelerde manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartikülleri ile hazırlanan kompozitlerin DSC eğrileri, Şekil 6' da ise kompozitlerin TGA eğrileri, verilmiştir. DSC eğrilerden elde edilen  $T_g$  (camsı geçiş sıcaklığı) ve TGA eğrilerinden elde edilen  $T_i$  (başlangıç bozunma sıcaklığı) ve atık miktarları Çizelge 1' de verilmiştir.

Saf PVC' nin  $T_i$  değeri 260 °C olduğu bilinmektedir (Harun *et al.* 2019). MNP ilavesiyle hazırlanan PVC kompozitlerinin  $T_i$  değerlerinin saf PVC' den daha düşük olduğu görüldü. Ayrıca MNP ilavesiyle kompozitlerin  $T_i$  değerlerinin genel olarak bir artış gösterdiği Çizelge 1.' de görülmektedir. Son olarak termal verilerde MNP' nin 600 °C' ye kadar bozunma göstermediği bilindiği için, %15 MNP içeren PVC/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kompozitinin atık miktarının en fazla olduğu (17.4) belirtildi. %0.5, %1, %5 ve %10 MNP içeren kompozitlerin 600 °C' deki atık miktarları sırasıyla 9.1, 10.6, 13.6 ve 15.2 olduğu Çizelge 1' de gösterildi.

Kullandığımız saf PVC' nin  $T_g$  sıcaklığının 85 °C olduğu daha önceki çalışmamızda görülmüştür (Harun *et al.* 2019). MNP ilavesiyle hazırlanan kompozitlerin  $T_g$  değerleri saf PVC' den daha düşük olduğu, ancak MNP yüzdesiyle çok fazla değişmediği saptandı.

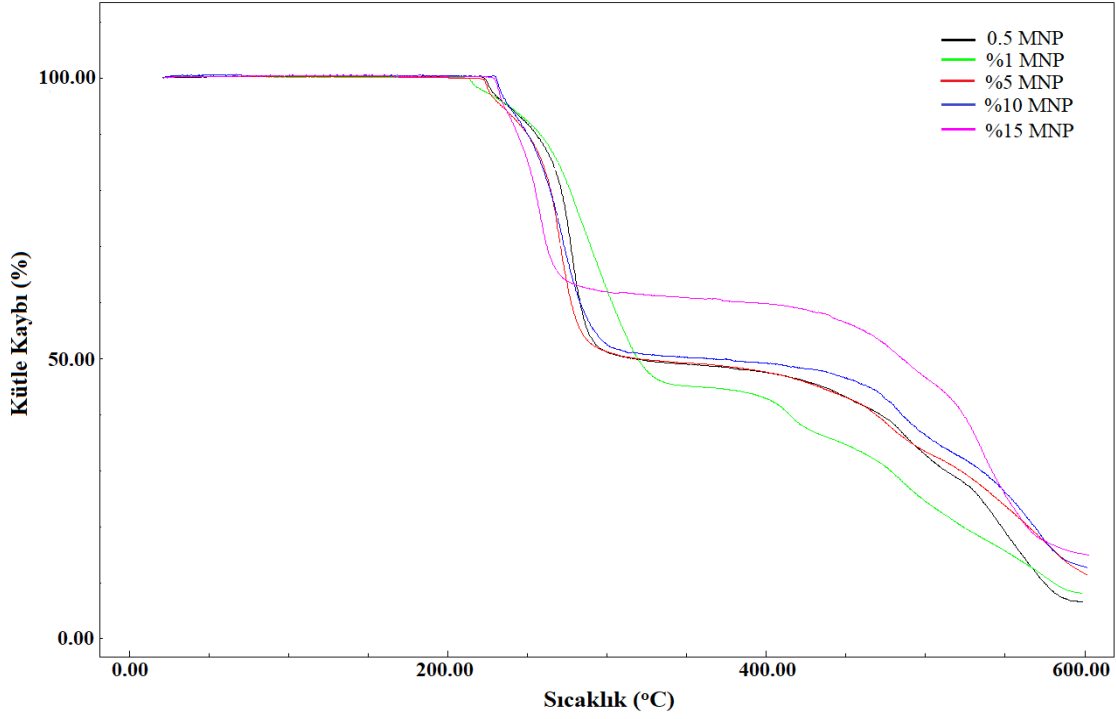


Şekil 5. MNP/PVC kompozitlerinin DSC eğrileri

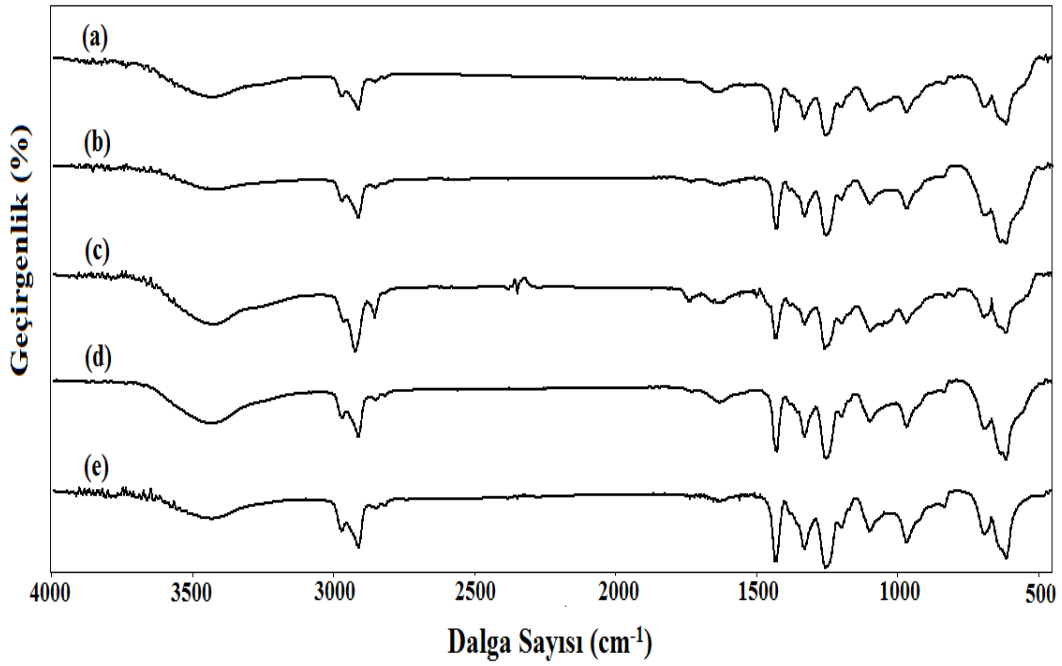
Çizelge 1. PVC/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartikül kompozitlerinin termal verileri

| PVC/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> nanopartikül Kompozitleri | $T_g$ (°C) | $T_i$ (°C) | 350 °C' de Ağırlık Kaybı (%) | 600 °C' deki atık miktarı |
|--|------------|------------|------------------------------|---------------------------|
| % 0.5 MNP  | 78 °C      | 221        | 48.4                         | 9.1                       |
| % 1 MNP  | 77 °C      | 215        | 53.2                         | 10.6                      |
| % 5 MNP  | 79 °C      | 224        | 47.6                         | 13.6                      |
| % 10 MNP   | 77 °C      | 231        | 46.4                         | 15.2                      |
| % 15 MNP   | 78.5 °C    | 234        | 36.3                         | 17.4                      |

Şekil 7' de farklı yüzdelerde MNP kullanılarak hazırlanan kompozitlerin FT-IR spektrumları verilmiştir. 2970-2915 cm<sup>-1</sup> de alifatik C-H gerilme titreşimleri, 1245 cm<sup>-1</sup> deki Cl atomuna bağlı C-H eğilme titreşimi, 690 cm<sup>-1</sup> deki ise C-Cl gerilme titreşimine ait pik PVC' nin karakteristik piklerini göstermektedir. Ayrıca yapı ile ilgisi olmayan 3435cm<sup>-1</sup> de O-H gerilme bandı ve 1630 cm<sup>-1</sup> deki eğilme bandı KBr' den kaynaklanmaktadır. PVC' ye ait pikler dışında Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinden gelen Fe-O gerilme titreşimleri ise 637 ve 615 cm<sup>-1</sup> de görülmektedir.



Şekil 6. MNP/PVC kompozitlerinin TGA eğrileri

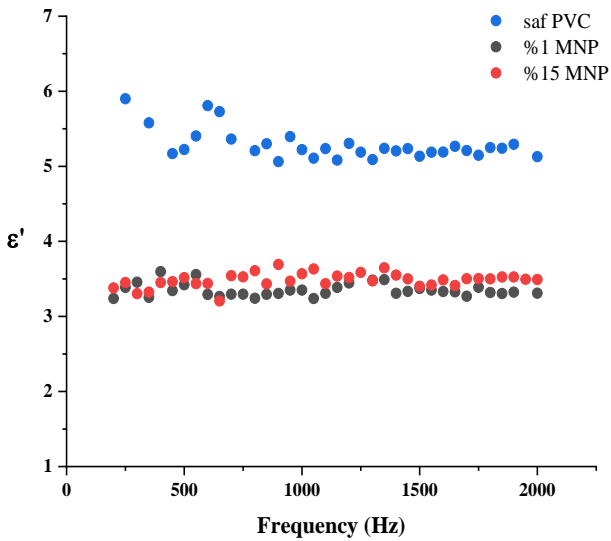


Şekil 7. a) %0.5, b) %1, c) %5, d) %10, e) %15 MNP içeren kompozitlerin IR spektrumları

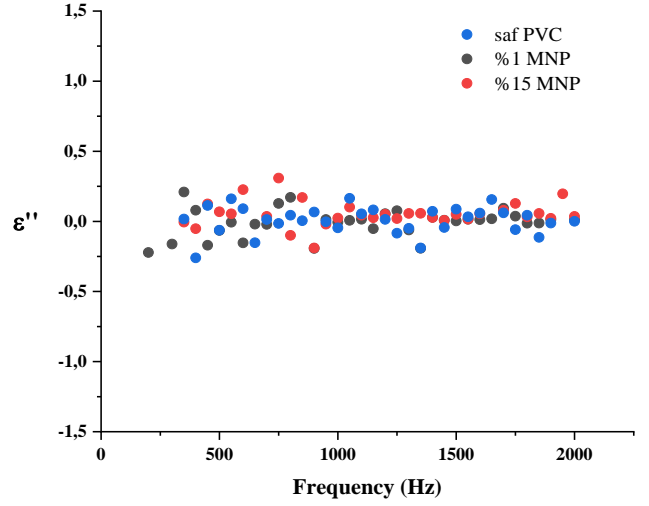
Bir malzemenin kullanım alanlarının belirlenmesinde yalıtkan mı, yarı iletken mi yoksa iletken mi olduğunu belirlemek için elektriksel özelliklerini ölçmek önemli bir parametredir. Bu nedenle bu çalışmada sentezlenen kompozitlerin elektriksel özellikleri de incelenmiştir (Pekdemir and Coşkun 2020).

Geçirgenlik, bir malzemenin uygulanan bir alana yanıt olarak polarize olma yeteneğini ifade eder. Kompleks bağlı geçirgenlikle ilgili olan dielektrik sabiti ( $\epsilon'$ ) ve dielektrik kayıp faktörü ( $\epsilon''$ ), yavaş polarizasyon akımları yoluyla dielektrik bir malzemedeki enerji kaybının bir ölçüsüdür (Ahmad 2012). Şekil 8 ve Şekil 9' da oda sıcaklığında saf PVC

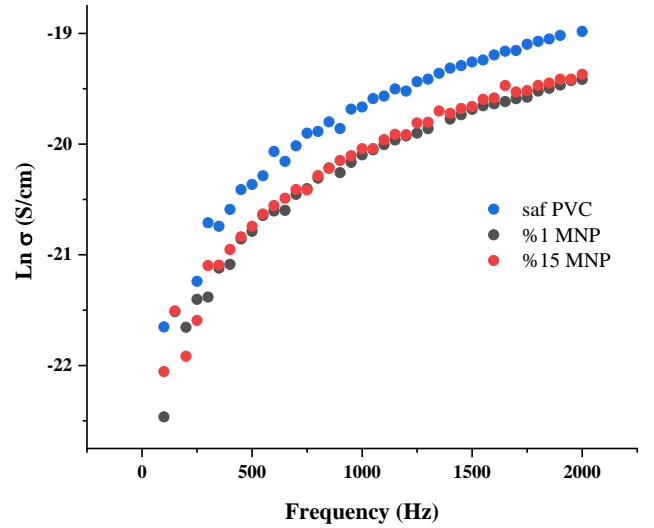
ve %1 ile %15 MNP içeren kompozitlerinin uygulanan frekansın bir fonksiyonu olarak  $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$  arasındaki değişimi göstermektedir. Alternatif bir elektrik alanı altında polar polimerlerin dipolleri hizalamaları için biraz zaman gerekir. Düşük frekanslarda ise yön değiştirmeden önce hizalamayı yapmaları için yeterli zamana sahiptirler (Ahmad 2012). Ara frekanslarda dipoller hareket etmesine rağmen alan yönü değişiminden önce hareketlerini tamamlamışlardır. Ancak yüksek frekanslarda alan yönü değişiminden önce yeterli zamanları yoktur (Tukur *et al.* 2020). Şekil 8' de artan frekansla dielektrik sabitinin azalma gösterdiği ve yüksek frekanslarda tamamen sabitlendiği görülmektedir. Saf PVC' nin dielektrik sabitinin kompozitlerin dielektrik sabitinden daha yüksek olduğu görülürken, kompozitlerde MNP yüzdesi arttıkça dielektrik sabiti değerinin arttığı gözlemlendi. Saf PVC' nin dielektrik kayıp faktörünün ise MNP içeren kompozitler ile hemen hemen aynı olduğu, artan frekansla dielektrik kayıp faktörünün değişmediği görülmüştür. Saf PVC ve %1 ile %15 MNP içeren kompozitlerin AC iletkenliğinin ( $\sigma_{ac}$ ) frekansla değişimi Şekil 10' da gösterildi. Saf PVC ve kompozitlerin AC iletkenliği oda sıcaklığında 1000 Hz' e kadar artan frekansla hızlı bir artış gösterirken, 2000 Hz' e yaklaştıkça daha yavaş bir artış göstermiştir.



Şekil 8. MNP/PVC kompozitlerinin dielektrik sabitlerinin frekans ile değişim grafikleri



Şekil 9. MNP/PVC kompozitlerinin dielektrik kayıp faktörlerinin frekans ile değişim grafikleri



Şekil 10. MNP/PVC kompozitlerinin iletkenliğinin frekans ile değişim grafikleri

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada birlikte çöktürme yoluyla Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> manyetik nanopartikülleri sentezlenerek, ticari olarak kullanılan PVC ile farklı yüzdelerde kompozitleri hazırlandı. Sentezlenen MNP' e ait TEM görüntüleri ve partikül boyut dağılımı, partiküllerin nano boyutta olduğunu ve yaklaşık 20 nm civarında olduğunu göstermektedir. Şekil 3' te verilen XRD spektrumu, daha önceki yapılan çalışmalara dayanarak partiküllerin şeklinin kübik yapıda olduğunu destekler niteliktedir.

Şekil 4' te VSM ölçümünden MNP' nin doygunluk manyetizasyon değeri ise 53.28 emu/g olarak bulundu. Kompozitlerin IR spektrumlarında ise PVC'



ye ait pikler dışında ortamda MNP olduğunu gösteren Fe-O gerilme titreşimleri 615 ve 637  $\text{cm}^{-1}$  de net olarak görülmektedir. TGA eğrilerine bakıldığında, hızla bozulmaya başladığı  $T_i'$  ye dayanarak nanopartiküllerin PVC' nin termal stabilitesini azalttığı söylenebilir. Saf MNP' ye PVC eklendikçe  $T_g$  değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum MNP ilavesinin PVC zincirlerini kısmen ayırdığı ve polimerdeki serbest hacmi artırdığı şeklinde yorumlanabilir. MNP ilavesinin kompozitlerin dielektrik sabitini düşürdüğü ve %15'lik MNP içeren kompozitin dielektrik sabitinin %1' lik MNP içeren PVC kompozitinden daha yüksek olduğu belirlendi. Çalışmada son olarak saf PVC ve kompozitlerin AC iletkenliğine bakıldı. AC iletkenliğinin artan frekansla daha düşük frekanslarda hızlı bir artış gösterdiği ancak yüksek frekanslarda artışın daha az olduğu görüldü.

## 5. Kaynaklar

- Ahmad, Z., 2012, Polymer dielectric materials, M.A.Silaghi, Intech, 3-26.
- Balazs, A.C., Emrick, T. and Russell, T.P., 2006. Nanoparticle polymer composites: where two small worlds meet. *Science*, **314**(5802), 1107-1110.
- Bayramoğlu, G. and Eşiyok, S., 2017. Polistiren-Fosfin Oksit Modifiye Kil Nanokompozitleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **17**(2), 440-448.
- Byrne, M.T. and Gun'ko, Y.K., 2010. Recent advances in research on carbon nanotube-polymer composites. *Advanced materials*, **22**(15), 1672-1688.
- Chen, C., Wesson, R., Collier, J. and Lo, Y., 1995. Studies of rigid poly (vinyl chloride)(PVC) compounds. I. Morphological characteristics of poly (vinyl chloride)/chlorinated polyethylene (PVC/CPE) blends. *Journal of applied polymer science*, **58**(7), 1087-1091.
- Chiscan, O., Dumitru, I., Postolache, P., Tura, V. and Stancu, A., 2012. Electrospun PVC/Fe3O4 composite nanofibers for microwave absorption applications. *Materials Letters*, **68**, 251-254.
- Endo, K., 2002. Synthesis and structure of poly (vinyl chloride). *Progress in Polymer science*, **27**(10), 2021-2054.
- Harun, H., Pekdemir, M.E. and Coşkun, M., 2019. A study on aminated PVC/oxidized MWCNT composites. *Academia Journal of Scientific Research*, **7**(2), 086-094.
- Haruna, H., Pekdemir, M.E., Tukur, A. and Coşkun, M., 2020. Characterization, thermal and electrical properties of aminated PVC/oxidized MWCNT composites doped with nanographite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **139**, 3887-3895.
- Khan, A., Aldwayyan, A.S., Alhoshan, M. and Alsalmi, M., 2010. Synthesis by in situ chemical oxidative polymerization and characterization of polyaniline/iron oxide nanoparticle composite. *Polymer international*, **59**(12), 1690-1694.
- Klarić, I., Vrandečić, N.S. and Roje, U., 2000. Effect of poly (vinyl chloride)/chlorinated polyethylene blend composition on thermal stability. *Journal of applied polymer science*, **78**(1), 166-172.
- Li, P., Miser, D.E., Rabiei, S., Yadav, R.T. and Hajaligol, M.R., 2003. The removal of carbon monoxide by iron oxide nanoparticles. *Applied Catalysis B: Environmental*, **43**(2), 151-162.
- Moniruzzaman, M. and Winey, K.I., 2006. Polymer nanocomposites containing carbon nanotubes. *Macromolecules*, **39**(16), 5194-5205.
- Pekdemir, M.E. and Coşkun, M., 2020. Chemical Bonding of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles on the Surface of Poly (acryloyl chloride) Functionalized Multiwalled Carbon Nanotubes. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, **44**(4), 1001-1010.
- Pekdemir, M.E., Ertürkan, D., Külah, H., Boyacı, İ.H., Özgen, C. and Tamer, U., 2012. Ultrasensitive and selective homogeneous sandwich immunoassay detection by Surface Enhanced Raman Scattering (SERS). *Analyst*, **137**(20), 4834-4840.



- Reddy, K.R., Lee, K.P., Lee, Y. and Gopalan, A.I., 2008. Facile synthesis of conducting polymer-metal hybrid nanocomposite by in situ chemical oxidative polymerization with negatively charged metal nanoparticles. *Materials Letters*, **62**(12), 1815-1818.
- Reddy, K.R., Lee, K.P. and Gopalan, A.I., 2007. Novel electrically conductive and ferromagnetic composites of poly (aniline-co-aminonaphthalenesulfonic acid) with iron oxide nanoparticles: synthesis and characterization. *Journal of applied polymer science*, **106**(2), 1181-1191.
- Shafi, K.V., Ulman, A., Yan, X., Yang, N.-L., Estournes, C., White, H. and Rafailovich, M., 2001. Sonochemical synthesis of functionalized amorphous iron oxide nanoparticles. *Langmuir*, **17**(16), 5093-5097.
- Sun, C., Lee, J.S. and Zhang, M., 2008. Magnetic nanoparticles in MR imaging and drug delivery. *Advanced drug delivery reviews*, **60**(11), 1252-1265.
- Sun, S., Murray, C.B., Weller, D., Folks, L. and Moser, A., 2000. Monodisperse FePt nanoparticles and ferromagnetic FePt nanocrystal superlattices. *science*, **287**(5460), 1989-1992.
- Sun, S., Zeng, H., Robinson, D.B., Raoux, S., Rice, P.M., Wang, S.X. and Li, G., 2004. Monodisperse mfe<sub>2</sub>o<sub>4</sub> (m= fe, co, mn) nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, **126**(1), 273-279.
- Tavman, İ. and Turgut, A., 2006. Mikro ve nano boyutlu tanecik katkılı polimer kompozitlerin mekanik özellikleri. Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli, Türkiye, 570-575.
- Teng, X. and Yang, H., 2004. Effects of surfactants and synthetic conditions on the sizes and self-assembly of monodisperse iron oxide nanoparticles. *Journal of Materials Chemistry*, **14**(4), 774-779.
- Thio, Y., Argon, A., Cohen, R. and Weinberg, M., 2002. Toughening of isotactic polypropylene with CaCO<sub>3</sub> particles. *Polymer*, **43**(13), 3661-3674.
- Thostenson, E.T., Ren, Z. and Chou, T.W., 2001. Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review. *Composites science and technology*, **61**(13), 1899-1912.
- Tukur, A., Pekdemir, M.E., Haruna, H. and Coşkun, M., 2020. Magnetic nanoparticle bonding to PVC with the help of click reaction: characterization, thermal and electrical investigation. *Journal of Polymer Research*, **27**, 161.
- Wilson, J., Poddar, P., Frey, N., Srikanth, H., Mohomed, K., Harmon, J. and Wachsmuth, J., 2004. Synthesis and magnetic properties of polymer nanocomposites with embedded iron nanoparticles. *Journal of Applied Physics*, **95**(3), 1439-1443.
- Woo, K., Hong, J., Choi, S., Lee, H.-W., Ahn, J.-P., Kim, C.S. and Lee, S.W., 2004. Easy synthesis and magnetic properties of iron oxide nanoparticles. *Chemistry of materials*, **16**(14), 2814-2818.
- Xie, X.L., Liu, Q.X., Li, R.K.Y., Zhou, X.P., Zhang, Q.X., Yu, Z.-Z. and Mai, Y.-W., 2004. Rheological and mechanical properties of PVC/CaCO<sub>3</sub> nanocomposites prepared by in situ polymerization. *Polymer*, **45**(19), 6665-6673.

**Amalgam Uzaylarındaki Bazı Çarpanlar ve Rölatif Tamlanış Üzerine**Cihan ÜNAL<sup>1</sup><sup>1</sup> Ölçme, Seçme ve Yerleştirme Merkezi, 06800, Bilkent/Ankara

e-posta: cihanunal88@gmail.com ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-7242-393X

Geliş Tarihi: 25.03.2020

Kabul Tarihi: 30.09.2020

**Öz**

$G$ ,  $\mu$  Haar ölçümüne sahip yerel tıkkız değişmeli bir grup olsun. Bu çalışmada ilk olarak,  $(L^p, \ell^q)(G)$  amalgam uzayı tanıtıldı ve bazı temel özellikleri verildi. Ayrıca,  $(L^p, \ell^q)(G)$  amalgam uzayının doğrusal bir  $A$  alt uzayı için bir  $A$  rölatif tamlanış tanımlandı ve bu tamlanışın bazı özellikleri ele alındı. Son olarak;  $\text{Hom}_{L^1(G)}(L^1(G), A)$  ile  $A$  arasında cebirsel bir izomorfizma ve homeomorfizma olduğu ispatlandı.

**Anahtar kelimeler**

Amalgam uzayı; Banach modül; Rölatif tamlanış; İzomorfizma

**On Some Multipliers and the Relative Completion in Amalgam Spaces****Abstract**

Let  $G$  be a locally compact abelian group with Haar measure  $\mu$ . First of all, in this paper, the amalgam space  $(L^p, \ell^q)(G)$  is introduced and some basic properties of amalgam space are given. Moreover, a relative completion  $A$  for a linear subspace  $A$  of amalgam space  $(L^p, \ell^q)(G)$  is defined, and is considered several properties of it. Finally, it is proved that there is an algebraic isomorphism and homeomorphism between  $\text{Hom}_{L^1(G)}(L^1(G), A)$  and  $A$ .

**Keywords**

Amalgam space; Banach module; Relative completion; Isomorphism

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

**1. Giriş ve Ön Bilgiler**

Çalışmanın tamamı boyunca  $G$ ,  $\mu$  Haar ölçümlü tıkkız olmayan ve ayrık olmayan yerel tıkkız Abel bir grup olarak kabul edilecektir. Yerel olarak  $L^p$  uzayına, evrensel olarak  $\ell^q$  uzayına ait ölçülebilir ve reel değerli fonksiyonların uzayına amalgam uzayı denir ve bu  $(L^p, \ell^q)(G)$  ( $1 \leq p, q \leq \infty$ ) ile gösterilir. Holland (1975) amalgamları reel ekseninde araştırdı. Stewart (1979) ise bu tanımları yerel tıkkız gruplar için Structure Teoremi'ni kullanarak yerel tıkkız Abel gruplarına genelleştirdi. Daha kapsamlı bilgi için Fournier ve Stewart (1985) çalışmasını referans verebiliriz. Ayrıca, Quek ve Yap (1979),  $L^p(G)$  uzayının doğrusal bir alt uzayı olan  $A$ 'nın  $A$  rölatif bir tamlanış tanımladı. Yazarlar  $L^1(G)$  uzayından  $A$  uzayına giden çarpanlar uzayının cebirsel izomorfik ve homeomorfik olarak  $A$  olduğunu araştırmıştır. Ayrıca, benzer sonuçları

ağırlıklı Lebesgue ve Lorentz uzayları için Duyar ve Gurkanlı (2003 ve 2007) çalışmasında sağlanmıştır.

Öteleme operatörü olarak  $T_y$ , her  $x \in G$  için  $T_y f(x) = f(x-y)$  şeklinde tanımlansın. Ayrıca, her  $f \in B$  ve  $y \in G$  için  $T_y f \in B$  ve  $\|T_y f\|_B = \|f\|_B$  sağlanıyorsa  $(B, \|\cdot\|_B)$  ötelemeler altında güçlü değişmezdir denir. Şimdi  $(A, \|\cdot\|_A)$  bir Banach cebiri olsun. Ayrıca  $(X, \|\cdot\|_X)$  bir sol Banach  $A$ -modül olsun, yani,  $X$  uzayı  $A$  üzerinde cebirsel anlamda bir modül olsun ve her  $a \in A$  ve  $b \in X$  için  $\|a.b\|_X \leq \|a\|_A \|b\|_X$  sağlansın. Bu takdirde

$$AX = \{ax : a \in A, x \in X\}$$

tarafından gerilen  $X$ 'in kapalı bir doğrusal alt uzayına  $X_e$  in esas kısmı olarak adlandırılır ve  $X_e$  ile gösterilir. Eğer  $X_e = X$  ise  $X$ 'e esas sol Banach  $A$ -

modülü denir (Doran ve Wichmann, 1979). Şimdi A Banach cebiri üzerinde V ve W iki Banach modülü alınsın. Bu takdirde V üzerinden W'ye giden bir çarpan V üzerinden W'ye giden bir T sınırlı doğrusal operatördür. Burada  $a \in A$  ve  $v \in V$  olmak üzere  $T(av) = aT(v)$  olan modül çarpımı vardır.  $\text{Hom}_A(V, W)$  olarak V üzerinden W'ye giden tüm çarpanların uzayı olarak gösterilsin. Ayrıca,  $\text{Hom}_A(V, V) = \text{Hom}_A(V)$  olarak yazılsın.

G üzerinde bir Banach fonksiyon uzayı (kısaca BF-uzayı), bir  $(B, \|\cdot\|_B)$  Banach uzayının  $L^1_{\text{loc}}(G)$  uzayına sürekli olarak gömülmesine denir, yani, herhangi bir  $K \subset G$  tıkHz alt kümesi verildiğinde her  $f \in B$  için  $\|f\chi_K\|_{L^1} \leq C_K \|f\|_B$  olacak şekilde bir  $C_K > 0$  sabiti vardır. Ayrıca  $L^p_{\text{loc}}(G)$  ile G kümesinin her tıkHz alt kümesine kısıtlanışların  $L^p(G)$  uzayına ait olan fonksiyonların uzayı gösterilsin. Structure Teoreminden (Hewitt ve Ross, 1979, Teorem 24.30)  $G = \square^a \times G_1$  şeklindedir. Burada a bir negatif olmayan bir tam sayı ve  $G_1, H$  açık tıkHz alt grubunu içeren bir yerel tıkHz Abel gruptur. Şimdi  $I = [0, 1]^a \times H$  ve T, H'nin  $G_1$  içinde bir çaprazlama yani  $G_1 = \bigcup_{t \in T} (t + H)$  olmak üzere  $J = \square^a \times T$  şeklinde alınsın.  $\alpha \in J$  için  $I_\alpha = \alpha + I$  ifade edilsin ve böylece G,  $I_\alpha$  rölatif tıkHz kümelerin ayrık birleşimine eşittir. Tüm  $\alpha$  için  $\mu(I) = \mu(I_\alpha) = 1$  olacak şekilde  $\mu$  normalleştirilsin. Şimdi  $(L^p, \ell^q)(G)$  uzayının tanımı (Stewart, 1979) çalışmasına göre verilsin.

**Tanım 1.1**  $(L^p, \ell^q)(G) = (L^p, \ell^q)$  şeklinde gösterilen amalgam uzayları

$$\{f \in L^p_{\text{loc}}(G) : \|f\|_{pq} < \infty\}$$

olarak ifade edilir. Burada

$$\|f\|_{pq} = \left[ \sum_{\alpha \in J} \|f\|_{L^p(I_\alpha)}^q \right]^{\frac{1}{q}} \quad 1 \leq p, q < \infty \text{ için}$$

$$\|f\|_{p\infty} = \left[ \sum_{\alpha \in J} \sup_{x \in I_\alpha} |f(x)|^q \right]^{\frac{1}{q}} \quad p = \infty, 1 \leq q < \infty \text{ için}$$

$$\|f\|_{p\infty} = \sup_{\alpha \in J} \|f\|_{L^p(I_\alpha)} \quad 1 \leq p < \infty, q = \infty \text{ için}$$

şeklinde tanımlanır. Ayrıca amalgam uzaylarının  $1 < p, q < \infty$  için yansımali Banach uzayları olduğu biliniyor.

**Tanım 1.2** ((Doran ve Wichmann, 1979), (Squire, 1984)) A bir Banach cebiri olsun. Eğer

(i) Her  $f, g \in A, h \in B$  için  $(f \cdot g) \cdot h = f \cdot (g \cdot h)$  eşitliği sağlansın

(ii) Her  $f \in A, h \in B$  için  $\|f \cdot h\|_B \leq C \|f\|_A \|h\|_B$  olacak şekilde  $C \geq 1$  sabiti olsun

koşullarını sağlayan bir  $\cdot : A \times B \rightarrow B$  bilineer operatör varsa B Banach uzayına bir Banach A-modülü adı verilir.

**Tanım 1.3** ((Bertrandis ve Darty, 1978), (Busby ve Smith, 1981), (Squire, 1984))  $p, q, r, s$  üsleri  $\frac{1}{p} + \frac{1}{r} - 1 = \frac{1}{m} \leq 1$  ve  $\frac{1}{q} + \frac{1}{s} - 1 = \frac{1}{n} \leq 1$  koşullarını sağlıyorsa

$$(L^p, \ell^q) * (L^r, \ell^s) \subset (L^m, \ell^n)$$

kapsaması sağlanır.

Ayrıca, eğer  $f \in (L^p, \ell^q)$  ve  $g \in (L^r, \ell^s)$  ise,

$$\|f * g\|_{mn} \leq 2^a \|f\|_{pq} \|g\|_{rs} \quad m \neq 1 \text{ için} \quad (1)$$

$$\|f * g\|_{1n} \leq 2^{2a} \|f\|_{1q} \|g\|_{1s}.$$

elde edilir.

(1) eşitsizliğinden herhangi  $f \in (L^p, \ell^q)$  için

$$\|f * g\|_{pq} \leq C \|f\|_{pq} \|g\|_{11} = C \|f\|_{pq} \|g\|_{11}$$

ifadesi bulunur ve  $g \in (L^1, \ell^1) = L^1$  sağlanır. Burada  $C \geq 1$ 'dir. Bu ise  $(L^p, \ell^q)$  amalgam uzayının girişim işlemine göre bir Banach  $L^1$ -modülü olduğunu gösterir (Squire, 1984). Ayrıca,  $(L^p, \ell^1)$  amalgam uzayının  $p \geq 1$  için girişim altında bir Banach cebiri olduğunu görmek kolaydır. Gerçekten, (1) eşitsizliğinden dolayı her  $f, g \in (L^p, \ell^1)$  fonksiyonları için

$$\|f * g\|_{p1} \leq C \|f\|_{11} \|g\|_{p1} = C \|f\|_{p1} \|g\|_{p1}$$

bulunur. Böylece  $\|f\|_{p_1} = C\|f\|_{p_2}$  ifadesi  $(L^p, \ell^1)$  uzayı için bir norm belirtir. Burada  $(L^p, \ell^1) \subset L^1$  ve  $\| \cdot \|_1 \leq \| \cdot \|_{p_1}$  oldukları dikkate alınmalıdır.

**Teorem 1.4** (Squire, 1984)  $1 \leq p, q < \infty$  olsun. Bu takdirde  $(L^p, \ell^q)$  amalgam uzayı ötelemeler altında değişmezdir, yani, her  $\gamma \in G$  ve  $f \in (L^p, \ell^q)$  için  $\|T_\gamma f\|_{pq} \leq 2^a \|f\|_{pq}$  eşitsizliği sağlanır.

**Teorem 1.5** (Squire, 1984)  $1 \leq p, q < \infty$  olsun. O halde  $\gamma \rightarrow T_\gamma$  fonksiyonu  $G$ 'den  $(L^p, \ell^q)$  uzayına süreklidir.

$L^1(G)$  uzayının bir altcebiri olan  $S(G)$  aşağıdaki koşulları sağlarsa bir Segal cebiri adı verilir;

**(S-1)**  $S(G)$ ,  $L^1(G)$  uzayında yoğundur ve  $f \in S(G)$  için  $T_\gamma f \in S(G)$  sağlanır

**(S-2)**  $S(G)$ ,  $\| \cdot \|_{S(G)}$  normunda göre bir Banach cebiri olup her  $f \in S(G)$ ,  $\gamma \in G$  için  $\|f\|_{S(G)} = \|T_\gamma f\|_{S(G)}$  eşitliği sağlanır

**(S-3)**  $f \in S(G)$  olsun. Bu takdirde her  $\varepsilon > 0$  sayısı verildiğinde tüm  $\gamma \in U$  için  $\|T_\gamma f - f\|_{S(G)} < \varepsilon$  olacak şekilde  $G$ 'nin birim elemanının bir  $U$  komşuluğu vardır.

Şimdi,  $(L^p, \ell^q)$  uzayının normuna denk ötelemeler altında değişmez  $\| \cdot \|_{pq}^\#$  normuna sahip olduğu ifade edilecektir.

**Teorem 1.6** ((Fournier ve Stewart, 1985), (Squire, 1984)) Bir  $f$  fonksiyonunun  $1 \leq p, q < \infty$  olmak üzere  $(L^p, \ell^q)$  uzayına ait olması için gerek ve yeter koşul  $G$  üzerinde tanımlı  $f^\#(x) = \|f\|_{L^p(x+E)}$  biçiminde tanımlı  $f^\#$  fonksiyonunun  $L^q(G)$  uzayına ait olmasıdır. Eğer  $\|f\|_{pq}^\# = \|f^\#\|_q$  ise,  $2^{-a} \|f\|_{pq} = \|f\|_{pq}^\# \leq 2^a \|f\|_{pq}$  sağlanır ve  $E$  sıfırın açık prekompakt komşuluğu olmak üzere

$$\|f\|_{pq}^\# = \left[ \int_G \|f\|_{L^p(x+E)}^q dx \right]^{\frac{1}{q}}$$

şekindedir. Böylece  $\| \cdot \|_{pq}$  ve  $\| \cdot \|_{pq}^\#$  normları denktirler.

Teorem 1.6'nın bir sonucu olarak aşağıdaki sonuç elde edilir.

**Sonuç 1.7** Herhangi  $f \in (L^p, \ell^q)$  alınsın ve  $f^\#(x) = \|f\|_{L^p(x+E)}$  olsun. Bu takdirde

$$\begin{aligned} (T_\gamma f)^\#(x) &= \|T_\gamma f\|_{L^p(x+E)} = \|f\|_{L^p(x+\gamma+E)} \\ &= f^\#(x+\gamma) = T_{-\gamma} f^\#(x) \end{aligned}$$

ve

$$\|T_\gamma f\|_{pq}^\# = \|(T_\gamma f)^\#\|_q = \|T_{-\gamma} f^\#\|_q = \|f^\#\|_q = \|f\|_{pq}^\#$$

sağlanır. Böylece  $(L^p, \ell^q)$  uzayı  $\| \cdot \|_{pq}^\#$  normuna göre ötelemeler altında güçlü değişmezdir.

**Teorem 1.8** (Squire, 1984)  $1 \leq p < \infty$  olsun. Bu takdirde  $(L^p, \ell^1)$  amalgam uzayı  $\| \cdot \|_{pq}^\#$  normuna göre bir Segal cebiridir.

**Tanım 1.9** Her  $a \in A$  için  $\lim_{\alpha} a = a$  eşitliğini sağlayan ve  $A$  değişmeli normlu cebirin bir elemanı olan  $\{e_\alpha\}$  ağı bir yaklaşık birim kısaca a.i. olarak adlandırılır.

**Önerme 1.10** (Squire, 1984)  $1 \leq p, q < \infty$  ve  $\{e_\alpha\}$  ağı  $L^1$  uzayında a.i. olsun. Bu takdirde  $\{e_\alpha\}$ ,  $(L^p, \ell^q)$  uzayında da bir a.i.'dir yani her  $f \in (L^p, \ell^q)$  için  $\lim_{\alpha} \|e_\alpha * f - f\|_{pq} = 0$  sağlanır.

**Sonuç 1.11** (Squire, 1984)  $1 \leq p, q < \infty$  olsun. Bu takdirde  $(L^p, \ell^q)$  amalgam uzayı bir esas  $L^1(G)$ -modüldür.

## 2. Temel Sonuçlar

**Tanım 2.1**  $A$ ,  $(L^p, \ell^q)$  uzayının bir alt uzayı olarak aşağıdaki özellikleri sağlasın:

**(i)**  $(A, \| \cdot \|_A)$  girişim işlemine göre bir Banach  $L^1$ -modüldür ve  $\| \cdot \|_{pq} \leq \| \cdot \|_A$  eşitsizliği sağlanır.

(ii) Her  $f \in A$  için  $\lim_{\alpha} \|e_{\alpha} * f - f\|_A \rightarrow 0$  ve tüm  $\alpha \in I$ , bir  $M > 0$  sayısı için  $\|e_{\alpha}\|_1 \leq M$  olacak şekilde  $L^1(G)$  uzayının sınırlı bir  $\{e_{\alpha}\}$  yaklaşık birimi vardır

A uzayının rölatif tamlanış uzayı

$A = \left\{ f \in (L^p, \ell^q) : \text{Her } \alpha \in I \text{ için } f * e_{\alpha} \in A, \sup_{\alpha \in I} \|f * e_{\alpha}\|_A < \infty \right\}$  şeklinde tanımlanır.

A uzayının  $\|f\|_A = \sup_{\alpha \in I} \|f * e_{\alpha}\|_A$  şeklinde tanımlı  $\|\cdot\|_A$  normuna göre bir normlu uzay olduğunu görmek kolaydır.

**Önerme 2.2** A, Tanım 2.1'deki gibi olsun. Bu takdirde

(i)  $f \in A$  ve  $g \in L^1(G)$  olsun. O halde  $f * g \in A$  ve

$$\|f * g\|_A \leq \|f\|_A \|g\|_1$$

sağlanır.

(ii)  $f \in A$  olsun. O halde  $\|f\|_A \leq M \|f\|_A$  ve  $\|f\|_A \leq \|f\|_A$  sağlanır. Bu ise  $\|\cdot\|_A$  ve  $\|\cdot\|_A$  normlarının A üzerinde denk olduklarını gösterir.

(iii) A uzayı A uzayının kapalı bir alt uzayıdır.

**İspat** (Duyar ve Gurkanlı, 2007) çalışmasındaki Proposition 2.2 yardımıyla istenen ifadeler elde edilir.

**Önerme 2.3** A uzayının tanımı yaklaşık birimin seçimine bağlı değildir.

**İspat** (Duyar ve Gurkanlı, 2007) çalışmasındaki Proposition 2.3 dikkate alınır istenen elde edilir.

**Teorem 2.4** (Rieffel, 1967) A yaklaşık birime sahip bir Banach cebiri ve W ise yansımali bir Banach uzayı, esas A-modül olsun. Bu takdirde  $\text{Hom}_A(A, W) \cong W$  elde edilir.

**Teorem 2.5**  $1 < p, q < \infty$  olsun. O halde,  $\text{Hom}_{L^1(G)}(L^1(G), (L^p, \ell^q))$  uzayı ile  $(L^p, \ell^q)$  uzayı arasında izometrik modül izomorfizması vardır. Bu ise  $\text{Hom}_{L^1(G)}(L^1(G), (L^p, \ell^q)) \cong (L^p, \ell^q)$  olduğunu gösterir.

**İspat**  $L^1(G)$  uzayının yaklaşık birimli bir Banach cebiri olduğu biliniyor. Yine  $(L^p, \ell^q)$  amalgam uzayı esas  $L^1(G)$ -modül olduğundan Teorem 2.4 kullanılarak  $\text{Hom}_{L^1(G)}(L^1(G), (L^p, \ell^q)) \cong (L^p, \ell^q)$  elde edilir.

**Teorem 2.6**  $1 \leq p, q < \infty$  için  $(L^p, \ell^q)$  amalgam uzayının doğrusal bir alt uzayı olan A, Tanım 2.1'deki (i) ve (ii) koşullarını sağlasın. O halde  $\text{Hom}_{L^1(G)}(L^1(G), A)$  ve A uzayları cebirsel olarak izomorfik ve homeomorfiktir.

**İspat**  $f \in A$  fonksiyonu alınsın. Şimdi her  $g \in L^1(G)$  için  $T_f(g) = f * g$  biçiminde tanımlı bir  $T_f : L^1(G) \rightarrow A$  fonksiyonu tanımlansın. Şimdi  $T_f \in \text{Hom}_{L^1(G)}(L^1(G), A)$  olduğu ve  $\|T_f\|, \|f\|_A$  normlarının denk olduğu gösterilecektir. Önerme 2.2'den

$$\begin{aligned} & \|f * g * e_i - f * g * e_j\|_A \\ & \leq \|f * g * e_i - f * g * e_j\|_A \leq \|f\|_A \|g * e_i - g * e_j\|_1 \\ & \leq \|f\|_A (\|g * e_i - g\|_1 + \|g - g * e_j\|_1). \end{aligned}$$

elde edilir.  $\{e_{\alpha}\}, L^1(G)$  uzayında bir yaklaşık birim olduğundan  $\{f * g * e_i\}_{i \in I}$ , A'da bir Cauchy ağı olup A'da bir h fonksiyonuna yakınsar. Buradan  $f * g \in A$  sağlanır ve

$$\begin{aligned} \|f * g - h\|_A & \leq \|f * g - f * g * e_{\alpha}\|_A + \|f * g * e_{\alpha} - h\|_A \\ & \leq \|f\|_A \|g - g * e_{\alpha}\|_1 + M \|f * g * e_{\alpha} - h\|_A \rightarrow 0 \end{aligned}$$

elde edilir. Böylece  $T_f(g) = f * g = h \in A$  sağlanır. O halde,  $T_f : L^1(G) \rightarrow A$  fonksiyonu vardır. Önerme 2.2'den

$$\begin{aligned} \|T_f\| & = \sup_{g \neq 0} \frac{\|T_f(g)\|_A}{\|g\|_1} = \sup_{g \neq 0} \frac{\|f * g\|_A}{\|g\|_1} \\ & \leq \sup_{g \neq 0} \frac{\|f * g\|_A}{\|g\|_1} \leq \sup_{g \neq 0} \frac{\|f\|_A \|g\|_1}{\|g\|_1} = \|f\|_A \end{aligned}$$

sağlanır. Bu ise  $T_f : L^1(G) \rightarrow A$  fonksiyonunun sürekli olduğunu gösterir. Yine bu  $T_f$  fonksiyonunun sürekli bir modül homomorfizması

olduğunu ispatlamak kolaydır. Tanım 2.1 göz önüne alınırsa

$$\begin{aligned} \|T_f\| &= \sup_{g \neq 0} \frac{\|T_f(g)\|_A}{\|g\|_1} = \sup_{g \neq 0} \frac{\|f * g\|_A}{\|g\|_1} \geq \sup_{\alpha \in I} \frac{\|f * e_\alpha\|_A}{\|e_\alpha\|_1} \\ &\geq \sup_{\alpha \in I} \frac{\|f * e_\alpha\|_A}{M} = \frac{1}{M} \|f\|_A \end{aligned}$$

elde edilir.

Diğer taraftan,  $T \in \text{Hom}_{L^1(G)}(L^1(G), A)$  olduğu kabul edilsin. Yine  $A \subset (L^p, \ell^q)$  kapsaması ve  $\|\cdot\|_{pq} \leq \|\cdot\|_A$  eşitsizliğinden, her  $g \in L^1(G)$  için

$$\|T(g)\|_{pq} \leq \|T(g)\|_A \leq \|T\| \|g\|_1$$

sağlanır. O halde  $T \in \text{Hom}_{L^1(G)}(L^1(G), (L^p, \ell^q))$  olarak bulunur. Teorem 2.5 ve (Rieffel, 1967) çalışmasındaki Theorem 4.5 kullanılırsa, her  $g \in L^1(G)$  fonksiyonu için  $T(g) = f * g$  olacak şekilde bir  $f \in (L^p, \ell^q)$  fonksiyonu vardır. Tanım 2.1'den

$$\begin{aligned} \|f\|_A &= \sup_{\alpha \in I} \|f * e_\alpha\|_A = M \sup_{\alpha \in I} \frac{\|f * e_\alpha\|_A}{M} \\ &\leq M \sup_{\alpha \in I} \frac{\|f * e_\alpha\|_A}{\|e_\alpha\|_1} \leq M \sup_{g \neq 0} \frac{\|f * g\|_A}{\|g\|_1} \\ &= M \sup_{g \neq 0} \frac{\|T(g)\|_A}{\|g\|_1} = M \|T\| < \infty \end{aligned}$$

olup  $f \in A$  elde edilir. Böylece her bir  $T \in \text{Hom}_{L^1(G)}(L^1(G), A)$ , bazı  $f \in A$  fonksiyonları için  $\|T_f\| \leq \|f\|_A$  ve  $\|f\|_A \leq M \|T_f\|$  ifadelerini sağlayan  $T_f$ 'nin bir formudur. Böylece  $f \rightarrow T_f$  fonksiyonu cebirsel bir izomorfizma ve homeomorfizmadır.

### 3. Kaynaklar

- Bertrandis, J.P., Darty, C. ve Dupuis, C. 1978. Unions et intersections d'espaces  $L^p$  invariantes par translation ou convolution. *Ann Inst Fourier Grenoble*, **28**(2), 53-84.
- Busby, R.C. ve Smith, H.A. 1981. Product-convolution operators and mixed-norm spaces. *Trans Amer Math Soc.*, **263**(2), 309-341.
- Doran, R.S. ve Wichmann, J. 1979. Approximate Identities and Factorization in Banach Modules.

Lecture Notes in Mathematics XII, Springer-Verlag, 312.

Duyar, C. ve Gurkanli, A.T. 2003. Multipliers and relative completion in weighted Lorentz spaces. *Acta Math Sci*, **23B-4**, 467-476.

Duyar, C. ve Gurkanli, A.T. 2007. Multipliers and the relative completion in  $L^p_\omega(G)$ . *Turk J Math.*, **31**, 181-191.

Fournier, J.J. ve Stewart, J. 1985. Amalgams of  $L^p$  and  $\ell^q$ . *Bull Amer. Math. Soc.*, **13**(1), 1-21.

Hewitt, E. ve Ross, K.A. 1979. Abstract Harmonic Analysis v. I, II. Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag, 774.

Holland, F. 1975. Harmonic analysis on amalgams of  $L^p$  and  $\ell^q$ . *J. London Math. Soc.*, **2**(10), 295-305.

Quek, T.S. ve Yap, L.H. 1979. Multipliers from  $L^1(G)$  to a Lipschitz space. *J. Math. Anal. Appl.*, **69**, 531-579.

Rieffel, H. 1967. Induced Banach representation of Banach algebras and locally compact groups. *J. Funct. Anal.*, **1**, 443-491.

Squire, M.L.T. 1984. Amalgams of  $L^p$  and  $\ell^q$ . PhD Thesis (Doktora), McMaster University.

Stewart, J. 1979. Fourier transforms of unbounded measures. *Canad. J. Math.*, **31**(6), 1281-1292.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 051302 (815-818)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 051302 (815-818)

DOI: 10.35414/akufemubid.699852

## Araştırma Makalesi / Research Article

## Near Soft Bağlantılılık

Hatice TAŞBOZAN<sup>1</sup><sup>1</sup> Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Hataye-posta: htasbozan@mku.edu.tr. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6850-8658>

Geliş Tarihi: 06.03.2020

Kabul Tarihi: 15.10.2020

**Anahtar kelimeler**

Near Soft Küme; Near Soft Nokta; Near Soft Ayrık Küme; Near Soft Bağlantılı Küme

**Öz**

Bu makalede yeni bir kavram olan near soft yaklaşım uzaylarında tanımlı near soft kümeler üzerinde yeni bazı kavramlar tanımlanmaya çalışılmıştır. Near soft ayrılmış küme kavramını kullanarak near soft bağlantılı küme tanımlanmıştır. Ayrıca, near soft yaklaşım uzaylarında süreklilik kavramı ele alınmıştır. Near soft bağlantılılık kavramının, near soft yaklaşım uzaylarında süreklilik altında korunduğu incelenmiştir.

## Near Soft Connectedness

**Keywords**

Near Soft Set; Near Soft Point; Near Soft Disjoint Set; Near Soft Connected Set

**Abstract**

In this article, some new concepts are tried to be defined on the near soft sets defined in the near soft approximation spaces. Using the concept of near soft separated cluster, a near soft connected cluster is defined. In addition, the concept of continuity in near soft approximation spaces is discussed. It has been examined that the concept of near soft connectivity is maintained under continuity in near soft approach spaces.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

**1. Giriş**

Sağlık, eğitim, mühendislik gibi insanla ilgili sosyal alanlarda karşılaşılan belirsizlik problemlerine yönelik yapılan çalışmalardan en temeli Zadeh tarafından ortaya konulan fuzzy küme teorisi (Zadeh 1979). Bu belirsizlik problemlerine yönelik ilk yaklaşım olan fuzzy küme teorisinden sonra belirsizlik problemlerine uygulanması daha kolay olan ve Molodsov tarafından elde edilen soft(yumuşak) küme teorisi verildi (Molodtsov 1999) ve daha sonraki yıllarda da geliştirildi (Maji 2003, Cagman vd. 2011, Aktas ve Cagman 2007, Ali vd. 2009). Cebirsel olarak, soft küme kavramı Wardowski (2013) tarafından incelenmiştir. Nesnelerin, yakınlıkların dikkate alındığı Peters (2007) tarafından verilen near(yakın) küme kavramı ile ise algısal olarak birbirine yakın, yani benzer açıklamalara sahip nesnelere ayırt edilebildi. Yakın küme kavramı, özellik seçimine göre yaklaşım ile nesnelerin topluluklarının ölçülebilir bilgi

içeriğindeki saklı durumların fark edilebilmesi için gerekli sonuçlar elde eder. Yakın küme ve soft küme kavramlarının birleştirilmesi ile near soft küme kavramı Tasbozan vd. (Tasbozan vd. 2017) tarafından verilmiştir.

Bu yazının amacı near soft küme ve bu küme üzerinde kurulacak olan topolojiye bağlantılı kümeler ve near soft kümeler arasında tanımlanan bir sürekli dönüşümünde bağlantılılık özelliğinin korunduğu incelenecektir. Bu da bize near soft yaklaşım uzayının belirsiz birçok kavramın matematiksel ifadesini uygulamada hayatı kolaylaştırıcı yöntemler geliştirmesini sağlamasından yola çıkarak, yeni yöntemler geliştirilmesini sağlayacaktır.

**2. Temel Kavramlar****2.1 Soft Küme ve Near(Yakın) Soft Küme**

**Tanım 1:**  $P(U)$ ,  $U$ 'nun güç kümesini gösterebilir ve  $A$ ,  $E$ 'nin boştan farklı bir alt kümesi olsun.  $F: A \rightarrow$

$P(U)$  bir dönüşüm olmak üzere  $G = (F, A)$  ikilisine  $U$  üzerinde bir soft küme denir (Molodtsov 1999).

**Tanım 2:**  $NAS = (O, F, B, \sim B_r, N_r, v_{N_r})$  yakın yaklaşım uzayı ve  $\sigma = (F, B)$ ;  $O$  kümesi üzerinde bir soft küme olsun.  $NAS$  yakın yaklaşım uzayındaki  $\sigma = (F, B)$  kümesinin alt ve üst yakın yaklaşımları sırasıyla;

$$N_r * (\sigma) = (F_*, B)$$

ve

$$N_r^* (\sigma) = (F^* B)$$

şeklinde bir soft küme olarak gösterilir.  $\forall \phi \in B$  için

$$F_*(\phi) = N_r * (F(\phi)) = \{x \in O : [x]_{B_r} \subseteq F(\phi)\}$$

$$F^*(\phi) = N_r^* (F(\phi)) = \{x \in O : [x]_{B_r} \cap F(\phi) \neq \emptyset\}.$$

$N_r *$  ve  $N_r^*$  operatörleri soft kümeler üzerinde alt ve üst near yaklaşımlar olarak adlandırılır. Eğer  $Bnd_{N_r}(B) = (N_r^* (\sigma) - N_r * (\sigma)) \geq 0$  oluyorsa bu soft küme near(yakın) soft küme denir (Taşbozan vd. 2017).

**Tanım 3:**  $(F, B)$  near soft kümesinin tümleyeni  $(F, B)^c$  ile gösterilir. Burada

$$F^c(\phi) = O - F(\phi), \forall \phi \in B$$

şeklindedir (Taşbozan vd. 2017).

## 2.2 Near Soft Topolojik Uzaylar

**Tanım 4:**  $\sigma = (F, B)$ ;  $(O, B)$  kümesi üzerinde bir near soft küme ve  $\tau$ ;  $\sigma$ 'nın tüm near soft alt kümelerinin bir ailesi olsun.  $B$  boştan farklı parametrelerin kümesi olmak üzere  $(O, \tau)$ 'ye  $\sigma$  üzerinde bir near soft topoloji;

i)  $(\emptyset, B), (O, B) \in \tau$  dir öyleki  $\emptyset(\phi) = \emptyset$  ve  $F(\phi) = F, \forall \phi \in B$ .

ii)  $\tau$ 'daki tüm near soft kümelerin kesişimi yine  $\tau$ 'dadır.

iii)  $\tau$ 'daki tüm near soft kümelerin kesişimi yine  $\tau$ 'dadır.

şartlarını sağlar.

$(O, \tau)$  ikilisine ya da  $(O, \tau, B)$  üçlüsüne near soft topolojik uzay denir.  $(O, \tau, B)$  near soft topolojik uzayının tüm elemanları near soft açık kümelerdir (Taşbozan vd. 2017).

## 3. Near Soft Bağlantılılık

**Tanım 5:**  $(O, \tau), (O, B)$  üzerinde bir near soft topolojik uzay olsun.  $(O, B)$ 'nin bir near soft alt

kümesinin tümleyeni  $\tau$ 'da bir near soft açık küme oluyorsa, bu near soft küme near soft kapalı küme denir.

**Tanım 6:**  $(O, \tau, B)$ ;  $O$  üzerinde bir near soft topolojik uzay ve  $(F, B), O$  üzerinde bir near soft küme olsun.  $(F, B)$  kümesinin near soft kapanışı  $\overline{(F, B)}$ ;  $O$  üzerinde  $(F, B)$ 'yi kapsayan en dar near soft kapalı kümedir.

**Tanım 7:**  $(F, B), O$  kümesi üzerinde bir near soft küme olsun. Eğer bir  $e \in B$  için  $F(e) = \{x\}$  ve  $\forall e^c \in B - \{e\}$  için  $F(e^c) = \emptyset$  oluyorsa  $(F, B)$  near soft kümesine near soft nokta(eleman) denir. Bir near soft eleman  $(x_e, B)$  ile gösterilir.

**Tanım 8:**  $(O, \tau, B)$  near soft topolojik uzay,  $(F_1, B)$  ve  $(F_2, B), O$  üzerinde iki near soft küme olsun. Eğer  $(F_1, B) \cap \overline{(F_2, B)} = \emptyset$  ve  $\overline{(F_1, B)} \cap (F_2, B) = \emptyset$  ise  $(F_1, B)$  ve  $(F_2, B)$  kümelerine near soft ayrıktır denir.

**Tanım 9:**  $(O, \tau, B)$  near soft topolojik uzay olsun. Eğer  $(F_1, B) \cup (F_2, B) = (O, B)$  olacak şekilde  $(F_1, B)$  ve  $(F_2, B)$  gibi iki ayrık near soft küme varsa bu kümeler  $(O, \tau, B)$  near soft topolojik uzayının bir parçalanmasıdır denir. Eğer  $(O, \tau, B)$  near soft topolojik uzayı bir parçalanmaya sahipse bu topolojik uzaya near soft bağlantısız uzay denir. Aksi durumda bu topolojik uzaya near soft bağlantılı uzay denir.

### Örnek 1:

**Çizelge 1.**  $O = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$  algılanabilir nesnelerin kümesinin çıkarım fonksiyonlarındaki değer tablosu

|          | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\phi_1$ | 5     | 2     | 5     | 1     | 1     |
| $\phi_2$ | 3     | 1     | 1     | 3     | 2     |
| $\phi_3$ | 4     | 4     | 2     | 1     | 3     |

$O = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$  algılanabilir nesnelerin kümesi,  $B = \{\phi_1, \phi_2\} \subseteq F = \{\phi_1, \phi_2, \phi_3\}$  çıkarım fonksiyonları olmak üzere;  $O$  kümesi üzerinde bir  $\sigma = (F, B)$  soft küme

$$F(\phi_1) = \{x_1, x_2\}, F(\phi_2) = \{x_2, x_3\}$$

şeklinde olup, denklik sınıfları

$$[x_1]_{\phi_1} = \{x_1, x_3\},$$

$$[x_2]_{\phi_1} = \{x_2\},$$

$$[x_4]_{\phi_1} = \{x_4, x_5\},$$

$$[x_1]_{\phi_2} = \{x_1, x_4\},$$



$$[x_2]_{\phi_2} = \{x_2, x_3\},$$

$$[x_5]_{\phi_2} = \{x_5\}$$

şekindedir. Burada

$$\sigma = (F, B) = \{(\phi_1, \{x_1, x_2\}), (\phi_2, \{x_2, x_3\})\}$$

bir near soft kümedir. Çünkü;

$$\begin{aligned} N_r * (\sigma) &= (F_*, B) \\ &= \{(\phi_1, \{x_2\}), (\phi_2, \{x_2, x_3\})\} \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned} N_r^*(\sigma) &= (F^*, B) \\ &= \{(\phi_1, \{x_1, x_2, x_3\}), (\phi_2, \{x_2, x_3\})\} \end{aligned}$$

olup,  $\phi_1, \phi_2 \in B$  için  $Bnd_{N_r}(B) \geq 0$  dir.

Ayrıca bu  $\sigma = (F, B)$  near soft kümesi üzerinde bir  $(O, \tau)$  near soft topolojik uzayı;

$$(G, B) = \{(\phi_1, \{x_2\})\},$$

$$(H, B) = \{(\phi_2, \{x_2, x_3\})\},$$

$$(K, B) = \{(\phi_1, \{x_2\}), (\phi_2, \{x_2, x_3\})\}$$

olmak üzere;

$$\tau = \{(F, B), (G, B), (H, B), (K, B), (\emptyset, B), (O, B)\}$$

olsun. Near soft kapalıların kümesi de

$$\bar{\tau} = \{ \{(\phi_1, \{x_3, x_4, x_5\}), (\phi_2, \{x_1, x_4, x_5\})\},$$

$$\{(\phi_1, \{x_1, x_3, x_4, x_5\}), (\phi_2, O)\},$$

$$\{(\phi_1, O), (\phi_2, \{x_1, x_4, x_5\})\},$$

$$\{(\phi_1, \{x_1, x_3, x_4, x_5\}), (\phi_2, \{x_1, x_4, x_5\})\},$$

$$(\emptyset, B), (O, B)\}$$

olduğundan

$$\overline{(H, B)} = \{ \{(\phi_1, \{x_1, x_3, x_4, x_5\}), (\phi_2, O)\},$$

$$\overline{(G, B)} = \{(\phi_1, O), (\phi_2, \{x_1, x_4, x_5\})\}$$

dir.

$$(G, B) \cap \overline{(H, B)} = \emptyset$$

ve

$$\overline{(G, B)} \cap (H, B) = \emptyset$$

olup,  $(G, B)$  ve  $(H, B)$  near soft kümeleri ayrıktır.

Bu near soft topolojisinde birleşimleri  $(O, B)$  olacak şekilde iki ayrık near soft küme bulunmadığından bu near soft topolojik uzayı bir parçalanmaya sahip değildir. Yani  $(O, \tau)$  near soft topolojik uzayı bağlantılıdır.

### 3.1 Near Soft Süreklilik

**Tanım 10:**  $(U, \tau, A)$  ve  $(V, \tau^*, B)$  near soft topolojik uzay olsunlar.  $u: U \rightarrow V$  ve  $p: A \rightarrow B$  dönüşümleri

verilsin. Near soft küme ailelerini  $NS(U)_A, NS(U)_B$  ile gösterelim.

$$f_{pu}: NS(U)_A \rightarrow NS(V)_B$$

fonksiyonu; her  $(H, B) \in \tau^*$  için  $f_{pu}^{-1}(H, B) \in \tau$  oluyorsa,  $f_{pu}$  fonksiyonuna near soft süreklidir denir.

**Teorem 1:**  $(U, \tau, A)$  near soft bağlantılı topolojik uzay,  $(V, \tau^*, B)$  herhangi near soft topolojik uzay olsun.  $f_{pu}: NS(U)_A \rightarrow NS(V)_B$  fonksiyonu near soft sürekli bir fonksiyon ise  $f_{pu}(NS(U)_A)$  uzayı near soft bağlantılıdır.

**İspat:**  $(K, B) = f_{pu}(U, A) \subset (V, B)$  ve  $(K, B)$  near soft bağlantısız küme olsun. Bu durumda farklı ayrık  $(W, B), (Z, B) \in \tau^*$  var öyleki

$$(K, B) = (W, B) \cup (Z, B)$$

dir.  $f_{pu}$  fonksiyonu near soft sürekli olduğundan

$$f_{pu}^{-1}(W, B) \in \tau,$$

$$f_{pu}^{-1}(Z, B) \in \tau,$$

$$f_{pu}^{-1}(W, B) \neq \emptyset,$$

$$f_{pu}^{-1}(Z, B) \neq \emptyset$$

ve

$$f_{pu}^{-1}(W, B) \cap f_{pu}^{-1}(Z, B) = \emptyset$$

dir. Üstelik

$$f_{pu}^{-1}(W, B) \cup f_{pu}^{-1}(Z, B) = (U, A)$$

dir. Bu da  $(U, A)$ 'nın near soft bağlantılı olması ile çelişir. O halde

$$(K, B) = f_{pu}(U, A)$$

near soft bağlantılıdır.

**Örnek 2:** Çizelge 1 esas alınarak

$$U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$$

ve

$$V = \{x_1, x_2, x_3\}$$

algılanabilir nesnelere kümesi,

$$B = \{\phi_1, \phi_2\} \subseteq F = \{\phi_1, \phi_2, \phi_3\}$$

çıkarma fonksiyonları verilsin.

$$(U, \tau, B) = \{(\phi_1, U), (\emptyset, B), (U, B)\}$$

near soft topolojik uzayı ve

$$(V, \tau^*, B) = \{(\phi_1, \{x_1, x_3\}), (\emptyset, B), (V, B)\}$$

near soft topolojik uzayı olmak üzere,

$$u: U \rightarrow V, u(c) = x_1, c \in U$$

sabit dönüşüm ve  $p: B \rightarrow B$  birim dönüşüm olsun.

$$f_{pu}^{-1}((\phi_1, \{x_1, x_3\})) = (\phi_1, U) \in \tau$$

dir. Yani

$$f_{pu}: (U, \tau, B) \rightarrow (V, \tau^*, B)$$

fonksiyonu;  $(V, \tau^*, B)$  topolojik uzayındaki her  $(H, B) \in \tau^*$  için  $f_{pu}^{-1}(H, B) \in \tau$  sağlar. Dolayısıyla  $f_{pu}$  fonksiyonu near soft süreklidir. Ayrıca  $(U, \tau, B)$  near soft topolojik uzayı birleşimleri  $(U, B)$  olacak şekilde iki ayrık near soft küme bulundurmadiğundan near soft bağlantılıdır. Benzer şekilde  $(V, \tau^*, B)$  near soft topolojik uzayının da near soft bağlantılı olduğu görülür. Yani near soft bağlantılılık sürekli fonksiyonlar altında korunur.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu makalede yeni bir kavram olan near soft yaklaşım uzaylarında tanımlı near soft kümeler üzerinde yeni bazı kavramlar tanımlandı. Near soft ayrılmış küme tanımından yararlanılarak near soft bağlantılı küme tanımlandı. Near soft küme üzerinde süreklilik kavramı tanımlanıp, ayrıca süreklilik altında near soft bağlantılılığın korunduğu gösterildi. Bu makalede tanımlanan yeni kavramlar, soft kümelerde uygulanan yöntemlerin geliştirilmesinde önemli katkı sağlayacaktır.

#### 5. Kaynaklar

- Aktas ,H. and Cagman, N., 2007. Soft sets and soft groups, Inform. Sci. (177) 2726- 2735.
- Ali, M.I., Feng, F., Liu, X., Min, W.K. and Shabir, M., 2009. On some new operations in soft set theory. Computers & Mathematics with Applications, **57**, 1547-1553.
- Çağman, N., Karataş, S. and Enginoglu, S., 2011. Soft topology. Computers & Mathematics with Applications, **62**, 351-358.
- Maji, P.K., Biswas, R., and Roy, A.R., 2003. Soft set theory. Computers & Mathematics with Applications, **45**, 555-562.
- Molodtsov, D., 1999. Soft set theory—first results. Computers & Mathematics with Applications, **37**, 19-31.
- Peters, J.F., 2007. Near sets. General theory about nearness of objects. Applied Mathematical Sciences, **1**, 2609-2029.

Taşbozan, H., Icen, I., Bagirmaz, N. and Ozcan, A.F., 2017. Soft sets and soft topology on nearness approximation spaces. Filomat, **31**, 4117-4125.

Wardowski, D., 2013. On a soft mapping and its fixed points, Fixed point theory and Applications, **182** 1-11.

Zadeh, L.A., 1979. Fuzzy sets and information granularity. Advances in fuzzy set theory and applications, **11**, 3-18.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 051303 (819-823)

AKU J. Sci.Eng.20 (2020) 051303 (819-823)

DOI: 10.35414/akufemubid.678551

Araştırma Makalesi / Research Article

**Verilen Bir Eğri Boyunca Gauss Eğriliği Sabit Olan Yüzeyler**Ergin BAYRAM<sup>1\*</sup><sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Samsun\*Sorumlu yazar e-posta: [erginbayram@yahoo.com](mailto:erginbayram@yahoo.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2633-0991>

Geliş Tarihi: 22.01.2020

Kabul Tarihi: 05.10.2020

**Öz****Anahtar kelimeler**

Eğri; Yüzey; Gauss eğriliği; Frenet çatısı

Bu çalışmada, verilen bir eğriden geçen ve bu eğri boyunca Gauss eğriliği sabit olan yüzeyler elde edildi. Verilen eğrinin Frenet vektör alanları kullanılarak bu eğriden geçen yüzeyler parametrik olarak ifade edildi. Ayrıca, verilen eğriden geçen ve Gauss eğriliği sabit regle yüzeyler için yeterli şartlar verildi. Bazı örnekler verilerek elde edilen yöntem görsel hale getirildi.

**Surfaces With Constant Gaussian Curvature Along a Given Curve****Abstract****Keywords**

Curve; Surface; Gaussian curvature; Frenet frame

In this study, we find surfaces with constant Gaussian curvature along a given curve. The parametric representation of the surfaces possessing the given curve expressed using the Frenet vector fields of the curve. Also, we give conditions for ruled surfaces passing through the given curve and having constant Gaussian curvature. We present some illustrative examples validating the presented method.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

**1. Giriş**

Yüzey eğrilerinin sınıflandırılması hemen hemen bütün diferansiyel geometri kitaplarında kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Ters problem olarak bilinen, verilen bir eğriden geçen ve bu eğriyi asimptotik eğri, eğrilik çizgisi, geodezik gibi özel eğri kabul eden yüzeyler bulma problemi son yıllarda çalışılan önemli konular arasında yer almaktadır. Bu alandaki ilk problem Wang vd. (2004) tarafından ele alınmıştır. Bu çalışmada, verilen eğrinin Frenet çatısı yardımıyla bu eğriden geçen yüzeyler parametrik olarak ifade edilerek eğrinin bu yüzeyler üzerinde geodezik olması için yeterli koşullar verilmiştir. Li vd. (2011) ise Wang vd. (2004) tarafından kullanılan eğriyi eğrilik çizgisi ile değiştirerek bir eğrinin yüzey ailesi üzerinde ortak eğrilik çizgisi olması için yeterli şartları sunmuştur. Li vd. tarafından yapılan çalışma, Ergün vd. (2014) tarafından 3 boyutlu Minkowski uzayına

taşınmıştır. Bayram vd. (2012) verilen bir eğriden geçen ve bu eğriyi ortak asimptotik eğri kabul eden yüzey ailesi için yeterli şartları elde etmiştir. Güler vd. (2018) ortak asimptotik eğrili yüzey ailesini kullanarak bu yüzey ailesinin paralel yüzeyi üzerinde görüntü eğrisinin asimptotik eğri olma şartını elde etmiştir. Bu çalışmada ise verilen bir eğri boyunca Gauss eğriliği sabit yüzeyler elde edilmiştir.

**2. Materyal ve Metot**

Bu bölümde, çalışma boyunca kullanılacak olan kavramlar tanıtılacaktır.

$\gamma: I \rightarrow \mathbb{R}^3$ ,  $s \rightarrow \gamma(s)$  diferansiyellenebilir fonksiyonuna eğri denir.  $\gamma' \neq 0$  ise eğriye regüler eğri,  $\|\gamma'\|=1$  ise eğriye birim hızlı eğri denir. Birim hızlı  $\gamma$  eğrisi için  $\gamma'' \neq 0$  ise  $T(s)=\gamma'(s)$ ,

$$N(s) = \frac{\gamma''(s)}{\|\gamma''(s)\|}, \quad B(s) = T(s) \times N(s) \quad \text{şeklinde}$$

tanımlanan vektör alanlarına, sırasıyla, eğrinin teğet, asli normal ve binormal vektör alanı denir (O'Neill 1966). Eğrinin eğrilik ve burulma fonksiyonları, sırasıyla,  $\kappa(s) = \|\gamma''(s)\|$ ,  $\tau(s) = \langle N'(s), B(s) \rangle$  dir.  $\{T(s), N(s), B(s)\}$  ortonormal sistemine eğrinin Frenet çatısı denir.  $\gamma$  eğrisinin eğriliği  $\kappa > 0$  ve burulması  $\tau$  olmak üzere  $T' = \kappa N$ ,  $N' = -\kappa T + \tau B$ ,  $B' = -\tau N$  dir.  $M \subset \mathbb{R}^3$  bir yüzey,  $S$  ise  $M$  nin şekil operatörü olsun.  $K = \det S$  reel değerli fonksiyonuna  $M$  nin Gauss eğriliği denir (O'Neill 1966).

**Önerme :**  $M \subset \mathbb{R}^3$  bir yüzey,  $S$ ,  $M$  nin şekil operatörü,  $\hat{n}$  ise  $M$  nin birim normal vektör alanı olsun.

$$l = \left\langle S \left( \frac{\partial M}{\partial s}, \frac{\partial M}{\partial s} \right), \frac{\partial M}{\partial s} \right\rangle = \left\langle \hat{n}, \frac{\partial^2 M}{\partial s^2} \right\rangle,$$

$$m = \left\langle S \left( \frac{\partial M}{\partial s}, \frac{\partial M}{\partial t} \right), \frac{\partial M}{\partial t} \right\rangle = \left\langle \hat{n}, \frac{\partial^2 M}{\partial t \partial s} \right\rangle,$$

$$n = \left\langle S \left( \frac{\partial M}{\partial t}, \frac{\partial M}{\partial t} \right), \frac{\partial M}{\partial t} \right\rangle = \left\langle \hat{n}, \frac{\partial^2 M}{\partial t^2} \right\rangle,$$

$$E = \left\langle \frac{\partial M}{\partial s}, \frac{\partial M}{\partial s} \right\rangle, \quad F = \left\langle \frac{\partial M}{\partial s}, \frac{\partial M}{\partial t} \right\rangle, \quad G = \left\langle \frac{\partial M}{\partial t}, \frac{\partial M}{\partial t} \right\rangle$$

olmak üzere  $M$  nin Gauss eğriliği  $K = \frac{ln - m^2}{EG - F^2}$  dir (O'Neill 1966).

### 3. Bulgular

$\gamma(s)$ ,  $L_1 \leq s \leq L_2$ , birim hızlı, eğriliği sıfırdan farklı bir eğri olsun.  $\gamma(s)$  den geçen yüzeyler

$$M(s, t) = \gamma(s) + f(s, t)T(s) + g(s, t)N(s) + h(s, t)B(s), \quad (1)$$

$L_1 \leq s \leq L_2$ ,  $T_1 \leq t \leq T_2$  ile verilir. Burada,  $f(s, t)$ ,  $g(s, t)$ ,  $h(s, t)$  sapma fonksiyonları olarak adlandırılan,  $C^2$  sınıftan fonksiyonlardır. Bu fonksiyonların her farklı seçilişiyle birlikte  $\gamma(s)$  eğrisinden geçen yeni yüzeyler elde edilir.  $M(s, t)$  yüzeyinin  $\gamma(s)$  eğrisi boyunca Gauss eğriliğinin sabit olması için yeterli şartlar elde edilecektir.

işlem kolaylığı sağlaması açısından  $\gamma(s)$  eğrisinin yüzey üzerinde parametre eğrisi olduğu kabul edilsin. Bunun için yeterli şart

$$f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) \equiv 0, \quad L_1 \leq s \leq L_2,$$

olacak şekilde sabit bir  $t_0 \in [T_1, T_2]$  olmasıdır.

Şimdi de, eğri boyunca Gauss eğriliğinin sabit olması için yeterli şartlar bulunacaktır.  $M$  yüzeyinin  $\gamma(s)$  eğrisi boyunca birim normal vektör alanı

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial s}(s, t) &= \left( 1 + \frac{\partial f}{\partial s}(s, t) - \kappa(s)g(s, t) \right) T(s) \\ &+ \left( \kappa(s)f(s, t) + \frac{\partial g}{\partial s}(s, t) - \tau(s)h(s, t) \right) N(s) \\ &+ \left( \tau(s)g(s, t) + \frac{\partial h}{\partial s}(s, t) \right) B(s) \end{aligned}$$

ve

$$\frac{\partial M}{\partial t}(s, t) = \frac{\partial f}{\partial t}(s, t)T(s) + \frac{\partial g}{\partial t}(s, t)N(s) + \frac{\partial h}{\partial t}(s, t)B(s)$$

olmak üzere

$$\hat{n}(s, t_0) = \left( \frac{\partial g}{\partial t}B(s) - \frac{\partial h}{\partial t}N(s) \right) \left( \left( \frac{\partial g}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}}(s, t_0)$$

dir. Ayrıca

$$E(s, t_0) = \left\| \frac{\partial M}{\partial s}(s, t_0) \right\|^2 = 1,$$

$$F(s, t_0) = \left\langle \frac{\partial M}{\partial s}(s, t_0), \frac{\partial M}{\partial t}(s, t_0) \right\rangle = \frac{\partial f}{\partial t}(s, t_0),$$

$$\begin{aligned} G(s, t_0) &= \left\langle \frac{\partial M}{\partial t}(s, t_0), \frac{\partial M}{\partial t}(s, t_0) \right\rangle \\ &= \left( \frac{\partial f}{\partial t}(s, t_0) \right)^2 + \left( \frac{\partial g}{\partial t}(s, t_0) \right)^2 + \left( \frac{\partial h}{\partial t}(s, t_0) \right)^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l(s, t_0) &= \left\langle \hat{n}(s, t_0), \frac{\partial^2 M}{\partial s^2}(s, t_0) \right\rangle \\ &= -\kappa(s) \left( \frac{\partial h}{\partial t} \left( \left( \frac{\partial g}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)(s, t_0), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(s, t_0) &= \left\langle \hat{n}(s, t_0), \frac{\partial^2 M}{\partial t \partial s}(s, t_0) \right\rangle \\ &= \left( \tau(s) \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)^2 - \frac{\partial^2 h}{\partial t \partial s} \frac{\partial h}{\partial t} - \kappa(s) \frac{\partial f}{\partial t} \frac{\partial h}{\partial t} \right. \\ &\quad \left. + \tau(s) \left( \frac{\partial g}{\partial t} \right)^2 + \frac{\partial^2 h}{\partial t \partial s} \frac{\partial g}{\partial t} \right) \left( \left( \frac{\partial g}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}(s, t_0), \end{aligned}$$

$$n(s, t_0) = \left\langle \hat{n}(s, t_0), \frac{\partial^2 M}{\partial t \partial t}(s, t_0) \right\rangle$$

$$= \left\langle \frac{\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 h}{\partial t \partial t} \frac{\partial g}{\partial t} - \frac{\partial^2 g}{\partial t \partial t} \frac{\partial h}{\partial t} \\ \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial t}\right)^2} \end{pmatrix}}{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial t}\right)^2}} \right\rangle (s, t_0)$$

dir. Eğri boyunca Gauss eğriliği

$$K(s, t_0) = \left[ \kappa(s) \left( \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)^2 \frac{\partial^2 g}{\partial t^2} - \frac{\partial h}{\partial t} \frac{\partial g}{\partial t} \frac{\partial^2 h}{\partial t^2} \right) - \left( \tau(s) \left( \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial g}{\partial t} \right)^2 \right) - \frac{\partial h}{\partial t} \frac{\partial^2 g}{\partial t \partial s} - \kappa(s) \left( \frac{\partial f}{\partial t} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial g}{\partial t} \frac{\partial^2 h}{\partial t \partial s} \right)^2 \right] \left[ \left( \frac{\partial g}{\partial t} \right)^2 + \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)^2 \right]^{-2} (s, t_0) \quad (2)$$

dir.

**Teorem 1 :**  $\gamma(s)$ ,  $L_1 \leq s \leq L_2$ , birim hızlı, eğriliği sıfırdan farklı olan bir eğri olsun.  $\gamma(s)$  eğrisinin (1) yüzeyi üzerinde parametre eğrisi olması ve yüzeyin bu eğri boyunca Gauss eğriliğinin sabit olması için yeterli koşul

$$a) \begin{cases} f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) = \frac{\partial h}{\partial t}(s, t_0) \equiv 0, \\ \frac{\partial g}{\partial t}(s, t_0) = \text{sabit} \neq 0, \tau(s) = \text{sabit} \end{cases}$$

veya

$$b) \begin{cases} f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) = \frac{\partial f}{\partial t}(s, t_0) \equiv 0 \\ \frac{\partial h}{\partial t}(s, t_0) \neq 0 \equiv \frac{\partial g}{\partial t}(s, t_0), \tau(s) = \text{sabit} \end{cases}$$

olmasıdır.

İspat : a) Sapma fonksiyonları

$$\begin{cases} f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) = \frac{\partial h}{\partial t}(s, t_0) \equiv 0, \\ \frac{\partial g}{\partial t}(s, t_0) = \text{sabit} \neq 0, \tau(s) = \text{sabit} \end{cases}$$

olarak seçilirse (1) denkleminde  $M(s, t_0) = \gamma(s)$  olacağından eğri, yüzey üzerinde parametre eğrisi olur. Ayrıca, bu sapma fonksiyonları için Gauss eğriliği sabit olup ispat tamamlanır. b) durumu için ispat benzer şekilde yapılabilir.

**Teorem 2 :**  $\gamma(s)$ ,  $L_1 \leq s \leq L_2$ , birim hızlı, eğriliği sıfırdan farklı olan bir eğri olsun.  $\gamma(s)$  eğrisinin (1)

yüzeyi üzerinde parametre eğrisi olması ve yüzeyin bu eğri boyunca Gauss eğriliği sabit olan regle yüzey için yeterli koşul

$$f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) = t - t_0, 2\tau(s) - \kappa(s) = \text{sabit} \text{ olmasıdır.}$$

Eğer  $2\tau(s) - \kappa(s) = 0$  olursa (1) yüzeyi açılabilir regle yüzey olur.

İspat : Sapma fonksiyonları

$f(s, t_0) = g(s, t_0) = h(s, t_0) = t - t_0$  olarak seçilirse (1) denkleminde

$$M(s, t) = \gamma(s) + (t - t_0) [\tau(s) + N(s) + B(s)]$$

regle yüzeyi elde edilir. (2) denkleminde bu regle yüzeyin Gauss eğriliğinin sabit olması için yeterli koşul

$$2\tau(s) - \kappa(s) = \text{sabit}$$

olmasıdır. Son eşitlik sıfır olursa yüzeyin Gauss eğriliği sıfır olacağından yüzey açılabilir olur. Bu ise ispatı tamamlar.

### Örnek 1

$$\gamma(s) = \left( -\frac{1}{2} \cos \sqrt{2}s, -\frac{1}{2} \sin \sqrt{2}s, \frac{\sqrt{2}}{2} s \right) \text{ birim hızlı}$$

eğrisini ele alalım. Eğrinin Frenet elemanları

$$T(s) = \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \sin \sqrt{2}s, -\frac{\sqrt{2}}{2} \cos \sqrt{2}s, \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

$$N(s) = (\cos \sqrt{2}s, \sin \sqrt{2}s, 0)$$

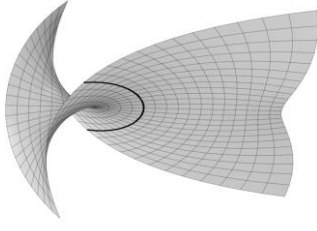
$$B(s) = \left( -\frac{\sqrt{2}}{2} \sin \sqrt{2}s, \frac{\sqrt{2}}{2} \cos \sqrt{2}s, \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

$$\kappa(s) = \tau(s) = 1$$

dir. Sapma fonksiyonları  $f(s, t) = st, g(s, t) = t, h(s, t) = st^2$  ve  $t_0 = 0$  olarak seçilirse Teorem 1 sağlanır ve  $\gamma$  eğrisi boyunca Gauss eğriliği 1 olan

$$M_1(s, t) = \left( \left( t - \frac{1}{2} \right) \cos \sqrt{2}s + \frac{\sqrt{2}}{2} st(1-t) \sin \sqrt{2}s, \left( t - \frac{1}{2} \right) \sin \sqrt{2}s + \frac{\sqrt{2}}{2} st(1-t) \cos \sqrt{2}s, \frac{\sqrt{2}}{2} s(1+t+t^2) \right),$$

$-1 \leq s \leq 1, -1 \leq t \leq 1$  yüzeyi elde edilir (Şekil 1).

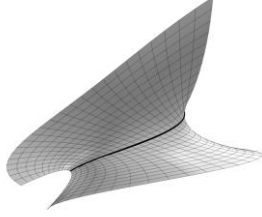


**Şekil 1.**  $\gamma(s)$  eğrisinden geçen ve bu eğri boyunca Gauss eğriliği bir olan  $M_1$  yüzeyi

Aynı eğri için sapma fonksiyonları  $f(s,t) \equiv 0$ ,  $g(s,t) = st^2$ ,  $h(s,t) = e^s t$  ve  $t_0 = 0$  olarak seçilirse Teorem 1 sağlanır ve  $\gamma$  eğrisi boyunca Gauss eğriliği 1 olan

$$M_2(s,t) = \left( -\frac{1}{2} \cos \sqrt{2}s + \frac{\sqrt{2}}{2} t(st - e^s) \sin \sqrt{2}s, \right. \\ \left. -\frac{1}{2} \sin \sqrt{2}s + \frac{\sqrt{2}}{2} t(e^s - st) \cos \sqrt{2}s, \right. \\ \left. \frac{\sqrt{2}}{2} (s + st^2 + e^s t) \right),$$

$-1 \leq s \leq 1$ ,  $-1 \leq t \leq 1$  yüzeyi elde edilir (Şekil 2).



**Şekil 2.**  $\gamma(s)$  eğrisinden geçen ve bu eğri boyunca Gauss eğriliği bir olan  $M_2$  yüzeyi

### Örnek 2

$$\gamma(s) = \left( \frac{2\sqrt{5}}{5} \cos s, -\frac{2\sqrt{5}}{5} \sin s, -\frac{\sqrt{5}}{5} s \right) \text{ birim hızlı}$$

eğrisini ele alalım. Eğrinin Frenet elemanları

$$T(s) = \left( -\frac{2\sqrt{5}}{5} \sin s, -\frac{2\sqrt{5}}{5} \cos s, -\frac{\sqrt{5}}{5} \right)$$

$$N(s) = (-\cos s, \sin s, 0)$$

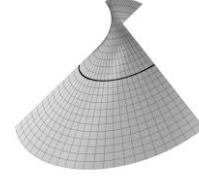
$$B(s) = \left( \frac{\sqrt{5}}{5} \sin s, -\frac{\sqrt{5}}{5} \cos s, -\frac{2\sqrt{5}}{5} \right)$$

$$\kappa(s) = \frac{2\sqrt{5}}{5}, \tau(s) = \frac{\sqrt{5}}{5} \text{ dir. Sapma fonksiyonları}$$

$f(s,t) = g(s,t) = t - t_0$   $h(s,t) = t - t_0$  ve  $t_0 = 0$  olarak seçilirse Teorem 2 sağlanır ve  $\gamma$  eğrisi boyunca Gauss eğriliği sıfır olan

$$M_3(s,t) = \left( -\frac{\sqrt{5}}{5} t \sin s + \left( \frac{2\sqrt{5}}{5} - t \right) \cos s, \right. \\ \left. -\frac{\sqrt{5}}{5} t \cos s + \left( t - \frac{2\sqrt{5}}{5} \right) \sin s, -\frac{\sqrt{5}}{5} (s - 3t) \right),$$

$-1 \leq s \leq 1$ ,  $-1 \leq t \leq 1$  açılabilir yüzeyi elde edilir (Şekil 3).



**Şekil 3.**  $\gamma(s)$  eğrisinden geçen ve bu eğri boyunca Gauss eğriliği bir olan  $M_3$  açılabilir yüzeyi

### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, verilen bir eğriden geçen ve eğri boyunca Gauss eğriliği sabit olan yüzeyler elde edildi. İlk olarak, verilen herhangi bir birim hızlı eğrinin Frenet çatısı yardımıyla yüzeyler parametrik olarak ifade edildi. Daha sonra, eğri boyunca elde edilen yüzeylerin sabit Gauss eğriliğe sahip olması için yeterli şartlar verildi. Son olarak, bu tip bir yüzeyin regle yüzey ve açılabilir olması koşulu ele alınarak örnekler verildi.

### Teşekkür

Editör ve hakemlere, makalenin daha anlaşılır olmasını sağlayan görüş ve önerileri için teşekkürü bir borç biliriz.

### 5. Kaynaklar

Bayram, E., Güler, F. and Kasap, E., 2012. Parametric representation of a surface pencil with a common asymptotic curve. *Computer Aided Design*, **44**, 637-643.

Ergün, E., Bayram, E. and Kasap, E., 2014. Surface pencil with a common line of curvature in Minkowski 3-

space. *Acta Mathematica Sinica (English Series)*, 30, **12**, 2103-2118.

Güler, F., Bayram, E. and Kasap, E., 2018. Offset surface pencil with a common asymptotic curve. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, 15, **11**, 1850195.

Li, C.Y., Wang, R.H. and Zhu, C.G., 2011. Parametric representation of a surface pencil with a common line of curvature. *Computer Aided Design*, 43, **9**, 1110-1117.

O'Neill, B., 1966. Elementary differential geometry. Academic Press, New York, 59-231.

Wang, G.J., Tang, K. and Tai, C.L., 2004. Parametric representation of a surface pencil with a common spatial geodesic. *Computer Aided Design*, 36, **5**, 447-59.



# Tarım Sigortası Gerekliğinin Oyun Teorisi Yardımıyla Gösterilmesi: Matris Norm Yaklaşımı

Burhaneddin İZGİ<sup>1,\*</sup>, Murat ÖZKAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, İstanbul.*

Sorumlu yazar e-posta<sup>1</sup>: bizgi@itu.edu.tr ORCID ID<sup>1</sup>: <https://orcid.org/0000-0002-8441-9137>  
e-posta<sup>2</sup>: ozkaya16@itu.edu.tr ORCID ID<sup>2</sup>: <https://orcid.org/0000-0001-7241-4710>

Geliş Tarihi: 21.01.2020

Kabul Tarihi: 30.10.2020

## Öz

### Anahtar kelimeler

Oyun teorisi; Matris normları; Karar teorisi; Sigorta; Tarım

Bu çalışmamızda, belirsizlikler altında çiftçilerin tarım sigortası yaptırıp yaptırmaması gerektiği problemini oyun teorisi ve karar teorisi açısından inceledik. Bunu yapmak için doğaya karşı bir sıfır toplamlı matris oyununu gerçek verileri kullanarak oluşturduk. Oluşturduğumuz bu oyunu ilk olarak karar teorisindeki Wald maksimin ve Savage pişmanlık kriterleri aracılığıyla ayrı ayrı çözdük. Ardından, bu oyunu karma stratejilere izin verildiği durumda yeniden ele alarak literatürdeki sıfır toplamlı matris oyunlarının çözümü için bilinen yöntemle çözdük. Aynı durum altında oyunu, getiri matrisinin sadece matris normlarını içeren ve matris normları yaklaşımı (MN yöntemi) olarak bilinen bu yeni yöntemi kullanarak farklı bir açıdan çözdük. Son olarak, MN yöntemi yardımıyla bulduğumuz sonuçların literatürdeki diğer yöntemlerle elde ettiğimiz sonuçlarla tutarlı olduğunu gösterdik.

## The Demonstration of the Necessity of Agriculture Insurance by the Game Theory: Matrix Norm Approach

### Abstract

### Keywords

Game theory; Matrix norms; Decision theory; Insurance; Agriculture

In this paper, we investigate whether the farmers should get agriculture insurance or not under the uncertainty by the view of the game theory and decision theory. For this purpose, we create a zero-sum matrix game against nature using the real data. We solve the matrix game with Wald maximin criterion and Savage regret criterion, separately. Then, we resolve this game, while the mixed strategies are allowed, by using the well-known method in the literature for the solution of the zero-sum matrix games. Later, we demonstrate the game in the different aspect with the approach only consists of the matrix norms of the payoff matrix, called the matrix norm approach (MNA), under the same condition. Finally, we show the consistency of the results obtained by using MNA and the other methods.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Oyun teorisi, birden fazla kişi içeren karar verme problemlerini çözen bir matematik dalıdır. 20.yüzyılın başında von Neumann'ın (1928) minimaks teoremini ispatlamasıyla, oyun teorisi hızlı bir şekilde gelişerek ekonominin temel alanlarından biri oldu (Ziegler 2004). Geçen bu süreçte oyun teorisinin kapsamı sadece ekonomi ile sınırlı kalmayarak daha da gelişti. Bilim insanları oyun teorisini matematiğin ve rekabetin bulunduğu ekonomi, askeri problemler, sosyal bilimler ve biyoloji vb. gibi bilim dallarına başarıyla uyguladılar.

Bu uygulamaların sonuçlarında bazı bilim adamlarının çeşitli şekillerde ödüllendirilmesi, oyun teorisinin önemini bir kez daha göstermiş oldu.

Yukarıda belirtilen konuların yanı sıra çalışmamızın temel konusunu oluşturacak olan sigortacılık ve tarım dalları da oyun teorisinin bir diğer uygulama alanlarındandır. Oyun teorisinin tarım ve sigortacılık uygulamalarını içeren bazı çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Kennedy (1987) oyun teorisini, genç ve erişkin balıkları avlayan, bunları iki farklı pazarda satan iki

ülke arasındaki rekabeti açıklamak için kullanmıştır. Modelini ise Avusturalya ve Japonya arasındaki rekabet üzerinde uygulamıştır ve ardından elde edilen iş birlikli ve iş birliksiz stratejilerin kıyaslamasını yapmıştır. Lemaire (1991) yaptığı çalışmada oyun teorisinin sigortacıdaki uygulamalarını bunu yaparken farklı örneklerin her biri için karakteristik fonksiyonlar, çekirdekler, Shapley değerleri gibi çeşitli kavramlar tanımlamış ve gerekli hesaplamaları yapıp, sunmuştur. Yeung (1996) çalışmada değiştirilebilir market ürünleri ile ilgili bir diferansiyel oyun modeli geliştirmiştir. 2002 yılında Viaene ve ekibi makalelerinde risk karşıtı bir müşteri ve sigortacı arasındaki iki kişilik bir sigorta pazarlık oyununu incelemiştir. Yaptıkları çalışma sonucunda, müşterilerin ilk pazarlıktan sonra önerilen sigorta poliçesini daha sonraki pazarlıklar sonucu önerilen poliçelere tercih ettiğini ortaya koymuşlardır (Viane ve Veugelers 2002). Daha sonra, Okura (2007) rekabetin Japon sigorta şirketlerine yapılan yatırımları nasıl etkilediğini oyun teorisini kullanarak göstermiştir.

2010 yılında ise Madani, su kaynaklarının yönetimini ve çeşitli su kaynağı sorunlarını oyun teorisi yardımıyla incelemiştir (Madani 2010). Özer ve Özçelik (2010) aynı yılda pamuk satımı için en iyi zamanı bulmak amacıyla oluşturdukları problemi oyun teorisi yardımıyla modellemiştir. Oluşturdukları modeli çözdüklerinde, uygun depolama alanına sahip çiftçiler için en uygun satış tarihinin şubat ve mart ayları olduğu, depolama alanına sahip olmayan çiftçilerin ise hasat yapıldıktan hemen sonra satmaları gerektiği sonuçlarına ulaşmışlardır. Jensen ve ekibi de 2015 yılında Avrupa Birliği'nin de problemi olan Kuzeydoğu Atlantik'teki uskumru avcılığıyla ilgili durumu iş birlikli ve iş birliksiz oyunlar şeklinde ele almışlardır (Jensen vd. 2015). Boonen (2016)'da Nash pazarlık çözümleriyle optimal risk dağıtımları ile ilgili bir düzenlemeyi yaptığı çalışmada sunmuştur.

2017 yılında Albrecher ve Dalit oyun teorisi yardımıyla sigorta şirketleri arasında hayat dışı sigorta fiyatlarındaki rekabeti ve asimetric bilgilerin denge primi üzerindeki etkilerini gösterdiler (Albrecher ve Dalit 2017). Asimit ve Boonen 2018

yılında Pareto optimal sigorta sözleşmeleri seti ile sigorta oyununun çekirdeğini oyun teorisi yaklaşımıyla incelemiştir (Asimit ve Boonen 2018). Gao ve Wang (2019)'daki çalışmalarında hükümet, sağlık sigortası fonu, yüksek kaliteli ve düşük kaliteli hastaneler ve hastalardan oluşan sağlık tedarik zincirinin koordinasyon problemine oyun teorisi modelini uygulamışlardır. Örneklerden de görüleceği üzere oyun teorisi hem tarım ve doğal kaynaklar ile ilgili çalışmalarda hem de sigortacılık alanında zaman içerisinde kendine yer bulmuş ve gelişmeye devam etmiştir.

Bizim bu çalışmamızda ele alacağımız örnek durum şu şekildedir: Bir kayısı tarlasına sahip bir çiftçinin tarlasına sigorta yaptırap yaptırmaması gerektiği problemini iki kişilik sıfır toplamlı oyun şeklinde modelleyip, çözümünü inceleyeceğiz. Bu amaçla, öncelikle bir adet getiri matrisi oluşturacağız ve bu oyunu literatürde matris oyunlarının çözümü için bilinen bir yöntemle çözeceğiz. Buna ek olarak, karar teorisinden yararlanarak oyunun Savage pişmanlık matrisini de oluşturacağız. Savage pişmanlık matrisini de ötelenmiş ayrı bir oyun gibi kabul ederek, çözeceğiz. Ardından 2018 yılında İzgi ve Özkaya'nın iki kişilik sıfır toplamlı matris oyunlarının çözümünde ve kurulumunda kullanılan, getiri matrisinin matris normlarını içeren metodu (MN metodu) hem oyunun getiri matrisi için hem de Savage pişmanlık matrisini için kullanacağız (İzgi ve Özkaya 2019). Bu yöntem aynı yıl Özkaya tarafından yüksek lisans tezinde detaylı bir şekilde incelenmiş ve çeşitli örneklerle yöntemin uygulanabilirliği ve kullanılabilirliği gösterilmiştir (Özkaya 2018). İzgi ve Özkaya 2019 yılında yaptıkları bir diğer çalışmada, MN metodu iki kişilik sıfır toplamlı olmayan bimatris oyunlar için geliştirilmiştir. Bimatris oyunlar için geliştirdikleri yöntemlerini gerek teorik gerekse uygulanabilirlik açısından ayrıntılı olarak inceleyerek yöntemin tutarlılığını örneklerle desteklemiştir (İzgi ve Özkaya 2019). Ayrıca, İzgi ve Özkaya 2019 yılında yaptıkları bir diğer çalışmada ise geliştirdikleri yöntemle getiri matrisinin determinantını eklemeyi başarıp, bir matris oyununun adillığının gösterilmesinde bu yeni yöntemin nasıl kullanacağını kapsamlı bir şekilde açıklamışlardır (İzgi ve Özkaya 2019).

Çalışmanın devamı şu şekildedir: İkinci bölümde oyun teorisi ile ilgili genel tanımlar ve kullanılacak teoremler verilmiştir. Ayrıca makalemizdeki yaklaşımlarda kullanılmak üzere karar teorisinden alınan bazı tanımlar da sunulmuştur. Üçüncü bölümde ilk olarak problem tanıtılıp, daha sonra hem literatürdeki yöntem ile hem de İzgi ve Özkaya'nın literatüre kazandırmış olduğu MN yöntemi ile çözülmüştür. Son bölümde ise sonuçlara yer verilmiştir.

## 2. Oyun Teorisi ve Karar Teorisi ile İlgili Bazı Teorik Bilgiler

Bu bölümde çalışmamızda ele alacağımız problemi incelemek için gerekli olan teorik alt yapıyı sunacağız. Hem karar teorisiyle ilgili hem de MN yöntemiyle ilgili gerekli tanım, önerme ve teoremleri vereceğiz.

### 2.1 Oyun teorisi

**Tanım 1 (Ferguson 2014):** Sıfır toplamı bir oyunun stratejik formu, diğer bir deyişle normal formu,

1.  $P$  boş olmayan ve I. oyuncunun stratejilerini içeren küme,
2.  $Q$  boş olmayan ve II. oyuncunun stratejilerini içeren küme,
3.  $A, X \times Y$  üzerinde tanımlı reel değerli bir fonksiyon olmak üzere,

$(X, Y, A)$  üçlüsü ile tanımlanır.

**Tanım 2 (Leyton-Brown ve Shoham 2008):**  $i$  oyuncusu için bir maksimin stratejisi tarafından garanti edilen minimum getiri tutarına oyunun güvenlik seviyesi ya da maksimin değer denir.

**Tanım 3 (İzgi ve Özkaya 2019):**  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$  bir matris ve  $\|A\|_\infty$  ise  $A$ 'nın  $h$ . satırının girdilerinin mutlak değer toplamı olsun. Bu durumda  $A$  matrisinin  $h$ . satırının silinmesiyle elde edilen  $B \in \mathbb{R}^{(m-1) \times n}$  matrisine  $A$  matrisinin satırsal olarak indirgenmiş matrisi denir. Aynı şekilde  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$  bir matris,  $\|A\|_1$  ise  $A$ 'nın  $s$ . sütununun girdilerinin mutlak değer toplamı olmak üzere  $A$  matrisinin  $s$ . sütununun silinmesiyle elde edilen  $B \in \mathbb{R}^{m \times (n-1)}$  matrisine  $A$  matrisinin sütunsal olarak indirgenmiş matrisi denir.

**Önerme 1 (İzgi ve Özkaya 2019):**  $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$  iki kişilik sıfır toplamı bir oyunun getiri matrisi,  $v$  oyun değeri olsun. Ayrıca,  $x = |\min(A)|$  ve  $y = -|\max(A)|$  olmak üzere,  $X$  (ya da  $Y$ )  $\in \mathbb{R}^{n \times n}$  bütün girdileri  $x$  (ya da  $y$ ) bir matris olsun. Bu durumda, ötelenmiş oyununun pozitif girdili getiri matrisi  $A + X$  (negatif girdili getiri matrisi  $A + Y$ ) ve bu oyunun oyun değeri  $v + x$  (ya da  $v + y$ ) olur.

**Teorem 1 (İzgi ve Özkaya 2019):**  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$  iki kişilik sıfır toplamı oyunun getiri matrisi ve  $B, A$  matrisinin satırsal olarak indirgenmiş matrisi olmak üzere,  $v$  oyun değeri için

$$|v| \geq 1, \text{ ise } \frac{\|B\|_\infty}{\|A\|_\infty} \leq |v| \leq \|A\|_1$$

$$|v| \leq 1 \text{ ve } v \neq 0, \text{ ise } \frac{1}{\|A\|_1} \leq |v| \leq \frac{\|A\|_\infty}{\|B\|_\infty}$$

eşitsizlikleri sağlanır.

**Teorem 2 (İzgi ve Özkaya 2019):**  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$  iki kişilik sıfır toplamı bir oyunun pozitif girdili getiri matrisi olsun. Karma stratejiler kümesinin en büyük ve en küçük elemanları, sırasıyla  $p_{maks}$  ve  $p_{min}$ , için

$$L = \max \left\{ \frac{1 - \frac{|v|}{\|A\|_1}}{m-1}, \frac{|v|}{\|B\|_\infty} \right\} \text{ için } p_{maks} \geq L$$

$$U = \min \left\{ \frac{1 - \frac{|v|}{\|B\|_1}}{m-1}, \frac{|v|}{\|A\|_\infty} \right\} \text{ için } p_{min} \leq U$$

eşitsizlikleri sağlanır.

### 2.1 Karar teorisi

#### 2.2.1. Karar matrisi

Karar Matrisi,

$A_i = \text{Alternatif } i \text{ seçeneği}; i = 1, 2, \dots, m$

$\varphi_j = \text{Doğanın } j \text{ durumu}; j = 1, 2, \dots, n$

olmak üzere

$$\begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 & \varphi_2 & \cdots & \varphi_n \\ v(A_1, \varphi_1) & v(A_1, \varphi_2) & \cdots & v(A_1, \varphi_n) \\ v(A_2, \varphi_1) & v(A_2, \varphi_2) & \cdots & v(A_2, \varphi_n) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ v(A_m, \varphi_1) & v(A_m, \varphi_2) & \cdots & v(A_m, \varphi_n) \end{bmatrix}$$

şeklinde tanımlanır.

### 2.2.2. Minimaks (Wald maksimin) kriteri (Leyton-Brown ve Shoham 2008)

Minimaks stratejisi  $\min_{A_i} \left[ \max_{\varphi_j} \{v(A_i, \varphi_j)\} \right]$  olarak ve maksimin stratejisi  $\max_{A_i} \left[ \min_{\varphi_j} \{v(A_i, \varphi_j)\} \right]$  şeklinde tanımlanır. Burada ifade edilen maksimin stratejisi aynı zamanda Wald maksimin kriteri olarak bilinmektedir (Walker 1959).

### 2.2.3. Savage Pişmanlık Matrisi (Walker 1959)

Karar matrisinin girdileri  $v(A_i, \varphi_j)$ 'ların  $s(A_i, \varphi_j) = v(A_i, \varphi_j) - \max_{A_k} \{v(A_i, \varphi_j)\}$  ile sonucu elde edilen girdilerle değiştirilmesiyle oluşturulan matris Savage pişmanlık matrisi denir.

## 3. Problem

Bu bölümde öncelikle tarımsal faaliyetlerde ürün sigortasının gerekli olup olmadığı sorusuna cevap bulmak için ilk olarak sigorta problemini belirleyip, genel hatlarıyla ele alacağız. Ardından sigorta problemine oyun teorisi gözüyle bakıp problemi temsil etmesi açısından oluşturacağımız matris oyununu öncelikle literatürde genel olarak kullanılan bir yöntem ile çözeceğiz. Daha sonra, aynı oyunu İzgi ve Özkaya'nın getiri matrisinin sadece 1 ve  $\infty$  normlarını içeren yöntemlerini (MN yöntemi) kullanarak ele alacağız. Öyle ki, ilk olarak belirsizlik altında oyunu Wald Maksimin ve Savage pişmanlık kriterleri bakımından yeniden ifade edeceğiz. Bu noktada karma stratejilere izin verildiği durumda hem karar matrisini hem de Savage pişmanlık kriteri ile elde edilen pişmanlık matrisini MN yaklaşımı ile farklı bir açıdan inceleyip, sonuçları karşılaştıracacağız.

Çalışmamızda örnek olarak ele alacağımız problemde üzerinde 200 ağaç bulunan ve 100 kg/ağaç verimlilikle ekilmiş kayısı tarlası olan bir çiftçinin tarlasını sigorta yaptırap yaptırmaması gerektiğini oyun teorisi yardımıyla açıklamaya

çalışacağız. Diğer bir deyişle, 1 kayısı ağacından 100 kg verimlilik elde edeceği düşüncesiyle yola çıkan ve toplamda 200 ağaçtan 20.000 kg verim elde etmeyi hedefleyen kayısı çiftçisinin olası bir doğal afet durumunda kaybını nasıl daha aza indirebileceği sorusuna oyun teorisi yardımıyla cevap bulmaya çalışacağız. Kaybını tolere edebileceği tek seçeneğin tarlasını veya ürününü sigortalatmak olduğunu varsayıp, bu varsayım altında çiftçimizin sigorta yaptırmaması ve yaptırmaması durumundaki kar ve zarar durumlarını irdeleyeceğiz. Güvenli ve tutarlı sonuçlara ulaşmak için hem literatürdeki yöntemleri hem de MN yöntemini kullanacağız. Böylece çiftçi için en iyi seçeneğin "tarlasını sigortalatması mı?" yoksa "sigortalatmadan risk alması mı?" gerektiği sorularına cevap bulmak noktasındaki karar mekanizmasında önem arz edecek sonuçları elde etmeye çalışacağız. Çalışmamız boyunca tarladaki mahsulün başına gelebilecek doğal afeti dolu olarak kabul edeceğiz. Bu çalışmada HDI sigortanın devlet destekli bitkisel ürünler için 2008 yılında hazırlanmış olduğu örnek verileri kullandık [1]. Öyle ki, HDI sigorta verilerine göre dolunun %100'lük zarar verdiğini varsaydığımız tarlanın sigorta maliyeti 6.400 YTL'dir. Tarla mahsulünün tam verimlilikte toplandığı varsayılırsa çiftçinin kazanacağı toplam para ise 20.000 YTL olacağı hesaplanmıştır. Bu varsayımlar üzerine kurduğumuz doğaya karşı oyununun (Game Against Nature) karar matrisini

$A_1$ : Sigorta yapılmadığı durum,

$A_2$  = Sigorta yapıldığı durum,

$\varphi_1$  = Dolunun vurmadığı durum,

$\varphi_2$  = Dolunun vurduğu durum

olmak üzere

$$G(A_i, \varphi_j) = \begin{matrix} A_1 & \begin{bmatrix} \varphi_1 & \varphi_2 \\ 0 & -20.000 \end{bmatrix} \\ A_2 & \begin{bmatrix} -6.400 & -6.400 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$i, j = 1, 2.$

şeklinde oluşturabiliriz.

Oluşturduğumuz doğaya karşı oyununu ilk olarak Wald maksimin kriterini (WMK) kullanarak ele alacağız. Wald maksimin kriterinin temel amacı en

yüksek güvenlik seviyesine sahip olan seçeneği seçmektir. Bu nedenle  $\max_{A_i} \left[ \min_{\varphi_j} \{v(A_i, \varphi_j)\} \right]$  kullanıldığında elde edilen sonuç  $-6.400$  olarak bulunur. Bu ise  $-6.400$  değerinin bulunduğu seçeneğin kullanılması gerektiğini ifade etmektedir. Yani örnek oyundaki çiftçi tarlası için  $A_2$  stratejisini seçmelidir sonucuna ulaşılır.

Ayrıca oyunu Savage pişmanlık kriterine göre inceleyeceğiz, bunun için öncelikle Savage pişmanlık matrisinin girdilerini aşağıdaki gibi hesaplarız.

$$s(A_1, \varphi_1) = v(A_1, \varphi_1) - \max_{A_k} \{v(A_k, \varphi_1)\}$$

$$= 0 - 0 = 0$$

$$s(A_2, \varphi_1) = v(A_2, \varphi_1) - \max_{A_k} \{v(A_k, \varphi_1)\}$$

$$= -6.400 - 0 = -6.400$$

$$s(A_1, \varphi_2) = v(A_1, \varphi_2) - \max_{A_k} \{v(A_k, \varphi_2)\}$$

$$= -20.000 - (-6.400) = -13.600$$

$$s(A_2, \varphi_2) = v(A_2, \varphi_2) - \max_{A_k} \{v(A_k, \varphi_2)\}$$

$$= -6.400 - (-6.400) = 0.$$

Ardından Savage pişmanlık matrisi,

$$S(A_i, \varphi_j) = \begin{matrix} A_1 & \begin{bmatrix} \varphi_1 & \varphi_2 \\ 0 & -13.600 \end{bmatrix} \\ A_2 & \begin{bmatrix} -6.400 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

şeklinde elde edilir.

Son adım olarak Wald maksimin kriterini oluşturduğumuz Savage pişmanlık matrisine uyguladığımızda  $\max_{A_i} \left[ \min_{\varphi_j} \{v(A_i, \varphi_j)\} \right] = -6.400$  olarak bulunur. Bir önceki kriterle elde ettiğimiz sonuçtaki gibi çiftçimizin  $A_2$  stratejisini kullanması daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılır. Her iki sonuçtan da görüleceği üzere literatürde bilinen Wald kriteri olayın ve durumların doğası gereği alınacak doğal pozisyonu teyit etmektedir.

Savage pişmanlık kriteri oyunda karma stratejilere izin verildiğinde daha korumacı sonuçlar verdiği gerçeğinden hareket ederek (Walker 1959),  $S(A_i, \varphi_j)$  matrisini sıfır toplamlı oyunlar için

literatürde kullanılan temel yöntemle çözdüğümüzde oyun değerini  $v_S = -4.352$ , karma stratejiler kümesini ise  $S_S = \{0,32,0,68\}$  olarak buluruz. Yani stratejiler üzerindeki bütün ağırlık Wald maksimin kriterindeki ya da Savage pişmanlık matrisinde karma stratejilere izin verilmediği durumdaki gibi doğrudan en yüksek pişmanlık getiren girdiye yüklenmemektedir, daha az pişmanlık getiren girdi az da olsa değer kazanmaktadır. Diğer bir deyişle, riskler dağıtılarak daha optimal sonuç elde edilmiş olmaktadır. Fakat karma stratejiler kümesinden de görülebileceği gibi girdiler üzerindeki ağırlığın büyük bir kısmı  $A_2$  stratejisi üzerindedir. Diğer çözümlere göre daha korumacı olan bu yaklaşımla da çiftinin tarlasına sigorta yaptırmasının (%68 olasılık ile), yaptırmaması (%32 olasılık ile) durumundan daha avantajlı olduğu anlaşılmaktadır.

Son olarak problemi İzgi ve Özkaya'nın MN yaklaşımını hem  $G(A_i, \varphi_j)$  karar matrisine hem de  $S(A_i, \varphi_j)$  Savage pişmanlık matrisine uygulayıp, elde edeceğimiz sonuçları yukarıda verdiğimiz kriterleri kullanarak elde ettiğimiz sonuçlarla kıyaslayacağız.

Öncelikle  $G(A_i, \varphi_j)$  karar matrisi için MN yöntemiyle daha rahat analizler yapabilmek adına, karar matrisini Önerme 1 yardımıyla öteleyerek negatif girdilerden kurtarıp, pozitif girdili bir matrise dönüştüreceğiz. Önerme 1'de belirtilen  $X$  matrisini örnek olarak şu şekilde seçiyoruz:  $X \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$  girdileri  $x = 20.000$  olan bir matris olsun.  $X \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$  matrisini, karar matrisimiz olan  $G(A_i, \varphi_j)$  ile aşağıdaki gibi topluyoruz. Bu durumda ötelenmiş oyunun getiri matrisi,

$$A = G(A_i, \varphi_j) + X = \begin{bmatrix} 20.000 & 0 \\ 13.600 & 13.600 \end{bmatrix}$$

şeklinde olur. Daha sonra, Teorem 1'i kullanmak için yukarıda elde ettiğimiz  $A$  matrisinin ve  $A$  matrisinin indirgenmiş matrisi olan  $B$  matrisinin  $\infty$  ve 1 norm değerlerini;  $\|A\|_\infty = 27.200$   $\|B\|_\infty = 20.000$  ve  $\|A\|_1 = 33.600$  olarak elde ettik. Böylece, Teorem 1'de oyun değeri için verilen ilgili eşitsizlik kullanılarak, ötelenmiş oyun değerine ait alt ve üst sınırlar  $\frac{20.000}{27.200} \leq v_A \leq 33.600$  şeklinde bulunur. Öte

yandan, bu aralıktan herhangi bir geçici (dummy) oyun değerini,  $v_{dummy} = 15.000$  olsun, örnek olarak seçerek Teorem 2 aracılığıyla karma stratejiler kümesinin  $p_{maks}$  ve  $p_{min}$  elemanları için alt ve üst sınırlar belirleyeceğiz. Gerekli hesaplamalar ötelenmiş  $A$  matrisi kullanılarak yapıldığında,  $p_{maks} \geq maks\{0,75, 0,45\} = 0,75$  ve  $p_{min} \leq min\{0,1, 0,55\} = 0,1$  olarak bulunur. Bulduğumuz alt ve üst sınırları kullanarak olasılık teorisinin temel prensipleriyle ve matris oyunlarındaki denklik stratejisi (equalizing strategy) ile çelişmeyecek şekilde kullandığımızda, örneğin  $p_{maks} = 0,9$  ve  $p_{min} = 0,1$  olarak toplamları 1 olacak şekilde seçebilir ve ardından oluşturduğumuz senaryonun karma stratejiler kümesini de  $S_g = \{0,1, 0,9\}$  şeklinde belirleyebiliriz. Karma stratejiler kümesinden de görüldüğü gibi yani karma stratejiler kümesindeki ikinci elemanın daha büyük olması sebebiyle çiftçinin  $A_2$  seçeneğini kullanması gerektiği beklenmektedir.

Benzer şekilde MN yöntemini Savage pişmanlık matrisine uyguladığımızda, yani öncelikle Önerme 1 ile öteleyip ardından Teorem 1'i uyguladığımızda ötelenmiş oyun değeri için  $0,65 \leq v_{SA} \leq 20.8000$  sınırları elde edilir. Bulduğumuz bu aralıktan Teorem 2'yi kullanabilmek için keyfi olarak  $v_{dummy} = 10.000$  olarak seçebiliriz.  $S(A_i, \varphi_j)$  matrisini kullanarak,  $p_{maks} \geq maks\{0,52, 0,74\} = 0,74$  ve  $p_{min} \leq min\{0,26, 0,48\} = 0,26$  olarak bulunur. Bir önceki çözümde olduğu gibi oyun teorisi ve olasılık teorisi gerçeklerine bağlı kalacak şekilde örnek olarak  $p_{maks} = 0,81$  ve  $p_{min} = 0,19$  olarak seçebiliriz. Savage pişmanlık matrisi için belirleyeceğimiz senaryoda ise karma stratejiler kümesini  $S_s = \{0,19, 0,81\}$  olarak oluşturabiliriz. Bu senaryodan da görüleceği üzere Savage pişmanlık matrisi kullanıldığında da  $A_2$  stratejisine yani sigorta yaptırılması gerekliliği sonucuna MN yöntemi ile de ulaşılır. Yaptığımız çözümlerde olasılık ve oyun teorisindeki ilgili sınırlar dahilinde farklı seçimler de yapılabilir. Yapılacak bu seçimlerin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar, bizim burada yaptığımız sonuçlarla hemen hemen aynı olacaktır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmamızda örnek olarak ele aldığımız ve doğaya karşı oyunlar şeklinde modellediğimiz bir çiftçinin kayısı tarlasını sigortalatıp sigortalatmaması gerektiği problemini iki kişilik sıfır toplamlı bir matris oyunu olarak sunduk ve oyunun karar matrisini oluşturduk. İlk olarak belirsizlik durumu altında, oyunumuzu karar teorisindeki Wald maksimin kriteri altında getiri matrisi ve Savage pişmanlık matrisi yardımıyla ayrı ayrı ele aldık ve çözdük. Elde ettiğimiz sonuçlarda çiftçinin tarlasını sigortalatması gerektiği sonucuna ulaştık. Ardından, oyunu Savage pişmanlık kriteri altında karma stratejilere izin verildiği durumda literatürdeki matris oyunlarının çözümünde kullanılan bir yöntem ile tekrar çözdük. Bu çözüm sonucunda da daha önceki çözümlerde elde ettiğimiz sonuçlarla tutarlı veriler elde ettik. Yani çiftçinin alternatifleri üzerindeki ağırlıklarının dağıtıldığı, başka bir deyişle riskin bölündüğü durumda dahi tarlanın sigortalatılması gerektiği seçeneğinin daha ağır basmakta olduğu sonucunu elde ettik. Son olarak, karma stratejilere izin verilmesi durumunda oluşturduğumuz karar matrisini ve Savage pişmanlık matrisini, İzgi ve Özkaya'nın MN yöntemi ile farklı bir açıdan yeniden çözerek, aynı doğrultuda fakat daha güçlü sonuçlar elde ettik. Sonuçları özetlemek ve daha rahat karşılaştırma yapabilmek adına elde ettiğimiz tüm sonuçları Çizelge 1'de sunduk.

**Çizelge 1.** Wald maksimin, Savage pişmanlık ve MN yöntemleri ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması

| Yöntem   | Sonuç                                   |
|--|---|
| Wald maksimin kriteri (Karar matrisine uygulanması)            | $A_2$                                   |
| Wald maksimin kriteri (Savage pişmanlık matrisine uygulanması) | $A_2$                                   |
| Savage pişmanlık kriteri altındaki çözüm                       | $A_2$<br>(%68'lik oranla tercih etmeli) |
| MN yöntemi (Karar matrisine uygulanması)                       | $A_2$<br>(%90'lık oranla tercih etmeli) |

MN yöntemi (Savage pişmanlık matrisine uygulanması)

$A_2$   
(%81'lik oranla tercih etmeli)

$A_2$ : Sigorta yapıldığı durum

Ulaştığımız sonuçlardan ilk olarak karar teorisindeki Wald maksimin kriterinin hem getiri matrisine hem de Savage pişmanlık matrisine uygulanmasından elde edilen sonuçları ele alırsak, bu sonuçlar örnek oyundaki çiftçinin tarlasını ya da diğer bir deyişle elde edeceği mahsulünü sigortalatması gerektiği yönündeki bir stratejiyi,  $A_2$ , doğrudan işaret etmektedir. Ek olarak, Savage pişmanlık kriteri altında karma stratejilere izin verilen durumlar altında oyun teorisindeki bilinen bir yöntem ile elde edilen sonuçlardan, tarlanın sigortalatması yönündeki  $A_2$  stratejisinin %68 gibi çok güçlü olmayan bir oranla tercih edilmesi gerektiği öngörülmektedir. Buna karşın MN yönteminin karar ve Savage pişmanlık matrislerine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar hem bir stratejiyi,  $A_2$ , işaret etmekte hem de bu stratejinin seçilmesinin gerekliliğini diğer metotlara kıyasla daha kuvvetli bir oranla, sırasıyla %90 ve %81, tavsiye etmektedir. Böylece karar verecek kişiye neden bu stratejiyi seçmesi gerektiğini, literatürdeki diğer metotlara kıyasla daha açık ve güçlü bir şekilde göstermektedir. Sonuç olarak, MN yaklaşımı ile elde ettiğimiz sonuçların Wald maksimin ve Savage pişmanlık kriterleri uygulanarak elde edilen sonuçlarla tutarlı olduğu açık bir şekilde gözlemlenmektedir. Ayrıca tüm yöntemlerin uygulanması ile elde edilen değerlerin, tarlanın sigorta yaptırılması gerektiği sonucuna işaret ettiği görülmektedir.

## 5. Kaynaklar

- Albrecher, H. ve Dalit, D.A. 2017. On effects of asymmetric information on non-life insurance price under competition. *International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies*. **9**,4, 287-299.
- Asimit, V. ve Boonen, T.J. 2018. Insurance with multiple insurer: A game-theoretic approach. *European Journal of Operational Research*. **267**, 2, 778-790.
- Boonen, T.J. 2016. Nash equilibria of Over-The-Counter bargaining for insurance risk redistributions: The role

of a regulator. *European Journal of Operational Research*, **250**(3), 955-965.

- Ferguson, T.S., 2014. Game Theory, Mathematics Department UCLA, 2nd Edition, 4.
- Gao, L., Wang, X. 2019. Healthcare supply chain network coordination through medical insurance strategies with reference price effect. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **16**(18), 3479.
- İzgi, B. ve Özkaya, M. 2019. A New Perspective to the Solution and Creation of Zero Sum Matrix Game with Matrix Norms, *Applied Mathematics and Computation*, **341**, 148-159.
- İzgi, B. ve Özkaya, M. 2020. Applications of Matrix Norm Approach to the Bimatrix Games, (Submitted for publication).
- İzgi, B. ve Özkaya, M. 2019. Matris Normları ile Bir Matris Oyununun Adilliliğinin Gösterilmesi, *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, **31** (2), 126-132.
- Jensen, F., Frost, H., Thøgersen, T., Andersen, P. ve Andersen, J. L. 2015. Game theory and fish wars: The case of the Northeast Atlantic mackerel fishery, *Fisheries Research*, **172**, 7-16.
- Kennedy, J.O.S. 1987. A Computable Game Theoretic Approach to Modelling Competitive Fishing, *Marine Resource Economics* **4**, no. **1** (1987), 1-14.
- Lemaire, J. 1991. Cooperative Game Theory and its Insurance Applications. *ASTIN Bulletin*, **21**(1), 17-40.
- Leyton-Brown, K., Shoham, Y., 2008, Essentials of Game Theory, Morgan&Claypool Publishers, 15.
- Madani, K. 2010. Game theory and water resources, *Journal of Hydrology*, **381**,3-4, 225-238.
- Okura, M., (2007). Competitive Strategies of Approach. *International Studies of Management & Organization*, **27**(2), 53-69.
- Özer, O.O. ve Özçelik, A. 2010. Pamuk ürünün en uygun satış zamanının oyun teorisi yöntemiyle saptanması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, **16**(2010), 262-270.
- Özkaya, M. 2018. The Roles of Matrix Norms in the Game Theory, , M.Sc. Thesis. Istanbul Technical University.

Graduate School of Science, Engineering and Technology, Istanbul, 47.

Viaene, S., Veugelers, R. ve Dedene, G. 2002. Insurance bargaining under risk aversion. *Economic Modelling*, **19**, 2, 245-259.

von Neumann, J. 1928. Zur Theorie der Gesellschaftsspiele. *Mathematische Annalen*, **100**, 295-320.

Walker, O. L., 1959, Game Theory Applications in Agricultural Decisions. *Retrospective Theses and Dissertations*. 2169.

Yeung, D.W.K. 1996. A differential game model of a market of substitutable products. *European Journal of Operational Research*, **90**, 3, 599-60.

Ziegler, A. 2004. A Game Theory Analysis of Options, Springer, 2nd Edition, Heidelberg, Germany, 1-2.

#### **İnternet Kaynakları**

1-<https://www.hdisigorta.com.tr/urunler/tarim-sigortalari/devlet-destekli-bitkisel-urun-sigortasi> (Son erişim tarihi: 14.01.2020)



AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 055201 (832-843)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 055201 (832-843)

DOI: 10.35414/akufemubid.654765

Araştırma Makalesi / Research Article

## Hedef Tespiti için Yere Nüfuz Eden Radar Verisinde Ön İşleme Algoritmalarının Karşılaştırılması

Selda GÜNEY<sup>1\*</sup>, Deniz ÇOLAK<sup>2</sup><sup>1</sup> Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara.<sup>2</sup> Savunma Sanayi Başkanlığı, Ankara.Sorumlu yazar e-posta: seldaguney@baskent.edu.tr  
dcolak@ssb.gov.trORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0573-1326>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9525-055X>

Geliş Tarihi: 04.12.2019

Kabul Tarihi: 02.10.2020

### Öz

Yere nüfuz eden radar sistemleri yaklaşık yirmi senedir arkeoloji, jeoloji, inşaat mühendisliği alanlarında yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Yere nüfuz eden radar önemli bir uzaktan algılama teknolojisi olup, yüzey altındaki nesne ve katmanların algılanmasını ve konumunun belirlenmesini elektromanyetik yöntemlerle sağlamaktadır. Tüm metalik nesnelere bir metal detektörü tarafından tespit edilip tanımlanmış olsa da plastik veya düşük metal içerikli kara mayınlarını tespit etmek ve tanımlamak için başka teknolojilere ihtiyaç bulunmaktadır. Yerin altına görüntülenmesine ihtiyaç duyulan tüm sivil ve askeri alanlardaki ihtiyaçların karşılanması kapsamında teknolojik gelişmeler doğrultusunda sistem geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir. Bu çalışmada, radardan elde edilen verilerin işlenmesine yönelik görüntü ön işleme algoritma yapıları incelenmiştir. Aynı zamanda ön görüntüleme aşamasında yapılacak görüntü iyileştirmelerinin sistem başarımına etkisi irdelenmiştir. Ön işleme aşamasındaki önerilen çarpaz korelasyon yöntemi, yine ön işleme yöntemi olarak kullanılan En Küçük Ortalama Kareler ve Kernel En Küçük Ortalama Kareler ile hız ve başarılı tespit açısından karşılaştırılmıştır. Sistemin gerçek zamanlı çalışmasına yönelik farklı yöntemler incelenmiş, çarpaz korelasyon yöntemi ile daha hızlı ve başarılı tespitlerin yapılacağı gösterilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Yere nüfuz eden radar;  
Veri ön işleme; Ön  
görüntüleme; Kernel  
en küçük ortalama  
kareler; Çarpaz  
korelasyon

## The Comparison of Pre-processing Algorithms in Ground Penetrating Radar Data for Target Detection

### Abstract

The Ground Penetrating Radar (GPR) systems have been widely used in the fields of archaeology, geology, civil engineering for about twenty years. The GPR is an important remote sensing technology that allows objects and layers under the surface to be perceived and positioned using electromagnetic techniques. Although all metallic objects are detected and identified by a metal detector, other technologies are needed to detect and identify landmines with plastic or low metal content. System development studies are continuing in line with technological developments within the scope of meeting the needs of all civil and military areas required to display under the surface. In this study, image pre-processing algorithms for processing the data obtained from the radar are examined. The effects of system improvements on the image enhancements to be made during the pre-screening phase have been studied. The proposed cross-correlation method in the pre-processing phase was compared with the Least Mean Squares and Kernel Least Mean Squares, also used as the pre-processing method, in terms of speed and successful detection. To run the system in real-time operations, these methods have been examined and as a result very fast and improved results have been obtained with the cross-correlation method compared to other methods.

### Keywords

Ground Penetrating  
Radar; Data pre-  
processing; Pre-  
screening; Kernel Least  
Mean Square; Cross  
correlation

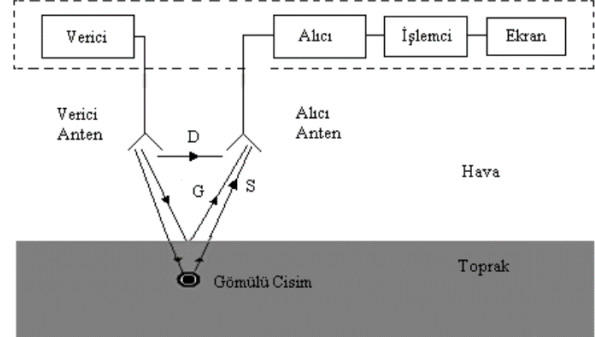
## 1. Giriş

II. Dünya Savaşı sonrasında en büyük sorunlardan biri, birçok ülkede milyonlarca dağılmış durumda bulunan gömülü kara mayınları ve patlamamış mühimmatlardır. Uluslararası Kara Mayınlarını Yasaklama Kampanyası (ICBL), yılda 15.000-20.000 kişinin kara mayını tarafından öldürüldüğünü veya yaralandığını tespit etmiştir. Dünya genelinde her yıl yaklaşık 100.000 mayın temizlenmektedir. Bu durumda, hiçbir yeni mayın döşenmediği varsayılarak, tüm dünyadaki 45-50 milyon mayının temizlenmesinin 450-500 yıl süreceği hesaplanmaktadır. Bazı tahminlere göre, yılda yaklaşık 1.9 milyon yeni mayın yerleştirilmekte ve bu da her yıl ek olarak 19 yıllık bir mayın temizleme çalışması gerektiğini ortaya koymaktadır [Int Kyn. 1]. Mayın tarama teknikleri son derece yüksek tespit oranları gerektirir. Tespit teknolojilerine yönelik yıllardır süren araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucu, tüm senaryolar için tek bir teknik uygun görülmemektedir.

Önemli uzaktan tespit teknolojilerinden biri olan Yere Nüfuz Eden Radar (YNER) sistemleri yüzey altındaki nesne ve katmanların algılanmasını ve konumunun belirlenmesini elektromanyetik(EM) yöntemlerle sağlamaktadır (Özdemir et al. 2006). Yerin altına EM işaret gönderip yansıyan işaretleri toplayarak, bu yansıyan işaretleri işlenmesi ile yer altındaki nesneyi tespit etme prensibi ile çalışır. YNER teknolojisi tünel gibi yapıların tahribatsız incelenmesi, yeraltı yapılarının tespit edilmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Daniels 2004). Bu alanlarda elde edilen gelişmeler ve sonuçlardan yola çıkarak sistemin askeri alan araştırmalarında (mayın ve patlamamış askeri mühimmat tespiti) özellikle terör ile mücadele kapsamında kullanımı önem kazanmıştır.

Tüm metalik nesnelere bir metal detektörü tarafından tespit edilip tanımlanmış olsa da plastik veya düşük metal içerikli kara mayınlarını tespit etmek ve tanımlamak için YNER sistemi en yetenekli teknolojilerden biridir. Şekil 1'de gösterilen YNER üniteleri temel olarak, antenlerdeki verici ve alıcı elektroniklerine senkronize tetikleme darbeleri üreten bir kontrol ünitesinden oluşur. Bu darbeler,

doğrulanmış radar sinyallerinin örneklenmiş bir dalga örneğini oluşturmak için verici ve alıcıyı kontrol eder. Ayrıca, sinyallerin iletimi ve alınması için bir (mono statik) veya iki (bistatik) anten içerir. Antenlerden alınan sinyaller işlenerek görüntüleme ekranına verilir.



Şekil 1. Yere Nüfuz Eden Radar sistem yapısı (Abujarad 2007).

YNER yaklaşımı, hedefi tespit etmek için hem malzemenin hem de çevredeki ortamın dielektrik katsayısındaki farklılığı kullanır. Hedefin tespiti, EM dalgaların malzemelerden yansıma karakteristiğinin farklı olmasına bağlıdır. YNER verilerinde bu karakteristiğe etki eden; İşaret/Parazit oranı, İşaret/Gürültü oranı, hedefin konum çözünürlüğü, derinlik çözünürlüğü, menzil, toprak yapısı, parazitler, yatay çözünürlük, derinlik çözünürlüğü gibi birçok parametre vardır. Örneğin; topraktaki nem oranı yükseldikçe toprağın iletkenliği artacağından EM dalgaların toprağa nüfuz etmesi zorlaşacaktır.

Bir başka parametre olarak, toprağın iletken dielektrik ortam özelliği göstermesi nedeni ile çalışma frekansı ile doğru orantılı olarak frekans arttıkça dalga yayılım kaybı da artarak tespit derinliğini düşürecektir. Hedef tespitinde yüzeye yakın cisimleri ve derindeki büyük cisimleri aynı anda algılayabilmesi için gömülü cisimlerin radar kesit alanı değerleri frekansla birlikte yükseldiğinden, alçak ve yüksek frekans bileşenlerini birlikte içeren çok geniş bantlı YNER sistemleri kullanılmaktadır (Türk 2004).

YNER tahribatsız bir değerlendirme teknolojisi olduğu için farklı uygulamalarda kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Travassos et al. 2018). Ancak YNER verilerini işlemede yeraltının yapısına bağlı olarak

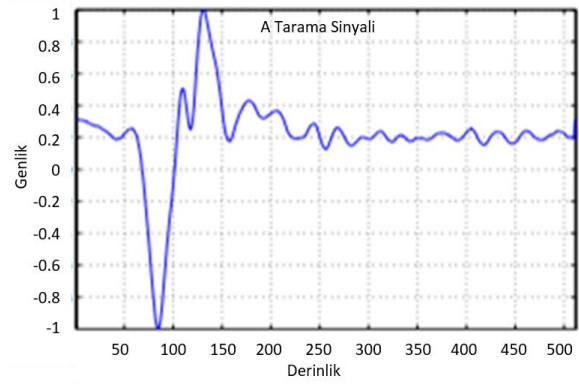
yaşadığı tüm bu zorlukları (Forte and Pipan 2017) aşmak için sinyal işleme teknikleri kullanılmakta ve bunlar da algılama performansını arttırmaktadır (Economou et al. 2017). Model tabanlı Freeman ayrıştırma tekniği, tam polarimetrik GPR verilerine hedef sınıflandırmada başarıyı artırmak için uygulanmaktadır. (Feng et al. 2017). Veri yorumlamanın başarısını arttırmak için Yapay Sinir Ağı da kullanılan yöntemler arasındadır (Travassos et al. 2018). Literatürde doğrusal polarize anten elemanlarının farklı bağlı yönelimleri kullanılarak da zaman tersine dayalı yöntemler incelenmiştir (Santos and Teixeira, 2017). Tüm bu çalışmalar incelendiğinde ön işleme yöntemlerinin hedef tespit başarısını arttırdığı anlaşılmaktadır. Bunlara ek olarak ilave Gauss gürültüsünün etkisini azaltmak için yüksek dereceli istatistik (High Order Statics, HOS) özellikler de kullanılmaktadır (Harkat 2018). Aynı çalışmada, çok amaçlı genetik algoritma otomatik hedef takibinde kullanılmaktadır. Ön işleme aşamaları başarıyı arttırsa da, gerçek zamanlı uygulamalarda işlem süresini arttırdığından bu kısımda da iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, En Küçük Ortalama Karesi (Least Mean Square, LMS) ve Çekirdek En Küçük Ortalama Karesi (Kernel Least Mean Square, KLMS) yöntemleri işlem süresi ve yanlış alarm oranları açısından karşılaştırılmıştır (Baydar vd. 2016).

Bu çalışmanın amacı gerçek zamanlı sistemlere uygulanabilecek ön işleme aşamasında hızlı ve basit bir yöntem kullanarak algılama başarısını arttırmaktır. Bu amaçla önerilen çapraz doğrulama yöntemi literatürde uygulanan LMS ve KLMS yöntemi ile hız ve yanlış alarm oranları açısından karşılaştırılmıştır. Bu ön çalışmanın, hedef tespitinin performansını artırdığı ve işlem süresini kısalttığı kullanılan veri tabanı üzerinde uygulanarak gösterilmektedir. Çalışmanın özgün kısmı bilinen bir yöntem olan çapraz doğrulamanın literatürde hız ve başarı kriterleri açısından bu şekilde uygulanıp karşılaştırılmamış olmasıdır. Bu çalışmanın 2. bölümünde; kullanılan veri tabanı ve bu veri tabanına uygulanan sinyal ön işleme algoritmalarına yer verilmektedir. 3. bölümde ise önerilen yöntem ile literatürdeki yöntemlerden elde edilen sonuçlar hedef tespiti ve işlem süresi açısından kıyaslanarak

elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Son bölümde ise bu çalışma ile literatüre yapılan katkı ve gelecek çalışmalar için öneriler verilmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

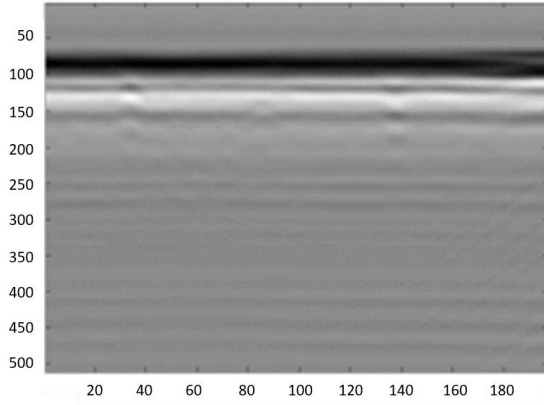
YNR verileri A, B ve C taramalar olmak üzere boyutuna göre üç değişik şekilde tanımlanmıştır. Şekil 2’de anten özel bir konuma yerleştirildikten sonra sabit bir ölçümle elde edilen bir örnek A-tarama sinyali verilmektedir. A-tarama işaretinin y-ekseni işaretin genliğini, x-ekseni ise derinliğini göstermektedir. Ancak radar sinyalinin ne kadar derine inebildiği bilinmediğinden birimi yoktur.



Şekil 2. Örnek bir A tarama işareti.

Şekil 3’de örnek bir B-tarama sinyali verilmektedir. Bu sinyal yanal bir açıklık boyunca elde edilen A tarama ölçümlerinden oluşmaktadır. B-tarama görüntüsünde matrisin sütunlarında A-tarama işaretleri bulunmaktadır. B-tarama işaretinin y-ekseni, A-tarama işaretinin derinlik bilgisini veren x-eksenine karşılık gelmektedir. B-taramanın x-ekseni ise radarın ilerleme doğrultusunda kaç adet A-taramadan meydana geldiğini belirtmektedir. B-tarama uygulamalarında, radar antenin demet açısı boyunca hedefi algılayabilmesi sonucunda elde edilen orijinal YNR görüntülerinde hiperbolik görüntüler oluşmaktadır (Temlioğlu 2015).

YNR sistemi yerin altındaki her şeyi görebildiği için, yer altındaki toprak yapısından farklı olan yer alan tüm cisimler tespit edildiğinde mayın algısı yaratarak yanlış alarmlara yol açar.



Şekil 3. Örnek bir B tarama işaretini.

YNR sistemlerinin başarımı tüm çevresel faktörlerden (iklim şartları, toprak yapısı, nem vb.) etkilendiğinden hedef tespitinde doğru alarm oranını arttırmak, yanlış alarm olasılığını azaltmak ve hedefi tespit edip tanımlayabilmek için doğru kargaşa azaltma yöntemlerini kullanmak gereklidir. Bu çalışmada kargaşa azaltmak için hızlı, etkili ve uygulaması basit bir yöntem önerilmiştir.

## 2.1 Veri tabanı

Çalışmada, 3 farklı toprak tekstürüne sahip zemine gömülmüş, farklı sayıda ve çeşitli yapıdaki hedeflere ilişkin 20 adet radar verisi incelenmiştir. Kullanılan veri tabanı Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Veri listesi.

| Veri Seti | Toprak Tipi | Hedef Sayısı | Hedef Tipleri   |
|-----------|-------------|--------------|---|
| 1         | Kum         | 5            | EYP <sup>a</sup> , AT <sup>a</sup> , Tahta düzenek, Su şişesi |
| 2         | Kum         | 6            | EYP, AT, AP <sup>a</sup>                                      |
| 3         | Kum         | 4            | AT, AP  |
| 4         | Kum         | 7            | EYP, AT, AP, Kürek  |
| 5         | Kum         | 5            | EYP, AT, AP   |
| 6         | Kum         | 3            | EYP, Tuğla  |
| 7         | Tınlı       | 9            | EYP, AT, AP   |
| 8         | Tınlı       | 10           | EYP, AT, AP   |
| 9         | Tınlı       | 15           | EYP, AT, AP, Tahta düzenek, Tuğla                             |
| 10        | Tınlı       | 5            | EYP, AT, AP   |
| 11        | Tınlı       | 12           | EYP, AT, AP, Su şişesi  |
| 12        | Tınlı       | 6            | AT, AP  |
| 13        | Tınlı       | 8            | EYP, AT, AP, Kürek, Tahta düzenek                             |
| 14        | Tınlı       | 6            | AT  |
| 15        | Tınlı kum   | 7            | EYP, AT, AP   |
| 16        | Tınlı kum   | 8            | EYP, AT, AP   |
| 17        | Tınlı kum   | 4            | AP  |
| 18        | Tınlı kum   | 9            | EYP, AT, AP, Tahta düzenek                                    |
| 19        | Tınlı kum   | 8            | EYP, AT, AP   |
| 20        | Tınlı kum   | 5            | EYP, AT   |

<sup>a</sup> El Yapımı Patlayıcı (EYP). Anti Tank (AT). Anti Personel (AP).

Çalışma için elde edilen verilerin alındığı radarın genişliği 1.2 m olup 5 cm anten aralığına sahip 24 adet antenden, 12 adet kanaldan oluşmaktadır. Radar, 200 MHz - 6 GHz frekans bandında çalışmaktadır.

Daha önce de belirtildiği üzere toprak tipi başarımı etkileyen bir parametredir. Toprak tekstürü, birim toprak kütlesi içerisindeki kum, mil ve kil miktarlarının oransal durumunu ifade etmek için kullanılan bir tanım olup toprağın kısa sürede değişmeyen özelliklerindedir. Topraklar, sahip oldukları içerik oranlarına bağlı olarak farklı isimler ile adlandırılmaktadır.

## 2.2 Sinyal Ön-İşleme Algoritmaları

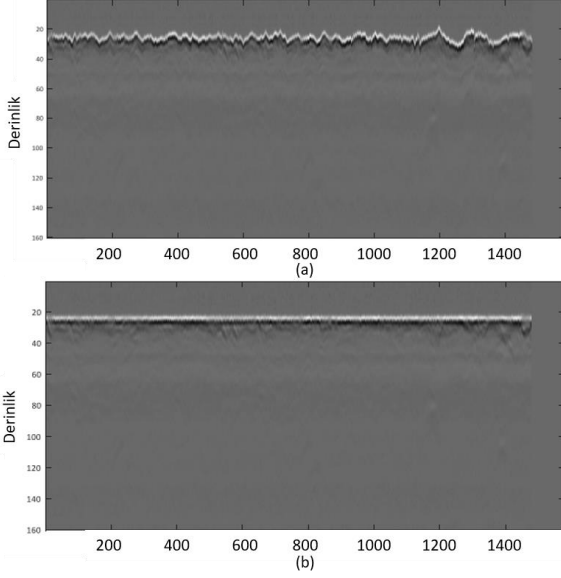
Ön işleme aşaması için literatürde yer alan algoritmalar kullanılarak yer yüzeyi gürültüsünden ayrıştırılmış ve beyazlatma uygulanmış YNR verisine En Küçük Ortalama Kareler (EKOK) ve Kernel En Küçük Ortalama Kareler (KEKOK) yöntemleri uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca Kernel parametresinin sistem işlem süresine etkisine yönelik çalışılmıştır.

EKOK ve KEKOK yöntemlerinin incelenmesi sonrasında sisteme daha hız kazandıracak ve gerçek zamanlı sonuç verebilecek algoritmalar üzerinde çalışmalar yapılmış olup Wang and Su (2013)'ün çalışmasında Hough dönüşümü ile birlikte kullanılan çapraz korelasyon yöntemi sistem algoritmasına dahil edilmiştir. Literatüre katkı olarak çapraz korelasyonun sinyal ön-ışleme aşamasında tek başına kullanılması durumu irdelenmiş ve sonuçları diğer yöntemlerle kıyaslanarak yorumlanmıştır.

### 2.2.1 Yer yüzeyi yansımalarının silinmesi

Tüm verilerin yer yansımalarının eşit seviyeye gelmesini sağlayan ve yeryüzü üzerinde kalan işlenmeyecek yer yüzeyi yansımalarının silinmesi işlemidir. Örnekleri yeryüzü yansımalarına yakın olarak görmezden gelme tekniği "kesim (haircutting)" olarak adlandırılır ve yok sayılan zeminden geçen örneklerin sayısı "kesim uzunluğu (haircut length)" olarak adlandırılır (Torrione et al. 2003). Şekil 4'de gözükten yer yüzeyi yansımalarının

silinmesi işleminde  $y$  ekseninde (derinlik), her sütunun maksimum değerleri bulunur ve bulunan bu değerler ortalama yer yüzeyine karşılık gelen maksimum noktaların dikey konumlarının ortalama düzeyine çekilmesinde kullanılır. Ancak yüzeye yakın yüksek enerjiye sahip yansımaya neden olabilecek cisimler maksimum noktasında bulunabilirler.



Şekil 4. a) Ham veri b)Yeryüzü yansımaları silinmiş veri.

### 2.2.2 Beyazlatma

Radardan çıkan sinyaller yer altında derine indikçe zayıflar. Bu etkiyi ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan işleme beyazlatma denir. Beyazlatma elde edilen radar sinyallerini normalleştirme işlemidir. Beyazlatma aşamasında, her bir  $A$  tarama sinyalinde standart sapma ve ortalama güç değerleri elde edilir. Bu normalleştirme işleminde ham sinyalden önce ortalama değer çıkartılarak standart sapmaya bölünmesiyle ön işleme adımlarından biri gerçekleştirilmiş olur. Böylece sinyal gücünün derinlik arttıkça azalmasının önüne geçilerek, her derinlik için sinyal gücü aynı seviyeye getirilmektedir. Torriane et al. (2003)'ün yaptığı çalışmada, 6 inçte gömülen hedeflerin tepkilerinin, sığ gömülü hedeflerden gelen tepkiden çok daha az enerjiye sahip olduğu görülmüştür. Uyarlamalı beyazlatma, bu etkileri hafifletmek için kullanılabilir, fakat uyarlamalı sinyal varyans tahminleri hesaplama açısından maliyetlidir ve çoğu zaman karmaşıklık ve diğer potansiyel hedeflerin varlığı ile engellenir.

Beyazlatma adımında, bir  $X$  vektörünü doğrusal olarak beyazlatmak istediğimizde, bileşenleri bağımsız ve varyansı 1 olan beyaz bir  $\tilde{X}$  vektörü elde ederiz. Yani başka bir deyişle kovaryans matrisi birlik matris olan bir  $\tilde{X}$  vektörü elde ederiz.

$$E\{\tilde{X}\tilde{X}^T\} = I \quad (1)$$

Bir vektörü beyazlatmak için en çok kullanılan yöntemlerden biri öz değer ayrışımı (eigenvalue decomposition) yöntemidir.  $E$ ,  $E\{\tilde{X}\tilde{X}^T\}$  'nin özdeğerlerinden oluşan ortogonal matris ve  $D$ 'de öz değerlerinden oluşan köşegen matris olsun.

$$\tilde{X} = ED^{-1/2}E^T X \quad (2)$$

(2) denklemini ile  $X$  vektörü beyazlatılarak  $\tilde{X}$  vektörü elde edilir.

### 2.2.3 Ön Görüntüleme

Ön işleme algoritmalarından sonra yer altındaki anomalilerin tespiti için verilere ön görüntüleme algoritmaları uygulanabilir. Ön görüntüleme algoritmaları, bir sonraki öznelik çıkarma ve sınıflandırma adımlarında kullanılan yöntemlerin işlem yükü çok fazla olduğu için sınıflandırma adımında uygulanacak işlemi kolaylaştırmak amacıyla sadece şüpheli bölgelerin belirlenmesini hedefleyen algoritmalarlardır. Literatürde ön işleme algoritmalarından sonra ağırlıklı olarak öznelik çıkarma ve sınıflandırma algoritmaları ile ilgili çalışmalara yoğunlaşıldığı gözlenmiştir. Ancak bu algoritmalarından önce veri ne kadar arındırılmış ve hedefe yönelik işlenmiş hale getirilirse hedefin doğru tespit oranı ve işlem süresi başarıyı optimize edilecektir. Literatürde bu adım için kullanılan yöntemlerden biri ise En Küçük Ortalama Kareler (EKOK) algoritmasıdır.

#### 2.2.3.1 En Küçük Ortalama Kareler

EKOK yöntemi, regresyon çözümlemesinde en yaygın olarak kullanılan istatistikî özelliklere sahip yöntemdir. Algoritmanın temeli, gözlem noktalarını temsil edebilen öyle bir doğru belirlensin ki, gözlem noktalarının doğruya olan uzaklıklarının kareler toplamını minimum olmasına dayanmaktadır. Bu düşünceyle, ölçülen  $y_i$ 'yi değeri ile belirlenecek  $f(x_i)$  için Denklem (3)'deki hatanın minimum olduğu

fonksiyonu belirlenmeye çalışılır. (3) denklemindeki fonksiyona hata fonksiyonu denir. Amaç fonksiyonu olan Denklem (4) minimize edilmeye çalışılır.

$$e_i = y_i - f(x_i) \quad (3)$$

$$L(w) = E[|y_n - f(x_n)|^2] \quad (4)$$

Örneğin, f fonksiyonu (4)'deki veya (5)'deki gibi belirlenebilir.

$$y = f(x) = ax + b \quad (5)$$

$$y = f(x) = ax^2 + bx + c \quad (6)$$

(4) denkleminde belirlenmesi gereken parametreler a ve b iken (5) denkleminde a, b, c'dir.

EKOK yönteminde YNR verisi üzerinde asıl hedeflenen işlem, hedef bilgisinin tüm veriden ayrışmasını sağlamaktadır. İlgili gözlem noktası üzerine uygulanan bir maske ile o nokta etrafındaki bir uzayda oluşturulan x ve y vektörlerinden 2 boyutlu yeni bir vektör oluşturularak veri ana imgeden ayrıştırılır. 2D EKOK algoritması, 2D verisine basitçe 1D EKOK algoritmasının uygulamasıdır (Çolak 2018).

### 2.2.3.2 Kernel En Küçük Ortalama Kareler

KEKOK algoritmasında, EKOK algoritmasından farklı olarak hata oranının belirli bir kernel regülarizasyon katsayısı kullanılarak daha hızlı minimize edilmesi hedeflenmektedir. Yeni giriş vektörleri  $\Phi(x_n)$ , w ağırlık fonksiyonu olmak üzere amaç fonksiyonu denklem (7)'deki gibi elde edilir.

$$L(w) = E[|y_n - f(x_n)|^2] = E[|y_n - \langle w, \Phi(x_n) \rangle|^2] \quad (7)$$

Detaylı KEKOK algoritması Baydar vd.(2016)'da verilmektedir. KEKOK algoritmasının dezavantajı; sonucun tahmini için sözlüğe katılan noktaların sayısının sürekli artması daha büyük bellek ihtiyacına ve daha yüksek hesaplama gücü ihtiyacına neden olur. Bunun için hesaplamaya katılacak noktaların belli kriterleri karşılayan merkez noktalar olması durumunda hesaplamaya katılması sözlük hacminin gereksiz biçimde büyümesini önleyecektir.

### 2.2.3.3 Çapraz Korelasyon

Buradaki amaç, bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarının değerin tespiti ile iki değişken arasındaki bağlantıyı ortaya çıkarmaktır. Çapraz korelasyon fonksiyonu (8), verilen bir u(t) ve bir referans v(t) sinyali arasındaki benzerliğin ölçüsüdür.

$$R_{uv}(\tau) = \int u(t - \tau)v(t)dt = u(-t) * v \quad (8)$$

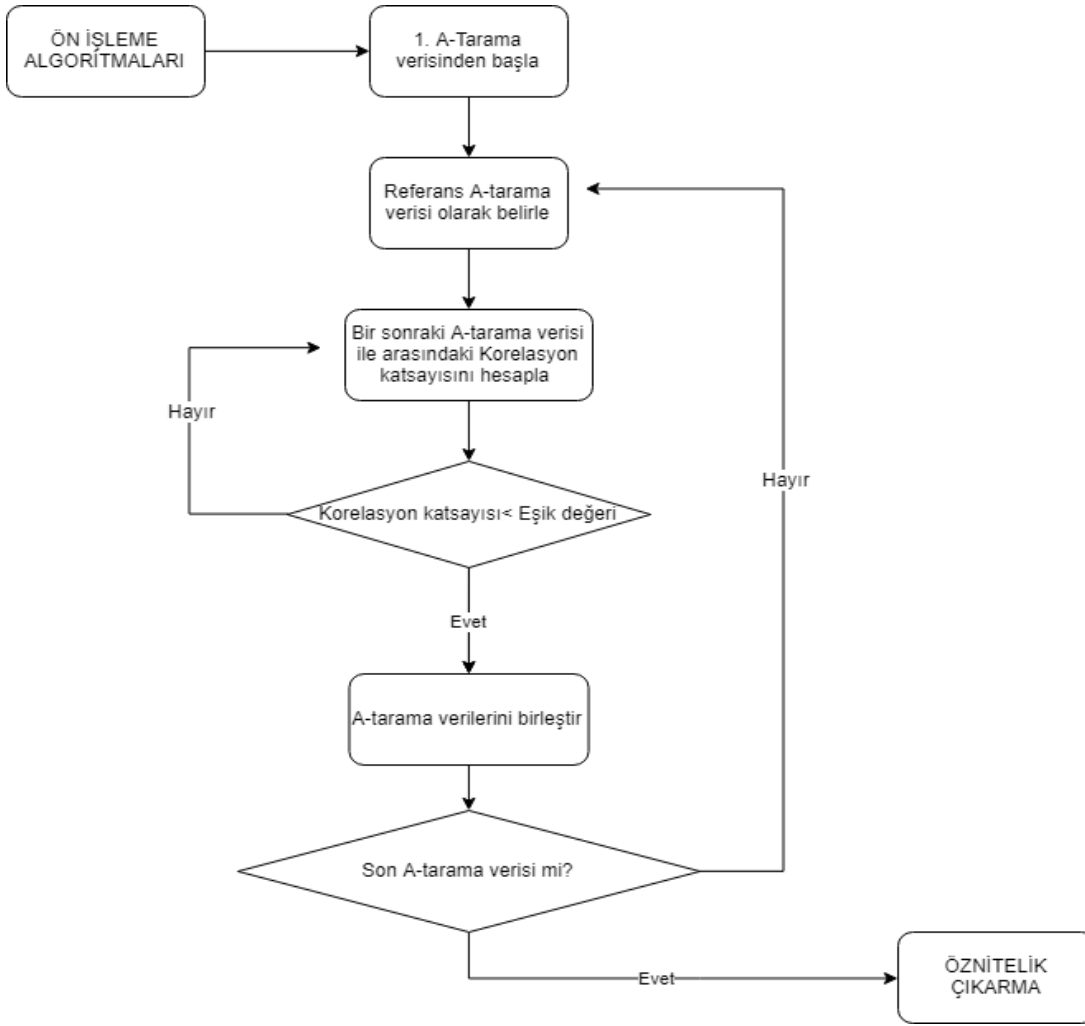
Bu fonksiyon, aralarında  $\tau$  zaman kayması olan iki özdeş olmayan dalga formu arasındaki diğer teknikler tarafından tespit edilemeyen benzerlikleri ortaya çıkaran benzerliği gösterir. Çapraz korelasyon örnekleme yöntemi ile (9) denklemindeki gibi ifade edilebilir.

$$R_{uv}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u(n\Delta t - \tau)v(n\Delta t) \quad (9)$$

Çapraz korelasyonun aslında bir sinyal ile gecikmeli ikinci bir sinyalin çarpımlarının toplamlarının ortalaması olduğu görülmektedir. Bu fonksiyon, u(t) giriş sinyalinin büyüklüğüne doğrusal olarak bağlıdır. Ama sinyalin genliğinden ya da enerjisinden hedefe özgü bir özellik elde edilemez ve sadece hedefin şekli ile bilgiye ihtiyaç duyulur. Sinyallerin karşılaştırılmasından önce giriş ve referans sinyallerine normalleştirme uygulanması gerekmektedir. Ancak eğer yeryüzü yansımaları ve doğrudan bağlantı sinyalleri silinmez ise giriş sinyalinin genliği en büyük genliğe sahip olmayacağından normalleştirme işleminin yapılması doğru bir sonuca ulaştırmayacaktır. Daha sonra sadece şekil bilgisini tutmak istediğimizden, giriş sinyali benzetim ölçümünü gerçekleştirmeden önce (10) denklemindeki gibi zaman içinde pencerelenmeli ve normalleştirilmelidir.

$$\bar{u}(t, T) = \begin{cases} \frac{u(T)}{\max\{u(T)\}}, & t_1 \leq T \leq t_2 \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (10)$$

u(t, T) çapraz korelasyon işlemi için yeni giriş sinyali, T ise zaman penceresidir. Bir A-tarama sinyalinin normalleştirilmiş kısmının ayrı çapraz korelasyonun uygulanması ile yüksek kaliteli normalize referans bir dalgacık belirlenir. Daha sonra, çapraz korelasyon vektörünün maksimum mutlak değeri



Şekil 5. Çapraz korelasyon akış şeması.

her iki sinyal arasındaki korelasyon katsayısı  $\rho_{uv}$  'yi denklem (11)'deki gibi belirler.

$$\rho_{uv} = \max \{R_{uv}\} \quad (11)$$

YNR verileri üzerinde çapraz korelasyon yönteminin algoritma akış şeması Şekil 5'de verilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

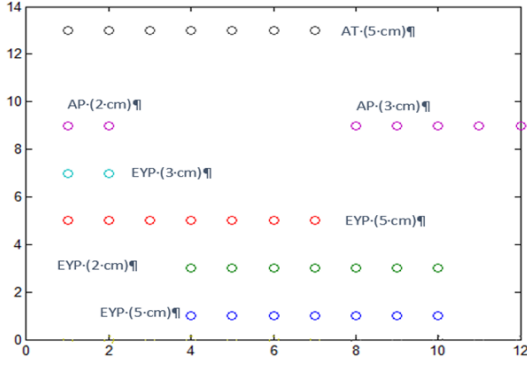
Literatürde YNR verilerinin ön işleminde kullanılan EKOK yöntemi, KEKOK algoritması ve yeni bir yaklaşım olarak çapraz doğrulama dosya boyutları ve işlem hızları açısından incelenmiştir. Eldeki veri seti üzerinden alınan sonuçlarda Çizelge 2'de verildiği üzere çapraz doğrulama ile KEKOK algoritması ve EKOK algoritmasına göre daha hızlı işlem süreleri elde edilmiştir. En büyük veri hacmine sahip veri üzerinde EKOK algoritması ile 14.83 dakikada sonuç elde edilirken KEKOK algoritması ile

2.37 dakika iyileştirme elde edilerek 12.46 dakikada sonuç alınmıştır. Çapraz doğrulama yöntemi kullanarak ise sadece 1.85 dakikada çok hızlı sonuca ulaşılmıştır. Bu yöntemin bir sisteme işlem süresini kısaltma açısından çok iyi bir iyileştirme kazandırılacağı görülmüştür.

Çizelge 2. Farklı algoritmalar için işlem süreleri karşılaştırması.

| Dosya boyutu (MB) | İşlem süresi (sn) |        |                   |
|-------------------|-------------------|--------|-------------------|
|                   | EKOK              | KEKOK  | Çapraz Korelasyon |
| 50.79             | 890.39            | 747.80 | 111.05            |
| 32.47             | 386.27            | 376.02 | 58.91             |
| 27.97             | 311.77            | 295.32 | 33.21             |
| 21.45             | 283.38            | 254.48 | 21.73             |
| 17.07             | 240.65            | 234.46 | 35.53             |
| 12.22             | 156.74            | 153.23 | 24.25             |
| 7.67              | 230.56            | 212.66 | 7.70              |
| 6.95              | 198.24            | 192.50 | 11.73             |
| 4.06              | 113.95            | 112.69 | 7.00              |
| 3.18              | 79.10             | 68.759 | 5.47              |





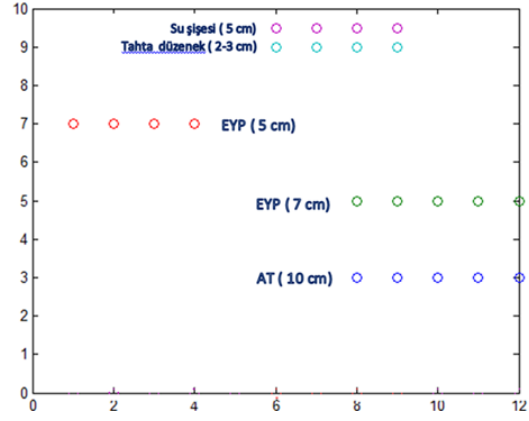
Şekil 6. Senaryo-1 hedef yerleşimleri.

3 farklı toprak tipinde zemine gömülen çeşitli tehditler için elde edilen radar verilerine bu çalışma kapsamında incelenen EKOK, KEKOK ve çapraz korelasyon yöntemlerinin uygulanması sonucu elde edilen bazı sonuçlar detaylıca incelenmiştir.

1. senaryoda test alanında tınlı kum zemin kullanılarak bir radar görüntüleme örneği için toplamda 7 adet farklı yapıdaki hedefler Şekil 6'da verilen noktalara yerleştirilmiştir. y-ekseni radarın ilerleme yönünü, x-ekseni de radarın kanal bilgilerini vermektedir. Tınlı kum, kum zeminden biraz daha büyük parçacıklar içeren yapıda bir zemindir.

Çapraz korelasyon yöntemi ile ön görüntüleme evresinde gözle hedeflerin tespiti sağlanmıştır. Toprak zeminindeki kargaşa miktarının yüksek olduğu 9-12 kanal aralığında EKOK ve KEKOK algoritmalarında veri kaybı olmuş olup bu kanallarda yer alan hedef bilgisi bu yöntem ile tespit edilememiştir.

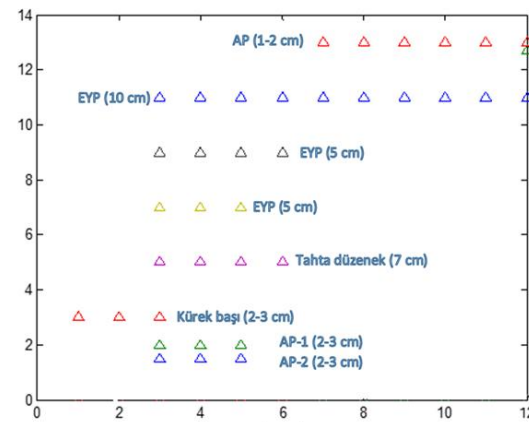
2. senaryoda test alanında ince kum zemine toplamda 5 adet farklı hedef Şekil 7'de verilen noktalara yerleştirilmiştir. İnce kum, tarama sonuçlarda en az kargaşa verisi bulunduran en az kayıp yaşanması beklenen toprak yapısıdır.



Şekil 7. Senaryo-2 hedef yerleşimleri.

Bir adet yarısı su dolu su şişesi sahte hedef olarak kullanılmıştır. Mevcut EYP düzeneklerinde metal içermeyen malzemeler, su şişesi, çuval gibi büyük yapıdaki malzemelerin kullanımının daha tercih edilir olması sebebiyle bu yapıdaki malzemelerin tespit edilmesi önemlidir. Hedeflerin hepsi üç algoritma ile kolaylıkla tespit edilmiştir. Hedef yok iken var gözüken yani yanlış alarm olan noktalarının bir sonraki öznelik çıkarma ve sınıflandırma evrelerinde değerlendirilip sistemin etkinliğini düşürmemesi önemlidir. Ancak ön görüntüleme evresinde incelenmesi gereken işaret noktalarının iyi tespit edilmesi sınıflandırma evresinde daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacağı için bu işlem adımı için bu tüm alarmların tespit edilmesi önemlidir.

3. senaryoda test alanında tınlı toprak zeminini kullanılarak toplamda 8 adet hedef Şekil 8'de verilen noktalara yerleştirilmiştir. Tınlı toprak tekstürü kum, kil ve milli topraktan oluşan bir yapıdır.



Şekil 8. Senaryo-3 hedef yerleşimleri.



Senaryo-3 için kullanılan zemin karmaşık toprak yapısına sahip dolayısıyla tespit algoritmalarını en zorlayan senaryo olmuştur. Hedeflerin tespitleri iki algoritma ile de gerçekleştirilmiştir. Zemindeki kargaşa oranının yüksek olması iki algoritmada da yanlış alarm sayısını arttırmıştır. Ancak KEKOK algoritmasında elde edilen görüntünün gürültü oranı daha yüksektir. Bu hedeflerin tespitini zorlaştırmış olup hata oranını da arttırmıştır. Şekil 9'da örnek olarak Senaryo 3'e ait 11. Kanal görüntüsü verilmiş olup, uygulanan algoritmalar sonucunda oluşan resimler verilmektedir. Doğru alarmlar dikdörtgen içinde verilirken yanlış alarmlar daire içine alınmıştır. Bu resimler incelendiğinde KEKOK algoritmasının gürültüyü arttırdığı, çapraz doğrulama ile yanlış alarm oranının düşürüldüğü gözlenmektedir.

İncelenen örnek senaryolar için EKOK, KEKOK ve çapraz korelasyon işlem süreleri Çizelge 3'de verilmiştir. Korelasyon yönteminin getirdiği işlem süresi iyileştirmesi bu yöntemi tercih edilir kılmaktadır.

**Çizelge 3.** Senaryo sonuçları karşılaştırmaları.

| Senaryo No | Dosya Boyutu (MB) | İşlem süresi (sn) |        |                   |
|------------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|
|            |                   | EKOK              | KEKOK  | Çapraz Korelasyon |
| 1          | 5.33              | 162.39            | 180.58 | 11.56             |
| 2          | 5.77              | 149.50            | 137.29 | 8.20              |
| 3          | 6.21              | 170.50            | 119.67 | 11.44             |

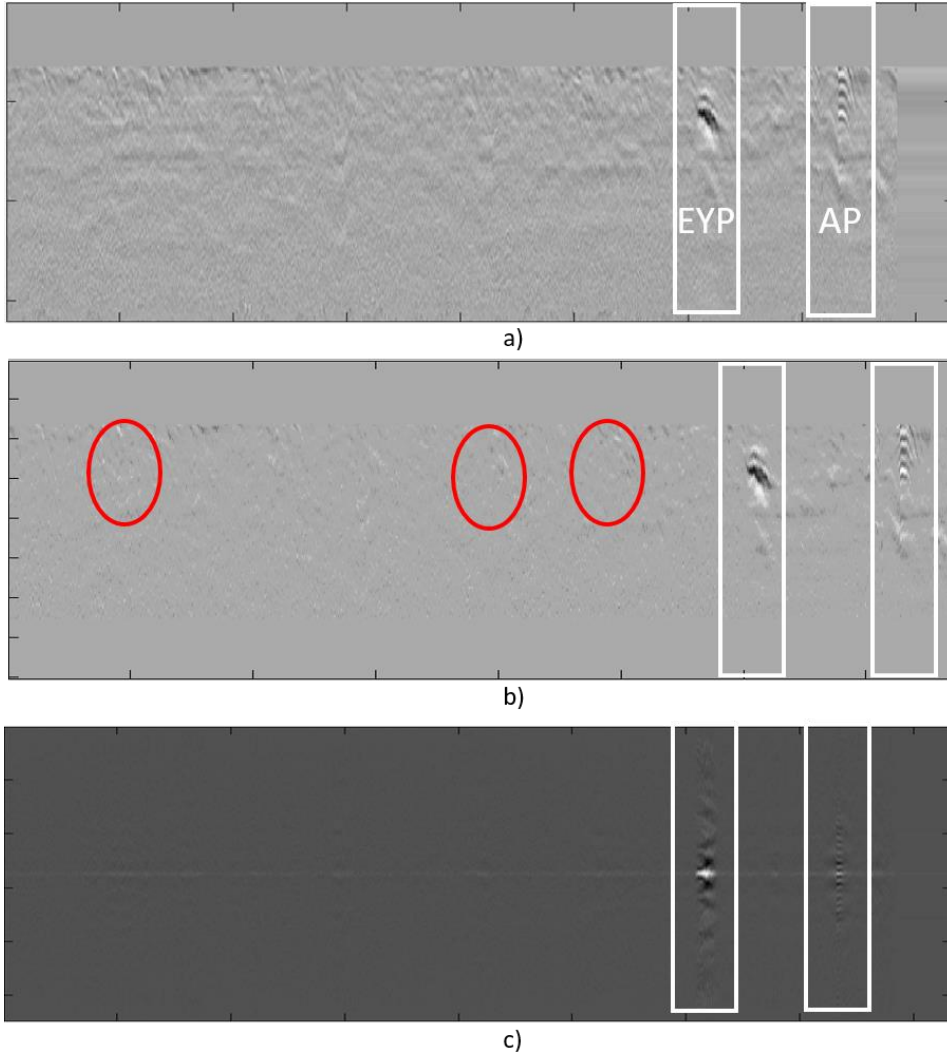
Yukarıda verilen örnek veri setinin yanı sıra, tüm veri seti üzerinde yapılan çalışmalar doğrultusunda gözlem yöntemi ile elde edilen doğru ve yanlış alarmlara ilişkin bilgiler Çizelge 4'de hedef tespit çizelgesinde verilmiştir.

Tespit durumları açısından incelendiğinde doğru alarm-hedef sayısı oranı EKOK yönteminde % 90.14, KEKOK yönteminde %91.54 bir oran iken çapraz korelasyon ile %98.59 doğruluk oranı elde

edilmektedir. Ancak bu işlem seviyesinde amaç yöntemlerin doğruluk oranlarını kıyaslamak değil sınıflandırma adımıyla önce ne kadar kontrol edilmesi gereken hedef olduğunu hızlı ve kayıpsız tespit etmektir. Yanlış alarm oranının ve doğru tespit oranının kıyaslanabilmesi için öznitelik bilgilerine ve daha fazla veri seti ile çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

**Çizelge 4.** Hedef tespit çizelgesi.

| Topr. Tipi | Hed. Sayı. | EKOK       |            | KEKOK      |            | Çapraz Korelasyon |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|
|            |            | Doğ. Alar. | Yan. Alar. | Doğ. Alar. | Yan. Alar. | Doğ. Alar.        | Yan. Alar. |
| Kum        | 5          | 5          | 0          | 5          | 0          | 5                 | 0          |
| Kum        | 6          | 6          | 1          | 6          | 0          | 6                 | 0          |
| Kum        | 4          | 3          | 1          | 4          | 0          | 4                 | 0          |
| Kum        | 7          | 7          | 2          | 7          | 1          | 7                 | 1          |
| Kum        | 5          | 5          | 0          | 5          | 0          | 5                 | 0          |
| Kum        | 3          | 3          | 1          | 3          | 0          | 3                 | 0          |
| Tınlı      | 9          | 9          | 1          | 8          | 1          | 9                 | 1          |
| Tınlı      | 10         | 9          | 3          | 10         | 2          | 10                | 2          |
| Tınlı      | 15         | 13         | 3          | 13         | 4          | 15                | 1          |
| Tınlı      | 5          | 5          | 0          | 5          | 0          | 5                 | 0          |
| Tınlı      | 12         | 9          | 2          | 10         | 2          | 12                | 1          |
| Tınlı      | 6          | 6          | 1          | 6          | 1          | 6                 | 0          |
| Tınlı      | 8          | 7          | 2          | 6          | 0          | 8                 | 1          |
| Tınlı      | 6          | 6          | 0          | 6          | 1          | 6                 | 1          |
| Tınlı      | 7          | 6          | 1          | 7          | 1          | 7                 | 1          |
| kum        |            |            |            |            |            |                   |            |
| Tınlı      | 8          | 7          | 1          | 7          | 0          | 8                 | 0          |
| kum        |            |            |            |            |            |                   |            |
| Tınlı      | 4          | 4          | 1          | 4          | 0          | 4                 | 0          |
| kum        |            |            |            |            |            |                   |            |
| Tınlı      | 9          | 7          | 2          | 7          | 1          | 8                 | 2          |
| kum        |            |            |            |            |            |                   |            |
| Tınlı      | 8          | 7          | 0          | 6          | 0          | 7                 | 1          |
| kum        |            |            |            |            |            |                   |            |
| Tınlı      | 5          | 4          | 1          | 5          | 0          | 5                 | 0          |
| kum        |            |            |            |            |            |                   |            |
| Top.       | 142        | 128        | 19         | 130        | 14         | 140               | 12         |



Şekil 9. Senaryo-3 Kanal 11 a) Yer yüzeyi yansımaları temizlenmiş ve beyazlatma uygulanmış görüntü b) KEKOK algoritması hata fonksiyonu görüntüsü c) Çapraz korelasyon algoritması uygulanmış görüntü

#### 4. Sonuç

Yeraltındaki materyallerin tespit ve teşhisi önemli bir konu olup dünya genelinde buna yönelik çalışmalar uzun yıllardır devam etmektedir. Sistem tasarımına etki eden çok fazla parametre olması kapsamlı bir işlem algoritması gerektirmektedir. Bu algoritma yapısı içerisinde teşhis adımı olan sınıflandırma uzun süren bir adımdır. Bu nedenle, olası tehdit alanlarının bulunması için YNR verileri öncelikle bir ön görüntüleyiciden geçirilir. Çalışmada B-tarama için ön görüntüleyici olarak EKOK, KEKOK ve Çapraz korelasyon yöntemleri uygulanmıştır. Ekstra bir düzenleme terimine gerek kalmadan iyi konumlandırılmış çözümler sunabilen KEKOK algoritmasının olası tehdit noktalarının tespitinde kullanılabildiği gözlemlenmiştir.

Bunun yanı sıra, sistemin gerçek zamanlı olarak veriyi işleyebilmesi çok kritik ve önemli bir yetenek olacağından EKOK ve KEKOK gibi yöntemlerin yanı sıra gerçek zamanlı bir yöntem olan çapraz korelasyon yönteminin uygulanabilir olduğu değerlendirilmiş ve çok daha hızlı ve düşük yanlış alarm oranı ile çözüm sunduğu hedeflenen doğrultuda gösterilmiştir. Çapraz korelasyon yönteminin YNR verilerine uygulanması ile çok daha kısa sürede hedeflerin bulunduğu bölgeler tespit edilmekte olup bu algoritma sistemin bu evredeki işlem süresini kısaltmaktadır. Ek olarak, farklı toprak tipleri ile yapılan çalışmalarda bu parametrenin sistem başarımını etkilediği tespit edilmiştir. Özellikle, Türkiye’de farklı bölgelerde farklı toprak yapılarının olması YNR sisteminin her toprak tipi için kalibre edilme ihtiyacı olduğu ortaya çıkmıştır. Aksi takdirde, tek bir toprak tipine göre tasarlanacak sistemin farklı koşullar için etkisiz kalabileceği

bilinmektedir. Daha sonra yapılabilecek çalışmalarda veri setinin genişletilmesi ile sistemin sonraki öznetelik çıkarma ve sınıflandırma evrelerinde sistem eğitilerek hedeflerin ayrımı, teşhis edilmesi sağlanabilecektir.

## 5. Kaynaklar

- Abujarad F., 2007. Ground Penetrating Radar Signal Processing for Landmine Detection. Doktora Tezi, Beitlahia-Gaza genehmigt durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Germany, 135.
- Ahmad A, Adie SG, Chaney EJ, Sharma U, Boppart SA., 2009. Cross-correlation-based image acquisition technique for manually-scanned optical coherence tomography. *Optic Express*, **17**(10), 8125-8136.
- Baydar B, Akar GB, Yüksel SE, Öztürk S., 2016. Fusion of KLMS and Blob Based Pre-Screener for Buried Landmine Detection Using Ground Penetrating Radar. *SPIE 9823, Detection and Sensing of Mines, Explosive Objects, and Obscured Targets XXI*, Baltimore, Maryland, United States.
- Çolak D., 2018. Yere Nüfuz eden Radar Verilerinin İşlenmesi ile Hedef Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 80.
- Daniels DJ., 2004. Ground Penetrating Radar. 2nd ed. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom.
- Economou N, Benedetto F, Bano M, Tzanis A, Nyquist J, Sandmeie K, Cassidy N., 2017. Advanced Ground Penetrating Radar Signal Processing Techniques. *Signal Processing*, **132**, 197–200.
- Feng X, Liang W, Liu C, Nilot E, Zhang M, Liang S., 2017. Application of Freeman Decomposition to Full Polarimetric GPR for Improving Subsurface Target Classification. *Signal Processing*, **132**, 284–292.
- Forte E, Pipan E., 2017. Review of multi-offset GPR applications: Data acquisition, processing and analysis". *Signal Processing*, **132**, 210-220.
- Frigui H, Zhang L, Gader P, Wilson JN., 2012. An evaluation of several fusion algorithms for anti-tank landmine detection and discrimination. *Information Fusion*, **13**(2), 161-174.
- Harkat H, Ruano A, Ruano MG, Bennani SD., 2018. Classifier Design by a Multi-Objective Genetic Algorithm Approach for GPR Automatic Target Detection. *IFAC Papers OnLine*, **51**(10), 187–192.
- MTS Proje Grubu, 1999. Mayın Tespit Sistemleri (MTS) Geliştirilmesi Projesi GPR Simülasyonu Sonuç Raporu. Bilkent Üniversitesi, 1-5.
- Özdemir C, Demirci Ş, Yiğit E, 2006. 3-Boyutlu Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) C-Tarama Görüntülerinin Elde Edilmesi, ELECO 06, 06-10 Aralık, Bursa, 1-4.
- Poluha B, Porsani JL, Almeida ER, Dos Santos VRN, Allen SJ., 2017. Depth Estimates of Buried Utility Systems Using the GPR Method: Studies at the IAG/USP Geophysics Test Site. *International Journal of Geosciences*, **8**, 726-742.
- Santos VRN, Teixeira FL., 2017. Study of time-reversal-based signal processing applied to polarimetric GPR detection of elongated target. *Journal of Applied Geophysics*, **139**, 257–268.
- Temlioğlu E., 2015. Yere Nüfuz Eden Radar Görüntülerinde Morfolojik Bileşen Analiz Yöntemi Analizi Yöntemi ile Kargaşa Giderme. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 81.
- Torrione P, Collins L, Clodfelter F, Frasier S, Starnes I., 2003. Application of the LMS Algorithm to Anomaly Detection Using the Wichmann/Niitek Ground Penetrating Radar. *Proceedings Volume 5089 Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets VIII*, Orlando, Florida, United States, 11 September.
- Travassos XL, Avila SL, Ida N., 2018. Artificial Neural Networks and Machine Learning techniques applied to Ground Penetrating Radar: A review. *Applied Computing and Informatics*, available online 16 October, In Press. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2018.10.001>

Türk AS, 2004. Yere Nüfuz Eden Darbe Radarı için Geniş Bantlı Anten Tasarımları, Union Radio Science Internationale (URSI), Ankara, Türkiye, 08-10 Eylül.

Wang J, Su Y. ,2013. Fast Detection Of Gpr Objects With Cross Correlation and Hough Transform". Progress In Electromagnetics Research C, **38**, 229–239.

***İnternet kaynakları***

1-<http://www.the-monitor.org/en-gb/home.aspx>  
(17.06.2019).

## Antarktika Kıtasında Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning-PPP) Tekniğinin Performansının İncelenmesi

Serdar EROL<sup>1\*</sup>, Bilal MUTLU<sup>1</sup>, Bihter EROL<sup>1</sup>, Serkan KATIGÖZ<sup>1</sup>, Reha Metin ALKAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Sorumlu yazar e-posta: erol@itu.edu.tr  
e-posta: mutlubil@itu.edu.tr  
e-posta: bihter@itu.edu.tr  
e-posta: katigoz15@itu.edu.tr  
e-posta: alkanr@itu.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7100-8267>  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9763-0345>  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0854-788X>  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2070-1491>  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1981-9783>

Geliş Tarihi: 01.07.2020

Kabul Tarihi: 12.10.2020

### Öz

Küresel ısınmanın etkisi ile kutup bölgelerinde meydana gelen iklim değişikliklerinin takibi, atmosfer fiziğinin daha iyi ortaya konulabilmesi, buzullardaki deformasyonların ve tektonik hareketlerin sürekli olarak izlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Bu kapsamda GNSS (Global Navigation Satellite System-Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) ve uzaktan algılama uyduları küresel çaptaki afetlerin izlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. GNSS'i oluşturan uydu sistemlerinin en temel parçası olan GPS uydularının yörüngelerinin ekvatora göre 55° eğime sahip olmasından dolayı kutup bölgelerinde başucu doğrultusu çevresinde uydu gözlemleri kısıtlı olmaktadır. Ayrıca, kutup bölgelerinde yaz ve kış aylarında gün ışığı süresi ve hava koşulları büyük farklılıklar göstermektedir. Bu nedenlerden dolayı kutup bölgelerinde yapılacak GPS ölçmelerine etki eden atmosfer kaynaklı hataların giderilmesi daha fazla önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında PPP tekniğinin Antarktika Kıtasındaki performansı araştırılmıştır. Bu amaçla, Antarktika Kıtasında UNAVCO'ya ait sürekli gözlem yapan HUGO ve HOWE sabit GPS istasyonlarına ait farklı mevsimlerdeki 30 saniye aralıklı günlük gözlem verileri statik ve kinematik PPP yöntemiyle değerlendirilmiştir. Çalışmada, günümüzün en yaygın kullanılan online GNSS değerlendirme servislerinden birisi olan Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-PPP) servisi ve açık kaynak kodlu akademik bir yazılım olan RTKLIB kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre PPP tekniği ile elde edilen koordinatların, AUSPOS online rölatif konumlandırma servisi ile elde edilen ve bilinen olarak kabul edilen koordinatlarla statik çözümlerde milimetre, kinematik çözümlerde ise santimetre mertebesinde farklara sahip olduğu görülmüştür.

### Anahtar kelimeler

Antarktika; GNSS;  
Hassas Nokta  
Konumlama; PPP;  
Troposfer; İyonosfer

## Performance Analysis of Precise Point Positioning (PPP) Technique in Antarctica Continent

### Abstract

It is of great importance to observe the climate changes that occur in the polar regions with the effect of global warming, to better reveal the atmospheric physics, and to continuously monitor the deformations and tectonic movements in the glaciers. In this context, GNSS (Global Navigation Satellite System) and remote sensing satellites are widely used in the monitoring of global disasters. As one of the most fundamental components of GNSS, GPS satellites have inclined orbits 55° with respect to the equator, therefore around the zenith direction the satellite observations are limited in the polar regions. Also, the daylight duration and weather conditions vary greatly in the polar regions in summer and winter times. For these reasons, eliminating the effects of atmospheric errors on GPS measurements in polar regions is much more crucial. In this study, the performance of PPP technique in Antarctica Continent was investigated. For this purpose, the daily observations with 30-second sampling rates from different seasons belong to HUGO and HOWE continuous GPS stations of UNAVCO in the Continent, were processed with static and kinematic PPP methods. In the study, Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-PPP) online service, and RTKLIB, an open source academic software, were used. In results of the study, it is seen that the coordinates obtained with PPP technique have differences with the known coordinates of the points obtained from the AUSPOS online relative positioning service are in millimeter for static solutions and in centimeter for kinematic solutions, respectively.

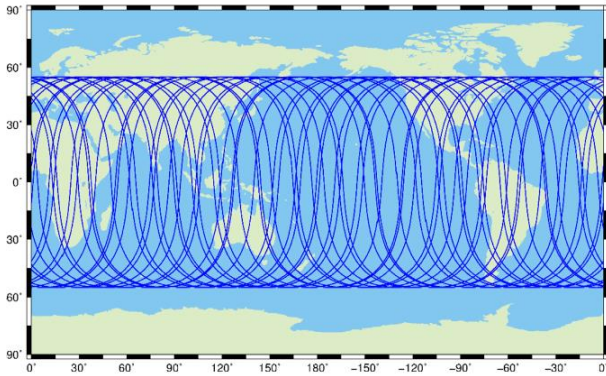
### Keywords

Antarctica; GNSS;  
Precise Point  
Positioning; PPP;  
Troposphere;  
Ionosphere

## 1. Giriş

Uydu konumlandırma sistemlerindeki gelişmeler küresel çaptaki ve sürekli gözlem gerektiren afetlerin takibini kolaylaştırmaktadır. GNSS (Global Navigation Satellite System-Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) ölçmeleri ile statik veya kinematik olarak oldukça yüksek doğrulukla konum, hız ve zaman belirlenebilmektedir. GNSS ayrıca, atmosferin yapısı, küresel ısınma, meteorolojik tahminler, deniz seviyesi değişimleri ve ayrıca buzulların erimesinin izlenmesi ve değişimlerin belirlenmesi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Yuan vd., 1993). Ancak GNSS yöntemi ile elde edilecek konum doğruluğu, uygulanacak ölçme ve değerlendirme yöntemine ve ayrıca ölçmelerde kullanılan donanımlara bağlıdır. Günümüzde GNSS ile konum belirleme yöntemlerinden PPP (Precise Point Positioning-Hassas Nokta Konumlama) tekniği, sahip olduğu pek çok önemli avantajıyla klasik rölatif konum belirleme yöntemlerine karşı güçlü bir alternatif oluşturmuştur (Krasuski vd., 2018; DeSanto vd., 2019).

GNSS sisteminin bir parçası olan GPS uydularının yörüngeleri ekvator ile 55° eğim yapan eliptik bir şekle sahiptir. Bu nedenle kutup bölgelerine yaklaştıkça GPS uydularından ancak belirli bir ufuk yüksekliğine kadar ölçme yapılabilmektedir. Bir başka ifadeyle kullanıcının başucu doğrultusu ve çevresinde GPS uyduları gözlemlenememektedir (Şekil 1). Bu durum kutuplarda belirli bir boşluk oluşturarak, bu bölgelerde yapılacak konum belirleme çalışmalarının performansını olumsuz olarak etkilemektedir.



Şekil 1. GPS uydularının yeryüzü izleri (Li vd., 2019)

Ayrıca, kutup bölgelerinde, gün ışığı süresi ve mevsime göre iklim değişikliği çarpıcı bir şekilde hissedilmektedir. Güney kutup noktası ile yaklaşık 67° güney enlemi arasında kalan bölgelerde her yıl, yılın belirli günlerinde güneş hiç batmamaktadır ve aynı zamanda güneşin asla doğmadığı günler de bulunmaktadır. Fakat tamamen karanlık ve aydınlık yani güneşin hiç doğmadığı ve batmadığı günler yalnızca 72° güney enlemi ile güney kutup noktası arasında kalan alanda mümkündür (Int Kyn. 1).

Atmosferin İyonosfer tabakasındaki gecikme GNSS ile konum belirlemede hataya neden olmaktadır. İyonosfer, uydu ile alıcı arasındaki görüş-hattı (line-of-sight) boyunca toplam elektron sayısı olan Toplam Elektron İçeriği (Total Electron Content-TEC) tarafından miktarı belirlenmiş serbest yüklü elektronların bulunduğu bir bölgedir. Toplam elektron içeriği, günlük, aylık, sezonluk ve tahmini 11 yıllık güneş döngüsünün varyasyonlarını içerir (Huang ve Roussel-Dupré, 2005). Aynı zamanda bu gecikme coğrafi konuma göre değişir. GPS ile konum belirlemede ölçmeleri etkileyen İyonosferik ve Troposferik gecikmeler farklı yaklaşımlarla modellenir veya kestirilir.

Ulusal literatürde, PPP tekniğinin Antarktika Kıtasındaki statik ve kinematik performansını inceleyen oldukça kısıtlı çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan Alkan ve Erol (2019)'da, zorlu atmosferik ve topografik koşullara sahip olan Antarktika Kıtasında PPP yönteminin statik GNSS uygulamalarında kullanılabilirliği ve yöntem ile ulaşılabilen doğruluklar araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, tek bir alıcı ile toplanan verilerin PPP yöntemi ile değerlendirilmesiyle santimetre mertebesindeki doğruluklarla 3B konum belirlemenin mümkün olduğu ifade edilmiştir. Diğer bir çalışma da Bezcioglu vd. (2019) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, Antarktika Kıtasında kinematik olarak denizde toplanan iki farklı gündeki GNSS verilerinin klasik PPP ve PPP-AR (PPP-Ambiguity Resolution) sonuçları rölatif yöntemden elde edilen koordinatlarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonuçlarına göre PPP-AR sonuçlarının klasik PPP sonuçlarına göre rölatif koordinatlarla daha tutarlı olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında GPS uydu sistemi ile Antarktika Kıtasında Hassas Nokta Konumlama (PPP) Yönteminin performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 72° güney enleminden daha küçük ve daha büyük enlemlerde olmak üzere iki farklı GPS istasyonunun farklı mevsimde ve farklı gün ışığına sahip günlerdeki verileri kullanılmıştır. Veriler, online GNSS değerlendirme servisi olan CSRS-PPP servisi ve açık kaynak kodlu GNSS değerlendirme yazılımı olan RTKLIB yazılımı kullanılarak, PPP tekniği ile farklı çözüm stratejileriyle değerlendirilmiştir. Elde edilen PPP koordinatları, online GPS rölatif konumlandırma servisi olan AUSPOS servisinden elde edilen koordinatlarla karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

PPP yöntemi ile hassas konum belirleme yapılabilmesi için yalnızca tek bir GNSS alıcısı ile toplanan verilere ve başta International GNSS Service (IGS) olmak üzere farklı analiz merkezleri tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat ürünlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Rölatif konumlandırmanın aksine PPP başka bir GNSS alıcısı verisine (örneğin bir referans istasyon gözlemlerine) ihtiyaç duymadığı için iş gücünü ve ölçme maliyetlerini anlamlı bir şekilde azaltmaktadır. Yöntem her ne kadar 1970'li yıllarda R.J. Anderle (Anderle, 1976) tarafından gündeme getirilmiş olsa da, günümüzdeki anlamıyla ilk kez Zumberge ve diğ. (1997) tarafından uygulanmıştır. Anılan çalışmada çift frekanslı GPS alıcıları ile toplanan pseudorange kod ve taşıyıcı faz ölçmeleri kullanılmış ve PPP tekniği ile oldukça yüksek doğrulukta konum belirlenebildiği ortaya konulmuştur. Sadece GPS uydu sistemi kullanılarak yöntemin santimetre düzeyinde konumlandırma doğruluğu sunduğu pek çok akademik çalışmada belirtilmiştir (Choy vd., 2017). Kullanıcıların talepleri doğrultusunda PPP zamanla gelişerek tek ve üçlü frekans sistemleri ile de çalışabilir hale getirilmiştir. PPP tekniği artık jeodezik çalışmalar, mühendislik ölçme uygulamaları, hassas tarım, deniz konumlandırma, afet izleme, havadan ve yerden mobil haritalama, otonom araç navigasyonu vb. birçok uygulamada

oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Alkan vd., 2020). Ayrıca, daha yüksek doğruluk, kullanılabilirlik ve güvenilirliğe sahip olmak için, günümüzde çoklu GNSS-PPP konsepti uygulanmaktadır. Uydu yörüngeleri ve saat hataları, atmosferik etkiler ve alıcıyla ilgili hatalar ve diğer tüm hata kaynakları PPP tekniğinin doğruluğunu etkilemektedir. Yüksek konumlandırma doğruluğu sağlamak için, PPP çözümlerinde tüm potansiyel hataların ve sistematik etkilerin modellenerek giderilmesi gerekmektedir (Kouba ve Héroux, 2001). Hatalar dahil edilmiş temel PPP ölçme eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$P_i = \rho + d_{yör} + c(d_{t^r} - d_{t^s}) + T + I_i + d_{röl} + d_{afm} + d_k + b_{P_i^r} - b_{P_i^s} + \varepsilon(P_i) \quad (1)$$

$$L_i = \rho + d_{yör} + c(d_{t^r} - d_{t^s}) + T - I_i + \lambda_i N_i + d_{röl} + d_{afm} + d_k + d_{pw/L_i} + b_{L_i^r} - b_{L_i^s} + \varepsilon L_i \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitliklerde  $i$  frekans indeksini,  $P_i$  kod ölçmelerini (m),  $L_i$  faz ölçmelerini (m),  $\rho$  uydu ve alıcı arasındaki geometrik uzaklığı (m),  $d_{yör}$  uydu yörünge hatasını (m),  $c$  ışık hızını (m/sn),  $d_{t^r}$  alıcı saat hatasını (sn),  $d_{t^s}$  uydu saat hatasını (sn),  $T$  troposferik gecikmeyi (m),  $I_i$  söz konusu frekanstaki dalganın iyonosferik gecikmesini (m),  $\lambda_i$  taşıyıcı dalganın dalga boyunu (m),  $N_i$  söz konusu frekanstaki dalgaya ait başlangıç faz bilinmeyenini,  $d_{röl}$  özel ve genel görellilik ve Sagnac etkilerini içeren rölativistik etkiyi (m),  $d_{afm}$  anten faz merkezi hatalarını (m),  $d_k$  okyanus, kara ve atmosfer gelgit yüklem hatalarını (m),  $d_{pw/L_i}$  söz konusu frekansın faz dönmesi (wind-up) etkisini (m),  $b_{L_i^r}$  ve  $b_{L_i^s}$  söz konusu frekanstaki alıcı ve uydu faz sapma değerlerini (m) ve  $\varepsilon(P_i)$  ve  $\varepsilon(L_i)$  multipath etkisi dâhil diğer ölçme hatalarını (m) ifade eder (Gao, 2015).

Sahada toplanan verilerin PPP tekniği ile değerlendirilmesinde mutlaka bir GNSS yazılımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için pek çok bilimsel ve ticari yazılım mevcut olmakla birlikte, bu yazılımlarla GNSS verilerinin değerlendirilebilmesi için belirli bir düzeyde teorik GNSS bilgisine gereksinim duyulmaktadır. Ayrıca bu yazılımların çoğunda lisans ücreti ödenmesi de gerekmektedir. Diğer yandan anılan bu dezavantajlar olmaksızın,



çok daha kolay bir şekilde verilerin değerlendirilmesine imkân tanıyan web-tabanlı online (çevrimiçi) GNSS değerlendirme servisleri de kullanıma sunulmuştur. İzleyen kısımda, bu konuda temel bazı bilgiler verilmiştir.

## **2.1 Web-Tabanlı GNSS Veri Değerlendirme Servisleri**

Günümüzde farklı kurum, üniversite ve araştırma merkezleri tarafından geliştirilip kullanıma sunulan, sahada toplanan tek veya çok-frekanslı statik/kinematik GNSS verilerini PPP veya rölatif yöntem ile değerlendirebilen, noktaların koordinatlarının hesaplanmasına imkan tanıyan, kullanıcılarına sınırsız olarak hizmet veren web-tabanlı çevrimiçi GNSS değerlendirme servisleri bulunmaktadır. Web-tabanlı bu servislerin temel avantajları, ücretsiz, hızlı ve kolay kullanıma sahip olmalarıdır (Bahadur ve Üstün, 2014). Kullanıcılarının (çoğunlukla) yapması gereken, topladıkları verileri ilgili servisin ara yüzlerini kullanarak veya e-posta/FTP aracılığıyla göndermekten ibarettir. İnternete bağlı bir bilgisayar ve geçerli bir e-posta adresinin yeterli olduğu bu tür servisleri kullanılabilmek için çok temel düzeyde GNSS bilgisi yeterli olmaktadır. Zira kullanıcıların değerlendirme stratejisini seçmeleri (statik/kinematik), anten tipi/yüksekliğini girmeleri, hız modelini seçmeleri gibi temel birkaç seçeneği belirtmeleri yeterli olmaktadır. Veriler gönderildikten hemen sonra servisler değerlendirmeye başlamakta, internet hızına ve sunucu yoğunluğuna bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle oldukça kısa bir süre içerisinde (tipik olarak birkaç dakika) değerlendirme işlemi tamamlanmaktadır. Değerlendirme sonuçları ve bu sürece ilişkin pek çok bilgiyi, grafiği ve tabloyu içeren raporlar, kullanıcının sisteme tanıttığı e-posta adresine gönderilmektedir.

Halen yaygın olarak kullanılan değerlendirme servislerinin hangi yöntemle nokta konumlarını hesapladıkları, Çizelge 1' de verilmiştir.

Bu çalışmada noktaların PPP yöntemi ile koordinatlarının belirlenmesinde Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-

PPP) servisi ve ayrıca açık kaynak kodlu RTKLIB yazılımı kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** İnternet tabanlı GNSS veri değerlendirme servisleri.

| Konumlandırma: | Rölatif Yöntem |              | PPP    |           |
|----------------|----------------|--------------|--------|-----------|
|                | Statik         | Hızlı Statik | Statik | Kinematik |
| AUSPOS         | ✓              | -            | -      | -         |
| OPUS           | ✓              | ✓            | -      | -         |
| SCOUT          | ✓              | -            | -      | -         |
| CSRS-PPP       | -              | -            | ✓      | ✓         |
| Trimble RTX-PP | -              | -            | ✓      | -         |
| APPS           | -              | -            | ✓      | ✓         |
| Magic GNSS     | -              | -            | ✓      | ✓         |
| GAPS           | -              | -            | ✓      | ✓         |

Diğer yandan literatürde yüksek doğrulukla rölatif konumlama yaptığı ifade edilen (Bahadur ve Üstün, 2014) güvenilir bir servis olan AUSPOS, PPP yönteminden elde edilen koordinatların doğruluklarının analizi için gereken referans koordinatların elde edilmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan söz konusu bu iki çevrimiçi servis (CSRS-PPP ve AUSPOS) ile ilgili temel bilgiler, izleyen kısımlarda verilmiştir.

### **CSRS-PPP**

Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-PPP) Servisi, Natural Resources Canada kuruluşunun 2003 yılından beridir çevrimiçi olarak kullanıma sunduğu bir PPP konum belirleme servisidir. Bu servis tek veya çift frekanslı alıcılarda statik veya kinematik olarak toplanan GNSS verilerini kabul etmektedir. Hâlihazırda CSRS-PPP, yüksek veri toplama sıklığında (<1 sn ölçme intervalinde) toplanmış verilerin değerlendirmesini yapabilen güncel tek servistir. Ayrıca, GPS uydu sisteminin yanında GLONASS verilerini de değerlendirme kabiliyetine de sahiptir. Servisin yakın bir zamanda başlangıç faz bilinmeyenini tamsayı olarak çözen PPP-AR servisini başlatacağı ifade edilmektedir. CSRS-PPP değerlendirme servisi hakkında daha detaylı bilgiler Donahue vd. (2018) ve servisin web sayfasında yer almaktadır (Int Kyn. 2).

### **AUSPOS (Australian Online GPS Processing Service)**

AUSPOS, Geoscience Australia tarafından geliştirilen web-tabanlı rölatif yöntemle konum belirleyen,



ücretsiz bir değerlendirme servisedir. Değerlendirme için kullanıcıların statik olarak gözlemlenen çift frekanslı en az 1 saatlik (tavsiye edilen iki saat) GPS RINEX verilerini, anten tipi ve anten yüksekliği bilgilerinde girip, web sayfası arayüzünden yüklemeleri yeterli olmaktadır. AUSPOS, ilgili RINEX dosyasını değerlendirip, Avustralya 2020 Yermerkezli (Geocentric) Datumu (GDA2020), Avustralya 1994 Yermerkezli (Geocentric) Datumu (GDA94) ve Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi (ITRF) datumundaki koordinatları içeren raporları hazırlar ve kullanıcıların e-posta adreslerine gönderir. AUSPOS sadece çift frekanslı, 30 saniye aralıklı GPS gözlemlerini değerlendirmektedir. Servis, ölçme yapılan noktaya en yakın maksimum 15 IGS ve/veya Asya-Pasifik Referans Ağı (APREF) istasyonunu ve mevcut en iyi IGS ürünlerini kullanarak rölatif yöntemle noktaların konumlarını akademik bir yazılım olan Bernese ile hesaplamaktadır. <http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl> adresinden ulaşılan AUSPOS değerlendirme servisi hakkında daha detaylı bilgiler servisin web sayfasında yer almaktadır (Int Kyn. 3).

## **2.2 RTKLIB Yazılımı**

RTKLIB, GNSS ölçüleri ile rölatif ve mutlak konumlandırma yapabilen açık kaynak kodlu bir masaüstü yazılım paketidir. Yazılım Tokyo Üniversitesi Deniz Bilimi ve Teknolojisi bölümü tarafından geliştirilmiş olup GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou ve SBAS gibi uydu sistemlerinin verilerini değerlendirebilmektedir. RTKLIB, sahada toplanan veriler için ölçme-sonrası (post-process) değerlendirme imkânı sunmakla birlikte, gerçek zamanlı çalışmalarda da kullanılabilir. Yazılım çoklu-GNSS verilerini statik ve kinematik olarak değerlendirebilme kabiliyetine sahiptir (Int Kyn. 4).

## **3. Uygulama**

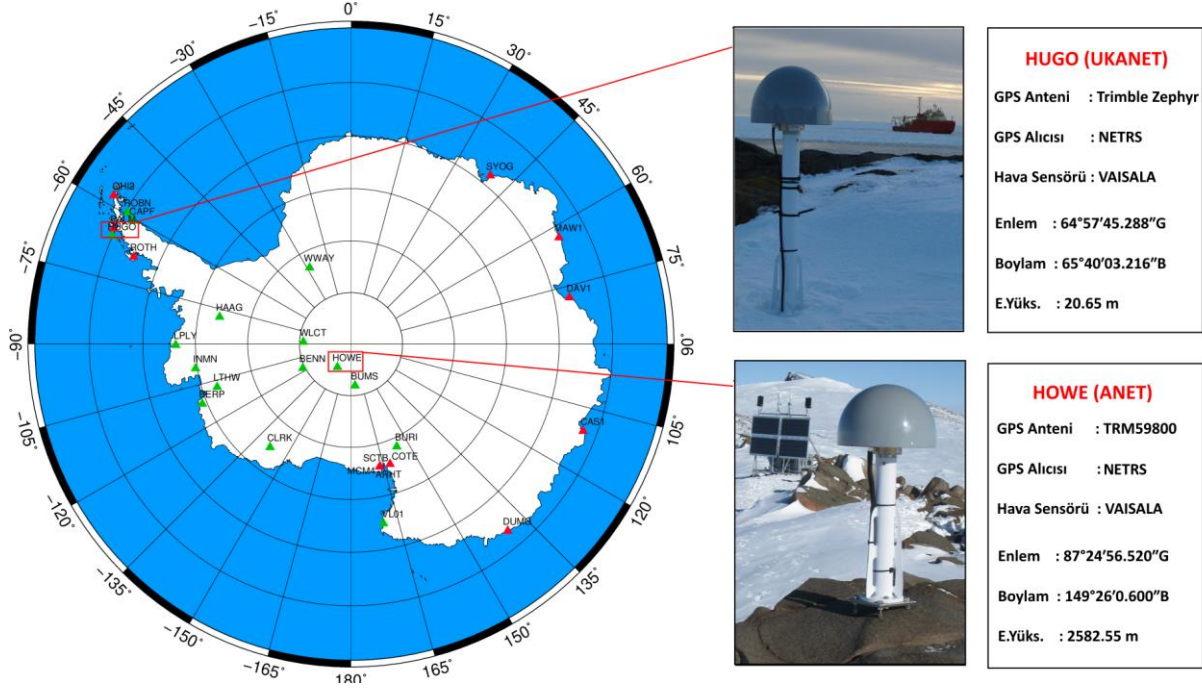
### **3.1 Çalışma Alanı, Seçilen İstasyonlar ve Veriler**

Australian Antarctic Division'ın verilerine göre, Antarktika kıtası 4 km kalınlığa kadar buzla kaplı bir kara küttüsidir. En yüksek noktası yaklaşık olarak deniz seviyesinden 4 km yukarıdadır. Antarktika dünyanın en yüksek, en kurak, en rüzgârlı ve en

soğuk kıtasıdır. Antarktika Yarımadası 2500 metre ortalama yüksekliği ile tüm kıtaların en yüksek unvanına sahiptir. Sıcaklığın düşük seviyede olmasından dolayı kutup bölgelerinde nem oranları düşüktür ve neredeyse dünyanın en sıcak çöllerinde karşılaşılabilen nem oranlarına sahiptir. Böylesi iklimsel ve atmosferik özelliklerinden dolayı Antarktika yaşam için dünyanın en zorlu koşullarına sahip olan bölgelerinden biridir ve aynı zamanda yine bu koşullar GPS ölçmeleri için de çeşitli kısıtlamalara sebep olmaktadır. Mevsimsel etkilerin yanı sıra Antarktika yaz ve kış aylarında gün ışığı süresi yönünden aşırı farklılık göstermektedir. Antarktika'nın yazları tüm gün aydınlık, kışları ise tüm gün karanlık geçen bölgeleri vardır.

UNAVCO Kutup Hizmetleri, POLENET olarak adlandırılan Antarktika (ANET) ve Grönland (GNET) ağları ve benzeri birçok Jeodezik Kutup Gözlem Ağının kurulmasını, devamlılığını ve yönetimini yürütmektedir. Bu GNSS ağları, kutup bölgelerinde yapılan yer bilimleri çalışmaları için konum bilgisi üretiminde kullanılmakla beraber aynı zamanda küresel jeodezik ve jeofizik çalışmalarına da katkı sağlamaktadır. Antarktika'da UNAVCO istasyonları haricinde IGS ağına ait istasyonlar da mevcuttur. Bu istasyonların dağılımı, bu çalışmada kullanılan HUGO ve HOWE noktaları ile birlikte Şekil 2'de verilmiştir. HUGO ve HOWE istasyonları, Antarktika Kıtasındaki sırasıyla UNAVCO UKANET ve ANET ağının sürekli gözlem yapan GPS istasyonlarındandır.

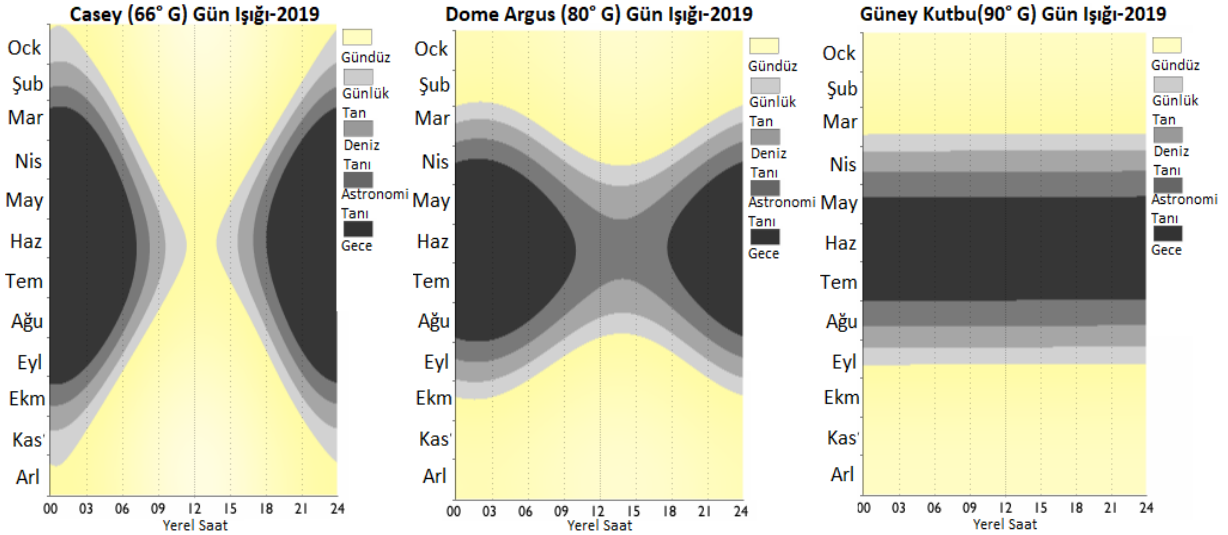
Şekil 2'de verilen yeşil renkli noktalar UNAVCO' nun ANET istasyonlarını, kırmızı renkli noktalar ise IGS istasyonlarını göstermektedir. Şekilde UKANET ağının HUGO istasyonu da yeşil renkte gösterilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen, farklı enlemlerde bulunan, sadece GPS verisi ve ayrıca meteorolojik veri toplayan UNAVCO ANET istasyonu olan HOWE, güney kutup noktasına en yakın; HUGO UKANET istasyonu ise en uzak istasyondur. Antarktika'daki Hugo Adası'nda bulunan HUGO istasyonu UNAVCO Kutup Projeleri kapsamında 02.04.2009 tarihinde tesis edilmiştir. Howe Dağı'nda bulunan HOWE istasyonu ise yine aynı proje kapsamında 21.12.2009 tarihinde tesis edilmiştir.



Şekil 2. Antarktika IGS ve UNAVCO istasyonları ve çalışma için seçilen istasyonlar

Bu çalışma kapsamında, GPS istasyonlarında gece ve gündüz sürelerinin maksimum olduğu kış (hep karanlık) ve yaz (hep aydınlık) gündönümü tarihlerine yakın olan 03.06.2018 (GPS Günü 154) ve 20.12.2018 (GPS Günü 354) tarihlerindeki 24 saatlik 30 saniye aralıklı RINEX gözlem verileri değerlendirilmiştir. Böylelikle, farklı mevsimlerde ve

farklı günışığına sahip zamanlarda seçilen bu verilerle, hava şartlarının ve gün ışığının iyonosferik ve troposferik modellere etkisinin ve dolayısıyla PPP çözümlerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Antarktika'da farklı enlemlerdeki gün ışığı süreleri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Antarktika'da farklı enlemlerde günışığı süreleri (Int Kyn. 1)

İstasyonlardan elde edilen meteorolojik verilere göre, iki farklı mevsimdeki hava durumu verileri

(basınç, kuru sıcaklık ve bağıl nem) günlük ortalama olarak Çizelge 2'de verilmiştir.

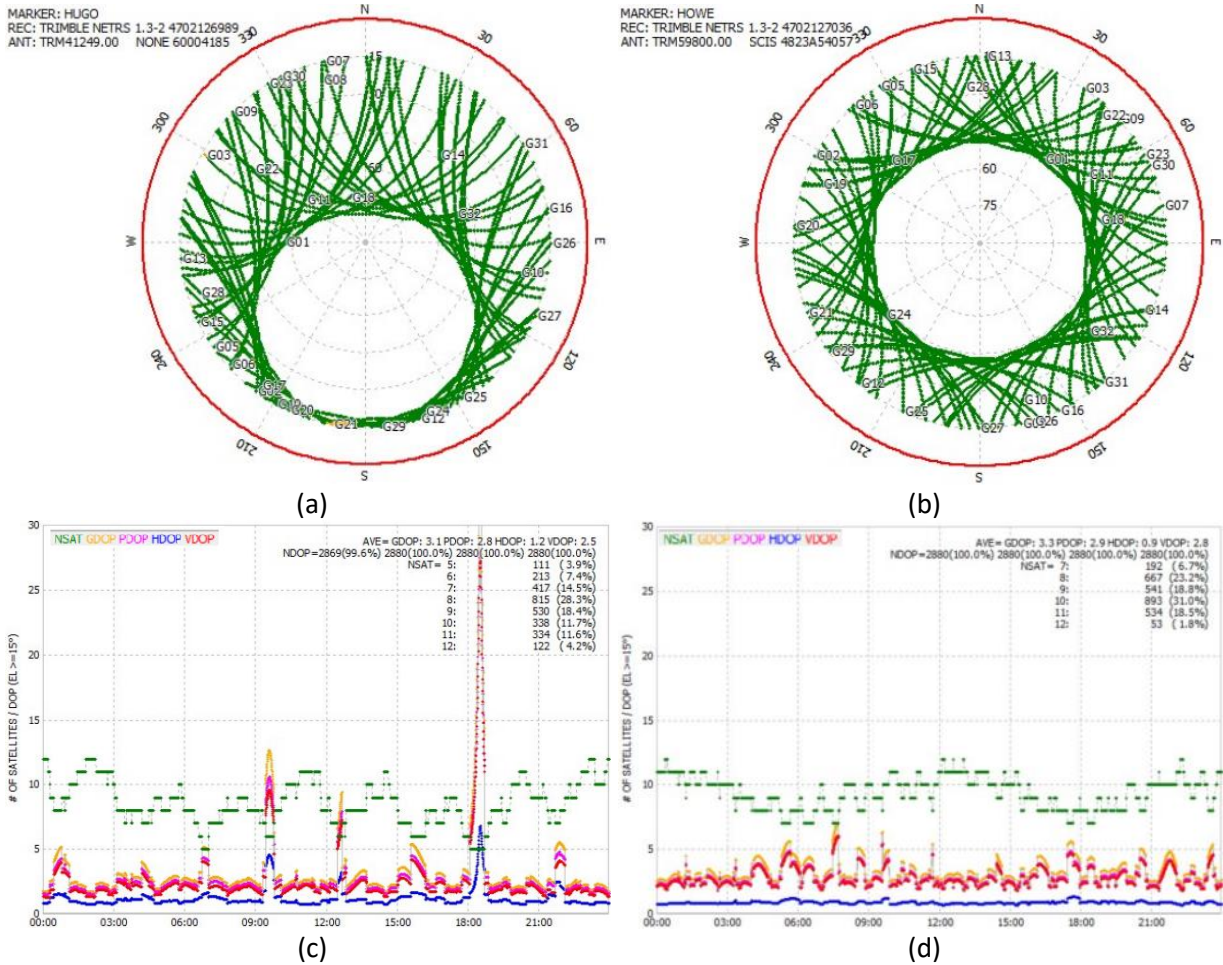
**Çizelge 2.** GPS istasyonlarındaki atmosferik koşullar.

| İstasyon<br>(GPS Günü) | Basınç<br>(mbar) | Kuru<br>Sıcaklık<br>(°C) | Bağıl<br>Nem<br>(%) | Mevsim |
|------------------------|------------------|--------------------------|---------------------|--------|
| HUGO (154)             | 994.60           | -0.72                    | 97.61               | Kış    |
| HUGO (354)             | 984.86           | -0.48                    | 86.49               | Yaz    |
| HOWE (154)             | 684.61           | -40.54                   | 72.71               | Kış    |
| HOWE(354)              | 718.94           | -13.84                   | 84.80               | Yaz    |

Çizelge 2 incelendiğinde, Güney Kutup noktasına daha yakın olan HOWE istasyonundaki iklimsel

koşulların, HUGO istasyonuna göre çok daha zorlu olduğu kolayca görülmektedir.

Çalışmada kullanılan GPS istasyonları farklı enlemlerde bulunduğundan, gökyüzünde görülebilen uyduların dağılımı farklıdır. Şekil 4a ve 4b, herhangi bir günde HUGO ve HOWE istasyonunda 15° eğim açısının üstündeki uyduların 24 saatlik dağılımını göstermektedir.



**Şekil 4.** HUGO (sol) ve HOWE (sağ) istasyonlarına ait günlük izlenen uyduların durumu (üstte), sayısı ve DOP değerleri (altta)

Şekil 4a'daki çizimin merkezi HUGO istasyonunun konumunu ifade etmektedir. İstasyonun kuzeyindeki uydular daha yüksek eğimlere (80°) çıkmakta ve daha fazla izlenebilmektedir. Güneyinde gözlenen uyduların ise görüş süreleri daha azdır, çünkü GPS uydusu sisteminin yörünge eğimi 55° olduğu için buradaki GPS uydularının eğim açısı maksimum 20° olabilmektedir.

HUGO istasyonundaki DOP (Dilution of Precision-Duyarlılık Kaybı) değerlerinin ve uydularının

zamana göre değişimleri Şekil 4c'de verilmiştir. Ayrıca DOP ve uyduların sayısı değerlerinin istatistikleri grafiğin sağ üst köşesinde gösterilmektedir. Burada HUGO noktası için, 24 saatlik zaman dilimindeki ortalama uyduların sayısının 8, uyduların geometrisinin hesaplanan yatay ve dikey koordinatlara etkisini gösteren PDOP değerinin de 2.8 olduğu görülmektedir.

HOWE istasyonu güney kutup noktasına çok daha yakın olduğundan HUGO istasyonuna göre 50° eğim

açısının altında daha homojen bir uydu dağılımına sahiptir (Şekil 4b). Fakat bu noktada her yönde GPS uyduları maksimum 50° eğim açısına kadar yükselebilmektedir. Bir gün boyunca HOWE istasyonunda izlenen ortalama toplam uydu sayısı 10, PDOP değeri ise 2.9 dur (Şekil 4d). HOWE istasyonunda gözlemlenen uydu sayısının gün içerisindeki değişimi (minimum ve maksimum uydu sayısı arasındaki fark) HUGO istasyonundan daha azdır. HOWE istasyonunda daha fazla uydu izlenmiş gibi görünse de HUGO istasyonundaki DOP değerleri daha iyidir.

### 3.2. Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışmada kullanılan istasyonlara ait farklı mevsimlerdeki RINEX verilerinin değerlendirilmesi aşağıda açıklanan şekilde gerçekleştirilmiştir.

#### CSRS-PPP Çözümleri

Veriler, her istasyon ve her iki zaman için, web-tabanlı CSRS-PPP servisi kullanılarak PPP-Statik ve PPP-Kinematik olarak değerlendirilmiştir. Toplanan veriler statik modda olmasına karşın, kinematik değerlendirme seçeneği seçilerek, her bir ölçme epöğünün PPP tekniği ile koordinatları (PPP-Kinematik) belirlenmiştir. Verilerin PPP tekniği ile değerlendirilmesi sırasında CSRS-PPP servisinin kullandığı parametreler Çizelge 3’de verilmiştir.

#### RTKLIB Çözümleri

CSRS-PPP çözümlerine benzer olarak, kutup noktasına yakın olduğu için, sadece HOWE istasyonunun yaz ve kış mevsimlerindeki verilerinin 30 saniye aralıklı günlük PPP-Statik çözümleri RTKLIB yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.

RTKLIB masaüstü yazılımı kullanıcıya değerlendirme parametreleri seçiminde müdahale imkânı verdiği için bu çözümlerde farklı atmosferik modeller denenmiş ve farklı alternatiflerle çözümler gerçekleştirilmiştir. İyonosferik Gecikme için İyonosfer-Bağımsız Kombinasyonu (Iono-Free LC) ve İyonosfer-Kestirimli (Estimate TEC) modeller kullanılmıştır. Troposferik gecikme için ise Troposfer-Kestirimli (Estimate+ZTD) modeli ve Saastamoinen modeli kullanılmıştır.

Farklı İyonosferik modellerin karşılaştırılması amacı ile, İyonosfer-Bağımsız Kombinasyonu ve İyonosfer-Kestirimli modellerin arasındaki farkı görmek için Troposferik düzeltme modeli olarak Troposfer-Kestirimli model sabit seçilip iki farklı zaman için çözümler gerçekleştirilmiştir. Troposfer model testi için ise İyonosfer-Bağımsız Kombinasyon sabit seçilip, troposfer modeli olarak Troposfer-Kestirimli ve Saastamoinen modelleri seçilip iki farklı zaman için ayrıca yeni çözümler oluşturulmuştur.

Öncelikle, İyonosfer-Bağımsız Kombinasyonu ve Troposfer-Kestirimli modelleri içeren kış ve yaz dönemine ait PPP-Statik çözümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra İyonosfer-Kestirimli ve Troposfer-Kestirimli modelleri içeren kış ve yaz dönemine ait PPP-Statik çözümleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak ise İyonosfer-Bağımsız Kombinasyonu ve Saastamoinen modelleri içeren kış ve yaz dönemine ait PPP-Statik çözümleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. AUSPOS ve CSRS-PPP servislerinin bu çalışmadaki verileri değerlendirirken kullandıkları parametreler.

| Özellikler:                        | AUSPOS                  | CSRS-PPP              |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Kullanılan Yazılım                 | Bernese Versiyon 5.2    | SPARK v.2             |
| Değerlendirme Metotları            | Rölatif-Statik          | PPP-Statik/Kinematik  |
| Uydu Sistemleri                    | GPS                     | GPS                   |
| Gözlem Türleri                     | Kod&Faz                 | Kod&Faz               |
| Gözlem Aralığı                     | 30 sn                   | 30 sn                 |
| Eğim açısı                         | 7 derece                | 7.5 derece            |
| Uydu Yörünge ve Saat               | IGS Final Precise       | IGS Final Precise     |
| Faz Merkezi Değişimleri            | IGS (ATX)               | IGS (ATX)             |
| İyonosferik Model                  | L1&L2 (L3) modeli       | L1&L2 (L3) modeli     |
| Troposferik Model                  | DRY-GMF                 | GPT-GMF               |
| Troposferik Başucu Gecikmesi       | Tahmin (Kestirim)       | Tahmin (Kestirim)     |
| Taşıyıcı Faz Tam Sayı Belirsizliği | Baza göre integer çözüm | Integer olmayan çözüm |
| Referans Sistemi                   | ITRF                    | ITRF                  |

### AUSPOS Rölatif Statik Koordinat Çözümleri

Çalışmanın amacı Antarktika Kıtasında PPP tekniğinin farklı iklim koşullarında, farklı günüşi sürelerinde ve farklı atmosferik modellerle performansının analizi olduğu için, elde edilen PPP koordinatlarının karşılaştırılacağı, bilinen nokta koordinatlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle değerlendirmenin son aşamasında web-tabanlı AUSPOS (Australian Online GPS Processing Service) değerlendirme servisi kullanılarak rölatif statik yöntemle noktaların yaz ve kış mevsimindeki günlere ait (bilinen olarak kabul edilecek) koordinatları elde edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi sırasında AUSPOS servisinin kullandığı parametreler Çizelge 3’de verilmektedir.

### 3.3. Sonuçların Karşılaştırılması

#### PPP-Statik

CSRS-PPP Statik yöntem ile farklı mevsimler için elde edilen sabit istasyonların koordinatları öncelikle birbirleriyle karşılaştırılmış, yatay konumda (2B) ve yükseklikte mm düzeyinde farklar elde edilmiştir (Çizelge 4). Buradan, PPP-statik ile konumlamada mevsimsel koşulların veya gün ışığı süresinin iki boyutlu konuma ve yükseklik bileşenine etkisinin mm mertebesinde ve anlamsız olduğu söylenebilir.

**Çizelge 4.** İki istasyon için iki farklı mevsimdeki CSRS-PPP Statik çözüm farkları.

| İstasyon İsmi | $\Delta$ Sağa (mm) | $\Delta$ Yukarı (mm) | $\Delta$ 2B (mm) | $\Delta$ h (mm) |
|---------------|--------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| HUGO          | 4.0                | 2.0                  | 4.5              | 1.0             |
| HOWE          | 5.0                | 1.0                  | 5.1              | 5.0             |

Diğer yandan CSRS-PPP servisi kullanılarak elde edilen PPP-Statik koordinatları, AUSPOS servisi ile elde edilen noktanın bilinen koordinatlarıyla konum ve yükseklik için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Elde edilen farklar Çizelge 5’de verilmiştir.

**Çizelge 5.** CSRS-PPP-Statik ile AUSPOS bilinen (referans) koordinatlar arasındaki farklar.

| Mevsim | İstasyon İsmi | $\Delta$ Sağa (mm) | $\Delta$ Yukarı (mm) | $\Delta$ 2B (mm) | $\Delta$ h (mm) |
|--------|---------------|--------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| KIŞ    | HUGO          | 9.0                | 2.0                  | 9.2              | 3.0             |
|        | HOWE          | 0.0                | 0.0                  | 0.0              | 15.0            |
| YAZ    | HUGO          | 6.0                | 1.0                  | 6.1              | 9.0             |
|        | HOWE          | 1.0                | 2.0                  | 2.2              | 6.0             |

Çizelge 5’de verilen sonuçlara bakıldığında, 24

saatlik PPP-Statik çözümlerin rölatif (bilinen) koordinatlarla milimetre mertebesinde farklara sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuç, PPP-Statik yöntem ile milimetreler mertebesindeki doğruluklarla konumlamanın yapılabileceğini göstermektedir.

#### PPP-Kinematik

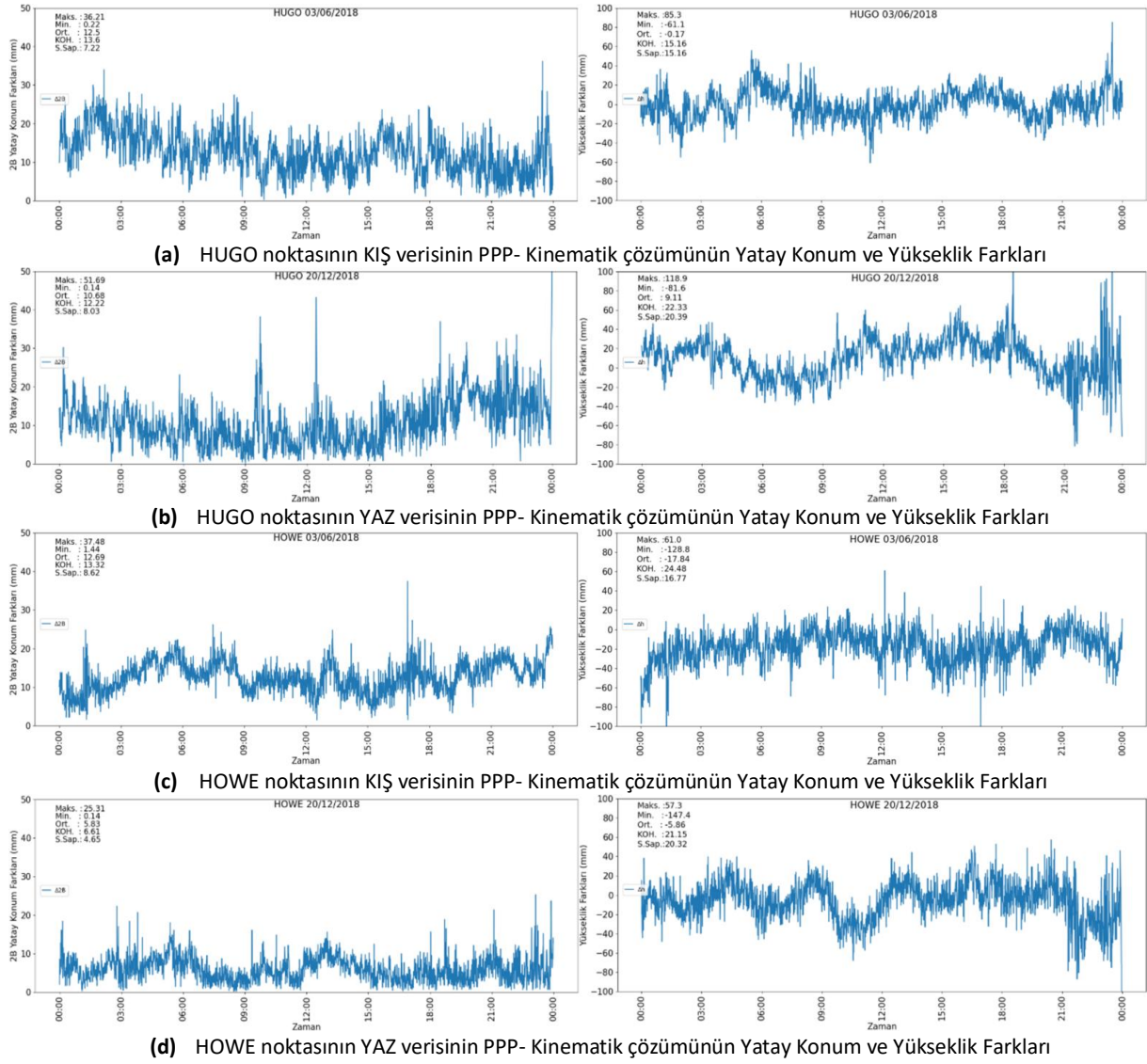
HUGO ve HOWE istasyonlarının yaz (hep aydınlık) ve kış (hep karanlık) mevsimlerindeki CSRS-PPP Kinematik çözümleri iki boyutlu (2B) konum ve yükseklik bileşeni olarak AUSPOS servisinden elde edilen referans koordinatlarla her bir ölçme epogu için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Şekil 5’te ve Çizelge 6’da verilmektedir.

**Çizelge 6.** HUGO ve HOWE istasyonlarının kış ve yaz verilerinin CSRS-PPP Kinematik çözümlerinin AUSPOS rölatif statik koordinatları ile karşılaştırılması.

| İstatistik                     | $\Delta$ Sağa (mm) | $\Delta$ Yukarı (mm) | $\Delta$ 2B (mm) | $\Delta$ h (mm) |
|--------------------------------|--------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| <b>HUGO - 03/06/2018 - KIŞ</b> |                    |                      |                  |                 |
| Ortalama                       | 9.6                | 6.3                  | 12.5             | -0.2            |
| KOH                            | $\pm 11.1$         | $\pm 7.8$            | $\pm 13.6$       | $\pm 15.2$      |
| <b>HUGO - 20/12/2018 - YAZ</b> |                    |                      |                  |                 |
| Ortalama                       | 7.4                | 6.3                  | 10.7             | 9.1             |
| KOH                            | $\pm 8.9$          | $\pm 8.4$            | $\pm 12.2$       | $\pm 22.3$      |
| <b>HOWE - 03/06/2018 - KIŞ</b> |                    |                      |                  |                 |
| Ortalama                       | 8.3                | 7.8                  | 12.7             | -17.8           |
| KOH                            | $\pm 9.6$          | $\pm 9.3$            | $\pm 13.3$       | $\pm 24.5$      |
| <b>HOWE - 20/12/2018 - YAZ</b> |                    |                      |                  |                 |
| Ortalama                       | 3.9                | 3.6                  | 5.8              | -5.9            |
| KOH                            | $\pm 4.9$          | $\pm 4.4$            | $\pm 6.6$        | $\pm 21.2$      |

Çizelge 6’dan görüldüğü gibi, her iki nokta için, iki mevsimde de elde edilen farklara ait Karesel Ortalama Hata (KOH) değerlerinin ortalaması benzerdir. Bu değerler, yatayda  $\pm 1$  cm ve düşeyde  $\pm 2$  cm olarak elde edilmiştir. HUGO noktasının yükseklik bileşeninin doğruluğu kış mevsiminde daha yüksektir. Kışın hep karanlık olmasının ve iyonosferik etkinin minimum olmasının bu durumun en önemli sebebi olabileceği değerlendirilmiştir. HOWE noktasının yükseklik ve yatay konum doğruluğu ise kış mevsiminde daha kötüdür. HOWE noktası kutup noktasına oldukça yakın olduğu için yoğun kış koşullarından olumsuz etkilenmiş, bu nedenle kış çözümünün kar yağışı nedeniyle çok-yolluluk (multipath) hatasına maruz kalmış olabileceği değerlendirilmiştir.





Şekil 5. HUGO ve HOWE noktalarının yaz ve kış verilerinin CSRS-PPP-Kinematik çözümlerinin bilinen koordinatlar ile Yatay Konum ve Yükseklik farkları

### RTKLIB

HOWE istasyonunun kış ve yaz dönemine ait verilerinin, 'İyonosfer-Bağımsız Kombinasyonu' ve 'Troposfer-Kestirimli' modelleri içeren PPP-Statik çözümleri Rölatif-Statik çözüm ile karşılaştırılmış, elde edilen farklar Çizelge 7a'da verilmiştir. Benzer şekilde, aynı verilerin, 'İyonosfer-Kestirimli' ve 'Troposfer-Kestirimli' modelleri kullanılarak elde edilen çözümleri de Rölatif-Statik çözüm ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen farklar Çizelge 7b'de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 7. Farklı Troposfer ve İyonosfer Modelleri yardımıyla HOWE noktasının yaz ve kış verilerinin RTKLIB PPP-Statik Çözümlerinin referans koordinatlarla karşılaştırılması

| Mevsim   | İstasyon | $\Delta$ Sağa<br>(mm) | $\Delta$ Yukarı<br>(mm) | $\Delta$ ZB<br>(mm) | $\Delta$ h<br>(mm) |
|--|----------|-----------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|
| (a) İyonosfer-Bağımsız ve Troposfer-Kestirimli Çözüm |          |                       |                         |                     |                    |
| KİŞ  | HOWE     | 3.2                   | 6.9                     | 8.2                 | 3.2                |
| YAZ  | HOWE     | 4.1                   | 0.3                     | 4.2                 | 2.2                |
| (b) İyonosfer ve Troposfer Kestirimli Çözüm          |          |                       |                         |                     |                    |
| KİŞ  | HOWE     | 11.8                  | 19.5                    | 22.8                | 150.5              |
| YAZ  | HOWE     | 12.8                  | 17.3                    | 21.5                | 116.9              |
| (c) İyonosfer Bağımsız ve Saastamoinen Çözüm         |          |                       |                         |                     |                    |
| KİŞ  | HOWE     | 30.6                  | 39.9                    | 48.0                | 735.5              |
| YAZ  | HOWE     | 31.4                  | 6.2                     | 32.1                | 332.0              |

Sonuç olarak 'İyonosfer-Bağımsız Kombinasyon' ile 'Troposfer Kestirimli' çözümün hem yaz hem kış için, İyonosfer ve Troposfer Kestirimli çözüme göre, bilinen koordinatlarla daha küçük farklar verdiği görülmüştür.

Çizelge 7a ve 7b'ye göre 'İyonosfer-Bağımsız' çözüm 'İyonosfer-Kestirimli' çözüme göre daha tutarlı olduğu için, 'İyonosfer-Bağımsız' model sabit tutulup 'Saastamoinen Modeli' ile kış ve yaz dönemine ait PPP-Statik çözümleri gerçekleştirilmiş ve Rölatif-Statik çözüm ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen farklar Çizelge 7c'de verilmiştir.

Çizelge 7a ve 7c incelendiğinde, 'Saastamoinen Modelinin' tutarsız sonuçlar verdiği görülmektedir. 'Troposfer-Kestirimli' çözümlerin referans koordinatlardan olan farkları milimetre mertebesinde iken 'Saastamoinen Modeli' kullanılarak elde edilen çözümlerin farklarının yatayda cm ve düşeyde dm mertebesinde olduğu görülmektedir. Buradan hareketle kutup bölgelerinde GPS uydularının belli bir eğim açısının üzerine çıkamaması nedeniyle, GPS verilerinin değerlendirilmesinde 'Troposfer-Kestirim' modelinin kullanılmasının daha iyi sonuçlar vereceği söylenebilmektedir. Çizelge 7a incelendiğinde, iki farklı mevsimdeki HOWE istasyon koordinatlarının referans koordinatlara göre yatayda ve yükseklikte milimetre mertebesinde farklar verdiği görülmektedir. Bununla birlikte, Çizelge 7a (İyonosfer-Bağımsız ve Troposfer-Kestirimli) çözümüne göre, HOWE istasyonunun farklı mevsimdeki RTKLIB-PPP Statik çözümleri arasındaki fark, aynı istasyonun Çizelge 4'te verilen CSRS-PPP Statik çözümündeki farklara benzer olarak, yatay konumda 4 mm, yükseklikte ise 5 mm elde edilmiştir.

#### AUSPOS

Her iki istasyonun için, AUSPOS servisinden elde edilen iki farklı zamandaki Rölatif Statik koordinatlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen farklar, Çizelge 8'de verilmiştir.

**Çizelge 8.** İki istasyon için iki farklı mevsimdeki AUSPOS çözümleri arasındaki koordinat farkları

| İstasyon İsmi | $\Delta$ Sağa (mm) | $\Delta$ Yukarı (mm) | $\Delta$ 2B (mm) | $\Delta$ h (mm) |
|---------------|--------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| HUGO          | 1.0                | 1.0                  | 1.4              | 3.0             |
| HOWE          | 4.0                | 1.0                  | 4.1              | 5.0             |

Çizelge 8'den anlaşılacağı üzere HUGO istasyonu için mevsimsel çözümler arasındaki koordinat değişimi HOWE istasyonuna göre daha azdır. Fakat genel olarak mutlak konumlandırmaya benzer olarak rölatif konumlandırmada da mevsimsel farklar yatay konumda ve yükseklikte milimetre mertebesinde olup anlamlı değildir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada oldukça zorlu atmosferik ve topografik koşullara sahip, özellikle GPS uydularının kısıtlı ve ancak düşük eğimlerde gözlemlenebildiği Antarktika Kıtasında PPP yönteminin kullanılabilirliği ve doğruluk performansı araştırılmıştır. Bu kapsamda birisi Güney Kutup noktasına oldukça yakın, diğer de yine aynı kıtada yer alan iki adet sabit GPS istasyonunun iki farklı mevsimdeki verisi kullanılmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlardan, 24 saatlik veri setlerinin online değerlendirme servisi olan CSRS-PPP ile yapılan PPP-Statik çözümlerinin, referans koordinatlardan 2B konum bileşeni için mm, yükseklik içinse en fazla 1.5 cm mertebesindeki farklara ulaştığı görülmüştür. Aynı verilerin epok-epok kinematik olarak yapılan değerlendirmesi sonucunda ise, 2B konum bileşeni için ortalama 12.7 mm, yükseklik için de ortalama 17.8 mm'lik farklar ve sırasıyla ortalama  $\pm 1$  cm ve  $\pm 2$  cm Karesel Ortalama Hata değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, web-tabanlı online GNSS değerlendirme servisleri kullanılarak, Antarktika Kıtasında PPP tekniği ile klasik rölatif yöntem alternatif olacak doğruluklarla (cm-mm mertebesinde) konum belirlenebileceğini göstermiştir. Hiç şüphesiz temel düzeyde GNSS bilgisi gerektiren online değerlendirme servislerinin en büyük avantajı kullanıcıların sadece internet bağlantısına sahip bir bilgisayara ve e-posta adresine sahip olmaları olsa da, elde edilen sonuçların oldukça dikkatli bir şekilde analiz edilmesi ve

yorumlanması gerekmektedir. Zira bu tür servisler alanındaki en profesyonel bilimsel/akademik GNSS değerlendirme yazılımlarını, literatürde genel kabul gören seçenekleri uygulayarak kullanmakta, kullanıcılarına çoğunlukla değerlendirme seçeneği sunmamakta veya oldukça kısıtlı bir şekilde sunmaktadır. Bu durum özellikle çalışmamızın yapıldığı Antarktika gibi atmosferin modellenmesinin çok daha kritik olduğu koşullarda daha önemli hale gelebilmektedir. Bu tür durumlar için açık kaynak kodlu pek çok akademik yazılımda mevcuttur. Bu çalışmada bunlardan birisi olan RTKLIB yazılımı kullanılmıştır. Söz konusu yazılım ile yapılan değerlendirmeler sonucunda, elde edilen PPP koordinatlarının doğruluğunun, değerlendirmede kullanılan parametrelerin seçimine, özellikle de iyonosfer ve troposfer modellerine yakından bağlı olduğu görülmüştür. RTKLIB yazılımı kullanılarak İyonosfer-Bağımsız ve Troposfer-Kestirimli PPP-Statik çözümü ile güney kutup noktasına yakın olan HOWE istasyonu için, CSRS-PPP çözümüne benzer olarak, yaz ve kış ayları için yatayda ve yükseklikte mm mertebesinde mutlak konum elde edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan UNAVCO UKANET ve ANET ağlarına ait HUGO ve HOWE istasyonları sadece GPS uydularını izleyebilmektedir. Bu sebepten bu çalışma sadece GPS sisteminin Antarktika Kıtasındaki PPP performansına ait sonuçlarını vermektedir. Çalışmanın bir sonraki adımında GPS sistemiyle beraber GLONASS uydu sistemini de izleyebilen sürekli gözleme istasyonları seçilip, GLONASS sisteminin kutup bölgesinde PPP performansına katkısı irdelenecektir. GLONASS uyduları ekvatorla yaklaşık 65° eğim açısı yaptıkları için kutup bölgelerinde daha yüksek eğimlere ulaşabilmektedirler. Bu durumda GLONASS uydularının bu bölgelerde PPP performansını arttıracakları düşünülmektedir.

#### **Teşekkür**

Bu makalenin yazarları, ANET ve UKANET ağı istasyon verileri için UNAVCO'ya, RTKLIB yazılımı için Tomoji Takasu'ya ve ayrıca AUSPOS, CSRS-PPP çevrimiçi GNSS veri değerlendirme servislerine teşekkür ederler.

#### **5. Kaynaklar**

- Alkan, R.M., Erol, S., İlçi, V., and Ozulu, I.M. (2020). Comparative Analysis of Real-time Kinematic and PPP techniques in Dynamic Environment. *Measurement*, Volume **163**, No. 107995; <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107995>
- Alkan, R.M. ve Erol, S. (2019). Hassas Nokta Konumlama Yöntemi'nin Antarktika'da Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma. 3. Ulusal Kutup Bilimleri Çalıştayı, Ankara-Türkiye, 5 Eylül 2019, 37-38.
- Anderle, R.J. (1976). Satellite Doppler Positioning. International Geodetic Symposium, A77-47370 22-43, Las Cruces-New Mexico-ABD, 12-14 Ekim 1976, 47-75.
- Beziçioğlu, M., Yigit, C.Ö. and Bodur, M. (2019). Kinematik PPP-AR ve Geleneksel PPP Yöntemlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi: Antarktika Yarımadası Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **19**(1), 162-169; <https://doi.org/10.35414/akufemubid.467336>.
- Bahadur, B., Üstün, A. (2014). İnternet Tabanlı GNSS Veri Değerlendirme Servisleri. *Harita Dergisi*, **152**, 40-50.
- Choy, S., Bisnath, S., and Rizos, C. (2017). Uncovering Common Misconceptions in GNSS Precise Point Positioning and its Future Prospect. *GPS Solution*, **21**(1), 13-22; <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0545-x>
- DeSanto, J.B., Chadwell, C.D., and Sandwell, D.T. (2019). Kinematic Post-Processing of Ship Navigation Data Using Precise Point Positioning. *Journal of Navigation*, **72**(3), 795-804; <https://doi.org/10.1017/S0373463318000887>
- Donahue, B., Hassen, E., and Banville, S. (2018). CSRS-PPP Transitioning to a Modernized Positioning Service in Canada. Canadian Geodetic Survey, Natural Resources Canada. ACLS Webinar, June 13, 2018. Available at: <http://www.acls-aatc.ca/wp-content/uploads/2018/06/CSRS-PPP-Transition-Plan-2018-ACLS-webinar.pptx> [15.06.2020].



- Gao, Y. (2015). Precise Point Positioning (PPP). In: Grafarend E. (eds) Encyclopedia of Geodesy. Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0\\_13-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0_13-1)
- Huang, Z. and Roussel-Dupré R. (2005). Total Electron Content (TEC) Variability at Los Alamos, New Mexico: A Comparative Study: FORTE-derived TEC Analysis, Radio Science, **40**(6), RS6007, <https://doi.org/10.1029/2004RS003202>
- Kouba, J. and Héroux , P. (2001). GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products. *GPS Solutions*, **5**(2), 12-28; <https://doi.org/10.1007/PL00012883>
- Krasuski, K., Cwiklak, J., Jaferník, H. (2018). Aircraft Positioning Using PPP Method in GLONASS System. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, **90**(9), 1413–1420; <https://doi.org/10.1108/AEAT-06-2017-0147>
- Li, B., Ge, H., Ge, M., Nie, L., Shen, Y., and Schuh, H. (2019). LEO Enhanced Global Navigation Satellite System (LeGNSS) for Real-time Precise Positioning Services. *Advances in Space Research*, **63**(1), 73-93; <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.08.017>
- Yuan, L. L., Anthes, R. A., Ware, R. H., Rocken, C., Bonner, W. D., Bevis, M. G., and Businger, S. (1993). Sensing Climate Change Using the Global Positioning System. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **98**(D8), 14925-14937; <https://doi.org/10.1029/93JD00948>
- Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M., and Webb, F.H. (1997). Precise Point Positioning for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, **102**(B3), 5005-5017; <https://doi.org/10.1029/96JB03860>
- İnternet kaynakları**
- 1- Australian Antarctic Division, About Antarctica. <http://www.antarctica.gov.au/about-antarctica> (15.06.2020).
- 2- Natural Resources Canada, Precise Point Positioning. <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php> (15.06.2020).
- 3- AUSPOS - Online GPS Processing Service. <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos> (15.06.2020).
- 4- RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning. <http://www.rtklib.com/> (15.06.2020)

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 055502 (857-872)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 055502 (857-872)

DOI: 10.35414/akufemubid.707824

Araştırma Makalesi / Research Article

## Arazi Toplulaştırma Projelerinde Mülakat ve Blok Öncelik Esaslı Dağıtım Modellerinin Karşılaştırılması: Aydın İli Örneği

Fatih İŞCAN<sup>1\*</sup>, Ayşenur ÇİYLEZ<sup>2</sup>, Dilşah ERKEK<sup>3</sup>, Sultan ÇİNAR<sup>4</sup><sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya.<sup>2,3</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.<sup>4</sup> Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin.

\*Sorumlu yazar e-posta: fiscan@ktun.edu.tr

aysenurciylez97@gmail.com

dilsaherkek97@gmail.com

1902230171027@mersin.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0669-5830>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5808-6578>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7595-2055>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8721-0371>

Geliş Tarihi: 23.03.2020

Kabul Tarihi: 28.10.2020

### Öz

Arazi toplulaştırması teknik, ekonomik ve sosyal yönleri olan çok disiplinli, çok kapsamlı ve birçok işlem adımı olan tarımsal projelerdir. Arazi toplulaştırma çalışmalarında dağıtım aşaması, projenin en zor ve en karmaşık adımlarından biridir. Projelerin başarıya ulaşmasında ve çifti memnuniyetinin sağlanmasında son derece önemli bir yere sahiptir. Türkiye’de dağıtım işlemi mülakat ( mülakat esaslı dağıtım) yapılmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte pek çok akademik çalışmada dağıtım işleminin daha başarılı sonuçlara ulaşabilmesi için farklı modeller de önerilmektedir. Bu çalışmada; çiftçi tercihleri alınmadan sadece parsel büyüklüklerini dikkate alan blok öncelik esaslı dağıtım modeli Aydın ilinin Koçarlı ilçesindeki Sobuca, Halilbeyli ve Tekeli köyleri için uygulanmıştır. Blok öncelik esaslı dağıtım modeli (Model B) sonuçları ile mülakat esaslı dağıtım modeli (Model A) sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda; blok öncelik esaslı modelin hisseli parsel sayılarını ve işletme başına düşen parsel sayılarının artmasında mülakat esaslı dağıtım modeline göre daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Arazi toplulaştırması;  
Parsel; İşletme;  
Mülakat; Dağıtım

## Comparison of Interview and Block Priority Based Reallocation Models in Land Consolidation Projects: The Case of Aydın Province

### Abstract

Land consolidation is a multidisciplinary, comprehensive and agricultural project with technical, economic and social aspects. The distribution stage in land consolidation studies is one of the most difficult and complex steps of the project. It has an important position in the success of the projects and providing the satisfaction of the farmers. The reallocation process is carried out in Turkey by making interview. In addition to this, different models are recommended for the reallocation process to achieve more successful results in many academic studies. In this study, the block priority based reallocation model (Model B), which considers only parcel sizes without taking farmers' preferences, has been applied for Sobuca, Halilbeyli and Tekeli villages in Koçarlı district of Aydın. The results of the block priority based reallocation model were compared with the results of the interview based reallocation model (Model A). As a result of the analysis, The block priority-based model has been observed to be more successful in terms of reducing the number of shared parcels and increasing the average parcel sizes and the number of parcels per enterprise.

### Keywords

Land consolidation;  
Parcel; Landholding;  
Interview; Land  
reallocation

## 1. Giriş

Nüfusun artmasıyla birlikte kentlerde meydana gelen ekonomik hareketlilik ve sanayileşmenin insan gücü ihtiyacı kırsal mekânlardan kentlere doğru göçün artmasına neden olmuştur (İnceyol 2014). Gerçekleşen bu hızlı nüfus artışı devamında gıda ve toprak ihtiyacını da beraberinde getirdiği için elimizde kıt bir kaynak olan arazinin bilinçli kullanılması kaçınılmaz bir gerçektir (Nguyen and Warrb 2020).

Kentlere olan göçün artması ve tarımsal nüfusun azalmasının diğer nedenleri de, tarım arazilerinin sürekli parçalanması, parsellerin; bozuk şekilli, yol ağına bağlı olmayan, sulama ve drenaj sisteminin uygulanmasını güçleştirici konumda olması ve bir süre sonra parsellerin verimli tarım yapılamayacak boyutlara ulaşmasıdır. Bu gibi etkenleri bertaraf edip kırsal kesimde yaşayan halkın yaşam standartlarının yükseltilmesi ve kolaylaştırılması için arazi toplulaştırma çalışmaları önem kazanmaktadır. Arazi toplulaştırması uygulamaları kırsal alanlarda tarımsal üretim artışına neden olduğu için kırsal yerleşmeleri cazibe merkezleri haline getireceğinden, ülkemizde yaşanan köyden kente yoğun olan göç olayına da karşı önemli bir çözüm önerisidir (Boyras ve Üstündağ 2008).

Arazi toplulaştırma çalışmaları organize ve disiplinli bir şekilde yürütülürse ekonomik kalkınma da doğru orantılı olarak artış gösterecektir (Ying at al. 2020). Türkiye gibi kalkınmakta olan ve kalkınmasının büyük bir bölümünü ekonominin temel sektörünü oluşturan tarıma borçlu olan bir ülkede tarımın etkin bir yapıya kavuşturulması gerekmektedir (Demirtaş ve Sarı 2016 ).

Ülkemizde arazi toplulaştırması uygulamalarına 1961 yılından köy tabanlı basit arazi toplulaştırması olarak başlanmıştır. Günümüzde tarımda üretim/çalışma koşullarını ve kırsal alanda genel arazi kullanımını iyileştirmek, istihdamı sağlamak ve geliştirmek, doğal ve kültürel mirası korumak gibi amaçlar doğrultusunda çok amaçlı arazi toplulaştırması uygulamaları yaygınlaşmıştır (Küsek 2014).

Bugüne kadar Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, İl Özel İdareleri ve Tarım Reformu Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen toplulaştırma çalışmaları, günümüzde Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir.

Ülkemizde tarımsal istatistiklerin gelişmiş ülkelerin gerisinde kaldığı gözlemlenmekte ve arazi toplulaştırması çalışmalarının bir an önce hızlandırılması gerekmektedir.

Fırat Kalkınma Ajansının 2013 yılında hazırlamış olduğu rapora göre; ülkemizdeki tarım işletmelerinin sayıları her geçen gün artmakta ve buna bağlı olarak da işletme büyüklükleri azalmakta iken, AB ülkeleri başta olmak üzere gelişmiş ülkelerde işletme sayılarında azalma, ortalama işletme büyüklüklerinde ise artma görülmektedir. Küçük ve çok parçalı işletme yapısı, teknoloji kullanımını güçleştirmekte, emek verimliliğini düşürmekte, yeterli sermaye birikimini engellemektedir. Türkiye'de çiftçi başına düşen tarım alanı ortalama 6 hektar iken, Avrupa Birliği ülkelerinde ise ortalama 19.7 hektar seviyelerindedir. Ülkemizdeki tarım işletmelerinin kullandıkları arazi miktarı küçük ölçekte, birbirinden uzak ve çok sayıda parçalardan oluşmaktadır. Arazi parçalılığı miras hükümleri, satış, kanal ve yol inşası vb. nedenlerle gittikçe artmakta ve tarım işletmeleri, ekonomik işletme büyüklüklerinin altına düşmektedir. Bu durum tarımsal yapıyı, masrafları ve üretimi olumsuz yönde etkilemektedir (Int Kyn. 1). Ülkemizin tarım üretiminde diğer ülkeler ile rekabet edilebilmesi ancak sulama alanlarında arazi toplulaştırmasının gerçekleştirilmesi ile mümkün olacaktır. Avrupa Birliği ülkelerinde ortalama işletme büyüklüğü yaklaşık 16 hektar iken bu alan ülkemizde sadece 6 hektar civarındadır. Diğer taraftan Türkiye'de tarım işletmeleri tümüyle dikkate alındığında, işletme başına ortalama parsel sayısı 11'nin üzerinde, ortalama parsel büyüklüğü 1 hektar civarındadır. AB ülkelerinde ise parsel büyüklüğü 1.8 hektar ile 4 hektar arasında değişmektedir. Bu sebeple arazi toplulaştırması ile gerek parsel sayısı ve gerekse parsel büyüklüğü açısından gelişmiş ülkeler seviyesine ulaşılması hedeflenmektedir (Int Kyn. 2).

Türkiye'nin yüz ölçümü 78 milyon hektar olup, TÜİK ile Tarım ve Orman Bakanlığı verilerine göre bu alanın 24 milyon hektarı tarım arazisidir. Yapılan etütlere göre; mevcut su potansiyeli ile sulanabilecek arazi miktarı 8,5 milyon hektar olarak hesaplanmıştır. 2019 yılı sonuna kadar 6,65 milyon hektar arazi sulamaya açılmış olup, bu alanın 3,6 milyon hektarı DSİ tarafından inşa edilmiş modern sulama şebekesine sahiptir. Ülkemizde 3 milyonu üzerinde işletme bulunmaktadır (Int Kyn. 3)

Bu bağlamda, Türkiye'de şu ana kadar yaklaşık 3.5 milyon hektar alanda tamamlanan arazi toplulaştırma çalışmalarının, 2023'te sulanabilir 8.5 milyon hektar alanda tamamlaması öngörülmektedir.

Arazi toplulaştırması birden fazla amacın birlikte değerlendirilmesini gerektiren karmaşık, uzun zaman alan süreçtir. Dağıtım, arazi toplulaştırmasının en hassas aşamasıdır. İyi yapılmış bir dağıtım arazi toplulaştırma projesinin uygulanmasını kolaylaştıracak ve arazi toplulaştırma projelerinin getirilerinden maksimum şekilde faydalanılmasını sağlayacaktır (Eroğlu ve Şişman 2020). Türkiye'de arazi toplulaştırma projelerinde dağıtım aşaması çiftçi tercihlerine göre yapılmakla birlikte ulusal ve uluslararası pek çok bilimsel çalışmada dağıtım aşaması matematik modellerle ifade edilebilen optimizasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmiş, dağıtım aşaması için net bir matematiksel model tanımlanamadığından dolayı yapay zeka teknikleri (bulanık mantık, genetik algoritma, makine öğrenmesi vb.) kullanılarak çok farklı çözümler önerilmiştir. Ayrıca, arazi toplulaştırma çalışmaları teknik, ekonomik ve sosyal yönlerden incelenmiş, işlem adımlarında karşılaşılan sorunlara çözüm önerileri getirilmiştir (Van Huylenbroeck et al. 1996, Agrawal 1999, Avcı 1999, Crecente et al. 2002, Cay and İscan 2006, Lerman and Cimpoies 2006, Ayrancı 2007, Jansen et al. 2010, Cay and İscan 2011, Demetriou et al. 2012, Rosman 2012, Demetriou et al. 2013, Uyan et al. 2013, Jurgerson 2016, Boonchom et al. 2017, Haklı 2017, Cay ve Ertunç 2017, Çay vd. 2017, Demetriou 2017, Haklı et al. 2018, Asiama et al. 2018, Ertunç et al. 2018).

İşcan (2009) yılında bulanık mantık yöntemini, Uyan (2011) yılında mekânsal karar destek sistemini, İnceyol (2014) yılında genetik algoritma modelini, (Ertunç) 2018 yılında hibrit modelini ( bulanık-genetik) kullanarak arazi toplulaştırma çalışmalarında dağıtım problemine çözüm aramışlardır. Çalışmalar sonucunda geliştirilen modellerin birçok ölçüte göre mülakat esaslı dağıtım modeline göre daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

İşcan (2009) yılında tamamladığı doktora tezinde, Konya ili İlgın ilçesi Ağalar köyü toplulaştırma projesinde bulanık mantık tabanlı bir dağıtım modeli geliştirmiştir. Geliştirilen bu modeli, blok öncelik esaslı dağıtım ve mülakat esaslı dağıtım modelleri ile karşılaştırmıştır. Parsel sayısı, hisse sayısı, ortalama parsel büyüklüğü, süre ve çiftçilerle yapılan memnuniyet anketi sonuçlarına göre arazi toplulaştırma projelerinde arazi dağıtım işlemi için bulanık mantık modelinin kullanılması önermiştir. Özellikle, çiftçilerle yapılan mülakatlara uyma noktasında oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Söz konusu yöntemin en önemli avantajlarından birisi de, insan davranışını modelleyebilmesinden dolayı matematik modelin oluşturulmasının imkânsız olduğu durumlarda bile çözümler üretebilmesidir. Çiftçilerle yapılan anket sonuçlarına göre, anket yapılan işletmelerin % 80.5'i bulanık mantık esaslı dağıtımdan, % 64.1'i blok öncelik esaslı dağıtımdan ve % 50'si mülakat esaslı dağıtımdan memnun oldukları tespit edilmiştir.

Uyan (2011), doktora çalışması kapsamında, arazi düzenlemesi çalışmalarında kullanılmak üzere ilgili alandaki öncül verilerin kolaylıkla işlenebileceği, haritalı gösterimlerle desteklenen ve düzenleme sonrası yeni bloklara arazi sahiplerinin yeni parsellerinin tahsisinde çeşitli kriterleri dikkate alarak en uygun dağılımı verecek şekilde karar vericilere en üst düzeyde karar desteği sağlayacak Coğrafî Bilgi Sistemine (CBS) dayalı bir Mekansal Karar Destek Sistemi (MKDS) sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar çiftçilere anket yoluyla sorulmuş; işletmelerin mülakat esaslı dağıtım modelinden % 66.1, blok öncelik esaslı dağıtım modelinden % 81.4, MKDS esaslı dağıtım

modelinden ise % 89.9 oranında memnun olduğu tespit edilmiştir.

İnceyol (2014), doktora çalışmasında, arazi düzenlemesinde blok dağıtımının yapılmasını sağlayan genetik algoritmaya dayalı yeni bir algoritma geliştirmiştir. Bu modelin sonuçları, mülakat ve blok öncelikli dağıtım modeli sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; geliştirilen modelin, parsel sayısı, ortalama parsel büyüklüğü, işletmeye düşen parsel sayısı ve hisseli parsel sayısına göre mülakat öncelikli dağıtım modeline göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Çiftçilerle yapılan anket sonuçlarına göre de, Boztepe uygulama alanında işletme sahiplerinin yaklaşık %56'sı mülakat esaslı dağıtım modelinden, %67'si blok öncelikli dağıtım modelinden ve %78'si genetik algoritma yöntemi ile geliştirilen dağıtım modeline göre yapılan dağıtımdan memnun oldukları belirlenmiştir.

Ertunç (2018) yılında tamamladığı doktora çalışmasında, optimizasyon yöntemlerinin optimum sonuca hızlı bir şekilde yakınsama özellikleri kullanılarak işletme tercihlerini dikkate alan ve blok alanlarında minimum boşluk kalacak şekilde dağıtım yapabilen bir yöntem tasarlamıştır. Bu yöntemin gerçekleştirilmesinde dağıtım probleminin kesikli oluşu, çok fazla seçenek ortaya koyması ve kolay bir şekilde uygulanabilmesi nedenleriyle genetik algoritmalar (GA) ve GA'nın başarısını arttırmak amacıyla Bulanık Mantık (BM) Yöntemi kullanılarak Hibrit bir algoritma oluşturulmuştur. Arazi Toplulaştırma proje verileri kullanılarak geliştirilen Hibrit algoritmaya göre, uygulamada kullanılan mülakat esaslı yöntem ve blok öncelik esaslı yöntemlere göre farklı dağıtımlar yapılmıştır. Parsel sayısı, toplulaştırma oranı, ortalama parsel büyüklüğü, işletme başına düşen parsel sayısı, üretim süreleri ve dağıtım maliyeti yönünden Hibrit yöntem diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Ayten (2007) yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde Konya-Ereğli-Adabağ köyünde mülakat esaslı ve blok öncelik esaslı dağıtım modellerini karşılaştırmıştır. Adabağ köyünde toplulaştırma sahasında 231 adet eski kadastro parseli varken

mülakat modeline göre yapılan dağıtımda parsel sayısı 219'a, Blok öncelik esaslı modele göre ise bu sayı 188'e düşmüştür. Modeller ortalama parsel büyüklüğü açısından incelenip değerlendirildiğinde ise mülakat modeline göre yapılan dağıtımda parsel büyüklüğü %5, Blok öncelik esaslı modele göre ise %22 artmıştır.

Ayrıca Çay vd. (2009) yılında yaptıkları bir çalışmada da bu iki modeli karşılaştırmış ve parsel sayısı, ortalama parsel büyüklüğü ve süre bakımından blok öncelik esaslı dağıtım modelinin daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çiftçilerle yapılan anket çalışmasına göre çiftçilerin blok öncelik esaslı dağıtım modelinden daha çok memnun oldukları ortaya çıkmıştır.

Dağıtımla ilgili yapılan bu çalışmalar incelendiğinde; bulanık mantık, genetik algoritma, blok öncelik esaslı dağıtım modellerinin mülakat esaslı dağıtım modeline göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca bu modellerin projelerin tamamlanma süreleri ve maliyeti yönünden de başarılı olduğu da tespit edilmiştir. Ancak özellikle işletmelerin akrabaları ile olan ilişkilerinin değerlendirilmesi ve bunun dağıtıma yansıtılması bakımından mülakat esaslı dağıtım modeli, diğer dağıtım modellerine göre daha başarılı sonuçlar vermektedir.

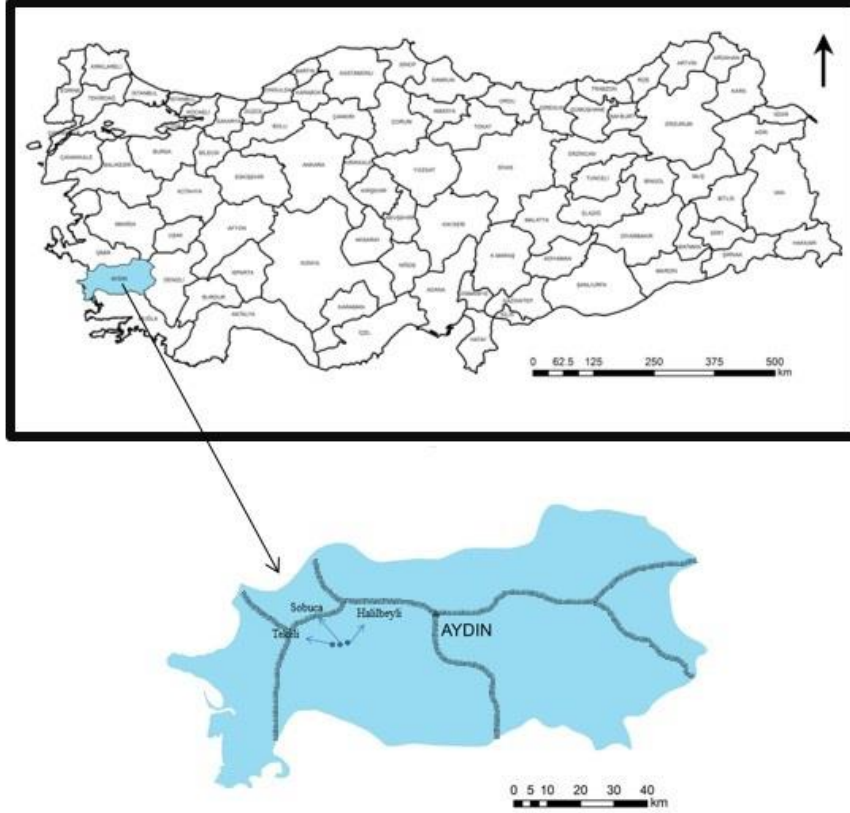
Bu çalışmada amaç, mülakat işlemi gerçekleştirilmeden yapılabilen blok öncelik esaslı dağıtım yöntemini farklı bir arazi toplulaştırma projesinde uygulayarak sonuçlarını mülakat esaslı dağıtım yöntemi ile karşılaştırmak ve iki yöntemin olumlu ve olumsuz yanlarını analiz ederek performansını test etmektir. Bunun için uygulama sahası olarak Aydın ili, Koçarlı ilçesi, Sobuca, Halilbeyli ve Tekeli köyleri seçilmiştir. Uygulama sahaslarında Blok Öncelik Esaslı Dağıtım Modeli kullanılarak dağıtım işlemi gerçekleştirilmiş, daha önceden uygulanmış olan mülakat esaslı dağıtım modeli ile karşılaştırılmıştır. Her iki modelin dağıtım sonuçları; parsel sayısı, ortalama parsel büyüklüğü, işletme başına düşen parsel sayısı, hisseli parsel sayısı ve işletmelerin akrabaları ile durumları bakımından incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Halilbeyli köyleridir (Şekil 1). Araştırmanın temel materyalini, bu köylere ait arazi toplulaştırma projesi verileri oluşturmaktadır.

### 2.1. Uygulama alanının tanıtımı

Proje sahası üç köyden oluşmaktadır. Bu köyler Aydın ili Koçarlı ilçesine bağlı Sobuca, Tekeli ve



**Şekil 1.** Proje Alanı

Tekeli, Sobuca ve Halilbeyli köyleri bağlı olduğu Koçarlı ilçe merkezine sırasıyla 6 km, 3 km, 11 km; köylerin Aydın şehir merkezine mesafeleri ise sırasıyla yaklaşık 30 km, 26 km, 21 km'dir. Aydın'da 395.494 hektar alanda sulu tarım yapılmaktadır. Zeytin ve meyvelikler en geniş alanı kaplamaktadır. Aydın; zeytin, incir, kestane üretiminde Türkiye'de 1. sırada, pamuk üretiminde ise 3. sırada yer almaktadır. Akdeniz iklimi hâkimdir. En yağışlı mevsim kıştır. Yaz mevsiminde yok denecek kadar az yağış almaktadır. Yıllık yağış ortalaması 644 mm.'dir. Kar yağışı ender görünür. Rakım olarak da 50 m'dir. Aydın ilinin en eski yerleşim yerlerinden biri olan Koçarlı ilçesi, özellikle zeytin ve pamuk üretiminde ilçe ekonomisinde önemli bir role sahip olmakla birlikte hayvancılık, sera çığı, incir ve kestane

yetiştiriciliğinde de kendini geliştirmiştir. Ayrıca salamurhane ve zeytinyağı fabrikaları, tarım alet ve makineleri ile ilçe ekonomisine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Orman köylerindeki halkın geçim kaynağı ise çam fıstığı olup, bunun yanında pamuk, mısır, buğday, sebze, arpa, zeytin ve çeşitli meyveler ilçenin ekonomisini oluşturmaktadır (Int Kyn. 4, Int Kyn. 5).

Sobuca, Halilbeyli ve Tekeli köylerinde sırasıyla 188, 468 ve 244 adet kadastro parseli bulunmaktadır. İşletme sayıları ise sırasıyla 237, 414 ve 301'dir.

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Mülakat esaslı dağıtım modeli (Model A)

Ülkemizde arazi toplulaştırma projelerinin uygulanmasındaki genel işlem adımları şu şekilde sıralanabilir.

- Karar süreci ve Cumhurbaşkanlığı kararı alınması
- Tapu ve kadaströ verilerinin temini
- Sosyal etüdler ve raporlama
- Halihazır harita ve ortofotoların üretilmesi
- Sabit tesislerin tespiti
- Toprak etüdüleri ve derecelendirme
- Blok planlarının tasarımı
- **Mülakatların yapılması**
- **Dağıtım işlemi**
- Parselasyon ve askı ilanları
- İtirazların alınması ve değerlendirilmesi
- Parselasyon planının revizyonu
- Parselasyon planının ilanı ve onayı
- Tapu ve kadaströ kontrolü
- Yeni parsellerin teslimi
- Tescil işlemleri
- Yeni tapuların verilmesi

En önemli işlem adımlarından birisi de dağıtım işleminin yapılmasıdır. Arazi toplulaştırma çalışmalarında dağıtım işlemleri yapılırken çiftçilerin tercihleri alınmaktadır ve bu yöntem mülakat esaslı dağıtım yöntemi denilmektedir. Bu yöntem gerçekleştirilmeden önce işletmelerle mülakat işlemi gerçekleştirilir. Bunun işlem için çiftçilere duyuru yapılır ve belirtilen tarih aralığında mülakat vermeleri istenir. Çiftçiler mülakata geldiklerinde işletme numaraları sorulur ve duvarda veya panoda asılı kadaströ parsellerini ve blokları gösteren harita üzerinden sahip oldukları parseller raptiye kullanılarak işaretlenir. Daha sonra çiftçilerden

arazilerinin nerede birleştirilmesi veya hangi bloktan verilmesi ile ilgili üç adet tercih yapılması istenir. Bu tercihler, çiftçilerin arazileri bloklara yerleştirilirken dikkate alınacağından doğru tercihte bulunmaları gerekmektedir. Bu durum dağıtım işleminin ve arazi toplulaştırma projesinin başarısı açısından son derece önemli bir konudur. Dağıtım işleminden sorumlu personel, mülakat işlemi esnasında, sabit tesisler, işlemeye ait kadaströ parselleri ve bunların saha üzerindeki dağılımı, arazi dereceleri gibi hususları dikkate alarak çiftçilerin doğru tercih yapmaları için yönlendirilmeli, uygun olmayan tercihlere açıklamasın yapılmak suretiyle izin verilmemelidir.

Mülakat işlemi tamamlandıktan sonra dağıtım işlemine geçilir. Öncelikle çiftçilerin kuyu, bina, bağ, bahçe vb. sabit tesisleri varsa bunlar da göz önünde bulundurulur ve bu işletmelere sabit tesislerinin olduğu bloğa dağıtım yapılır. Daha sonra diğer işletmelerin ilk tercihleri doğrultusunda dağıtım işlemi gerçekleştirilir. Bu aşamalardan sonra bloklarda fazlalık veya eksiklik bulunuyorsa yani bazı bloklar çok tercih almak suretiyle dolmuşsa veya az tercih almak suretiyle dolmamışsa, çiftçilerin ikinci ve üçüncü tercihleri dikkate alınır. Bu tercihler değerlendirilerek bloklardaki fazlalık ve eksiklikler dengelenir ve dağıtım işlemi sonlandırılır.

Bu dağıtım modelinde düzenleme çalışmasını yapan mühendis ve ekibine büyük sorumluluk düşmektedir ve gerekli özen taraflarınca gösterilmelidir.

Sobuca, Halilbeyli ve Tekeli köylerine ait toplulaştırma öncesi ve mülakat esaslı dağıtım modelinin uygulanması sonrasındaki parsel ve işletme sayıları, ortalama parsel büyüklüğü ve işletme başına düşen parsel sayıları Çizelge 1'de verilmiştir.

Sobuca, Halilbeyli, Tekeli köylerinin kadaströ durumları Şekil 2'de, mülakat esaslı dağıtım sonrası parselasyon durumları ise Şekil 3'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Mülakat Esaslı Dağıtım Sonrası Parsel ve İşletme Analizi

|                                    | SOBUCA               |                        | HALİLBEYLİ           |                        | TEKELİ               |                        |
|------------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
|                                    | Kadastro durumu      | Dağıtım Sonrası Durumu | Kadastro durumu      | Dağıtım Sonrası Durumu | Kadastro durumu      | Dağıtım Sonrası Durumu |
| Toplam Parsel Sayısı               | 188                  | 135                    | 468                  | 268                    | 244                  | 164                    |
| Toplam İşletme Sayısı              | 237                  | 237                    | 414                  | 414                    | 301                  | 301                    |
| Ortalama Parsel Büyüklüğü          | 16778 m <sup>2</sup> | 21320 m <sup>2</sup>   | 12839 m <sup>2</sup> | 20064 m <sup>2</sup>   | 13182 m <sup>2</sup> | 16475 m <sup>2</sup>   |
| İşletme Başına Düşen Parsel Sayısı | 0.79                 | 0.57                   | 1.06                 | 0.61                   | 0.81                 | 0.54                   |



**Şekil 2.** Kadastro Durumu a) Sobuca Köyü b) Halilbeyli Köyü c) Tekeli Köyü

**Şekil 3.** Mülakat Esaslı Dağıtım Modeline Göre Parselasyon a) Sobuca Köyü b) Halilbeyli Köyü c) Tekeli Köyü



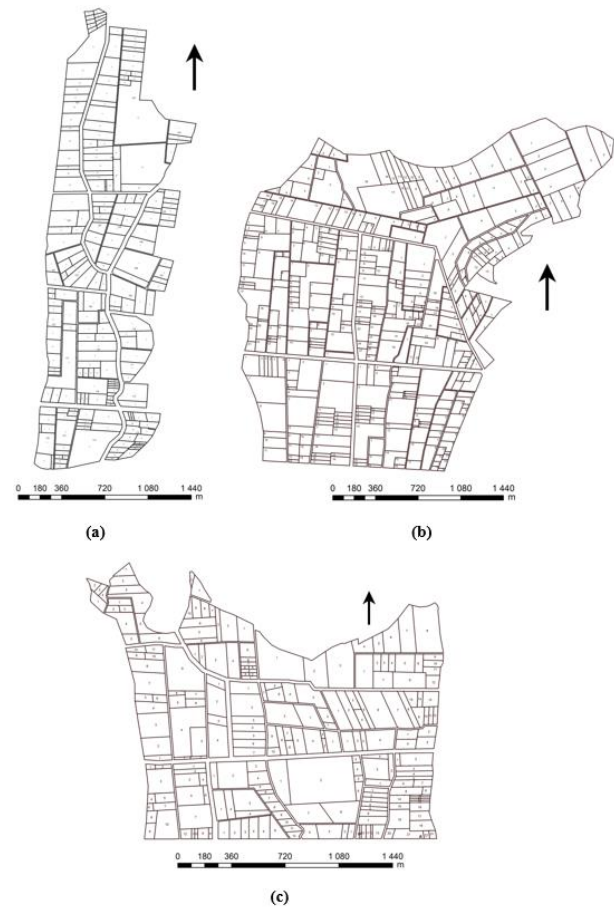
### 2.2.2. Blok öncelik esaslı dağıtım modeli (Model B)

Blok öncelik esaslı dağıtım modelinde, mülakat esaslı dağıtım modelinde olduğu gibi mülakat işlemi yapılmamaktadır. Bir başka deyişle çiftçi istekleri ve tercihlerini dikkate almayan, işletmelere ait parsellerin büyüklüklerini ve konumlarını dikkate alan bir dağıtım modelidir.

Blok öncelik esaslı dağıtım modeli uygulanmadan önce proje sahasındaki işletmelerin eski mülkiyet durumunu gösteren listeden, sahip oldukları en büyük parselin bulunduğu blok ve işletmelerin sabit tesislerinin olup olmadığı tespit edilir. Öncelikle, sabit tesisi olan işletmelere, sabit tesisinin bulunduğu bloktan tahsis yapılır. Eğer işletmenin sabit tesisi yok ise işletmenin sahip olduğu en büyük parselinin bulunduğu bloktan tahsis yapılır.

Tüm işletmeler için bu işlem gerçekleştirildikten sonra bloklardaki fazla ve eksik alanlar kontrol edilir. Hangi bloklarda tahsis işleminin tamamlandığı, hangisinde fazla olduğu hangisinde eksik olduğu belirlenir. Fazlası ve eksikliği olan yani tam olarak dolmayan bloklar yeniden ele alınır. Bunun için öncelikle dağıtım fazlası olan bloklardaki işletmelerin en büyük kadastro parseli, blok planında iki bloğun içerisinde kalıyorsa, bu iki blok tespit edilir. Bu blokların herhangi birinde, ilk dağıtım sonrasında eksik bir kısım var ise bu bloklara tahsis yapılır. Bu aşamaya kadar tahsis işlemi tamamlanan işletmelerin dışında kalan işletmeler için yeniden tahsis işlemine geçilir. Bu işlem için, işletmenin ikinci veya üçüncü en büyük parselinin bulunduğu bloklar tespit edilir. Bu bloklarda fazlalıklar ve eksiklikler kontrol edilir. Eğer bloklardaki fazlalıklar ve eksiklikler küçük miktarda ise işletmelerin parsellerinin parçalanmaması için bloklarda blok dengelemesine gidilir. Blok dengelemesi mümkün olmayan kısımlarda işletmelerin ikinci ve üçüncü en büyük parselleri ve diğer bloklardaki fazlalık ve eksiklikler dikkate alınarak dağıtım işlemi tamamlanır. Dağıtım tamamlandıktan sonra blokta bulunan sabit tesislere de dikkat edilerek parselasyon planı hazırlanır.

Blok Öncelik Esaslı Dağıtım Modelinde parselasyon yapılırken derecelendirme haritaları kullanılmıştır. Derecelendirme haritalarının içeriğinde proje sahasının parsel endekslerini kullanarak hesaplanmış olan dönüşüm katsayıları bulunmaktadır. Bu dönüşüm katsayıları kullanılarak bloklara dağıtılmış işletmelerin birinci derece alanlarından, bloğun bulunduğu konumdaki derecesine dönüşümü sağlanmıştır. Sobuca, Halilbeyli ve Tekeli köylerinde uygulanan blok öncelik esaslı dağıtım sonrası parselasyon durumu Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Blok Öncelik Esaslı Dağıtım Sonrası Parselasyon  
a) Sobuca Köyü b) Halilbeyli Köyü c) Tekeli Köyü

### **3. Bulgular ve Tartışma**

Bu bölümde dağıtım modellerinin; parsel ve hisse sayısı, ortalama parsel büyüklüğü, işletmeye düşen parsel sayısı ve işletme sahiplerinin yakın akrabalarıyla olan durumları incelenmiştir.

#### **3.1.Parsel sayısı**

Sobuca köyünde toplulaştırmadan önce parsel sayısı 188 iken mülakat esaslı dağıtım modelinde 135'e düşmüş, blok öncelik esaslı dağıtım modelinde 225'e yükselmiştir. Kadastro durumunda 75 adet hisseli parsel varken bu değer mülakat esaslı dağıtımda 65'e, blok öncelik esaslı dağıtımda ise 12'ye düşmüştür. Mülakat esaslı modelde parsel sayılarındaki azalma oranı % 28 iken blok öncelik esaslı modelde ise parsel sayılarında % 19.68 oranında bir artış olmuştur. Bu artışın nedeni toplulaştırma öncesi hisseli parsellerin dağıtım sonrasında hisselerinden ayrılarak tek parsel olarak verilmesinden kaynaklanmaktadır. İşletme başına düşen ortalama parsel sayısı ise toplulaştırma öncesinde 0.79, mülakat esaslı modelde 0.57, blok öncelik esaslı modelde ise 0.95'dir.

Halilbeyli köyünde toplulaştırmadan önce parsel sayısı 468 iken mülakat esaslı dağıtım modelinde 268'e, blok öncelik esaslı dağıtım modelinde 438'e düşmüştür. Mülakat esaslı dağıtım modelinde 91 adet hisseli parsel oluşmuştur. Blok öncelik esaslı dağıtım modelinin sonucunda ise 65 adet hisseli parsel oluşmuştur. Mülakat esaslı dağıtım modelinde parsel sayısında %42.74 lük bir düşüş olurken, blok öncelik esaslı dağıtım modelinde %6.41'lik bir düşüş olmuştur. Toplulaştırmadan önce işletme başına düşen parsel sayısı 1.06'dır. Mülakat öncelik esaslı dağıtım modelinde bu sayı 0.61'e

düşerken, blok öncelik esaslı dağıtımda bu sayı 0.99'a düşmüştür.

Tekeli köyünde ise toplulaştırmadan önce parsel sayısı 244 iken mülakat esaslı dağıtım modelinde 164'e, blok öncelik esaslı dağıtım modelinde 228'e düşmüştür. Mülakat esaslı dağıtım modelinde 62 adet, blok öncelik esaslı dağıtım modelinin sonucunda ise 32 adet hisseli parsel oluşmuştur. Mülakat esaslı dağıtım modelinde parsel sayısında %32.78'lik bir düşüş olurken, blok öncelik esaslı dağıtım modelinde %6.56'lık bir düşüş olmuştur. Toplulaştırmadan önce işletme başına düşen parsel sayısı 0.81'dir. Mülakat öncelik esaslı dağıtım modelinde bu sayı 0.54'e düşerken, blok öncelik esaslı dağıtımda bu sayı 0.76'ya düşmüştür.

Blok öncelik esaslı dağıtım modelinde parsel sayılarının önceki durumlara göre artmasının veya az miktarda düşüş göstermesinin nedeni hisselendirme oranının az olması yani işletmelere bireysel, ortaklık kurulmamış parseller verilmeye çalışılmasıdır. 1000 m<sup>2</sup>'nin üzerinde arazi varlığı olan tüm işletmelere tek parsel verilmiştir, dolayısıyla da toplam hisseli parsel sayısında önemli miktarda azalma olmuştur. Bu sonuçlara göre parsel sayısının azalması yönünde mülakat esaslı modelin tercih edilebilir bir model olduğunu ortaya koyarken hisseli parsel sayısı ve işletme başına düşen parsel sayısı yönünden değerlendirildiğinde ise blok öncelik esaslı modelin tercih edilebilir bir model olduğunu ortaya koymaktadır. Dağıtım modellerinin parsel alanlarına göre parsel sayısı yönünden incelenmesi Çizelge 2'de, hisseli parsel ve işletme başına düşen ortalama parsel sayısı yönünden incelenmesi de Çizelge 3'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Dağıtım Modellerinin Parsel Sayısı Yönünden İncelenmesi

| SOBUCA                |            |            |            | HALİLBEYLİ            |            |            |            | TEKELİ                |            |            |            |
|-----------------------|------------|------------|------------|-----------------------|------------|------------|------------|-----------------------|------------|------------|------------|
| PARSEL SAYILARI       |            |            |            |                       |            |            |            |                       |            |            |            |
| Parsel Büyüklüğü (da) | Kadastro   | Model A    | Model B    | Parsel Büyüklüğü (da) | Kadastro   | Model A    | Model B    | Parsel Büyüklüğü (da) | Kadastro   | Model A    | Model B    |
| 0 - 5                 | 34         | 10         | 66         | 0 - 5                 | 128        | 25         | 32         | 0 - 5                 | 54         | 29         | 66         |
| 5 - 15                | 89         | 56         | 100        | 5 - 10                | 141        | 34         | 64         | 5 - 10                | 75         | 43         | 82         |
| 15 - 30               | 44         | 45         | 43         | 10 - 15               | 79         | 80         | 54         | 10 - 15               | 50         | 33         | 27         |
| 30 - 50               | 10         | 13         | 10         | 15 - 30               | 95         | 38         | 101        | 15 - 20               | 14         | 12         | 15         |
| 50 - 70               | 5          | 5          | 3          | 30 +                  | 25         | 51         | 187        | 20 - 25               | 20         | 21         | 12         |
| 70 +                  | 6          | 6          | 3          |                       |            |            |            | 25 - 45               | 23         | 18         | 20         |
|                       |            |            |            |                       |            |            |            | 45+                   | 8          | 8          | 6          |
| <b>Toplam</b>         | <b>188</b> | <b>135</b> | <b>225</b> |                       | <b>468</b> | <b>268</b> | <b>438</b> |                       | <b>244</b> | <b>164</b> | <b>228</b> |

**Çizelge 3.** Dağıtım Modellerinin Hisseli Parsel Sayısı ve İşletme Başına Düşen Ortalama Parsel Sayısı Yönünden İncelenmesi

|  | SOBUCA   |         |         | HALİLBEYLİ |         |         | TEKELİ   |         |         |
|--|----------|---------|---------|------------|---------|---------|----------|---------|---------|
|  | Kadastro | Model A | Model B | Kadastro   | Model A | Model B | Kadastro | Model A | Model B |
| <b>Hisseli Parsel Sayısı</b>                       | 75       | 65      | 12      | 178        | 91      | 65      | 85       | 62      | 32      |
| <b>İşletme Başına Düşen Ortalama Parsel Sayısı</b> | 0.79     | 0.59    | 0.95    | 1.06       | 0.61    | 0.99    | 0.81     | 0.54    | 0.76    |

### 3.2. Ortalama parsel büyüklüğü

Arazi toplulaştırma projelerinin önemli amaçlarından bir tanesi de işletmelere ait arazilerin tarıma elverişli boyutlara getirilmesidir (Çay ve ark., 2009).

Dağıtım modelleri ortalama parsel büyüklüğü yönünden değerlendirildiğinde, Sobuca köyünde ortalama parsel büyüklüğü blok öncelik esaslı dağıtım modelinde 12.79, mülakat esaslı dağıtım modelinde 21.32 dekar dekadardır.

Halilibeyli köyünde blok öncelikli esaslı dağıtım modelinde ortalama parsel büyüklüğü 14.41 dekar, mülakat esaslı dağıtım modelinde 23.58 dekadardır.

Tekeli köyünde ise blok öncelikli esaslı dağıtım modelinde ortalama parsel büyüklüğü 11.58 dekar, mülakat esaslı dağıtım modelinde 16.48 dekadardır.

Modellerin ortalama parsel büyüklükleri ve artış yüzdeleri Çizelge 4'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.** Dağıtım Modellerinin Ortalama Parsel Büyüklükleri

| Ortalama Parsel Büyüklüğü | SOBUCA                 |               | HALİLBEYLİ             |               | TEKELİ                 |               |
|---------------------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|
|                           | Alan (m <sup>2</sup> ) | Artış Yüzdesi | Alan (m <sup>2</sup> ) | Artış Yüzdesi | Alan (m <sup>2</sup> ) | Artış Yüzdesi |
| <b>Kadastro</b>           | 16777.89               | —             | 12839.44               | —             | 13182.36               | —             |
| <b>Model A</b>            | 21320.05               | 27.07         | 23576.65               | 83.62         | 16475.35               | 24.98         |
| <b>Model B</b>            | 12791.44               | 23.76         | 14410.63               | 12.24         | 11581.12               | 12.15         |

### 3.3. Dağıtım sonuçlarının işletme bazında incelenmesi

Sobuca köyünde blok öncelik esaslı dağıtım sonucunda 237 işletmenin 202 adedi mülakat esaslı dağıtımla aynı bloklar içine yerleştirilmiştir. 35 işletme ise mülakat esaslı dağıtımdan farklı bloklara gönderilmiştir. Halilbeyli köyünde blok öncelik esaslı dağıtım sonucunda 414 işletmenin 301 adedi mülakat esaslı dağıtımla aynı bloklar içine yerleştirilmiş, 113 işletme ise mülakat esaslı

dağıtımdan farklı bloklara gönderilmiştir. Tekeli köyünde ise 301 işletmenin 220 adedi mülakat esaslı dağıtımla aynı bloklar içine yerleştirilmiş, 81 işletme ise mülakat esaslı dağıtımdan farklı bloklara gönderilmiştir.

Bu sonuçlara göre, Sobuca köyünde işletmelerin %85.23'ünün, Halilbeyli köyünde %72.7'sinin, Tekeli köyünde ise %73.09'unun her iki dağıtım modelinde aynı bloklara verildiği görülmektedir. Çizelge 5'de, seçilen örnek işletmeler için işletmelerin hangi bloklara gönderildiği gösterilmektedir.

Çizelge 5. Seçilen işletmelere ait dağıtım durumu

| SOBUCA     |                 |         | HALİLBEYLİ |         |         | TEKELİ     |         |         |
|------------|-----------------|---------|------------|---------|---------|------------|---------|---------|
| İşletme No | Model A         | Model B | İşletme No | Model A | Model B | İşletme No | Model A | Model B |
| 234        | 101,123         | 101,123 | 4          | 128     | 128     | 55         | 103     | 101     |
| 150        | 102             | 103     | 90         | 137     | 137     | 100        | 119     | 119     |
| 88         | 102             | 102     | 124        | 112     | 112     | 150        | 123     | 117     |
| 215        | 126             | 118     | 180        | 121     | 132     | 175        | 118     | 118     |
| 170        | 111,<br>112,117 | 112,117 | 204        | 132     | 103     | 200        | 118     | 118     |
| 1          | 111,115         | 110,111 | 300        | 125     | 125     | 301        | 129     | 129     |

Çizelge 5 incelendiğinde, Sobuca köyünde 234 ve 88 numaralı işletmeler her iki dağıtım modelinde de aynı bloklara, 170 ve 1 numaralı işletmelerde de kısmen aynı bloklara gönderilmişlerdir. 150 ve 215 numaralı işletmeler ise farklı bloklara gönderilmiştir. Halilbeyli köyünde 4, 90, 124 ve 300 numaralı işletmeler her iki dağıtım modelinde de aynı bloklara, 204 ve 180 numaralı işletmeler ise farklı bloklara gönderilmiştir. Tekeli köyünde ise 100, 175, 200 ve 301 numaralı işletmeler aynı bloklara, 55 ve 150 numaralı işletmeler ise farklı bloklara gönderilmiştir.

Ayrıca, üç proje alanı için farklı dört adet örnek işletme seçilmiştir. Bu işletmelere ait toplulaştırmadan önce ve her iki dağıtım modeline göre oluşan parsel sayıları Çizelge 6'da verilmiştir. Sobuca köyünde 168 numaralı, Halilbeyli köyünde 97 numaralı, Tekeli köyünde 78 numaralı işletmelerin kadastro parsellerinin proje sahasındaki dağılımı ve her iki dağıtım modeli için yeni parsellerinin konumu ve yeni parsellerinin konumu Şekil 5, 6 ve 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6. İşletme Bazında Yeni Parsel Sayıları

| SOBUCA     |               |         | HALİLBEYLİ |               |         | TEKELİ     |               |          |         |
|------------|---------------|---------|------------|---------------|---------|------------|---------------|----------|---------|
| İşletme No | PARSEL SAYISI |         | İşletme No | PARSEL SAYISI |         | İşletme No | PARSEL SAYISI |          |         |
|            | Kadastro      | Model A |            | Model B       | Model A |            | Model B       | Kadastro | Model A |
| 204        | 6             | 2       | 33         | 8             | 5       | 56         | 4             | 3        | 1       |
| 212        | 5             | 2       | 78         | 1             | 1       | 78         | 3             | 3        | 1       |
| 168        | 4             | 2       | 97         | 5             | 2       | 112        | 2             | 1        | 1       |
| 81         | 8             | 2       | 295        | 3             | 1       | 237        | 5             | 3        | 1       |



(a)

(b)

(c)

Şekil 5. Sobuca Köyü 168 numaralı işletmeye ait parseller a) Kadastro b) Model A c) Model B



(a)

(b)

(c)

Şekil 6. Halilbeyli Köyü 97 numaralı işletmeye ait parseller a) Kadastro b) Model A c) Model B



(a)

(b)

(c)

Şekil 7. Tekeli Köyü 78 numaralı işletmeye ait parseller a) Kadastro b) Model A c) Model B

### 3.4. İşletmelerin Akrabaları İle İlişkilerinin Değerlendirilmesi

Mülakat öncelik esaslı dağıtım modelinde çiftçilerle birebir iletişim kurulabildiği için çiftçilerin istekleri doğrultusunda eş, çocuk, akrabalar ile komşu olabilmek durumu söz konusudur. Ancak blok öncelik esaslı dağıtım modelinde sahaya gidilip çiftçilerle görüşmeler yapılmamaktadır. Budan dolayı istekler değerlendirilememektedir. Ancak, üç köy için dağıtım yapılırken 1000-2000 m<sup>2</sup>'den küçük alanlara sahip parseller, soy isimlerine bakılarak akrabalık ilişkilerine göre hisselendirilmeye çalışılmıştır. Bazı parsellerde ise akrabalık ilişkisi olmamasına rağmen bu işlem gerçekleştirilmek zorunda kalmıştır.

### 3.5. Dağıtım Modellerinin Genel Karşılaştırılması

Sobuca, Halilbeyli ve Tekeli köylerinde toplulaştırmadan önce bir parseli olan işletmelerin tüm işletmelere oranı sırasıyla %64.56, %49.16 ve

%62.91'dir. Bu oran toplulaştırmadan sonra mülakat esaslı dağıtım modelinde % 88.61, %82.25, %82.45 iken, blok öncelik esaslı dağıtım modelin ise %93.25, %92.57, %96.03'dür.

Toplulaştırma işlemi gerçekleştirilirken her işletmeye bir parsel verilmesine dikkat edilmiştir. Bu iki model her işletmeye bir parsel verilmesi yönünden değerlendirilirse, blok öncelikli dağıtım modelinin daha başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir. Blok öncelik esaslı dağıtım modelinde işletmelerle mülakat yapılmadığı için yani mülakatlar dikkate alınmadığı için mülakat işlemi için herhangi bir süre ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu durum proje süresinin kısalmasına ve proje maliyetinin de azalmasına katkıda bulunmaktadır. Mülakat esaslı dağıtım modeli ile blok öncelik esaslı dağıtım modelinin birbirlerine göre başarı durumları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Dağıtım Modellerinin Genel Değerlendirilmesi

| KRİTERLER  | SOBUCA   |          | HALİLBEYLİ |          | TEKELİ   |          |
|--|----------|----------|------------|----------|----------|----------|
|  | Model A  | Model B  | Model A    | Model B  | Model A  | Model B  |
| Parsel sayısı  | BAŞARILI | –        | BAŞARILI   | –        | BAŞARILI | –        |
| Tek hisseli parsel sayısı                                  | –        | BAŞARILI | –          | BAŞARILI | –        | BAŞARILI |
| Hisse sayısı   | –        | BAŞARILI | –          | BAŞARILI | –        | BAŞARILI |
| İşletme başına düşen parsel sayısı                         | –        | BAŞARILI | –          | BAŞARILI | –        | BAŞARILI |
| Ortalama parsel büyüklüğü                                  | BAŞARILI | –        | BAŞARILI   | –        | BAŞARILI | –        |
| İşletmelerin akrabaları ile durumlarının değerlendirilmesi | BAŞARILI | –        | BAŞARILI   | –        | BAŞARILI | –        |
| Yeni parsellasyon planlarının üretilme süreleri            | –        | BAŞARILI | –          | BAŞARILI | –        | BAŞARILI |

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Elde edilen dağıtım sonuçları, parsel sayısı ve ortalama parsel büyüklüğü yönünden değerlendirildiğinde mülakat esaslı dağıtım modelinin daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ancak hisse sayısı, tek hisseli işletme sayısı ve işletme başına düşen parsel sayısı yönünden değerlendirildiğinde ise blok öncelik esaslı dağıtım modelinin daha başarılı olduğu görülmektedir. Ayrıca bu modelde mülakat yapılmadığı için proje hem daha az maliyetle hem de daha kısa sürede tamamlanabilecektir. Akrabaların birbiri ile ilgili olan ilişkileri yönünden değerlendirildiğinde ise mülakat esaslı dağıtım modeli, blok öncelik esaslı dağıtım modeline göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Ülkemizde mülakat esaslı dağıtım modeli ile yapılan arazi toplulaştırmaları uzun sürede sonuçlanmaktadır. Bunun nedeni ise çiftçilerin isteklerinin tam olarak karşılanamamasıdır. Bu açıdan düşünüldüğünde zaman ve maliyet yönünden mülakat esaslı dağıtım modelinin diğer modele göre dezavantajlı olduğu düşünülebilir. Mülakat esaslı dağıtım modeli parsel sayısı açısından başarılı görülse de blok öncelik esaslı dağıtım modelinde işletmelerin bireysel olarak tarım arazisine sahip olmaları daha tercih edilebilir bir durumdur. Bu durum blok öncelik esaslı dağıtım modelini mülakat esaslı dağıtımdan göre daha başarılı kılar. Ayrıca mülakat esaslı dağıtımda karar vericinin tercihleri projeyi doğrudan etkilediği için verilen dağıtım kararlarının önemi büyüktür. Doğru kararlar verilememesi durumunda dağıtımda istenilen başarı yakalanamayabilir. Dağıtımda karar vericinin etkisini ortadan kaldırmak, zamanı kısaltmak ve arazi toplulaştırmasının amaçlarına daha uygun ve sağlıklı bir şekilde yürütmek için farklı dağıtım modelleri geliştirilmelidir.

Arazi toplulaştırma çalışmalarına tek bir açıdan bakmak doğru değildir. Toplulaştırma çalışmalarının her ne kadar dağınık ve parçalı tarım arazilerinin toplulaştırılması ilk hedef olarak gözükse de çalışma ve yaşam şartlarının artırılması, bölgenin refah seviyesinin arttırılması da göz ardı edilmemelidir. Bu yüzden sadece toplulaştırma çalışmalarının tamamlanması değil aynı zamanda işletmelerinde

bu çalışmadan memnun olması gerekmektedir. İşletmelerin memnuniyeti, istekleri ve şikâyetleri karşılandığı ölçüde toplulaştırma çalışmasının başarısı da artacaktır.

Mülakat esaslı dağıtım modelinde mülakat işleminin yapılması, akraba olan işletme sahiplerinin bir araya getirilmesi çoğu zaman toplulaştırmanın başarısını artırabildiği gibi her zaman bu durum söz konusu olamamaktadır. Mülakat işleminde işletmeler yakın akrabaları ile zaman zaman hisseli parsel sahibi olmak istemekte bu durum zaman ilerledikçe özellikle miras, hisselerin satışı gibi konularda hukuki sorunlar oluşmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, mülakat esaslı dağıtım modelinde işletme sahiplerine tercih hakkı verilmesi, her işletmenin kendi çıkarları doğrultusunda tercihlerinin gerçekleştirilmesi dolayısıyla çıkar çatışmalarının olması ve tercihlerin kısa sürede tamamlanamaması büyük bir zaman kaybına neden olabilmektedir. Buna ilaveten işlem adımlarının, askı işlemlerinin sürelerinin uzaması köylünün toplulaştırma çalışmalarına olan güveni de sarsabilecektir. Mülakat esaslı dağıtım modelinin günümüz şartlarındaki teknolojik yeterlilik göz önüne alındığında daha geleneksel bir yöntem olması, blok öncelikli dağıtım modelinin teknolojik gelişmeler ile entegre edilerek programlanabilir olması ve zaman tasarrufu sağlaması bakımından blok öncelik esaslı dağıtım modeli daha doğru sonuçların alınmasını sağlayabilecektir.

Ancak, blok öncelik esaslı dağıtım modelinde olduğu gibi çiftçi tercihlerinin alınmaması ve çiftçinin görüşlerine yer verilmemesi, çiftçileri yıllardır kullandıkları arazilerden, anılarının hatıralarının geçtiği, ata yadigârı olan arazilerden uzaklaştırabilecektir. Bu durum da arazi toplulaştırmasının başarısını olumsuz etkileyebilecek, sosyal sorunlara neden olabilecektir. Sadece zamandan tasarruf sağlamak, işlem yükünden kurtulmak ve teknik gereksinimleri yerine getirmek için çiftçi tercihlerine önem verilmemesi de doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Bu durum dağıtımdan memnun olmayan çiftçilerin hukuki yollara başvurmasına ve uygulamanın gecikmesine de neden olabilecektir.

Dağıtım modellerinde işlem adımları genel olarak birbirleriyle benzerlik göstermektedir ve ortak

adımlara sahiptir. Modellerin birbirlerine göre başarılı olduğu kısımlar göz önünde bulundurularak hibrit sistemler geliştirilebilir. Mülakat esaslı modelin başarılı kısımları ile blok öncelik esaslı dağıtım modelinin başarılı kısımları entegre edilmek suretiyle yeni bir model ortaya konulabilir. Çiftçilerin yakın akrabaları ile olan durumları ve bununla birlikte hasım ilişkilerini dikkate alan blok öncelik esaslı yeni bir model geliştirilebilir. Bir başka ifade ile arazi toplulaştırma çalışmalarının başlangıç aşamasında çiftçilerle görüşme esnasında hısım hasım ilişkilerinin belirlenebileceği ve özellikle küçük alanlı işletmelerin tek parsel mi, hisseli parsel mi istedikleri ile ilgili bir form hazırlanabilir ve çiftçilerin durumları ortaya çıkarılabilir. Böylece mülakat aşamasına gerek kalmadan ayrı bir zaman harcamadan bu bilgiler elde edilebilecektir. Bu aşamadan sonra mülakat yapmadan tarımsal parsellerin alan ve konumlarına göre dağıtım işlemi gerçekleştirilebilir. Böylece hem mülakat esaslı dağıtım modelinin hem de blok öncelik esaslı dağıtım modelinin eksik kısımları giderilebilir ve dağıtım işlemi için çiftçinin de memnun olduğu aynı zamanda teknik gereksinimlerin de karşılandığı daha uygun çözümler daha kısa zamanda ve daha az maliyetle oluşturulabilir.

## 5. Kaynaklar

- Agrawal, P., 1999. Urban land consolidation: a review of policy and procedures in Indonesia and other Asian countries, *GeoJournal*, **49** (3), 311–322.
- Asiama, K.O., Bennett, R., Zevenbergen, J. and Asiama, S.O., 2018. Land valuation in support of responsible land consolidation on Ghana's rural customary lands, *Survey Review*, **50** (361), 288-300.
- Avcı, M., 1999. A new approach oriented to new allotment model based on block priority method in land consolidation, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **23** (4), 451- 457.
- Ayrancı, Y., 2007. Re-allocation aspects in land consolidation: a new model and its application. *Journal of Agronomy*, **6** (2), 270-277.
- Ayten, T., 2007. Arazi toplulaştırma çalışmalarında optimizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 115.
- Boonchom, W., Piewthongngam, K., Polpinit, P. and Chatavithee, P., 2017. Land consolidation of small-scale farms in preparation for a cane harvester, *Computer and Electronics in Agriculture*, **142**, 59–69.
- Boyras, Z. ve Üstündağ, Ö., 2008. Kırsal alanlarda arazi toplulaştırma çalışmalarının önemi, *e-Journal of New World Sciences Academy*, **3**(3), 563-578.
- Cay T. and Ertunc, E., 2017. Analysis of the different land reallocation results in land consolidation project: a case study in üçhüyükler neighborhood, Cumra-Konya-Turkey, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **5** (2), 124-132.
- Cay, T. and Iscan, F., 2006. Optimization in land consolidation, XXIII FIG Congress, October 8-13, Munich, Germany.
- Cay, T. and Iscan, F., 2011. Fuzzy expert system for land reallocation in land consolidation, *Expert Systems with Applications*, **38** (9), 11055–11071.
- Crecente, R., Alvarez, C. and Fra, U., 2002. Economic, social and environmental impact of land consolidation in Galicia, *Land Use Policy*, **19** (2), 135–147.
- Çay T., Ertunç E., Haklı H. ve Uğuz H., 2017. Arazi toplulaştırmada dağıtım için yeni yazılım geliştirmesi üzerine bir çalışma, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs, Ankara.
- Çay, T., İşcan, F. ve Ayten, T., 2009. Arazi toplulaştırma projelerinde mülakat ve blok öncelik esaslı dağıtım modellerinin karşılaştırılması, 4. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 14-16 Ekim, Trabzon.
- Demetriou, D., 2017. A spatially based artificial neural network mass valuation model for land consolidation, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, **44** (5), 864–883.
- Demetriou, D., See, L. and Stillwell, J., 2013. A spatial genetic algorithm for automating land partitioning. *International Journal of Geographical Information Science*, **27** (12), 2391–2409.



- Demetriou D., Stillwell J. and See L., 2012. An integrated planning and decision support system (IPDSS) for land consolidation: theoretical framework and application of the land redistribution modules, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, **39** (4), 609-628.
- Demirtaş, E. ve Sarı, M., 2016. Arazi toplulaştırması, *Derim*, **20** (1), 48–58.
- Eroğlu, H. ve Şişman, Y., 2020, Arazi toplulaştırması dağıtım işleminde tek amaçlı genetik algoritmanın kullanılması, *Geomatik*, **5** (1), 105-115.
- Ertunç, E., 2018. Arazi toplulaştırma çalışmalarında hibrit yöntem uygulaması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 172.
- Ertunc, E., Cay, T. and Hakli, H., 2018. Modeling of reallocation in land consolidation with a hybrid method, *Land Use Policy*, **76**, 754–761.
- Haklı, H., 2017. Arazi toplulaştırma için optimizasyon tabanlı yeni bir dağıtım ve parselasyon modelinin geliştirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 124.
- Hakli, H., Uguz, H. and Cay, T., 2018. Genetic algorithm supported by expert system to solve land redistribution problem, *Expert Systems*, **35**(6), 1-17.
- İnceyol, Y., 2014. Arazi düzenleme çalışmalarında genetik algoritma uygulaması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 147.
- İşcan, F., 2009. Arazi düzenleme çalışmalarında bulanık mantık uygulaması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 173.
- Jansen, L. J. M., Karatas, M., Küsek, G., Lemmen, C. and Wouters, R., 2010. The computerised land re-allotment process in turkey and the Netherlands in multi-purpose land consolidation projects, FIG Congress, 11-16 April, Sydney, Australia.
- Jurgenson, E., 2016. Land reform, land fragmentation and perspectives for future land consolidation in Estonia, *Land Use Policy*, **57**, 34–43.
- Küsek, G., 2014. Türkiye' de arazi toplulaştırmasının yasal durumu ve tarihsel gelişimi, *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **29** (1), 1 – 6.
- Lerman, Z. and Cimpoies, D., 2006. Land consolidation as a factor for rural development in Moldova, *Europe Asia Studies*, **58** (3), 439–455.
- Nguyen, H. O. and Warrb, P., 2020. Land consolidation as technical change: Economic impacts in rural Vietnam, *World Development*, **127**, 1-11.
- Rosman, F., 2012. Automated parcel boundary design systems in land consolidation, FIG Working Week, 6-10 May, Rome, Italy.
- Uyan M., 2011, Arazi düzenlemesi çalışmalarında mekânsal karar destek sistemleri kurulumu ve uygulaması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 185.
- Uyan, M., Cay, T. and Akcakaya, O., 2013. A spatial decision support system design for land reallocation: a case study in Turkey, *Computer and Electronics in Agriculture*, **98**, 8–16.
- Van Huylenbroeck, G., Coelho, J.C. and Pinto, P.A., 1996. Evaluation of land consolidation projects (LCPs): a multidisciplinary approach, *Journal of Rural Studies*, **12** (3), 297–310.
- Yinga, L., Dongb, Z., Meic, J.W., Shend, Z. and Zhangb, Y., 2020. Rural economic benefits of land consolidation in mountains and hilly areas of southeast China: Implications for rural development, *Journal of Rural Studies*, **74**, 142-159.

#### İnternet kaynakları

- 1- [https://fka.gov.tr/sharepoint/userfiles/Icerik\\_Dosya\\_Ekleri/FKA\\_ARASTIRMA\\_RAPORLARI/ARAZ%C4%B0%20TOPLULA%C5%9ETIRMA.pdf](https://fka.gov.tr/sharepoint/userfiles/Icerik_Dosya_Ekleri/FKA_ARASTIRMA_RAPORLARI/ARAZ%C4%B0%20TOPLULA%C5%9ETIRMA.pdf), (28.08.2020)
- 2- <http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2018-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2#page=52>, (04.09.2020)
- 3- <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> (04.09.2020)
- 4- <https://www.kartemuhendislik.com>, (15.02.2020)
- 5- <https://www.wikizero.com/tr/Koçarlı>, (15.02.2020)

## Comparative Design and Economic Analysis of Asphalt and Concrete Overlays for Airfield Pavements

Orhan KAYA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Department of Civil Engineering, Adana.

\* Corresponding author email: okaya@atu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6072-3882>

Geliş Tarihi: 09.05.2020

Kabul Tarihi: 28.10.2020

### Abstract

Overlays for airfield pavements are one of the cost effective and efficient pavement rehabilitation options. In this study, the Federal Aviation Administration's state-of-the-art mechanistic-empirical overlay design methodology (FAARFIELD) was explained, design examples using FAARFIELD version 1.42. for both concrete and asphalt overlays were presented, and the results of these examples were compared. For the overlay design scenarios on existing asphalt surface layers, it was found that, overlay thickness decreases, as existing asphalt surface layer thickness increases, and calculated concrete overlay thicknesses were higher than calculated asphalt overlay thicknesses for the same existing asphalt surface layer thicknesses. On the other hand, for the overlay design scenarios on existing concrete surface layers, both asphalt and concrete overlay thicknesses were found to be very similar to each other. Based on FAARFIELD-calculated overlay thicknesses, an economic analysis was carried out to find out the most economic overlay design options for a variety of design scenarios. Although for some overlay cases concrete overlay design thicknesses were found to be higher than asphalt overlay design thickness, cost of concrete overlays was found to be less than that of asphalt overlays. This is because unit cost for concrete materials is less than that for asphalt materials. Incorporating a state-of-the-art mechanistic-empirical overlay design for airfield overlay pavements as well as considering local cost in the economic analysis to determine which type of overlay would be a more suitable option for a variety of pavement design cases would be very beneficial to Turkish airfield pavement design practices.

### Keywords

Airfield pavements;  
Concrete overlays;  
Asphalt overlays;  
Pavement design

## Havaalanı Kaplamalarını Asfalt ve Beton ile Yeniden Kaplamanın Karşılaştırmalı Dizayn ve Ekonomik Analizi

### Öz

Havaalanı kaplamaları için yeniden kaplama uygun maliyetli ve verimli kaplama rehabilitasyon seçeneklerinden biridir. Bu çalışmada, Amerikan Federal Havaacılık İdaresi'nin (FAA) son teknoloji mekanik-ampirik kaplama tasarım metodolojisi (FAARFIELD) açıklanmış, hem beton hem de asfalt yeniden kaplamalar için FAARFIELD versiyon 1.42 kullanılarak tasarım örnekleri sunulmuştur ve bu örneklerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Mevcut asfalt yüzey katmanları üzerindeki yeniden kaplama tasarım senaryoları için, mevcut asfalt yüzey katmanı kalınlığı arttıkça yeniden kaplama kalınlığının azaldığı ve hesaplanan beton yeniden kaplama kalınlıklarının, aynı mevcut asfalt yüzey katman kalınlıkları için hesaplanan asfalt yeniden kaplama kalınlıklarından daha yüksek olduğu bulunmuştur. Öte yandan, mevcut beton yüzey tabakaları üzerindeki yeniden kaplama tasarım senaryoları için, hem asfalt hem de beton yeniden kaplama kalınlıkları birbirine çok benzer bulunmuştur. FAARFIELD tarafından hesaplanmış yeniden kaplama kalınlıklarına dayanarak, çeşitli tasarım senaryoları için en ekonomik yeniden kaplama tasarım seçeneklerini bulmak için bir ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Bazı yeniden kaplama durumları için beton yeniden kaplama tasarım kalınlıkları asfalt yeniden kaplama tasarım kalınlığından daha yüksek bulunmasına rağmen, beton yeniden kaplamaların maliyeti asfalt yeniden kaplamalardan daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeni, beton malzemeler için birim maliyetin asfalt malzemeler için olan maliyetten daha az olduğudur. Havaalanı yeniden kaplamaları için son teknoloji ürünü mekanik-ampirik yeniden kaplama tasarımının yanı sıra, çeşitli yeniden kaplama tasarım durumları için hangi yeniden kaplama tipinin daha uygun bir seçenek olacağını belirlemek için ekonomik analizde yerel maliyeti göz önünde bulundurmanın, Türk havaalanı kaplama tasarım uygulamalarına faydalı olacağı belirtilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Havaalanı kaplamaları;  
Beton yeniden kaplamalar;  
Asfalt yeniden kaplamalar;  
Havaalanı kaplama dizaynı

## 1. Introduction

Overlays are one of the cost effective and efficient pavement rehabilitation options because reconstruction of airfield pavements requires greater construction times (and so a greater closure time of an airport) and more money compared to overlays. Increasing closure time of a runway in a busy airport negatively affects both user and agency costs. Therefore, overlays, adding another layer(s) of pavement on available surface layer would be a good alternative to reconstruction. Some of the reasons why airfield pavements may need rehabilitation are as follows (FAA 2016):

- To improve functional and structural conditions of airfield pavements
- To eliminate material-related distresses and distresses related to overloading
- To increase overall structural capacity of pavement to enable heavier aircraft land on them or extend number of operations on them

Rehabilitation strategies are an important part of pavement management systems (Dong and Huang 2012, Huang 2003). An effective and efficient pavement management system should consider all reconstruction, maintenance and rehabilitation options together and manage them well in order to keep all pavement sections in a road network in an acceptable condition (Yu and Lu 2012, Morova *vd.* 2016). Especially for the developed countries where road network is quite well-distributed nationwide, keeping whole road network in both structurally and functionally good condition requires spending a significant portion of total budget for roads on pavement rehabilitation and maintenance compared to building new pavements. Turkey is one of the developing countries where many new road sections are built. However, if the newly built road sections are not well maintained and rehabilitated, these road sections might deteriorate fast, so bringing deteriorated road sections in good condition might require greater amount of money compared to the one needed to timely maintain and rehabilitate them (Şengün *vd.* 2020).

Design and construction of overlays require many considerations such as: Transition and drainage between existing layer and overlays should be considered and condition of the existing pavement should be assessed and improved, if needed. Namely, distressed asphalt layers could be milled to some extent to remove severely deteriorated portion of the asphalt layers or severely cracked slabs could be partially or fully repaired to ensure that existing layers have enough structural capacity. If an existing pavement section has poor subsurface drainage; then its drainage condition should be improved before overlay is applied.

Overlays are broadly categorized into two groups: asphalt and concrete overlays. Both asphalt and concrete overlays have been widely used for highway pavements for quite long time but not much in airfield pavements (Harrington and Fick 2014).

Concrete overlays are also broadly separated as bonded and unbonded concrete overlays. Bonded concrete overlays are used as preventative maintenance or minor rehabilitation options and mostly used on highway pavements. They are required to be overlaid on an existing pavement layer with good to fair structural condition. They are designed to add some structural capacity to the existing surface. Bonded concrete overlays are relatively thin (2–6 in. [50–150 mm]) compared to unbonded concrete overlays. Design philosophy in bonded concrete overlays is that they should be bonded to the existing surface well that both overlays and existing surface layers behave as a one monolithic structure. On the other hand, unbonded concrete overlays are applied on an existing surface with moderate or severe distresses, where existing surface layer is treated as a stable base, so existing surface layer is not counted as a structural surface element in the overlay design. Unbonded concrete overlays are used as minor or major rehabilitation options (Harrington and Fick 2014, Bhattacharya *et al.* 2017, Vandebossche and Fagerness 2002). Both bonded and unbonded concrete overlays have subcategories depending on the type of existing surface layer (Figure 1).

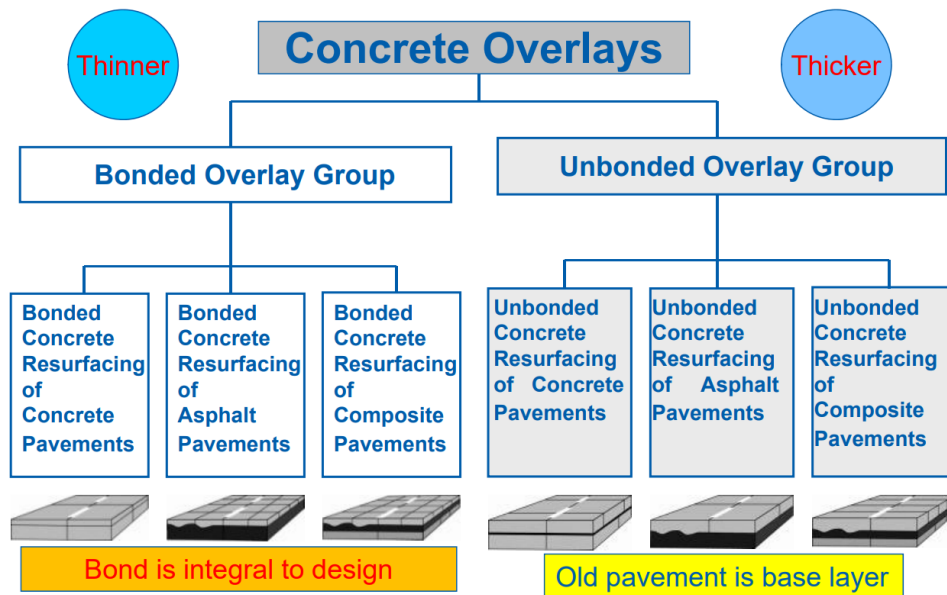


Figure 1. Types of concrete overlays (Harrington and Fick 2014)

Asphalt overlays could also be applied on both existing concrete and asphalt surface layers. They can be used for preservation or structural purposes. Preservation overlays are used to preserve existing surface in good condition whereas structural overlays are used to add some structural capacity to the existing surface layer. Therefore, structural asphalt overlays are mostly thicker than preservation asphalt overlays. In the design and construction of asphalt overlays, several parameters should be considered such as: whether a pre-overlay repair is needed; how reflection cracking coming from existing surface layer should be controlled; how future traffic will change; and whether an improvement in sub-drainage is needed etc. (SCAPA 2016).

Some mechanistic and mechanistic-empirical pavement design methodologies have been developed for both concrete and asphalt overlays, mostly for highway pavement applications. Some of these design methodologies developed for highway overlay pavement applications are summarized in Table 1. Detailed information on each design methodology can be found in Harrington and Fick (2014). As can be seen in Table 1, some of these design methodologies are specifically developed for either asphalt or concrete overlays whereas some of them are developed for both overlay types.

Historically, Asphalt Institute’s design method (Asphalt Institute 1983) and The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)’s 1993 guide for design of pavement structures (AASHTO 1993) have been widely used in the design of asphalt overlays whereas AASHTO 1993 guide for design of pavement structures (AASHTO 1993) has been widely used in the design of concrete overlays. However, all these three methodologies were based on empirical relations and equations. To advance the design methodologies and carry out the overlay design based on mechanistic relations, based on mechanics of materials principals, some mechanistic-empirical pavement design methodologies have been developed (Table 1).

Although some design methodologies and associated design software have been developed for highway overlay pavements, there has been not much study regarding the overlay design for airfield pavements. Some empirical equations and graphs have been developed by International Civil Aviation Organization (ICAO) for overlay designs (ICAO 1983). These empirical equations have also been used in Turkey for overlay designs (DLH 2007).

**Table 1.** Design methodologies developed for highway overlay pavements

| Overlay Type                       | Name  | Empirical or Mechanistic-Empirical | Reference                          |
|------------------------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|
| Concrete Overlay                   | ACPA bonded concrete overlay on asphalt (BCOA) thickness designer | Mechanistic-Empirical              | (Int Kyn. 1)                       |
|                                    | BCOA ME   | Mechanistic-Empirical              | (Vandenbossche <i>et al.</i> 2017) |
|                                    | Optipave V2.0   | Mechanistic-Empirical              | (Covarrubias and Covarrubias 2008) |
|                                    | StreetPave  | Empirical                          | (Int Kyn. 2)                       |
| Asphalt Overlay                    | Asphalt Institute design method                                   | Empirical                          | (Asphalt Institute 1983)           |
|                                    | CALTRANS's flexible overlay design method                         | Empirical                          | (CALTRANS 1972)                    |
| Both Concrete and Asphalt Overlays | AASHTO 1993 guide for design of pavement structures               | Empirical                          | (AASHTO 1993)                      |
|                                    | AASHTO Pavement ME design guide                                   | Mechanistic-Empirical              | (Int Kyn. 3)                       |

However, more advanced methodologies considering mechanistic relations as well as accommodating newly emerging wide-body aircraft in the design methodology were needed as an alternative to ICAO's old empirical equations. The Federal Aviation Administration (FAA) has developed a mechanistic-empirical based overlay pavement design methodology where it considers all mechanical loads coming from a set of aircraft projected to land on overlaid pavements and calculating all fatigue damage coming from these mechanical loads in order to do overlay thickness design. Its design methodology has been incorporated into its design software, FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design (FAARFIELD). Latest version of FAARFIELD is version 1.42, where its aircraft library includes a wide-range of aircraft including newly emerging wide-body aircraft (Int Kyn. 4).

In this study, FAARFIELD design methodology for overlays will be explained in great detail. Design examples using FAARFIELD version 1.42 for both concrete and asphalt overlays will be presented, and the results of these examples will be compared. Based on FAARFIELD-calculated overlay thicknesses, an economic analysis will be carried out based on unit costs for both concrete and asphalt overlays obtained from 2019 Construction and Installation Unit Prices Book of Republic of Turkey, the Ministry of Environment and Urbanism (CSB 2019), to find out the most economic overlay design options for a variety of design scenarios. Incorporating a state-of-the-art mechanistic-empirical overlay design

methodology for airfield overlay pavements as well as considering local cost in the economic analysis to determine which type of overlay would be a more suitable option for a variety of pavement design scenarios would be very beneficial to Turkish airfield pavement design practices. This study also highlights that rehabilitation options should also be fully considered as an alternative to reconstruction as they are mostly cheaper and faster alternatives compared to reconstruction.

## 2. FAARFIELD Overlay Design

FAARFIELD allows users to design four types of overlays: asphalt overlays on existing asphalt or concrete surfaces and concrete overlays on existing asphalt or concrete surfaces. In terms of mechanistic models, FAARFIELD uses a layered elastic analysis for asphalt overlays and three-dimensional finite element analysis (3D-FE) for concrete overlays. Design life for overlays could be selected by the users with a range between 1 year and 50 years, 20 years being the default value (FAA 2016).

### 2.1 Design comparisons of asphalt and concrete overlays on existing asphalt surfaces

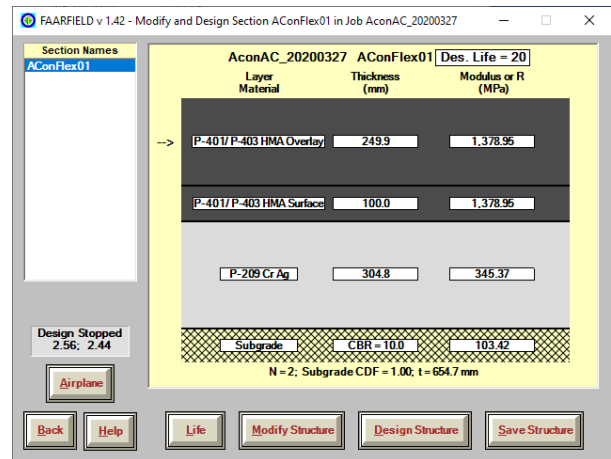
FAARFIELD requires a minimum asphalt overlay thickness of 2 inches (50 mm) for nonstructural asphalt overlays and 3 inches (75 mm) for structural asphalt overlays on existing asphalt surface layers. Thickness design for asphalt overlays on existing asphalt surfaces is carried out by FAARFIELD as follows: FAARFIELD first assigns a trial asphalt

overlay thickness on an existing pavement structure and revises this assigned thickness as a result of an iteration process until a cumulative damage factor, ratio between number of applied load repetitions coming from design airplane mix and number of allowable load repetitions to failure, reaches the value of “1”. Calculated asphalt overlay thickness as a result of this iteration process is determined as design asphalt overlay thickness, given that calculated thickness values are higher than minimum thicknesses mentioned above (FAA 2016). As part of this iteration process, mechanical loads coming from an aircraft mix are applied on overlays with the trial asphalt overlay thickness and pavement responses are calculated in critical pavement response locations using the mechanistic models. Then, the calculated pavement responses are input into the fatigue damage model to determine cumulative damage caused by the aircraft mix. If the ratio between the calculated cumulative damage and the allowable damage is not equal to “1”, the trial asphalt overlay thickness is changed and the whole iterative process is repeated until the ratio reaches “1”.

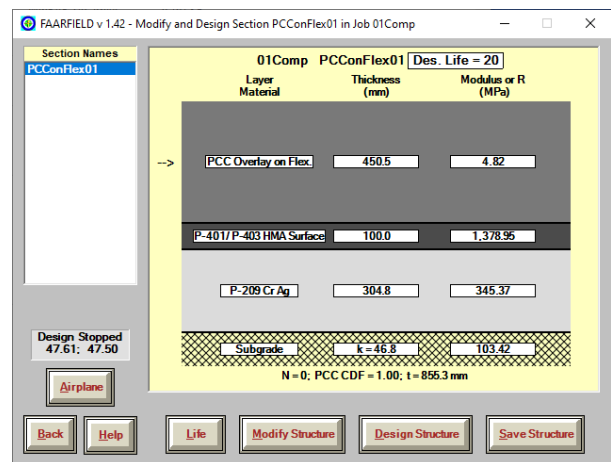
FAARFIELD also designs an unbonded concrete overlay on an existing asphalt surface by treating the existing asphalt surface layer as a stabilized base layer and optimizing unbonded concrete overlay thickness. Similar to asphalt overlays, FAARFIELD first assigns a trial unbonded concrete overlay thickness and revises this thickness based on an iteration process until a CDF value of “1” is reached. Minimum allowable unbonded concrete overlay on an existing asphalt surface layer in FAARFIELD is 6 inches (150 mm).

Screenshot examples of FAARFIELD runs can be seen in Figure 2 for (a) an asphalt and (b) an unbonded concrete overlay on existing asphalt surfaces. As can be seen in Figure 2, all pavement structure could be customized and corresponding input parameters for each pavement layer could be entered and revised. Design life could also be input by the user. Aircraft mix that will be used in the analysis, annual departures and percent annual growth for each aircraft in the mix could be customized as well, which will be discussed later in this paper. Once all

inputs are entered, “Design Structure” button is clicked to initiate the iteration process. FAARFIELD revises the overlay thickness until a CDF value of “1” is reached (Figure 2).



(a)



(b)

**Figure 2.** Screenshot examples of FAARFIELD runs for (a) an asphalt and (b) an unbonded concrete overlays on existing asphalt surfaces

In this study, FAARFIELD runs will be carried out based on mechanical loads coming from a mix of aircraft shown in Table 2. These aircraft mix was selected in the runs because they are the four most common aircraft in Turkish Airline’s fleet as of 2019 (Int Kyn. 5). Corresponding gross weights, assumed annual departures and percent annual growth of traffic are also presented in Table 2. B777-300 ER is the heaviest aircraft, a wide-body aircraft, in its fleet. Another wide body aircraft in its fleet is A330-200 aircraft, while other two aircraft, B737-800 and A321-200, are categorized as narrow-body aircraft.

Annual departures of each aircraft were selected proportionally to their numbers in Turkish Airline's fleet (Int Kyn. 5).

**Table 2.** List of aircraft, their gross weight, annual departures and percent annual growth in FAARFIELD runs

| Name of Aircraft | Gross Weight (tons) | Annual Departures | % Annual Growth |
|------------------|---------------------|-------------------|-----------------|
| B777-300 ER      | 352.441             | 1,200             | 2.00            |
| B737-800         | 79.243              | 3,600             | 2.00            |
| A321-200 std     | 89.400              | 3,600             | 2.00            |
| A330-200 std     | 230.900             | 2,400             | 2.00            |

In this study, these aircraft loads will be applied on a pavement structure with the following configuration: a subgrade with a California Bearing Ratio (CBR) value of 10%, a P-209 type crushed aggregate granular base, a type of granular base with specific gradation defined by FAA (FAA 2018), with a thickness of 304.8 mm and a modulus value of 345.37 MPa laying on the subgrade (Figure 2). On top of this granular base, an existing asphalt surface layer is laid. Overlays are applied on top of the existing asphalt surface layer. Existing asphalt surface layer thickness was varied and both asphalt and concrete overlay thicknesses are calculated for each existing asphalt surface layer thickness (Table 3). In terms of design life, 20 years was assumed (Figure 2). As can be seen in Table 3, in both asphalt and concrete overlay designs, overlay thickness decreases, as existing asphalt surface layer thickness increases. Also, calculated concrete overlay thicknesses were found to be higher than calculated asphalt overlay thicknesses for the same existing asphalt surface layer thicknesses (Table 3).

**Table 3.** Comparison of calculated asphalt and concrete overlay thicknesses by FAARFIELD based on various existing asphalt surface layer thicknesses

| Existing Asphalt Layer Thickness (mm) | Calculated Asphalt Overlay Thickness by FAARFIELD (mm) | Calculated Concrete Overlay Thickness by FAARFIELD (mm) |
|---------------------------------------|--|---|
| 40                                    | 309.9  | 454.6   |
| 60                                    | 289.9  | 453.2   |
| 80                                    | 269.9  | 451.9   |
| 100                                   | 249.9  | 450.5   |
| 120                                   | 229.9  | 449.2   |

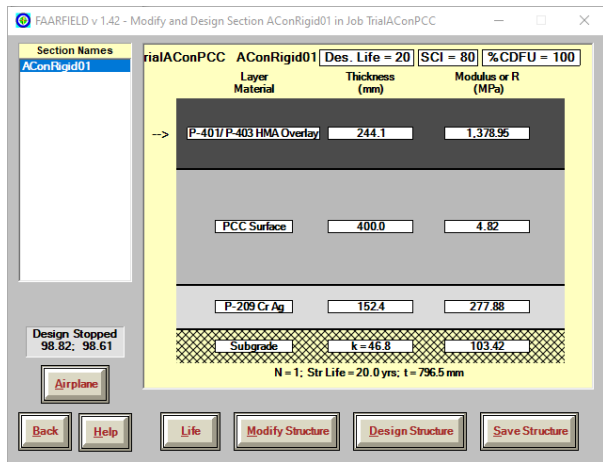
## 2.2 Design comparisons of asphalt and concrete overlays on existing concrete surfaces

In the design of overlays on existing concrete layers, FAARFIELD requires structural condition of existing concrete surface layer to be evaluated and input into the software. Structural condition of the existing concrete surface layer is estimated in terms of structural condition index (SCI), a similar parameter to pavement condition index but only considering structural failures, 100 being no visible structural cracks and 0 being total failure (FAA 2016). An SCI value of 80 means that 20% of the structural capacity of the existing concrete pavement is lost during its previous use. In this study, a SCI value of 80 will be used to characterize structural condition of the existing concrete surface layer and both asphalt and unbonded concrete overlays will be placed on it. Similar to overlays on existing asphalt surface layer cases, a subgrade with a k value, modulus of subgrade reaction, of 46.8 Mega-newton (MN) per cubic meter, an equivalent number to a CBR value of 10%, on top of which, a P-209 granular crushed aggregate base with 152.4 mm thickness will be used (Figure 3). Figure 3 shows examples of FAARFIELD runs for asphalt and concrete overlays on existing concrete surface layers. In terms of mechanical load, the same aircraft mix used in overlay cases on existing asphalt surface layers (Table 2) are used. Minimum allowable unbonded concrete overlay on existing concrete layer thickness in FAARFIELD is 6 inches (150 mm). In FAARFIELD runs, a design life of 20 years was used, the same as overlay cases on existing asphalt surface layers.

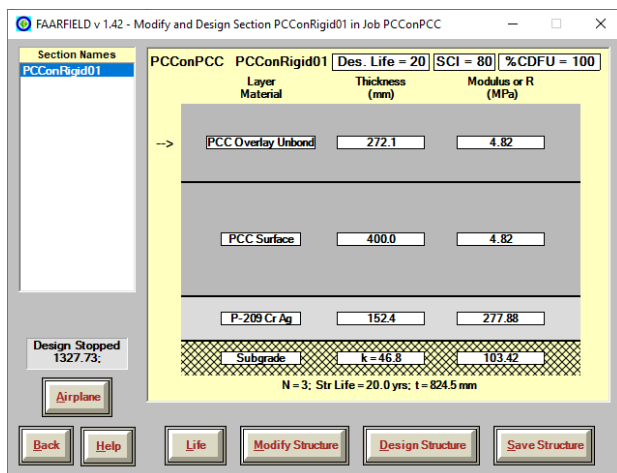
Table 4 shows comparisons of FAARFIELD-calculated asphalt and concrete overlays on a existing concrete surface layers with a variety of thicknesses. As can be seen in Table 4, as existing concrete surface layer thickness increases, both asphalt and concrete overlay thicknesses decrease. Different than overlays on existing asphalt surface layer cases, both asphalt and concrete overlay thicknesses on existing concrete surface layers were found to be very similar to each other, especially for 350 and 400 mm existing concrete surface layer thickness cases. Moreover, as can be seen in Table 4, the rate of



decrease in overlay thickness was found to be higher for asphalt overlays than for concrete overlays as existing concrete surface layer thickness increases.



(a)



(b)

**Figure 3.** Screenshot examples of FAARFIELD runs for (a) an asphalt and (b) an unbonded concrete overlays on existing concrete surfaces

**Table 4.** Comparison of calculated asphalt and concrete overlay thicknesses by FAARFIELD based on various existing concrete surface layer thicknesses

| Existing Concrete Layer Thickness (mm) | Calculated Asphalt Overlay Thickness by FAARFIELD (mm) | Calculated Concrete Overlay Thickness by FAARFIELD (mm) |
|--|--|---|
| 350                                    | 337.7  | 320.3   |
| 400                                    | 244.1  | 272.1   |
| 450                                    | 117.1  | 209.1   |

Why selected existing asphalt surface layer thicknesses in the previous chapter of this paper were significantly less than the existing concrete surface layer thicknesses is that, before overlays are applied on the existing asphalt surface layer, mostly, asphalt layer is milled to some extent to remove highly distressed top portion of the existing asphalt surface layer, reducing its thickness. However, existing concrete surface layer could not be milled but rather cracked and fault on its surface could be treated.

### 3. Economic Analysis of Overlay Designs

An economic analysis of various overlay design options based on FAARFIELD design calculations presented in the previous chapters of this paper will be carried out. In the economic analysis, only initial cost of overlays, or construction cost, is considered; while maintenance cost of overlays is not considered. In terms of construction cost, a unit price considering material, equipment, labor and transportation costs for both concrete and asphalt overlays, obtained from 2019 Construction and Installation Unit Prices Book of Republic of Turkey, the Ministry of Environment and Urbanism (CSB 2019), is used. As stated in the previous chapters of this papers, in the comparison of overlay design thicknesses, the same existing pavement configuration (the same subgrade material, the same granular base and existing surface layer materials and thicknesses) was used for the same overlay cases, only overlay thicknesses were optimized. Therefore, cost of existing surface layers was the same for both concrete and asphalt overlay cases. That is why, only both asphalt and concrete overlay costs for the same existing pavement type and configuration were compared in the economic analysis.

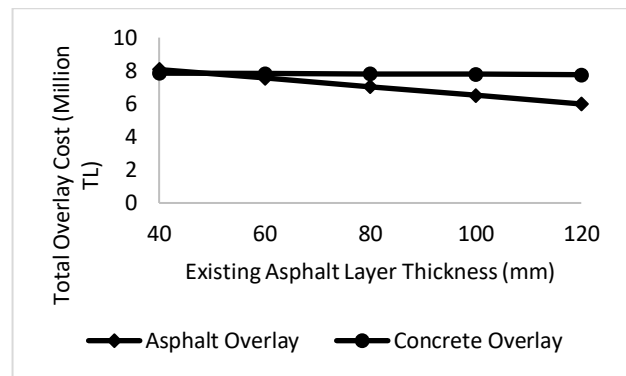
- Unit asphalt overlay cost including materials, transportation (up to 10 km distance), construction and labor is calculated as approximately 180.79 Turkish Lira (TL)/ton (CSB 2019). Considering the density asphalt as 2.4 ton/m<sup>3</sup>, 180.79 Turkish Lira (TL)/ton can be converted into 433.90 TL/m<sup>3</sup>.
- Unit concrete overlay cost including materials, transportation (up to 10 km distance),



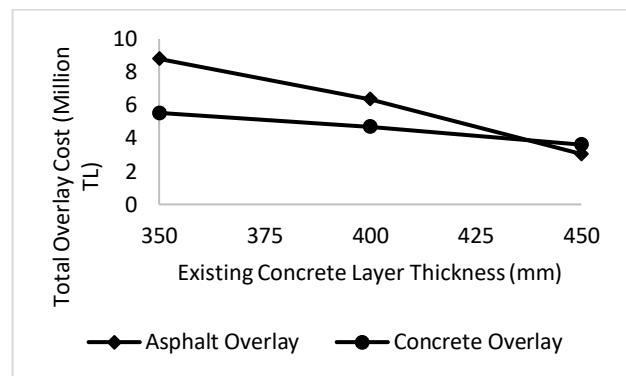
construction, labor, concrete curing and jointing is calculated as approximately 287.81 TL/m<sup>3</sup> (CSB 2019).

Total overlay cost comparisons will be based on a runway with a width of 60 m. and a length of 1,000 m. Figure 4 shows comparisons of estimated construction costs for both asphalt and concrete overlays on existing asphalt (Figure 4a) and concrete (Figure 4b) surface layers with various thicknesses. As can be seen in Figure 4a, construction cost of asphalt overlay was slightly higher than the one of concrete overlay on an existing asphalt surface layer with a 40 mm thickness, although FAARFIELD-calculated concrete overlay thickness was higher than asphalt overlay thickness. This is because, unit cost of concrete overlay for the same thickness is lower than the unit cost of asphalt overlay. However, after the existing asphalt surface layer thickness of 50 mm, construction cost of concrete overlay exceeds the construction cost of asphalt overlay. This is because, the rate of decrease in overlay thickness was found to be higher for asphalt overlays than for concrete overlays as existing concrete surface layer thickness increases (Table 3).

Cost of asphalt overlays on existing concrete surface layers were calculated to be significantly higher than the cost of concrete overlays on existing concrete surface layers for the existing concrete surface layer thickness of 350 mm. The cost difference between asphalt and concrete overlays on existing concrete surface layer decreases as existing concrete surface layer thickness increases. This is because FAARFIELD-calculated asphalt and concrete overlay thicknesses were similar for the existing concrete surface layer thickness of 350- and 400-mm cases (Table 4) and unit cost of concrete overlay was less than the unit cost of asphalt overlay.



(a)



(b)

**Figure 4.** Overlay Cost Comparisons for (a) Overlays on Existing Asphalt Surface Surface Layers and (b) Overlays on Existing Concrete Layers

#### 4. Conclusions and Discussion

In this study, FAA’s state-of-the-art mechanistic-empirical based FAARFIELD design methodology for overlays was explained in great detail. Then, design examples using FAARFIELD version 1.42. for both concrete and asphalt overlays were presented, and the results of these examples were compared. In these design examples, the four most common aircraft in Turkish Airline’s fleet as of 2019 were used as mechanical loads. For the overlay design scenarios on existing asphalt surface layers, it was found that, overlay thickness decreases, as existing asphalt surface layer thickness increases. It was also found for the overlay design scenarios on existing asphalt surface layer that, calculated concrete overlay thicknesses were higher than calculated asphalt overlay thicknesses for the same existing asphalt thicknesses. On the other hand, for the overlay design scenarios on existing concrete surface layers, both asphalt and concrete overlay

thicknesses were found to be very similar to each other especially for 350 and 400 mm existing concrete surface layer thickness cases.

Based on FAARFIELD-calculated overlay thicknesses, an economic analysis was carried out based on unit costs for both concrete and asphalt overlays obtained from 2019 Construction and Installation Unit Prices Book of Republic of Turkey, the Ministry of Environment and Urbanism, to find out the most economic overlay design options for a variety of design scenarios. It was found that construction cost of asphalt overlay was slightly higher than the one of concrete overlay on an existing asphalt surface layer with 40 mm thickness, although FAARFIELD-calculated concrete overlay thickness was higher than asphalt overlay thickness. On the other hand, cost of asphalt overlays on existing concrete surface layers were calculated to be significantly higher than the cost of concrete overlays on existing concrete surface layers for the existing concrete surface layer thickness of 350 mm. This result can be explained by the fact that unit cost of concrete overlay for the same thickness is lower than the unit cost of asphalt overlay.

Incorporating a state-of-the-art mechanistic-empirical overlay design for airfield overlay pavements as well as considering local cost in the economic analysis to determine which type of overlay would be a more suitable option for a variety of overlay design cases would be very beneficial to Turkish airfield pavement design practices. This study also highlights that rehabilitation options should also be fully considered as an alternative to reconstruction as they are mostly cheaper and faster alternatives compared to reconstruction. It should be noted that Turkey is one of the leading cement producers and importers in the World. On the other hand, Turkey is an oil exporter country, where the most expensive component of asphalt, asphalt binder, is a byproduct of. That is why, unit material cost of concrete is significantly less than that of asphalt in Turkey. From the economic analysis perspective, concrete overlays made out of locally produced cement would be a cost-effective rehabilitation option along with asphalt overlays.

## 5. References

- AASHTO, 1993. Guide for Design of Pavement Structures. 4th ed. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Asphalt Institute, 1983. Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, Manual Series.
- Bhattacharya, B., Gotlif, A. and Darter, M., 2017. Implementation of the Thin Bonded Concrete Overlay of Existing Asphalt Pavement Design Procedure in the AASHTOWare Pavement ME Design Software. *Transportation Research Record*, **2641(1)**, 12–20.
- CALTRANS, 1972. Methods of Testing to Determine Overlay and Maintenance Requirements by Pavement Deflection Measurements, Test Method No. Calif. 356-C.
- Covarrubias T. and Covarrubias V., 2008. TCP Design for Thin Concrete Pavements. 9th International Conference on Concrete Pavements, San Francisco, CA.
- CSB, 2019. Construction and Installation Unit Prices Book of Republic of Turkey, the Ministry of Environment and Urbanism.
- DLH, 2007. Havameydanları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları. T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü.
- Dong, Q. and Huang, B., 2012. Evaluation of effectiveness and cost-effectiveness of asphalt pavement rehabilitations utilizing LTPP data. *Journal of Transportation Engineering*, **138(6)**.
- FAA, 2016. Advisory Circular, Airport Pavement Design and Evaluation, AC 150-5320-6F.
- FAA, 2018. Advisory Circular, Standard for Specifying Construction of Airports, AC 150/5370-10H.
- Harrington, D. and Fick, G., 2014. Guide to Concrete Overlays: Sustainable Solutions for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavements (3rd edition), ACPA Publication.
- Huang, Y. H., 2003. Pavement analysis and design, 2nd edition. Pearson, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 600-652.
- ICAO, 1983. Aerodrome Design Manual, Second Edition. International Civil Aviation Organization (ICAO).
- Morova, N., Terzi, S., Gökova, S. and Kardeş, M., 2016. Pavement management systems application with geographic information system method. *Süleyman Demirel University, Journal of Natural and Applied Sciences*, **20(1)**, 103-110.

SCAPA, 2016. Asphalt Pavement Design Guide for Low Volume Roads and Parking Lot. The South Carolina Asphalt Pavement Association (SCAPA). <https://www.scasphalt.org/scapa-asphalt-pavement-design-guide.html>.

Şengün, E., Öztürk, H.I. and Yaman, İ.Ö., 2020. Mekanistik-Ampirik ve Geleneksel Beton Yol Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Afyon-Emirdağ Deneme Kesimi. *Teknik Dergi*, 10251-10274.

Vandenbossche, J. M. and Fagerness, A. J., 2002. Performance, Analysis, and Repair of Ultrathin and Thin Whitetopping at Minnesota Road Research Facility. *Transportation Research Record*, **1809**, 191-198. <https://www.engineering.pitt.edu/Vandenbossche/B COA-ME/>

Vandenbossche, J. M., Dufalla, N. and Li, Z., 2017. Bonded concrete overlay of asphalt mechanical-empirical design procedure. *International Journal of Pavement Engineering*, **18(11)**, 1004-1015.

Yu, B. and Lu, Q., 2012. Life cycle assessment of pavement: Methodology and case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **17(5)**, 380-388.

#### **İnternet kaynakları**

1- <http://apps.acpa.org/apps/bcoa.aspx>, (09.03.2020)

2- <http://www.acpa.org/streetpave/> (09.03.2020)

3- [www.aashtoware.org](http://www.aashtoware.org) (09.03.2020)

4- [https://www.faa.gov/airports/engineering/design\\_software/](https://www.faa.gov/airports/engineering/design_software/) (09.03.2020)

5- <http://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/4547-istatistikler> (09.03.2020)

# Kalsiyum Karbonatın Polimorfik Faz Dönüşümünün Prolin Varlığında İncelenmesi

Sevgi POLAT<sup>1\*</sup>, Bahar DEMİRAY<sup>1</sup>, Berfin TEKİN<sup>1</sup>, Merve KARDAŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

\*Sorumlu yazar: e-posta: sevgi.polat@marmara.edu.tr  
e-posta: bahartop@marun.edu.tr  
e-posta: berfintekin@marun.edu.tr  
e-posta: mervekardas@marun.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0934-2125>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9277-5860>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3128-4344>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0937-057X>

Geliş Tarihi: 05.04.2020

Kabul Tarihi: 01.10.2020

## Öz

Bu çalışmada, kalsiyum karbonatın polimorfik faz dönüşümü katkı maddesi olarak kullanılan prolin varlığında incelenmiştir. Deneyler 1L kapasiteli çift ceketli kristalizörde, 30 °C sıcaklık ve pH 8,5'da yürütülmüştür. 50 ve 100 ppm olmak üzere iki farklı katkı konsantrasyonunda deneyler gerçekleştirilmiştir. Reaktan olarak kalsiyum klorür dihidrat ve sodyum karbonat kullanılmıştır. Deney süresince belirli zaman aralıklarında numuneler alınarak, kristallerin yapısı, fonksiyonel grupları, morfolojisi, tane boyutları ve yüzey yüklerinin değişimi belirlenmiştir. XRD ve FTIR analiz sonuçları, kalsiyum karbonat kristallerinin prolin varlığında kalsit formundan vaterit formuna dönüştüğünü göstermiştir. SEM görüntüleri saf ortamda üretilen kalsit kristallerinin kübik formda olduğunu buna karşın prolin varlığında kristallerin yuvarlak görümlü vaterit morfolojisine sahip kristallere dönüştüğünü göstermiştir. Ayrıca, prolinin kalsiyum karbonat kristallerinin yüzey alanına ve yüzey yüküne olan etkisi BET analizi ve zeta potansiyeli ölçümleri yapılarak belirlenmiştir. Saf ortamda üretilen kalsit kristallerinin BET yüzey alanı ve zeta potansiyeli değeri sırasıyla 0,7 m<sup>2</sup>/g ve -8,0 ± 2,1 mV olarak ölçülmüştür. Buna karşın, 100 ppm prolin varlığında kristallerin BET yüzey alanı 3.7 m<sup>2</sup>/g'a yükselmiş ve prolinin kristallerin yüzeyine fiziksel olarak adsorplanmasından dolayı zeta potansiyel değerleri daha negatif (-24,0 ± 2,6 mV) hale gelmiştir. Sonuç olarak, katkı maddesi olarak kullanılan prolinin kalsiyum karbonatın hem fiziksel hem de morfolojik özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiği gösterilmiş ve farklı formlarda kalsiyum karbonat kristallerinin üretilmesine imkân sağlayacağı tespit edilmiştir.

## Anahtar kelimeler

Kalsiyum karbonat;  
Polimorfizm;  
Kristalizasyon;  
Katkı maddesi;  
Morfoloji

## An Investigation of Polymorphism of Calcium Carbonate in the Presence of Proline

### Abstract

In this study, the polymorphic phase transformation of calcium carbonate was analyzed in the presence of proline used as an additive. The experiments were carried out in a 1-litre double-jacketed crystallizer at 30 °C and pH 8.5. The experiments were performed at two different concentrations of 50 and 100 ppm. Calcium chloride dihydrate and sodium carbonate were used as the reactants. During the polymorphic transformation process, the samples were withdrawn from the crystallizer at regular time intervals and the structure, functional group, morphology, particle size and surface charges of the calcium carbonate were determined as a function of the time. XRD and FTIR results showed that calcium carbonate crystals transformed from calcite to vaterite structures in the presence of proline. SEM images indicated that the calcium carbonate crystals prepared in pure media was cubic shaped crystals and the morphology transformed into spherical like vaterite crystals in the presence of proline. Moreover, the effects of proline on the surface area and surface charge of calcium carbonate were investigated by BET and zeta potential analysis. BET surface area and zeta potential for calcite crystals prepared in pure media were 0.7 m<sup>2</sup>/g and - 8.0 ± 2.1 mV, respectively. By the addition of proline to the crystallization media, BET surface area increased to 3.7 m<sup>2</sup>/g, and the surface became more negative (- 24.0 ± 2.6 mV).

### Keywords

Calcium carbonate;  
Polymorphism;  
Crystallization;  
Additive;  
Morphology

## 1. Giriş

Kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) kâğıt, plastik, boya, ilaç, kaplama, cam gibi pek çok sektörde farklı uygulamalar için kullanılan önemli bir inorganik mineraldir (Kirboga *et al.* 2014, Popescu *et al.* 2014). Kalsiyum karbonat susuz formda kalsit, vaterit ve arojanit olmak üzere üç farklı polimorfa sahiptir. Hekzagonal yapıda bulunan kalsit termodinamik olarak en kararlı form olup, ortorombik yapıda ve iğne şeklindeki aragonit kristalleri ancak yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında elde edilebilmektedir. Termodinamik açıdan en kararsız polimorf olan vaterit ise küresel formda, ortorombik yapıdadır ve kolaylıkla kalsit formuna dönüşebilmektedir (Dhami *et al.* 2013, Price *et al.* 2011, El-Sheikh *et al.* 2013, Lee *et al.* 2015).

Kalsiyum karbonat boya ve kâğıt gibi sektörlerde renk ve dolgu malzemesi olarak kullanılırken plastik sanayinde ise plastiğe ısı direnci ve sertlik kazandırması amacıyla dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Toraman 2015). Özellikle kalsiyum karbonatın vaterit formundaki polimorfu kâğıt endüstrisinde yüksek kalitede kâğıt üretilebilmesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Mori *et al.* 2010). Bu nedenle, kullanılacak alana bağlı olarak istenilen kalsiyum karbonat polimorflarının üretimi oldukça önemlidir. Literatürde farklı polimorf ve morfolojilere sahip kalsiyum karbonat kristallerinin elde edilmesi üzerine pek çok çalışma bulunmaktadır. Sıcaklık, pH, kullanılan çözücünün türü, başlangıç konsantrasyonu ve aşırı doygunluk gibi parametrelerin kalsiyum karbonat kristalizasyonunda önemli parametreler olduğu ve elde edilen nihai ürünün polimorfunda ve fiziksel özelliklerinin değişmesinde etkili olduğu belirlenmiştir (Oral and Ercan 2018, Polat 2019, Al Nasser and Al Salhi 2015, Hu *et al.* 2015). Bunun yanı sıra, literatürde farklı katkı maddelerinin örneğin asparajin, tirozin, serin, alanin gibi çeşitli aminoasitlerin (Stajner *et al.* 2018), akrilik, maleik, tartarik, süksinik ve sitrik gibi farklı karboksil grup sayısına sahip karboksillik asitlerin (Wada *et al.* 2001), lipopeptidlerin (Bastrzyk *et al.* 2019) ve metal iyonlarının (Konrad *et al.* 2018) kalsiyum

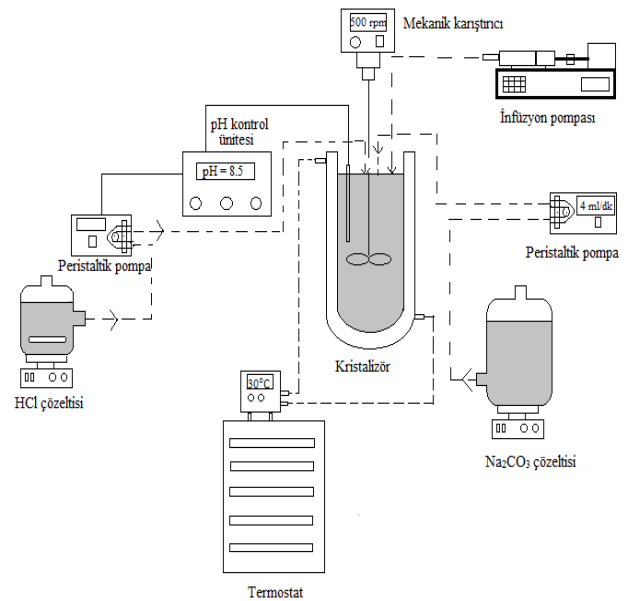
karbonatın polimorfik dönüşümü üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, kalsiyum karbonatın polimorfik davranışının katkı maddesi olarak kullanılacak olan ve non-esansiyel (temel olmayan) bir aminoasit olan prolin ortamında incelenmesi, saf ve katkı ortamında üretilen kalsiyum karbonatın çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanılarak yapısal ve morfolojik değişimlerinin zamana bağlı olarak belirlenmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

Deneylerde sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , Merck, saflık  $\geq \%99.0$ ), kalsiyum klorür dihidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Merck, saflık  $\geq \%99.0$ ), L-prolin ( $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ , Merck, saflık  $\geq \%99.0$ ) ve analitik saflıkta  $\%37$ 'lik hidroklorik asit (HCl, Merck) kullanılmıştır. Deneylerde tüm çözeltiler saf su ile hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, kalsiyum karbonatın polimorfik faz dönüşümü 1L hacimli çift ceketli bir kristalizörde kalsiyum klorür ve sodyum karbonatın reaksiyonundan faydalanılarak incelenmiştir. Faz dönüşüm deneyleri üç kere tekrarlanmıştır. Deney düzeneği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği.

Deneylein başlangıcında 400 ml hacminde 0,2M CaCl<sub>2</sub> ve 0,2M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltileri hazırlanmıştır. İlk olarak kristalizöre CaCl<sub>2</sub> çözeltisi koyulmuş ve termal dengeye gelmesi için beklenmiştir. Termal dengeye erişildikten sonra, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisi kristalizöre peristaltik pompa aracılığıyla 4 ml/dak besleme hızında beslenmiştir. Deney süresince kristalizör sıcaklığı termostat yardımıyla 30°C'de sabit tutulmuştur. Çözelti pH'ı 8.5'da otomatik pH kontrol ünitesi aracılığıyla sabit tutulmuş ve pH ayarı için seyreltik HCl çözeltisi kullanılmıştır. Karıştırma işlemi mekanik karıştırıcı yardımıyla sabit 500 rpm karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Deney süresince kristalizörün kapağı kapalı tutulmuştur.

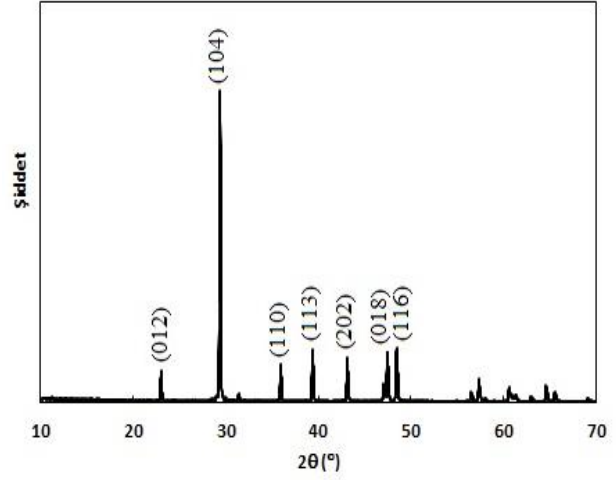
Katkı maddesi olarak kullanılan prolin çözeltisi kristalizöre infüzyon pompası aracılığıyla ayrı bir hattan beslenmiştir. Katkı konsantrasyonunun kalsiyum karbonatın polimorfik faz dönüşümüne etkisini incelemek için 50 ppm ve 100 ppm olmak üzere iki farklı konsantrasyonda deneyler yürütülmüştür. İstenen konsantrasyondaki katkı çözeltisi gerekli prolin miktarının belirlenerek 50 ml saf su içerisinde çözündürülmesiyle elde edilmiştir.

Deneylein sonunda kalsiyum karbonat kristallerini içeren süspansiyon kristalizörden alınmış, elde edilen kristaller vakum filtrasyonu ile ana çözeltisinden ayrılmış ve saf su ile yıkanmıştır. Yıkama işlemi yıkama suyunda klorür iyonları kalmayınca kadar sürdürülmüştür. Klorür iyonlarının varlığı da gümüş nitrat çözeltisi ile test edilerek belirlenmiştir. Sonuçta ele geçen katı ürün kurutularak analizlerde kullanılmıştır. Elde edilen kristallerin karakterizasyonu X-ışını kırınımı (XRD) yöntemi, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), taramalı elektron mikroskopu (SEM), tane boyutu ve zeta potansiyeli analizi yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca, üretilen kalsiyum karbonat kristallerin termal bozunma davranışı termogravimetrik analiz (TGA) cihazı kullanılarak incelenmiştir. Termogravimetrik analiz işlemi 10±0,5 mg numune için 30 °C sıcaklığından 950°C'ye kadar, 10 °C/dak ısıtma hızı ve 20 cm<sup>3</sup>/dak azot akışında gerçekleştirilmiştir.

### 3. Bulgular

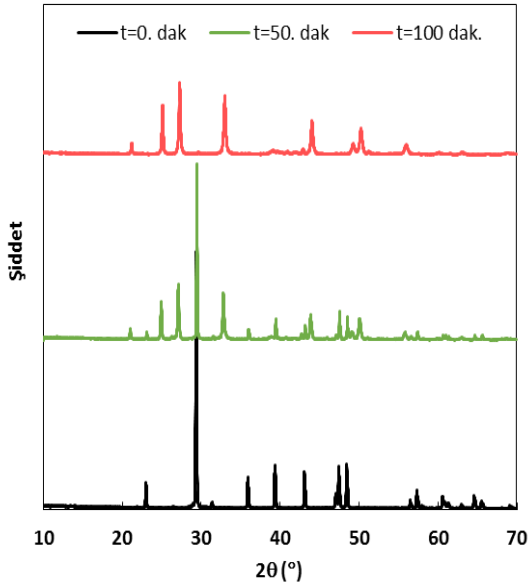
#### 3.1 XRD analizi

Şekil 2'de saf ortamda elde edilen kalsiyum karbonat kristalleri için XRD kırınım grafiği verilmiştir. Elde edilen XRD pikleri saf ortamda üretilen kalsiyum karbonat kristallerinin kalsit (JCPDS kart no: 05-0586) formunda olduğunu göstermiştir.



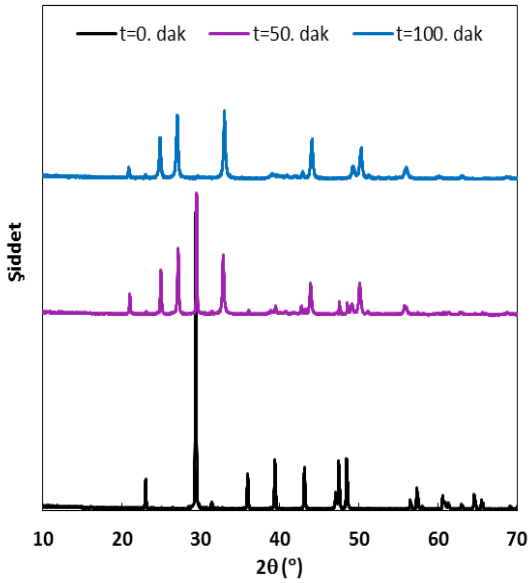
Şekil 2. Saf ortamda elde edilen kalsiyum karbonat kristallerinin XRD analiz sonucu.

Şekil 3 zamana bağlı olarak 50 ppm prolin varlığında elde edilen kalsiyum karbonat kristallerinin XRD sonuçlarını göstermektedir. Polimorfik dönüşüm deneylein başlangıcında kristaller sadece kalsit formundadır. Zamanın ilerlemesiyle elde edilen kristaller hem kalsit (JCPDS kart no: 05-0586) hem de vaterit (JCPDS kart no: 33-0268) formunun karakteristik piklerini bir arada içermektedir. Şekil 3'den de açıkça görüldüğü üzere, t= 50. dakikada kalsit piklerinin yanı sıra vaterit piklerini de (2θ= ~21°, 25°, 27°, 33°) karakterize eden yeni pikler oluşmuştur. Polimorfik faz dönüşüm sürecinin tamamlanmasıyla kalsit pikleri tamamen kaybolmuş ve elde edilen tüm piklerin vaterit kristallerine ait olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. 50 ppm prolin konsantrasyonunda zamana bağlı olarak alınan örneklerin XRD sonuçları.

100 ppm prolin varlığında elde edilen ve farklı zamanlarda alınan kalsiyum karbonat kristallerinin XRD sonuçları Şekil 4’de verilmiştir.



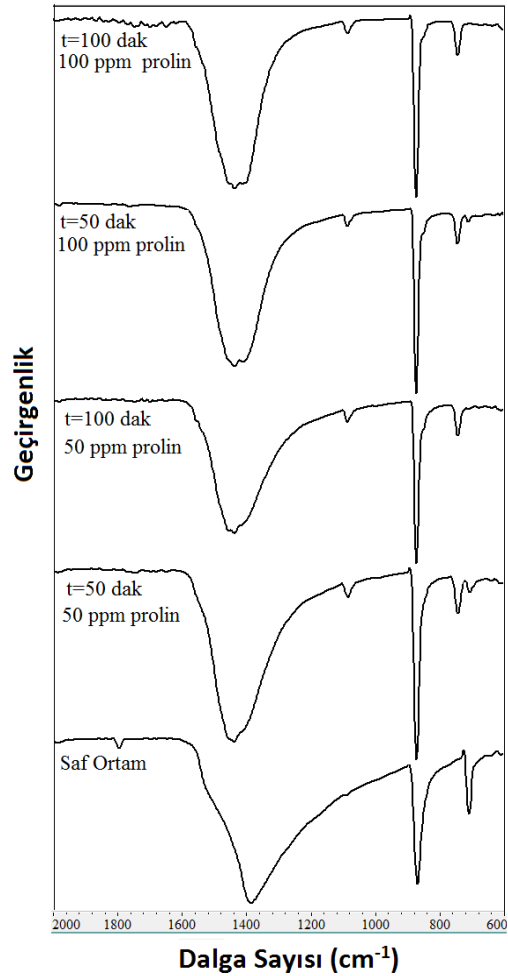
Şekil 4. 100 ppm prolin konsantrasyonunda zamana bağlı olarak alınan örneklerin XRD sonuçları.

Deneylerin başlangıcında kalsit formunda bulunan kalsiyum karbonat kristalleri 50 ppm katkı konsantrasyonunda olduğu gibi zaman ilerledikçe vaterit kristallerine dönüşmektedir. t=50. dakikada kalsite ait karakteristik XRD piklerinin şiddetleri

azalmıştır. 50 ppm prolin konsantrasyonu ile karşılaştırıldığında, 100 ppm katkı maddesi varlığında kalsit piklerinin şiddetleri daha düşüktür. Bu pikler kristal içerisindeki kalsiyum karbonat polimorflarının varlığı ile doğrudan ilgilidir. Yani yüksek prolin konsantrasyonunda daha fazla vaterit içeriğine sahip kristaller üretilmiştir. t=100. dakikada ise dönüşüm tamamlanarak sadece vaterit kristallerinin olduğu görülmüştür.

### 3.2 FTIR analizi

XRD analizine ek olarak kalsiyum karbonatın prolin varlığında kalsit formundan vaterit formuna dönüşümü FTIR analizi ile de takip edilmiştir. Şekil 5 farklı konsantrasyonlarda yapılan ve farklı zamanlarda alınan kristallerin FTIR spektrumlarını göstermektedir.



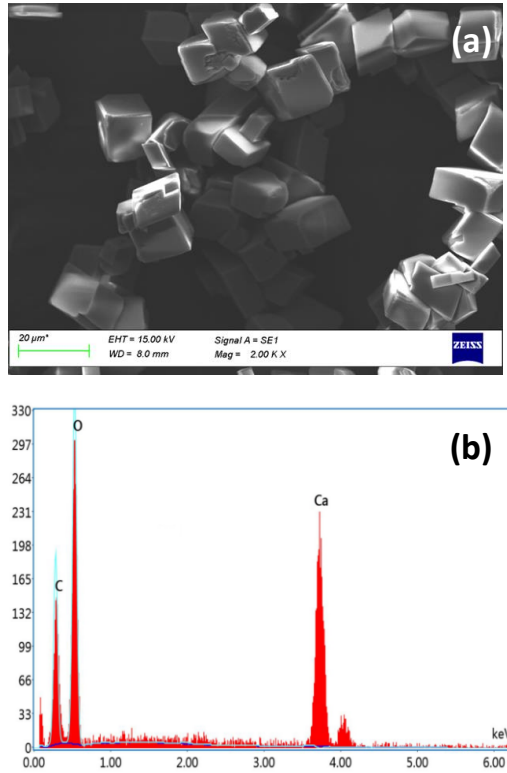
Şekil 5. Farklı prolin katkı maddesi konsantrasyonunda zamana bağlı olarak alınan kristallerin FTIR spektrumları.



Saf ortamda üretilen kalsiyum karbonat kristallerinin FTIR spektrumu incelendiğinde, 872  $\text{cm}^{-1}$  ve 713  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarında görülen pikler yapının kalsit formunda olduğunu göstermektedir (Choi and Kuroda 2012). Prolin katkısının kristalizasyon ortamına eklenmesi ve dönüşüm süresinin başlamışıyla hem 50 ppm hem de 100 ppm katkı konsantrasyonlarında kalsitin yanı sıra vateriti karakterize eden 1085  $\text{cm}^{-1}$  ve 742  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda yeni pikler tespit edilmiştir (Amer *et al.* 2018). Vaterit piklerinin şiddeti 100 ppm katkı konsantrasyonunda 50 ppm'e göre daha yüksektir. Polimorfik faz dönüşümünün tamamlandığı  $t=100$  dakikada ise elde edilen tüm FTIR piklerinin vaterit formuna ait olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar daha önce sunulan XRD sonuçları ile örtüşmektedir.

### 3.3 Morfoloji analizi

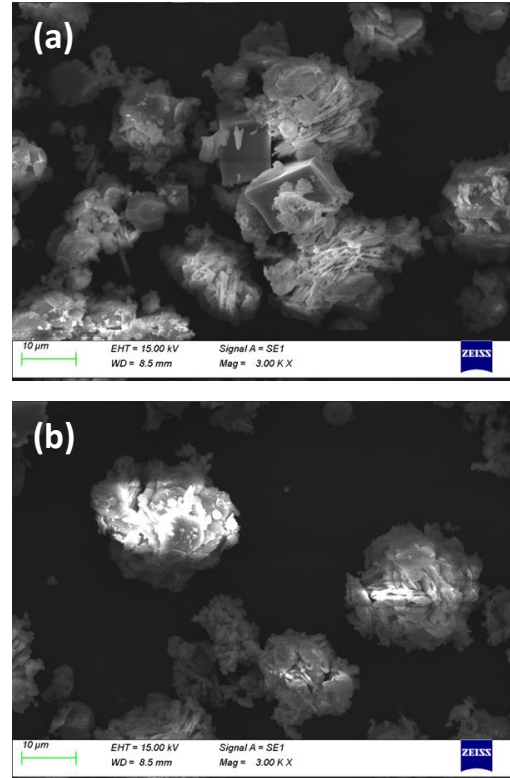
Saf ortamda kalsiyum karbonatın polimorfik faz dönüşümü sonucunda elde edilen kristallerin SEM görüntüsü ve EDX sonuçları sırasıyla Şekil 6a ve 6b'de verilmiştir.



Şekil 6. Saf ortamda üretilen kalsiyum karbonat kristallerinin SEM görüntüsü (a) ve EDX analiz sonucu (b).

Şekil 6a'nın incelenmesinden de açıkça görüleceği üzere dönüşümün tamamlanması sonucu elde edilen kalsiyum karbonat kristalleri literatürde verilen sonuçlarla da uyumlu olarak kübik yapıda olup, düzgün formda ve tipik kalsit kristal morfolojisine sahiptir (Liu *et al.* 2017). Kristaller genel olarak birbirleri üzerinde büyüme eğilimi göstermekte olup ortalama tane boyutları 32  $\mu\text{m}$ , BET yüzey alanları ise 0.70  $\text{m}^2/\text{g}$  olarak ölçülmüştür. Şekil 6b verilen EDX analizi saf ortamda üretilen kalsit kristallerinin yapısında sadece Ca, C ve O elementleri olduğunu göstermiştir.

Prolin katkı maddesinin kalsiyum karbonat kristallerinin morfolojisine olan etkisinin belirlenmesi amacıyla deneyler 50 ve 100 ppm olmak üzere iki konsantrasyonda yapılmıştır. Şekil 7'de 50 ppm prolin konsantrasyonunda zamana bağlı olarak kristallerin morfolojisinde meydana gelen değişimi gösteren SEM görüntüleri vermiştir.

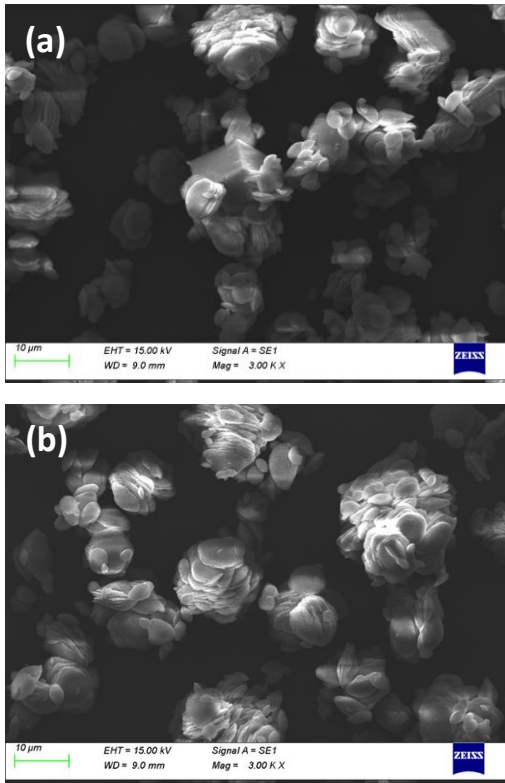


Şekil 7. 50 ppm prolin konsantrasyonunda zamana bağlı olarak alınan örneklerin SEM görüntüleri (a)  $t=50$  dak. ve (b)  $t=100$  dak.



50 ppm prolin varlığında ve t=50 dak. koşullarında elde edilen kalsiyum karbonat kristallerin SEM görüntüsü incelendiğinde kübik formlu kalsit kristallerinin yanı sıra tam olarak belirgin bir şekli bulunmayan elipsoidal ve yassı formda vaterit kristalleri de oluşmuştur. Zamanın ilerlemesiyle ve dönüşümün tamamlanmasıyla birlikte elde edilen kalsiyum karbonat kristalleri kübik formlarını tamamen yitirmişlerdir. Elipsoidal ve yassı formda kristaller üst üste ve iç içe geçmiş tabakalı formda büyüyerek yuvarlak görünümlü vaterit morfolojisine sahip kristallere dönüşmüşlerdir.

100 ppm prolin konsantrasyonunda zamana bağlı olarak kristallerin morfolojisinde meydana gelen değişimi gösteren SEM fotoğrafları Şekil 8'de verilmiştir.

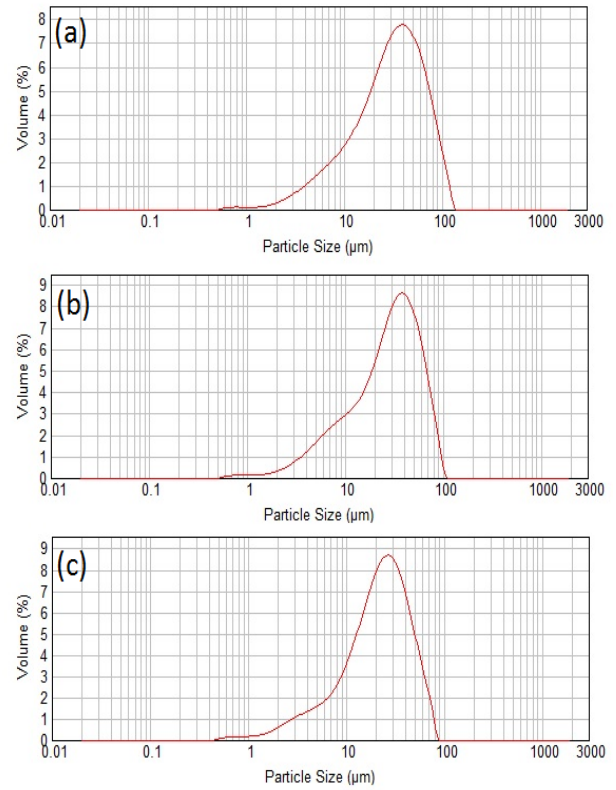


Şekil 8. 100 ppm prolin konsantrasyonunda zamana bağlı olarak alınan örneklerin SEM görüntüleri (a) t=50 dak. ve (b) t=100 dak.

t= 50. dak ve 100 ppm prolin varlığında elde edilen kalsiyum karbonat kristalleri düşük katkı konsantrasyonuna benzer şekilde hem kübik yapıli kalsit hem de yassı formlu kısmen yuvarlak

görünümlü vaterit kristallerini içermektedir. Ancak, SEM görüntülerinden de açıkça görüldüğü üzere prolin konsantrasyonunun artmasıyla kübik görünümlü kristallerin sayısı oldukça azalmıştır. Bu durum XRD ve FTIR analiz sonuçları ile de uyumludur. t=100 dakikada ise kalsit formunu gösteren herhangi bir kristal formuna rastlanmamıştır. SEM görüntüsünden de açıkça görüldüğü üzere, kalsiyum karbonatın kristal morfolojisi tamamen değişmiş, kübik formlu yapılar tamamen kaybolmuş ve yuvarlak görünümlü plaka yapıli vaterit kristalleri elde edilmiştir.

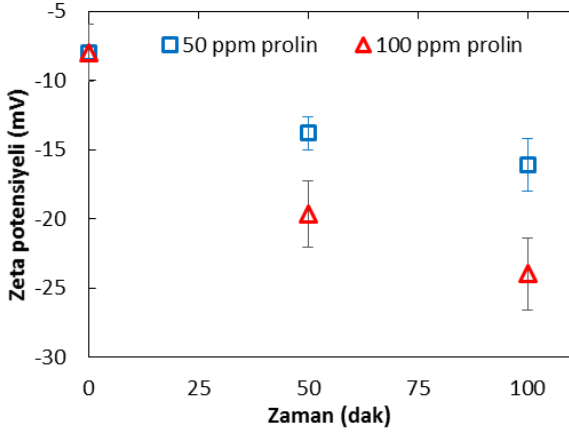
Saf ortam ile karşılaştırıldığında, pirolin varlığında elde edilen kristallerin ortalama tane boyutlarında düşme görürürken BET yüzey alanlarında ise artış gözlemlenmiştir. Şekil 9'da saf ve prolin varlığında elde edilen kristallerin tane boyutu dağılımı grafikleri verilmiştir. 50 ve 100 ppm prolin varlığında elde edilen kristallerin tane boyutları 29 µm ve 22 µm; BET yüzey alanları ise 2,2 m<sup>2</sup>/g ve 3,7 m<sup>2</sup>/g olarak ölçülmüştür.



Şekil 9. (a) Saf ortamda (b) 50 ppm (c) 100 ppm prolin varlığında elde edilen kalsiyum karbonat kristallerin tane boyutu dağılımı eğrileri.

### 3.4 Zeta potansiyeli analizi

Prolin varlığında elde edilen kalsiyum karbonat kristallerinin yüzey yükleri saf su ortamında ölçülmüş ve zeta potansiyeli değerleri belirlenmiştir. 50 ve 100 ppm prolin katkısı varlığında elde edilen kristallerin zamana bağlı olarak değişen zeta potansiyeli değerleri de ölçülerek Şekil 10'da verilmiştir.



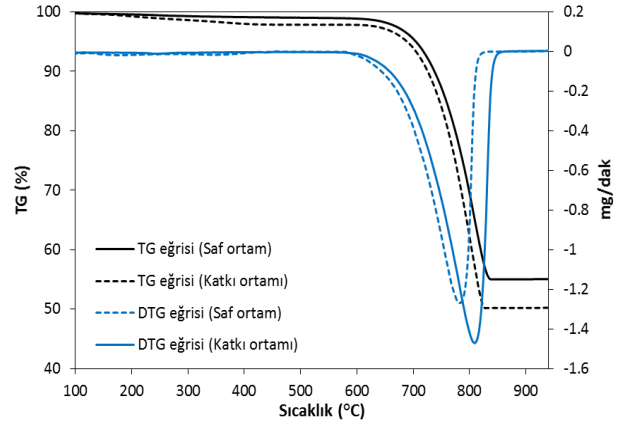
Şekil 10. Prolin varlığında elde edilen kristallerin zamana bağlı olarak zeta potansiyeli değişimi.

Saf ortamda kalsiyum karbonat kristallerinin zeta potansiyeli değeri  $-8.0 \pm 2,1$  mV olarak ölçülmüştür. 50 ppm prolin varlığında zeta potansiyeli polimorfik faz dönüşümünün tamamlanmasıyla  $-16,1 \pm 2,1$  mV değerine ulaşmıştır. Prolin konsantrasyonunun 100 ppm'e çıkarılması kristallerin yüzey yüklerinin daha negatif olmasına neden olmuştur.  $t=50$  dak. ve  $t=100$  dak. için 100 ppm katkı konsantrasyonunda zeta potansiyeli değerleri  $-19,7 \pm 2,4$  mV ve  $-24,0 \pm 2,6$  mV olarak ölçülmüştür. Zeta potansiyeli sonuçları, FTIR analiz sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde kullanılan prolin katkısının kalsiyum karbonatın yüzeyine zayıf Van der Waals kuvvetleriyle bağlandığını göstermiştir.

### 3.5 Termal analiz

Saf ortamda ve 100 ppm prolin varlığında üretilen kalsiyum karbonat kristallerinin termal bozunma davranışını gösteren  $10$  °C/dak ısıtma hızında ve

$100-900$  °C sıcaklık aralığında elde edilen TG ve DTG eğrileri Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Saf ortamda ve 100 ppm prolin varlığında elde edilen kalsiyum karbonat kristallerin TG ve DTG eğrileri.

TG ve DTG eğrileri incelendiğinde hem saf hem de prolin varlığında elde edilen kalsiyum karbonat kristallerinin kütle kaybının tek bir adımda ve yaklaşık olarak  $700$  ile  $900$  °C arasında gerçekleştiği görülmektedir. Kütle kaybı  $\text{CaCO}_3$ 'ün  $\text{CaO}$ 'e dönüşmesinden kaynaklanmaktadır (Popescu et al. 2014). Katkı varlığında TG ve DTG eğrileri az da olsa daha yüksek sıcaklıklara kaymışlardır. Bunun nedeni kalsiyum karbonatın yüzeyine tutunan prolinden kaynaklanmaktadır.

## 4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan bu çalışmada, katkı maddesi olarak kullanılan prolinin kalsiyum karbonat kristallerinin polimorfik faz dönüşümü sürecine olan etkisi incelenmiştir. XRD ve FTIR sonuçları, prolin varlığının kalsiyum karbonatın polimorfik yapısını değiştirdiğini ve kalsit formunda bulunan kristallerin tamamen vaterit formuna dönüştürdüğünü göstermiştir. SEM analiz sonuçları, saf ortamda elde edilen kristal yüzeylerinin düzgün ve homojen olduğunu buna karşın prolin katkısının kristalizasyon ortamına eklenmesiyle kristal morfolojisinin önemli ölçüde değiştiğini düzensiz ve yüzeyleri pürüzlü kristaller elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, BET ve tane boyutu analiz sonuçları ile prolin varlığında

kalsiyum karbonatın yüzey alanının arttığı buna karşın ortalama tane boyutunun düştüğü tespit edilmiştir. Değişen prolin konsantrasyonu da kristallerin yüzey yüklerini de önemli ölçüde etkilemiştir. Saf ortamda üretilen kalsit kristallerinin zeta potansiyeli değeri –  $8.0 \pm 2,1$  mV olarak ölçülürken, bu değer 50 ve 100 ppm prolin konsantrasyonunda –  $16,1 \pm 2,1$  mV ve –  $24.0 \pm 2,6$  mV olarak ölçülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde, endüstriyel uygulamalarda önemli olan istenilen polimorf ve morfolojide kalsiyum karbonat kristalleri üretmek, kalsit kristallerinin vaterit kristallerine dönüştürmek ve fiziksel özelliklerini değiştirebilmek için prolinin katkı maddesi olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir. Çalışmanın devamında zamana bağlı olarak alınan numunelerin içerdiği polimorfların nicel olarak miktarlarının belirlenmesi, morfolojik açıdan şekil parametrelerinin sayısallaştırılması, termal bozunma kinetik ve termodinamik parametrelerin hesaplanması planlanmaktadır.

## 5. Kaynaklar

- Al Nasser, W.N. and Al Salhi, F.H., 2015. Kinetics determination of calcium carbonate precipitation behavior by inline techniques. *Powder Technology*, **270**, 548-560.
- Amer, L., Ouhenia, S., Belabbas, I. and Chateigner D., 2018. The effect of ergocalciferol on the precipitation of calcium carbonate. *Journal of Crystal Growth*, **501**, 49-59.
- Bastrzyk, A., Fiedot-Toboła, M., Polowczyk, I., Legawiec, K. and Płaza, G. 2019. Effect of a lipopeptide biosurfactant on the precipitation of calcium carbonate, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **174**, 145-152.
- Choi, K.M. and Kuroda, K., 2012. Polymorph Control of Calcium Carbonate on the Surface of Mesoporous Silica. *Crystal. Growth Design*, **12**, 887-893.
- Dhami, N.K., Reddy, M.S. and Mukherjee, A., 2013. Biomineralization of Calcium Carbonates and Their Engineered Applications: A Review. *Frontiers in Microbiology*, **4**, 314.
- El-Sheikh, S.M., El-Sherbiny, S., Barhoum, A. and Deng, Y., 2013. Effects of cationic surfactant during the precipitation of calcium carbonate nano-particles on their size, morphology, and other characteristics. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **422**, 44-49.
- Hu, Y.B., Wolthers, M., Wolf-Gladrow, D.A. and Nehrke, G. 2015. Effect of pH and Phosphate on Calcium Carbonate Polymorphs Precipitated at near-Freezing Temperature. *Crystal Growth & Design*, **15**, 1596-1601.
- Kirboga, S., Oner, M. and Akyol, E., 2014. The effect of ultrasonication on calcium carbonate crystallization in the presence of biopolymer. *Journal of Crystal Growth*, **401**, 266-270.
- Konrad, F., Purgstaller, B., Gallien, F., Mavromatis, V., Gane, P. and Dietzel, M. 2018. Influence of aqueous Mg concentration on the transformation of amorphous calcium carbonate. *Journal of Crystal Growth*, **498**, 381-390.
- Lee, T.J., Hong, S.J., Park, J.Y. and Kim, H.J., 2015. Effects of Anionic Polyacrylamide on Carbonation for the Crystallization of Precipitated Calcium Carbonate. *Crystal Growth & Design*, **15**, 1652-1657.
- Liu, Y., Chen, Y., Huang, X. and Wu, G., 2017. Biomimetic synthesis of calcium carbonate with different morphologies and polymorphs in the presence of bovine serum albumin and soluble starch. *Materials Science and Engineering C*, **79**, 457-464.
- Mori, Y., Enomae, T. and Isogai, A., 2010. Application of Vaterite-Type Calcium Carbonate Prepared by Ultrasound for Ink Jet Paper. *Journal of Imaging Science and Technology*, **54**, 020504-6.
- Oral, C.M. and Ercan, B., 2018. Influence of pH on morphology, size and polymorph of room temperature synthesized calcium carbonate particles. *Powder Technology*, **339**, 781-788.
- Polat, S., 2019. Evaluation of the effects of sodium laurate on calcium carbonate precipitation: Characterization and optimization studies. *Journal of Crystal Growth*, **508**, 8-18.

- Popescu, M.A., Isopescu, R., Matei, C., Fagarasan, G. and Plescu, V., 2014. Thermal Decomposition of Calcium Carbonate Polymorphs Precipitated in the presence of Ammonia and Alkylamines. *Advanced Powder Technology*, **25**, 500-507.
- Price, G.J., Mahon, M.F., Shannon, J. and Cooper, C., 2011. Composition of Calcium Carbonate Polymorphs Precipitated Using Ultrasound. *Crystal Growth & Design*, **11**, 39-44.
- Stajner, L., Kontrec, J., Dzakula, B.N., Maltar-Strmecki, N., Plodinec, M., Lyons, D.M. and Kralj, D. 2018. The Effect of Different Amino Acids on Spontaneous Precipitation of Calcium Carbonate Polymorphs *Journal of Crystal Growth*, **486**, 71-81.
- Toraman, Ö.Y., 2015. Kalsiyum Karbonatın (CaCO<sub>3</sub>) Mikron Altı/Nano Boyutta Yaş Öğütülmesi: Öğütme Parametreleri ve Pülp Stabilitesi Aşınma İndeksi Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. *MT Bilimsel*, **8**, 15-22.
- Wada, N., Kanamura, K., Umegaki, T. 2001. Effects of Carboxylic Acids on the Crystallization of Calcium Carbonate. *Journal of Colloid and Interface Science*, **233**, 65-72.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 055702 (892-899)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 055702 (892-899)

DOI: 10.35414/akufemubid.713632

Araştırma Makalesi / Research Article

## Atık Mermer Tozu Katalizörlüğünde Haşhaş Yağından Biyodizel Eldesi

Oğuzhan ALAGÖZ<sup>1\*</sup>, Nur Seda ŞAHİN<sup>2</sup><sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.<sup>2</sup>İstanbul Ayyansaray Üniversitesi, Harita ve Kadastro Programı, İstanbul.

\*Sorumlu yazar e-posta: oalagoz@aku.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1843-9068>nursedasahin@ayvansaray.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0294-7559>

Geliş Tarihi: 02.04.2020

Kabul Tarihi: 05.10.2020

### Öz

#### Anahtar kelimeler

Atık Mermer; Biyodizel;  
CaO; Heterojen Kataliz;  
Transesterifikasyon;  
Haşhaş Yağı

Bu çalışmada, mermer atıkları katalizörlüğünde haşhaş yağı ve metanolden, transesterifikasyon tepkimesi ile biyodizel üretimi incelenmiştir. Katalizör olarak kullanılan CaO, toz haline getirilen mermer atıklarının 850 °C'de 3 saat süresince kalsinasyonu ile hazırlanmıştır (verim %43) ve XRD ve SEM-EDX yöntemleri ile karakterize edilmiştir. Biyodizel verimine metanol-yağ molar oranı, katalizör miktarı, tepkime süresi ve sıcaklığın etkisi incelenmiş, bu parametrelerin optimum değerleri sırası ile 6:1, %1, 120 dakika ve 65 °C olarak belirlenmiştir. Elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri TS EN 14214 standardı ile karşılaştırılarak belirlenmiş ve dizel yakıt ile karıştırılarak kullanılabileceği öngörülmüştür.

## Production of Biodiesel from Poppy Oil by Using Waste Marble Dust as Catalyst

#### Keywords

Marble Dust; Biodiesel;  
CaO; Heterogeneous  
Catalysis;  
Transesterification  
reaction; Poppy Oil

#### Abstract

In this study, biodiesel production from poppy oil and methanol, by transesterification reaction, was investigated by using waste marble dust as catalyst. The CaO, used as catalyst, was prepared (yield 43%) by calcination of powdered marble dust at 850 °C for 3 h and characterized by XRD and SEM-EDX techniques. The effects of methanol: oil molar ratio, catalyst amount, reaction time and temperature on the biodiesel yield were investigated and optimum values of these parameters were determined as 6:1, 1%, 120 min and 65°C, respectively. The properties of the produced biodiesel were determined by compared with TS EN 14214 standard and it is expected to use with diesel.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Ekonominin büyümesi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji ihtiyacı da artmakta olduğundan sanayi atıklarının değerlendirilmesi enerji tasarrufu ve çevre açısından büyük önem taşımaktadır (Mittelbach and Remschmidt 2006). İnsanların ihtiyacı olan enerjinin büyük bölümü fosil yakıtlardan elde edilmekte ve bu yakıtların yanması sonucu meydana gelen gazlar küresel ısınma ve çevre kirliliğine neden olmaktadır (Knothe 2010). Ayrıca fosil kaynaklı yakıtlar da giderek tükenmeye başlamıştır. Dünya üzerindeki devletler de bu olumsuzlukları ciddiye alıp alternatif ve temiz enerji kaynağı elde etmeye yönelik çalışmalar

başlatmıştır. Ülke ekonomilerinin büyümesi onları yeni enerji kaynakları aramaya ve yenilenebilir enerjiler üretmeye yöneltmiştir. Enerji ile ilgili ortaya çıkan bu olumsuz etkilerin önüne geçilmesi için kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de biyodizeldir (Lynd 1996, Ilgen 2012).

Biyodizel, asit veya baz katalizörlüğünde, bitkisel veya hayvansal yağların metil alkol ile gerçekleştirilen esterleşme tepkimesi sonucunda elde edilen uzun zincirli karboksilik asitlerin metil esterleri karışımıdır (Lin *et al.* 2006). Esterleşme tepkimesi üç tane arka arkaya tersinir tepkimenin

oluşumundan meydana gelmektedir. Bu süreç esnasında triaçilgliserid, her bir basamakta 1 mol alkil esterinin oluştuğu adım adım diaçilgliserid, monoaçilgliserid ve son basamakta da gliserole dönüştürülür. Esterleşme tepkimesi diye de isimlendirebileceğimiz transesterifikasyon tepkimesinin verimi kullanılan alkol: yağ molar oranına, katalizörün türüne ve miktarına, tepkime zamanı ve sıcaklığı gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Tepkimede kullanılacak maddelerin saflıkları da ayrıca etkilidir (Aygün 2009, Dönmez 2011, Helwani *et al.* 2009).

Tepkime esnasında kullanılan katalizörler, tepkime hızını ve dolayısıyla tepkimenin verimini artırmak için kullanılmaktadırlar. Bunlar homojen ya da heterojen katalizörler olarak kullanılabilir. Homojen baz katalizörler genellikle alkali metal hidroksitler (NaOH, KOH vb.), homojen asit katalizörler ise genellikle HCl veya H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gibi güçlü asitlerdir. Heterojen katalizörler olarak ise en çok Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CaO kullanılmaktadır (İlgen 2012, Boz and Kara 2009, Benjapornkulaphong *et al.* 2009). Ayrıca mermerin ana bileşeni olan CaCO<sub>3</sub>'ün kalsinasyonu ile elde edilen CaO' in de biyodizel üretiminde heterojen katalizör olarak kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Liu *et al.* 2008, Kouzu and Hidaka 2012).

Transesterifikasyon tepkimesi tersinir olduğu için yağa göre ortamda aşırı miktarda bulunan alkol, tepkimenin seyrini ileri yönde avantaja dönüştürebilmektedir. Tepkimede genellikle metanol, etanol, propanol, bütanol gibi alkol türleri kullanılmaktadır. Fakat bunlardan en sık kullanılanı ucuzluğu ve biyodizel oluşumunda daha hızlı tepkime vermesi nedeniyle metanoldür (Schuchardt *et al.* 1998, Fukuda *et al.* 2001).

Bu çalışmada ise atık mermer tozlarından elde edilen CaO katalizörlüğünde, Afyon'a özgü haşhaş yağı kullanılarak metanol varlığında alternatif enerji kaynaklarından biri olan biyodizel eldesi incelenmiştir. Ayrıca heterojen katalizör olarak CaO' in kullanılmasıyla, mermer blokların kesimi esnasında oluşan atığın geri kazanımıyla, çevre ve sağlık açısından oluşturduğu sorunların

azaltılmasına katkı sağlanmıştır (Karaşahin 2007, Topçu *et al.* 2009, Helwani *et al.* 2009).

## 2. Malzeme ve Yöntem

Çalışmada kullanılan haşhaş yağı Afyonkarahisar bölgesinde bulunan üretici firmadan sağlanmıştır. Yağın bileşen analizi Shimadzu GC-MS-QP2020 (Kolon: DB-5MS, enjeksiyon sıcaklığı: 250 °C, sürükleyici gaz: helyum-1.2 mL/dk) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan metanol (CH<sub>3</sub>OH) Sigma-Aldrich firmasından satın alınmıştır. Tepkimede katalizör olarak kullanılan CaO mermer atıklarının 850 °C'de 3 saat süre ile kül fırınında kalsine edilmesiyle elde edilmiştir. CaO' in analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında (TUAM) yaptırılmıştır. XRD Shimadzu marka X-ışınları kırınımı cihazı ile ve SEM analizleri ise Leo marka taramalı elektron mikroskobu ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda üretilen biyodizelin kalorimetrik analizi Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM laboratuvarındaki Ika Werke marka kalorimetre cihazı ile yapılmıştır. Yakıt analizleri ise ODTÜ Petrol Araştırma Merkezi'nde EN 14214 standardına göre yaptırılmıştır.

Haşhaş yağından biyodizel eldesinde Şekil 1'deki düzeneğe gösterildiği gibi transesterifikasyon (alkoliz) yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışmada 1000 rpm karıştırma hızında metanol/yağ molar oranı, katalizör miktarı, tepkime sıcaklığı ve tepkime sürelerinin biyodizelin verimine etkisi incelenmiştir.

Tepkime parametreleri; metanol: yağ molar oranı 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 ve 15:1, heterojen katalizör CaO miktarı (yağa göre kütlece) %0,5, 1, 2, 3 ve 4, tepkime sıcaklığı 45, 55, 65 ve 75 °C ve tepkime süresi ise 15, 30, 60, 120 ve 180 dakika olarak belirlenmiştir.

Biyodizele dönüştürülen yağ yuvarlak dipli bir balona konularak önceden tepkime sıcaklığına getirilmiştir. Başka bir kaptaki hazırlanan alkol-katalizör karışımı yağın üzerine ilave edilerek belirlenen süre ve sıcaklıkta geri soğutucu altında tepkime gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).

Tepkime sonunda elde edilen gliserin-ester faz ayrımı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Transesterifikasyon tepkimesi deney düzeneği

Tepkime sonunda oda sıcaklığına getirilen ham ürün karışımından CaO’ in uzaklaştırılması için öncelikle santrifüj, sonrasında ise vakumda süzme işlemi uygulanmıştır. Katalizörün ayrılmasının ardından sıvı karışım ayırma hunisine alınmış ve fazların ayrılması için beklemeye bırakılmıştır. Biyodizele göre daha yoğun olan gliserin ayırma hunisinden alt faz olarak ayrılmıştır. Üst faz olarak hunide kalan biyodizel ise, safsızlıkların uzaklaştırılması amacıyla 80 °C’deki distile su ile birkaç kez yıkanmıştır. Yıkama işlemine alt fazdan berrak su elde edilinceye kadar devam edilmiştir. Böylece biyodizel ürünü saf olarak elde edilmiştir.



Şekil 2. Gliserin-biyodizel (ester) faz ayrımı

### 3. Bulgular

Transesterifikasyon yöntemiyle haşhaş yağı kullanılarak, metanol ve CaO varlığında gerçekleştirilen transesterifikasyon tepkimesinde elde edilen biyodizel ürününün verimine metanol: yağ molar oranı, katalizör miktarı, tepkime sıcaklığı ve tepkime süresinin etkisi incelenmiştir. Tepkimede heterojen katalizör olarak kullanılan CaO, mermer atıklarının toz partiküller haline getirilip, 850 °C’de 3 saat kalsinasyonundan elde edilmiştir. Elde edilen CaO’ in verimi ise %43’dir.

#### 3.1. Haşhaş Yağının GC-MS Analiz Sonuçları

Haşhaş yağının GC-MS analiz sonuçları, yağ asidi bileşikleri ve sınır değerleri ile birlikte Çizelge 1’deki gibi yüzde bileşimi olarak gösterilmiştir. Analize göre yağın ana bileşeni %72,94 oranındaki linoleik asit, %14,79 oleik asit ve %9,07 palmitik asittir.

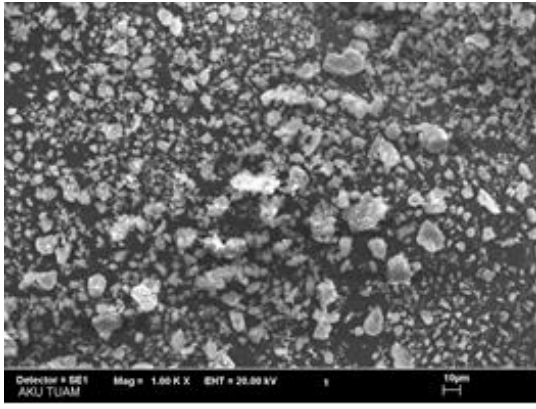
Çizelge 1. Haşhaş yağının GC-MS analiz sonuçları.

| Yağ Asidi Bileşikleri | Sınır (%) | Analiz Sonucu (%) |
|-----------------------|-----------|-------------------|
| C16:0                 | 9-11      | 9,07              |
| C16:1                 | -         | 0,13              |
| C18:0                 | 1-2       | 2,26              |
| C18:1                 | 13-18     | 14,8              |
| C18:2                 | 70-77     | 72,9              |
| C18:3                 | 1-3       | 0,58              |
| C20:0                 | -         | 0,13              |
| C20:1                 | -         | 0,07              |

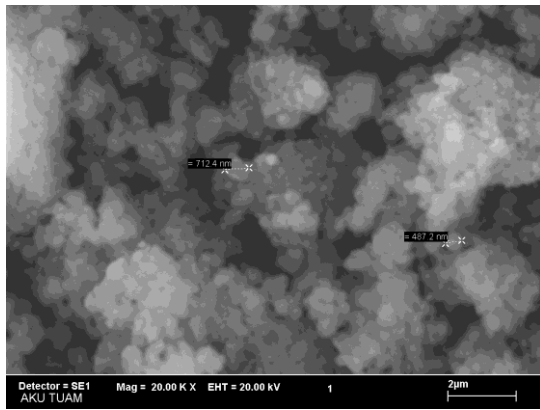
#### 3.2. Mermer Tozundan Elde Edilen CaO’ in SEM Analiz Sonuçları

Küçük mermer parçaları iyice öğütüldükten sonra 850 °C’de kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Parçacık boyutunun belirlenmesi için SEM analizleri yapılmış, parçacık boyu dağılımı 500-900 nm olarak belirlenmiştir (Şekil 3).





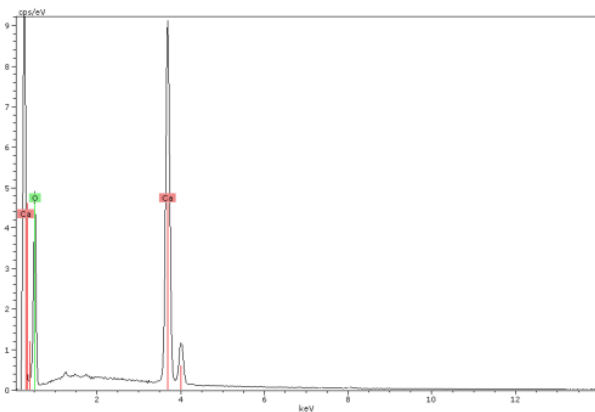
(a)



(b)

Şekil 3. Mermer tozundan elde edilen CaO' in 1000 (a) ve 20000 büyütme (b) için SEM görüntüleri.

SEM-EDX analizleri sonucunda ise, yapısında kütlece %71,3 oranında Ca ve %28,7 oranında oksijen bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).

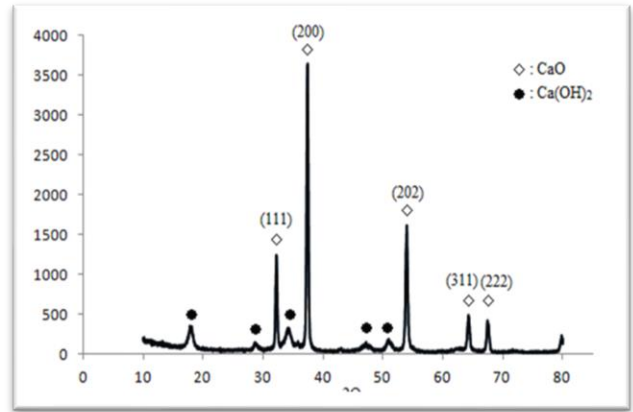


| Atom          | Yüzde, % (kütlece) |
|---------------|--------------------|
| Kalsiyum (Ca) | 71.3               |
| Oksijen (O)   | 28.7               |
| TOPLAM        | 100.00             |

Şekil 4. CaO' in SEM-EDX analiz sonuçları.

### 3.3. Mermer Tozundan Elde Edilen CaO' in XRD Analiz Sonuçları

Mermer tozundan elde edilen katalizöre ait XRD analizi Şekil 5'de verilmiş olup XRD analizinde CaO bileşiğine ait  $2\theta$  açıları  $32,2^\circ$ ,  $37,3^\circ$ ,  $54,5^\circ$ ,  $64,5^\circ$  ve  $67,3^\circ$  olarak belirlenmiştir. Bu değerler literatürdeki bilgilerle uyum içerisinde olup, yapının yüksek oranda kristalin CaO içerdiğini göstermektedir (Tangboriboon *et al.* 2012). Aynı zamanda analizde CaO' in nemlenmesi sonucunda oluşan  $\text{Ca(OH)}_2$ 'e ait düşük şiddette piklerin olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Mermer tozundan elde edilen CaO' in XRD analizi.

### 3.4. Farklı Parametrelerin Biyodizel Verimine Etkisinin İncelenmesi

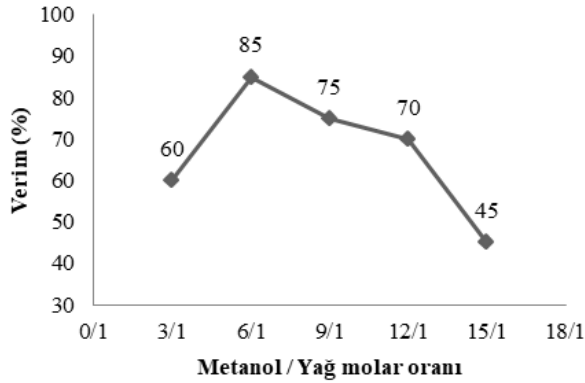
#### 3.4.1. Metanol: Yağ Molar Oranı

Metanol: yağ molar oranındaki değişimin biyodizel verimine etkisini gösteren grafik Şekil 6'da verilmiştir. Bu çalışma gerçekleştirilirken katalizör miktarı %1, tepkime sıcaklığı  $65^\circ\text{C}$  ve tepkime süresi 2 saat olacak şekilde sabit tutulmuştur.

Yapılan bu çalışmada metanol: yağ molar oranları 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 ve 15:1 olarak belirlenmiş ve tepkimenin verimine etkisi incelenmiştir. En yüksek verim (%85) 6:1 metanol: yağ molar oranı kullanılarak elde edilmiştir ( $\% \text{ verim} = \frac{\text{oluşan biyodizel kütlesi (g)}}{\text{oluşması gereken biyodizel kütlesi (g)}} \times 100$ ). Bu oran azaldığında veya arttığında ürün veriminde düşüş meydana gelmiştir. Bu durumun metanol miktarı azaltıldığında tepkimenin gerçekleşmesi için yeterli



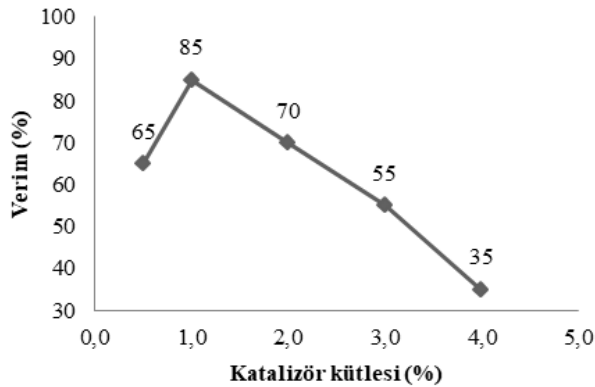
metanol olmaması veya arttırıldığında ise katalizörün aktif yüzeyleri ile etkileşip bloke ederek tepkimenin gerçekleşme oranını azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6. Metanol: yağ molar oranının tepkime verimine etkisi (%1 CaO, 65 °C, 2sa)

### 3.4.2. Katalizör Miktarı

Katalizör miktarındaki değişimin biyodizel verimine etkisini gösteren grafik Şekil 7'de verilmiştir. Bu çalışma gerçekleştirilirken metanol: yağ molar oranı 6:1, tepkime sıcaklığı 65 °C ve tepkime süresi 2 saat olacak şekilde sabit tutulmuştur.

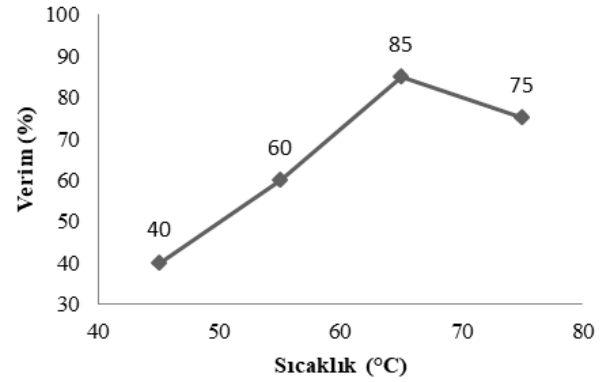


Şekil 7. Katalizör miktarının tepkime verimine etkisi (6:1 metanol: yağ, 65 °C, 2 sa.)

Katalizör (CaO) miktarı %0,5, 1, 2, 3 ve 4 olacak şekilde uygulanarak tepkime verimine etkisi incelenmiştir. En iyi sonuç %1 CaO ile gerçekleştirilen tepkimede elde edilmiştir (%85). Katalizör miktarının artırılması sabunlaşma gibi yan tepkimelerin oluşmasına veya azaltılması ise tepkimenin gerçekleşmesi için gerekli aktif yüzey miktarında azalmaya yol açmasından dolayı tepkimenin verimini olumsuz yönde etkilemiştir.

### 3.4.3 Tepkime Sıcaklığı

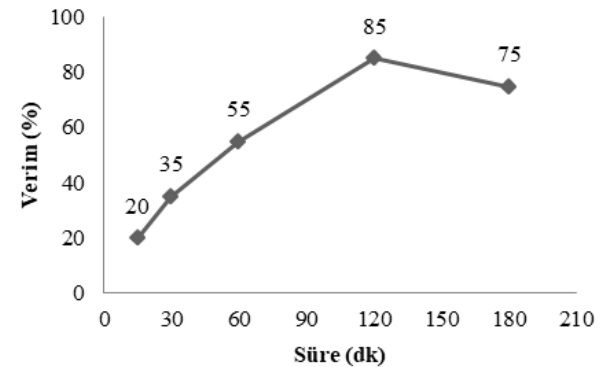
Tepkime sıcaklığındaki değişimin biyodizel verimine etkisini gösteren grafik Şekil 8'de verilmiştir. Bu çalışma gerçekleştirilirken metanol: yağ molar oranı 6:1, katalizör miktarı %1 ve tepkime süresi 2 saat olacak şekilde sabit tutulmuştur. Gerçekleştirilen bu çalışmada 45, 55, 65 ve 75 °C'deki sıcaklıklarda tepkime gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Sıcaklığın tepkime verimine etkisi (6:1 metanol: yağ, %1 CaO, 2 sa.).

En iyi tepkime veriminin 65 °C sıcaklıkta %85 olduğu gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra sıcaklık arttıkça biyodizel dönüşümünde düşüş olduğu görülmüştür.

### 3.4.4 Tepkime Süresi



Şekil 9. Sürenin tepkime verimine etkisi (6:1 metanol: yağ oranı, %1 CaO, 65 °C).

Tepkime süresindeki değişimin biyodizel verimine etkisini gösteren grafik Şekil 9'da verilmiştir. Bu çalışma gerçekleştirilirken metanol: yağ molar oranı 6:1, katalizör miktarı %1 ve tepkime sıcaklığı 65 °C olacak şekilde sabit tutulmuştur. Tepkime süresi ise 15, 30, 60, 120 ve 180 dakika olacak şekilde

transesterifikasyon tepkimesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda en iyi ürün verimi (%85) 120 dk sonunda elde edilmiştir. Süre arttırıldığında istenilmeyen (yan) tepkimelerin (sabunlaşma vb.) gerçekleşmesi neticesinde verimde azalma meydana gelmiştir.

### 3.5 Biyodizelin Yakıt Analizi

Deneysel çalışmalar sonucunda haşhaş yağından elde edilen biyodizelin yakıt analizleri sonuçlarına göre biyodizelin yoğunluk, viskozite, parlama noktası, akma noktası gibi bazı yakıt özellikleri incelenmiştir (Çizelge 2). Ayrıca analizde metanol içeriği, iyot değeri, monogliserid, digliserid, trigliserid içeriği, serbest gliserol, toplam gliserol, II. Grup metaller içeriği de belirlenmiştir.

TS EN 14214 standardına göre yapılan yoğunluk tayini sonucunda ürünün yoğunluğu  $0,903 \text{ g/cm}^3$  olarak belirlenmiştir. Standart aralık olarak verilen  $0,86-0,90 \text{ g/cm}^3$  den bir miktar fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmada kullanılan haşhaş yağının yoğunluğu ise  $0,92 \text{ g/cm}^3$  olarak belirlenmiştir.

TS 1451 EN ISO 3104 standardına göre ölçülen biyodizelin viskozitesi  $3,60 \text{ mm}^2/\text{s}$  olarak bulunmuştur.

EN 14214 standardına göre biyodizelin asitlik indisi  $0,45 \text{ mg KOH/g}$ , akma noktası ( $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ ) olarak bulunmuştur.

TS EN ISO 3679 yönetim sonucunda parlama noktası  $161,5 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak bulunmuştur.

Yapılan analize göre üretilen biyodizelin iyot değeri  $101 \text{ g iyot}/100 \text{ g}$  olarak bulunmuştur. EN14111 standardına göre bulunan değer uygundur.

Üretilen biyodizelin kalorifik değeri  $9.487 \text{ kcal/kg}$  olarak bulunmuştur. Bu değer, araçlarda kullanılan dizel yakıtın  $10.100 \text{ kcal/kg}$  olan kalorifik değerine yakın olduğu belirlenmiştir.

TS EN 14110 yönetimine göre metanol içeriği  $\%0,01$ 'den daha düşük bulunmuştur.

**Çizelge 2.** EN 14214 standartlarına göre biyodizelin yakıt özellikleri.

| Yakıt Özelliği  | TS EN 14214     | Sonuç  |
|---|-----------------|--------|
| Yoğunluk, $\text{kg/m}^3$ , $15 \text{ }^\circ\text{C}$         | 860-900         | 903,2  |
| Viskozite, $\text{mm}^2/\text{s}$ , $40 \text{ }^\circ\text{C}$ | 3,50-5,00       | 3,60   |
| Parlama noktası, $^\circ\text{C}$                               | 101 (en az)     | 161,5  |
| Asitlik Değeri, $\text{mg KOH/g}$                               | 0,50 (en fazla) | 0,45   |
| İyot Değeri, $\text{g iyot}/100\text{g}$                        | 120 (en fazla)  | 101    |
| Linolenik Asit Metil Ester, % (m/m)                             | 12 (en fazla)   | 0,1    |
| Metanol İçeriği, % (m/m)  | 0,20 (en fazla) | <0,01  |
| Monogliserid içeriği, % (m/m)                                   | 0,80 (en fazla) | 0,06   |
| Digliserid içeriği, % (m/m)                                     | 0,20 (en fazla) | 1,32   |
| Trigliserid içeriği, % (m/m)                                    | 0,20 (en fazla) | 3,57   |
| Serbest Gliserol, % (m/m)                                       | 0,02 (en fazla) | <0,001 |
| Toplam Gliserol, % (m/m)  | 0,25 (en fazla) | 0,576  |
| II. Grup Metaller (Ca+Mg), $\text{mg/kg}$                       | 5,0 (en fazla)  | 3,29   |
| Akma noktası, $^\circ\text{C}$                                  |                 | -18    |
| Kalorifik Değer, $\text{kcal/kg}$                               |                 | 9487   |

TS EN 14105 yönetimine göre monogliserid içeriği  $\%0,06$ , digliserid içeriği  $\%1,32$ , trigliserid içeriği  $\%3,57$  olarak bulunmuştur. Bu değerlerin düşük çıkması transesterifikasyon tepkimesinin gerçekleştiğinin göstergesidir.

TS EN 14105 yönetimine göre serbest gliserol  $\%0,001$ 'den daha az çıkmıştır. Toplam gliserol miktarı ise  $\%0,576$  olarak bulunmuştur.

TS EN 14538 standardına metoduna göre II. Grup metallere (Ca+Mg) 3,29 mg/kg olarak bulunmuştur.

#### 4. Değerlendirme ve Sonuç

Gerçekleştirilen bu çalışmada, yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak Afyon yöresi mermer atıklarının geri kazanımı sonucunda elde edilen CaO katalizörlüğünde, yine Afyon'a özgü olan haşhaş yağının transesterifikasyon tepkimesi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada biyodizel üretimine metanol-yağ molar oranı, katalizör miktarı, tepkime süresi ve sıcaklığın etkisi incelenmiş, optimum metanol: yağ oranı 6:1, katalizör miktarı %1, sıcaklık 65 °C ve tepkime süresi 120 dakika olarak belirlenmiştir.

Elde edilen biyodizelin yakıt analizleri TS EN 14214 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ürünün standartlara uygun olduğunu göstermiştir.

Bu sonuçlara göre haşhaş yağından elde edilen biyodizelin yoğunluğunun standart aralığının üzerinde olmasından dolayı B100 (saf halde) formunda dizel yakıt olarak kullanılamayacağı belirlenmiştir. Fakat kalorifik değerinin dizel yakıtına yakınlığı sonucundan yola çıkılarak B5 (%90 dizel ve %5 biyodizel) ve B10 (%90 dizel ve %10 biyodizel) formunda yakıt olarak değerlendirilebileceği öngörülmüştür.

#### 5. Kaynaklar

Aygün A., 2009. Hint Yağından Biyodizel Eldesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 111.

Benjapornkulaphong, S., Ngamcharussrivichai, C., and Bunyakiat, K., 2009. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Supported alkali and alkali earth metal oxides for transesterification of palm kernel oil and coconut oil. *Chemical Engineering Journal*, **145**, 468–474.

Boz, N., and Kara, M., 2009. Solid base transesterification of canola oil. *Chemical Engineering Communications*, **196**, 80–92.

Dönmez, G., 2011. Maya ve Fungus Lipitlerinin Soxhlet Sistemi ile Ekstraksiyonu. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Kesin Raporu 10H4240001, Ankara, 4-8.

Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H., 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **92**, 405–416.

Helwani, Z., Othman, M.R., Aziz, N., Fernveo, W.J.N. and Kim, J., 2009. Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: A review. *Fuel Processing Technology*, **90**, 1502-1504.

Ilgen, O., 2012. Transesterification of canola oil using Marble Dust as a Heterogeneous Catalyst. *Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects*, **34**, 1688-1694.

Karashahin, M., and Terzi, S., 2007. Evaluation of marble waste dust in the mixture of asphaltic concrete. *Construction and Building Materials*, **21**, 616-620.

Knothe G., 2010. Biodiesel and renewable diesel: A comparison. *Prog Energy Combust Sci*, **36**, 364-373.

Kouzu M. and Hidaka J., 2012. "Transesterification of vegetable oil into biodiesel catalyzed by CaO." *Fuel*, **93**, 1-12.

Lin, C.Y., Lin, H.A. and Hung, L.B., 2006. Fuel structure and properties of biodiesel produced by the peroxidation process. *Fuel*, **85**, 1743–1749.

Liu X., He H. and Wang Y., 2008. Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. *Fuel*, **8**, 216-221.

Lynd, L.R., 1996. Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy. *Annu. Rev. Energy Environ.*, **21**, 403-465.

Mittelbach, M. and Renschmidt, C., 2006. Biodiesel: the comprehensive handbook (third edition). Martin Mittelbach, Graz, Austria. 21-34.

Schuchardt U., Sercheli R. and Vargas R. M., 1998. Transesterification of vegetable oils: A review. *Journal of Brazil Chemical Society*, **9**, 199-210.

Tangboriboon, N., Kunanuruksapong, R., and Sirivat A., 2012. Preparation and properties of calcium oxide from eggshells via calcination. *Materials Science-Poland*, **30**, 313-322.

Topçu, I. B., Bilir, T., and Uygunoğlu, T., 2009. Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, **23**, 1947–1953.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 055703 (900-907)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 055703 (900-907)

DOI: 10.35414/akufemubid.703885

Araştırma Makalesi / Research Article

## Mevlana Kubbe-i Hadra (Konya) Dış Duvarının 1912 ve 1965 Yıllarındaki Onarımlarında Kullanılan Çinilerin Karakterizasyonu

Çetin ÖZTÜRK<sup>1</sup><sup>1</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Geleneksel Türk Sanatları Bölümü, Konyae-posta: cozturk@erbakan.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8697-0929>

Geliş Tarihi: 15.03.2020

Kabul Tarihi: 28.10.2020

### Öz

Birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olan Konya şehri, tarihi anıtsal yapıtlar açısından oldukça zengindir. Konya'daki bu yapıtlardan biri olan Mevlana Türbesi dünya kültür mirasının önemli bir parçasıdır. Kubbe-i Hadra olarak da bilinen Mevlana Türbesinin dış cephe duvarlarını süsleyen çiniler asırlar boyu birçok defa bakım ve onarımdan geçmiştir. En son 1965 yılındaki onarımda yenilenen çiniler artık servis ömrünü tamamladığından yenilenmesi gerekmektedir. Mevcut ve önceki dönemlere ait kubbe çinilerinin karakteristik özelliklerinin ortaya çıkarılması yenilenecek olan çinilerin üretim teknolojisinin belirlenmesinde rol oynayabilir. Bu amaçla Mevlana Müze Müdürlüğünden 1912 ve 1965 dönemlerine ait çini örnekleri temin edilmiş ve bu çini örnekleri fiziksel, kimyasal, mineralojik ve mikroyapı özellikleri açısından karakterize edilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları sonucu elde edilen bulgulara göre aynı aile tarafından farklı zamanlarda üretildiği tespit edilen çinilerin üretim teknolojileri ve karakteristik özelliklerinin birbirlerinden tamamen farklı olduğu belirlenmiştir.

### Anahtar kelimeler

Kubbe-i Hadra;  
Çini;  
Yenileme;  
Kütahya;  
Karakterizasyon

## Characterization of Mevlana Green Dome (Konya) Outer Wall Tiles Used in Repairs in 1912 and 1965

### Abstract

Konya city, which has hosted many civilizations, is rich in monumental historical works. Mevlana Mausoleum, one of these works in Konya, is an essential part of the world cultural heritage. Tiles decorating the exterior walls of the Mevlana Mausoleum, also known as Kubbe-i Hadra, have been maintained and repaired many times over the centuries. Since the tiles, which were last renovated in 1965, have completed their service life, they need to be renewed today. Uncovering the characteristic features of the dome tiles of current and previous periods may play a role in determining the production technology of the tiles to be renewed. For this purpose, tile samples belonging to the period of 1912 and 1965 were obtained from Mevlana Museum Directorate, and these tile samples were characterized in terms of their physical, chemical, mineralogical and microstructural properties. According to the findings obtained as a result of the characterization studies, it was revealed that the production technologies and characteristics of the tiles, which were found to be produced at different times by the same family, are entirely different from each other.

### Keywords

Mevlana Green Dome;  
Tile;  
Renovation;  
Kutahya;  
Characterization

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Çini, Türklerde geçmişten günümüze dini ve sivil mimaride duvar kaplama malzemesi olarak sıklıkla tercih edilmektedir. Çiniler, uygulandıkları yapıya dekoratif görsellik katmakla beraber aşınma ve korozyon gibi dış etkilere karşı da yapının dayanımını arttırmırlar (Bayazit ve Işık 2014). Çevresel faktörler, çini malzemenin üretiminden kaynaklı etkenler ve çini uygulama çalışmalarında yanlış malzeme seçimi

gibi nedenlerden dolayı çinilerde zaman içerisinde bozulma veya tahribatlar meydana gelir. Tahrip olan yapıda bakım ve onarım işlemine başlanmadan önce çinili yapıdaki mevcut korunma durumları, çinilerdeki bozulmalar ve bozulmalara sebep olan etkenler tespit edilmelidir. Yapının özgünlüğü korunacak şekilde uygun bir onarım yöntemi belirlendikten sonra çinilerde yenileme işlemi yapılmalıdır.

Konya'daki tarihi yapılardan olan ve halk arasında Kubbe-i Hadra olarak da bilinen Mevlana Türbesinin gövde ve külâh dış cephe duvarlarını kaplayan çiniler son olarak 1965 yılında gerçekleştirilen onarımda yenilenmiştir. (Bakırcı 2019). Günümüzde servis ömrünü tamamlayan bu çinilerin yenilenmesi zaruridir. Türbe, 1274 yılında fil ayağı olarak tabir edilen dört adet kalın sütun üzerine inşa edilmiştir (Özönder 1988). İnşa sonrası dış cephe duvarı çini ile kaplanan kubbenin iç kısmının da çini ve kalemşi süslemelerle kaplanmış olduğu söylene de iç mekândaki çiniler günümüzde mevcut değildir (Baysal 2020: 10). Kubbeyi süsleyen çiniler geçmişten bu yana birçok kez aslına uygun bir biçimde bakım ve onarım işlemlerinden geçirilerek yenilenmiştir (Baysal ve Sayın 2019). Tarihi kayıtlardan 1698 yılında kubbe duvarlarına kaplanan çinilerin İznik'te (Oğuzoğlu ve Mülayim 1984), 1817 yılı ve sonrasında kaplanan çinilerin ise Kütahya'da imal edildiği (Küçükdağ 1996) anlaşılmaktadır.

Bugünkü çiniler, 1965 yılında tamamlanan onarımda kubbeye kaplanmış ve Kütahya'da Metin Çini Fabrikası tarafından imal edilmiştir (Önge 1987, Bakırcı 2007). Metin Çini Fabrikasının o dönemki sahibi olan Edip Çinicioğlu, Kubbe-i Hadra'nın 1912 yılındaki onarımında kullanılan çinilerin imalatçısı olan Hafız Hacı Mehmet Emin Efendinin de torunudur (Arlı 1989: 10-16). Mehmet Emin Usta Cumhuriyet öncesi dönem Kütahya çiniciliğinin Cumhuriyet dönemine geçişini sağlayan, Kütahya'daki ilk yerli çini fabrikasının sahibidir. 1899 yılında işletmeye başladığı fabrikayı vefatından sonra (1922) oğlu Hakkı Çinicioğlu işletmiştir (Şahin 1988). 1942'de "Metin Çini" ismiyle üretimine devam eden fabrikaya 1949 yılından sonra Hakkı Çinicioğlu'nun oğulları Vedat ve Edip Çinicioğlu da ortak olarak dâhil olmuştur. Fabrika 2002 yılına kadar varlığını sürdürdükten sonra kapanmıştır (Çini 2002:58-61). Bu bilgilerden, 1912 ve 1965 yıllarında Kubbe-i Hadra onarımlarında kullanılan çinilerin aynı ailenin farklı kuşakları tarafından Kütahya'da üretildiği anlaşılmaktadır.

Tarihi süreçte Kütahya'da eskiden beri çini üretildiği bilinmekteyse de Kütahya çiniciliği kendini 17. yy'da İznik çiniciliğinin bitmesiyle göstermiş ve 18.yy'da çini üretim merkezi haline gelmiştir. 19.yy.

başlarından itibaren duraklayan Kütahya çiniciliği aynı yüzyılın sonlarına doğru oldukça gerilemiştir. 20.yy. başlarında ise I. Ulusal Mimarlık Dönemi'nin etkisiyle çinicilikte canlanma görülmüş ve Kütahya çiniciliği teknolojik açıdan gelişim göstermiştir. Bu dönemdeki Kütahya çini bünyelerinin yüksek oranda kuvars ve bağlayıcı kilden oluştuğu bilinmektedir (Arlı 1989 ve Şahin 1988). Cumhuriyet sonrası Kütahya çiniciliğinde bünyedeki kil oranı giderek artmış ve bünye reçetesi Kundukviran kaolini, Kundukviran kumu, maya (Kütahya'da Halk arasında "baş kili" olarak da bilinen beyaz pişme renkli bentonit kil) (Kızıl 2010:9) ve kuvars şeklinde değişmiştir. 1935 yılında Dümbüldek toprağının çini imalatında kullanılmaya başlanmasıyla çini hamur reçetesi; Dümbüldek toprağı 50, Tebeşir 15, Maya 25, Kuvars 15, Mihaliçcık kili 5 birimden oluşmuştur. Bu reçete 1980'lere kadar kullanılmıştır. Cumhuriyet dönemi öncesi ve Cumhuriyet döneminde Kütahya çiniciliğinde sır reçetesi uzun yıllar hiç değişmeden devam etmiştir. Bu sır reçetesinde; Kuvars 20, Sülyen 20, Cam 5 ve Soda 7 birim olup sır beyaz, şeffaf ve parlak görünümündedir (Şahin 1988). Yüzyıl içerisinde kuvars ağırlıklı bünyeden kil ağırlıklı bünyeye değişen Kütahya çiniciliğinde kil ve kuvarsın yanı sıra kullanılan diğer hammaddeler, kaolen, dolomit ve kalsittir (Gülaçtı 2012). Kütahyalı çiniciler Cumhuriyet dönemi sonrasında (özellikle 1960 sonrası dönem) İtalya ve Almanya'dan teknoloji ve ekipman transferi yapmış ve bu ülkelerden gelen seramik ustaları ile Ar-Ge çalışmalarında bulunmuşlardır (Şahin 1988). Kütahya'da 1978 yılından bu yana geleneksel Kütahya çini üreticisi olan Çinikop A.Ş.'den (Çini, 1991: 21 ) alınan Kütahya çini bünyesinin kimyasal analizinde oksitlerin ağırlıkça %'de oranı; SiO<sub>2</sub>: 66.97, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 12.72, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.49, TiO<sub>2</sub>: 0.45, CaO: 0.55, MgO: 5.63, Na<sub>2</sub>O: 0.33, K<sub>2</sub>O: 0.80, Ateş Kaybı: 11.50'dir. Kurşunlu sıranın kimyasal analizinde ise oksitlerin ağırlıkça %'de oranı; SiO<sub>2</sub>: 42.73, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.17, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.10, CaO: 0.61, MgO: 0.30, Na<sub>2</sub>O: 7.03, K<sub>2</sub>O: 0.03, PbO: 38.28, B<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 2.77 ve çininin su emme oranı %27'dir. Coşkun vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada günümüz Kütahya yüksek poroziteli beyaz pişen çini bünyesinin kuvars, kristobalit ve feldspat minerallerinden oluştuğu, kuvarsın ise ana mineral olduğu belirlenmiştir.

Kütahya çinilerinin kendi içinde dönemsel olarak farklılıklar göstermesi İznik çinileri gibi karakterize edilmesini zorlaştırır da İznik ile Kütahya çiniciliği bariz farklılıklar göstermektedir. Örneğin İznik çiniciliğinde bünyede kullanılan kuvars yüksek orandayken, Kütahya çiniciliğinde daha düşüktür. İznik çinilerinin pişirme sıcaklığı Kütahya çinilerinininkinden daha düşüktür (Yılmaz 2011). İznik çiniciliğinde kurşun sırcalı (fritli) hamur kullanılırken Kütahya'da kireç-alkali hamur kullanılmıştır (Kahraman 2018).

1965 yılı onarımında yenilenen Kubbe-i Hadra çini kaplamaları servis ömrünü tamamlamış olup yenilenmesi için Konya Valiliği ve Konya İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü tarafından 01.06.2020 tarihinde Bilim Kurulu oluşturulmuştur. Kurul, kubbe çinilerinin geleneksel tarzda ve turkuaz renkte kalaylı sırlı imal ettirilmesine karar vermiştir. Geleneksel tarz yüksek silisli bünye ve 'Tap Tap' şekillendirme yöntemini ifade etmektedir (Kubbe-i Hadra Bilim Kurulu Kararları, 2020).

Bu çalışmada Konya Müze Müdürlüğünden temin edilen 1912 ve 1965 yılı onarımlarında kullanılan dış duvar çinilerinin bünye ve sır yapıları karakterize edilmiştir. Karakterizasyon sonucu elde edilen veriler hem birbirleriyle hem de günümüz Kütahya ve İznik çinileriyle karşılaştırılmış, aralarındaki benzerlik ve farklılıklar ortaya konulmuştur.

Çalışma sonuçlarının 15 Haziran 2020 - 01 Aralık 2021 tarihlerinde yenilenmesi planlanan (Int Kyn. 1) Kubbe-i Hadra çinilerinin üretim teknolojisinin belirlenmesinde etkin bir rol oynayabileceği düşünülmektedir.

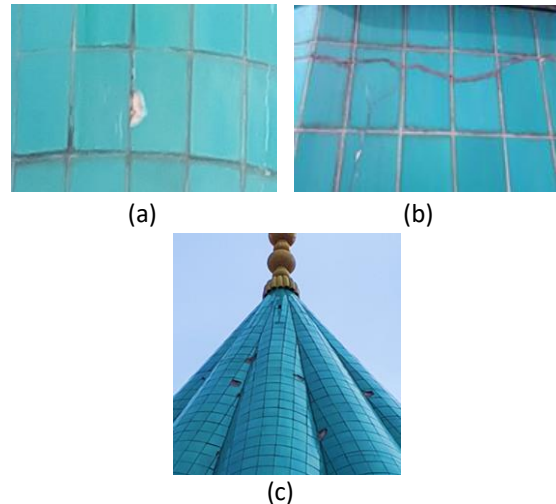
## 2. Materyal ve Metot

Günümüz Kubbe-i Hadra dış duvarlarını süsleyen çinilerin ve daha önceki dönemlerde kullanılmış çinilerin karakteristik özelliklerinin incelenip araştırılması yenilenecek olan çinilerin üretim teknolojisinin belirlenmesinde rol oynayabilir. Bu amaçla Konya Müze Müdürlüğünden kubbede kullanılmış olan çini örnekleri istenmiş ve 1912 ve 1965 dönemlerine ait olduğu belirtilen çini örnekleri temin edilmiştir. Çalışmada ilk olarak Kubbe-i Hadra'da yerinde inceleme ve fotoğrafı

yapılmış, sonrasında Konya Müze Müdürlüğünden temin edilen çinilerin su emme (%), görünür porozite (%) ve yığınsal yoğunluk ( $g/cm^3$ ) değerleri Arşimed yöntemine göre ölçülmüştür. Karakterizasyon çalışmaları kapsamında XRF (X-ışınları floresans), XRD (X-ışınları kırınımı) ve SEM (tarama elektron mikroskobu) analizleri gerçekleştirilmiştir. Çinilerin kimyasal bileşimleri Rigaku marka ZSX Primus II model XRF cihazı ile belirlenmiştir. Çinilerin mikroyapı görüntüleri HITACHI SU 1510, (Japonya) kullanılarak elde edilmiştir. Çini örneklerinin mikroyapısal analizi SEM cihazında sekonder elektron görüntülemesi ile gözlemlenmiştir. XRF kimyasal analizi ve SEM Mikroyapı analizi Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde (BİTAM) yapılmıştır. Çinilerin yapılarındaki mineralleri belirlemek için Bruker marka D8 Advance model cihazda  $2\theta$  tarama açısı  $5-70^\circ$  arasında olacak şekilde XRD analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerde  $Cu K\alpha=1,54\text{Å}$  dalga boyuna sahip X-ışını kullanılmış ve 3 derece/dakika tarama hız ile taranmıştır. XRD analizi Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) gerçekleştirilmiştir.

## 3. Bulgular

Kubbe-i Hadra çinilerindeki tahribatlar yerinde incelenerek tespit edilmiştir. Bu tahribatlar; kubbe tabanında enine ve dikine derin çatlaklar, yer yer kabarmalar, kubbenin uç kısmına doğru kavlama, kopma ve dökülmeler şeklindedir. Şekil 1 (a), (b) ve (c)'de çinilerdeki tahribatlardan örnekler görülmektedir.



**Şekil 1.** Şekil 1. (a), (b), (c) Günümüz Kubbe-i Hadra gövde ve külah kısımdaki dış cephe çinilerinde atmosferik etkilerle zamanla oluşan tahribat.

Şekil 2 (a) 'da ise derz dolgusundaki boşalma ve Şekil 2 (b)'de de derz dolgu aralığından sökülen çini plaka altındaki çimentolu yapı görülmektedir. Şekil 2 (a) ve (b)'den çinilerdeki tahribat nedenleri arasında yanlış malzeme kullanımının da olduğu anlaşılmaktadır. Çünkü çinilerin dış cephe kaplamalarında bağlayıcı olarak çimento kullanımı zamanla tuz oluşumuna neden olmakta ve oluşan tuz nem ve ısı etkisiyle kristalleşerek çinide çatlamalar ve sırda dökülmelere yol açmaktadır (Işıkhan 2012).



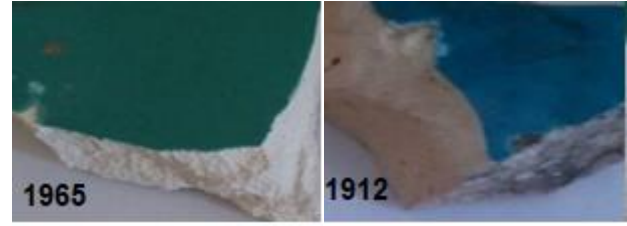
**Şekil 2 (a).** Günümüz Kubbe-i Hadra Gövde Çinileri arasındaki derz dolgularında oluşan dökülme ve derzlerde çözümlenmiş çimento harcı.



**Şekil 2(b).** Tahrip olmuş derz dolgusundan sökülen çini plaka altındaki çimento harcının görünümü

Çinilerdeki meydana gelen tahribatta hatalı malzeme seçimi ve ağır iklim şartları önemli rol oynamaktadır. Özellikle kışın meydana gelen donma ve çözülme olayları duvar kaplama malzemelerinin emme, basınç ve aşınma dayanımlarını olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden Kubbe-i Hadra gibi tarihi yapıların dış cephe kaplama malzemeleri yenilenirken, üretilecek olan kaplama malzemesinden beklenen teknik özelliklerin belirlenmesinde o bölgenin iklim şartlarına göre hazırlanmış 'Ayrışma İndeksi' olarak adlandırılan verilerden faydalanılmalıdır. İskender Işık ve arkadaşları tarafından hazırlanan Türkiye'nin ayrışma indeksi haritasında Konya donma/çözülme olaylarının sert görüldüğü bölgede yer almaktadır (Işık ve ark.2017).

Konya Müze Müdürlüğünden temin edilen 1912 ve 1965 yıllarındaki onarıma ait çinilerden temsili örnekler Şekil 3'te verilmiştir.



**Şekil 3.** (a)1965 yılı kubbe çinisi, (b)1912 yılı kubbe çinisi

Şekil 3'e göre 1965 yılı çini bünyesinin beyaz renkli, yüzeyinin maviye çalan yeşil renkte örtücü sırlı, 1912 yılı çini bünyesinin ise sarımtırak, sırnın ise turkuaz renkte olduğu görülmektedir.

### 3.1 Fiziksel Analiz Sonuçları

Çini örneklerine yapılan fiziksel test sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

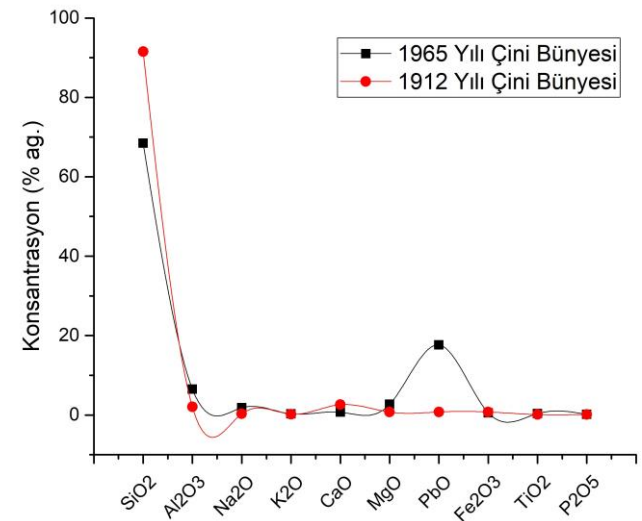
**Çizelge 1.** 1965 ve 1912 yıllarına ait türbe çinilerinin fiziksel özellikleri.

| Fiziksel testler                    | 1965 Yılı Çinisi | 1912 Yılı Çinisi |
|-------------------------------------|------------------|------------------|
| Su emme (%)                         | 16,68            | 22,29            |
| Yığınsal yoğunluk g/cm <sup>3</sup> | 1,96             | 1,64             |
| Görünür porozite (%)                | 32,94            | 36,56            |

Çizelge 1'den 1965 yılı çinisinin 1912 yılı çinisine göre daha yoğun, su emme ve porozitesinin ise daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.2 Kimyasal Analiz Sonuçları

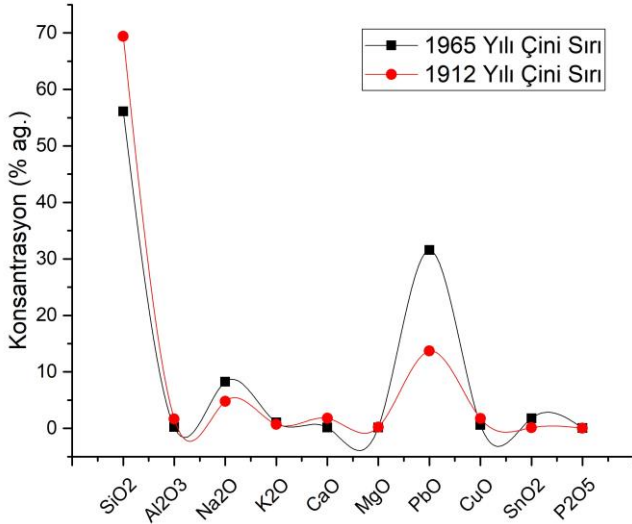
Şekil 4 ve 5'te çinilerin bünye ve sırlarının kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.



**Şekil 4.** 1912 ve 1965 yılı çini bünyelerinin kimyasal kompozisyonu



Şekil 4'e göre 1912 yılı çini bünyesi yüksek silika içeriğinden dolayı (% 91,54) İznik ve I. Ulusal Mimarlık Dönemi Kütahya çinileri ile uyumludur. İznik ve I. Ulusal Mimarlık Dönemi Kütahya çini bünyelerinin yüksek silika içerdiği literatürde (Okyar 2005, Kahraman 2018) belirtilmektedir. Bu yönüyle 1912 yılındaki onarımda kullanılan çini bünyesi bileşim olarak taş çini özelliği taşımaktadır. 1965 yılı çini örneğindeki bünyenin silika içeriği (% 68,45) Kütahya çiniciliğinde Cumhuriyet sonrası bazı dönemlerdeki bünye bileşimleri ile uyumlu olsa da bünyede yüksek kurşun oksit içeriği (% 17,64) gerek Kütahya gerekse İznik çiniciliğinde hiç bir dönem görülmemiştir. 1912 ve 1965 yılı çinilerinin toplam alkali, toprak alkali ve alümina değerleri ise literatürde (Atagün 2010, Kahraman 2018, Okyar 2005) benzer konuda yapılmış araştırma sonuçları ile uyumludur.



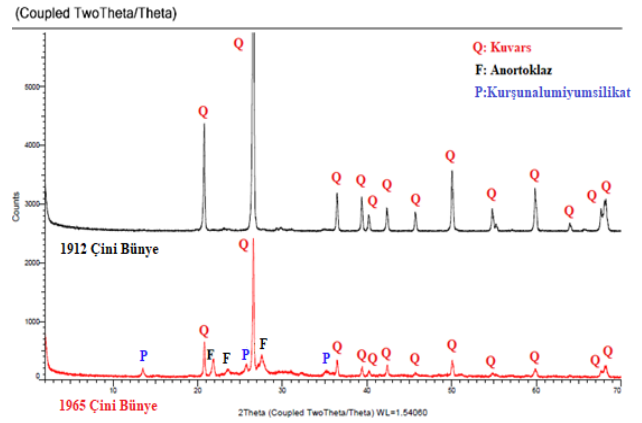
Şekil 5. 1912 ve 1965 yılı çini sırlarının kimyasal kompozisyonu

Şekil 5'te 1912 ve 1965 yılı çinilerinin sır bileşimleri verilmiştir. Analiz sonuçları her iki dönemde de renklendirici olarak farklı oranlarda bakır oksit kullanıldığını göstermektedir.

1965 yılı çini sırlarındaki örtücülük nispeten yüksek kalay oksit (% 1,78) içeriğinden kaynaklanmaktadır. Şekil 5'te görüldüğü üzere iki dönem sır bileşimleri arasındaki en bariz fark 1965 yılı çini sırlarındaki yüksek kurşun oksit (PbO: % 31,55) içeriğidir. Maviye çalan yeşil renk oluşumunda yüksek orandaki PbO'nun CuO ile yaptığı bileşikten kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 3.3. X-Işınları Kırınımı (XRD) Analizi Sonuçları

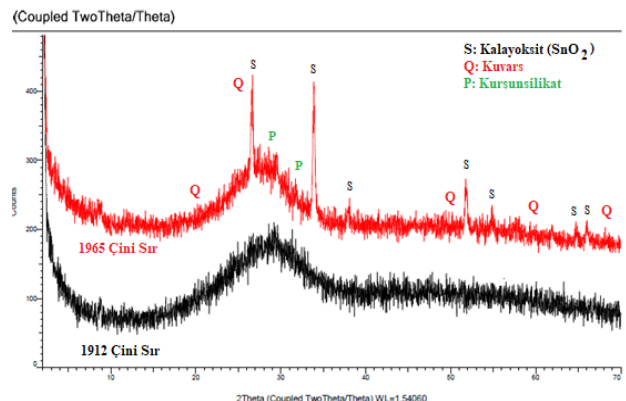
Şekil 6'da çini bünyelerinin XRD analiz grafiği verilmiştir.



Şekil 6. Farklı dönem çini bünyelerinin X-ışınları kırınımı (XRD) analiz sonuçları.

Şekil 6'ya göre 1912 yılı çini örneğinde belirgin biçimde sadece kuvars fazı görülürken, 1965 yılına ait çinide kuvars (SiO<sub>2</sub>), anortoklaz ((Na<sub>0.63</sub>K<sub>0.27</sub>Ca<sub>0.1</sub>)(Al<sub>1.1</sub>Si<sub>2.9</sub>O<sub>8</sub>)) ve kurşunalumiyumsilikat (PbAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) fazları görülmektedir. Kuvars, İznik ve Kütahya çinilerinde görülen başlıca mineraldir. Bunun dışında bu çinilerde feldspat, plajiolit, mika, kalsit, vollastonit, jibs, epidot, serizit, klorit ve rutil türü minerallere de rastlanıldığı literatürde (Okyar 1996) belirtilmektedir. Anortoklaz; bünyesinde sodyum, alüminyum ve silikatin olduğu alkali feldspattır (Keskin 1998). Dolayısıyla İznik ve Kütahya çini bünyelerinde olması muhtemeldir. Kurşunalumiyumsilikat fazı ise yüksek orandaki kurşun içeriğinden gelişen bir mineraldir. Ergitici özellikteki kurşun, bünyenin pişirim sıcaklığını düşürmekte, alümina ise yükseltmektedir. Yapılan literatür incelemelerinde Türk çiniciliğinde böyle bir mineral ile karşılaşılmasıdır.

Şekil 7'de farklı dönem çini sırlarının X-ışınları kırınımı analiz sonuçları verilmiştir.

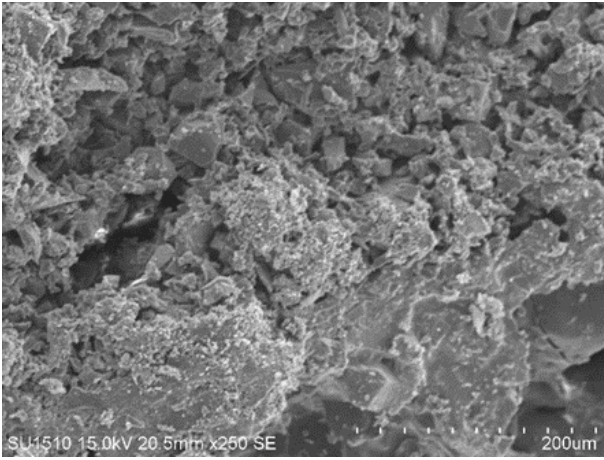


**Şekil 7.** Farklı dönem çini sırlarının X-ışınları kırınımı (XRD) analiz sonuçları.

Şekil 7’de 1912 ve 1965 yılı çini sırlarında kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) ve kurşunsilikat ( $\text{Pb}_5\text{SiO}_7$ )’a ait kristalin fazlar bulunmaktadır. Ayrıca 1965 yılı çini sırlarında kalay oksite ( $\text{SnO}_2$ ) ait pikler görülmektedir. Kalay oksitin İznik çini sır bileşimlerinde yer alan bir faz olduğu literatürde (Sevgili 2006) belirtilmektedir.

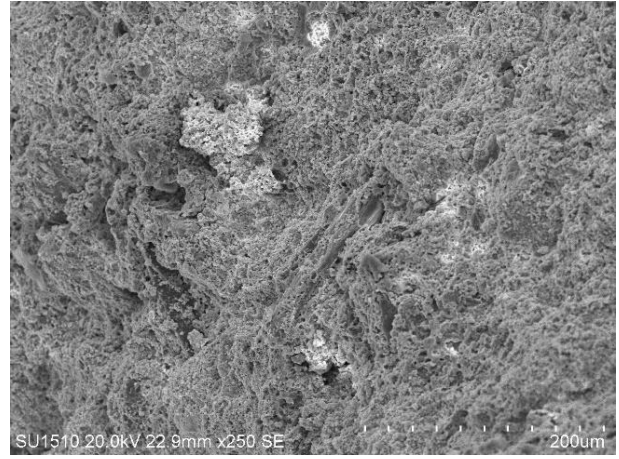
### 3.4. SEM Mikroyapı Analiz Sonuçları

Şekil 8 ve 9’da çini örneklerinin SEM görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 8.** 1912 yılı çini bünyesinin SEM görüntüsü

1912 yılı çini bünyesinin Şekil 8’de verilen SEM görüntüsüne göre bünye yapısı gözenekli ve gözenek boyutu irili ufaklıdır. Bu çininin geleneksel şekillendirme yöntemlerinden olan ‘Tap Tap’ yöntemi ile şekillendirildiğini göstermektedir. Osmanlıdan günümüze yüksek kuvars içerikli çinilerin şekillendirilmesinde kullanılan Tap Tap yönteminde istenilen ebatlarda yapılmış ahşap çerçeve üzerine, bez konularak hazırlanan masse, çerçeve içine elle bastırılarak doldurulur. Sonra üzeri çeşitli aletlerle düzeltilir. Kurumaya başladığında ise ham bünye ters düz edilerek bez alınır ve ham bünyenin kuruma süreci devam ettirilir. (Kızıl 2010:15). Tap tap şekillendirme yöntemi bünyede su tahliyesini kolaylaştıracak bir gözenek dağılımına imkân sağlamaktadır.



**Şekil 9.** 1965 yılı çini bünyesinin SEM görüntüsü.

Şekil 9’da verilen 1965 yılı çinisinin SEM görüntüsünden ise bünyenin sık dokulu olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte bünyede levha şeklinde katmanların varlığı çinilerin presleme yöntemi ile şekillendirildiğini göstermektedir. Sık doku killi bünyelerde mukavemeti arttırsa da bünyenin su tahliyesini zorlaştırdığından atmosferik olaylar sebebiyle zamanla çinide tahribata yol açmaktadır.

### 4. Tartışma ve Sonuç

1912 ve 1965 dönemi Mevlana kubbe çinileri aynı aile tarafından (dede ve torunu) imal edilmiştir. Çiniler fiziksel özellikleri açısından karşılaştırıldığında bünye ve sır renklerinin birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir.

1912 yılında kaplanan çini bünyesi gözenekli yapıdadır, 1965 yılında kaplanan çini bünyesi ise sık dokuludur. 1912 yılında kaplanan çiniler geleneksel şekillendirme yöntemi olan Tap Tap yöntemiyle, 1965 yılında kaplanan çiniler ise preste şekillendirme yöntemiyle şekillendirilmiştir.

Türk çiniciliğinin hiçbir döneminde bünyede yüksek oranda kurşun oksit kullanılmamıştır. 1965 yılı çini bünyesinde tespit edilen yüksek orandaki kurşun oksit (% 17,64) bu açıdan Türk çiniciliğinden ayrılmaktadır.

1965 yılı çini sırlarındaki yüzey örtücülüğü, bileşimdeki kalayoksit içeriğinden kaynaklanmaktadır.

Mineralojik açıdan 1912 yılı çinisinde kuvars fazı, 1965 yılı çinisinde ise kuvars, anortoklaz ve kuşunalumiyumsilikat fazları görülmektedir.

Sonuç olarak; çalışmada gerçekleştirilen fiziksel, kimyasal, mineralojik ve mikroyapısal analizlerden 1912 yılı çini örneğinin bünye ve sır yapısının geleneksel Kütahya çinileriyle benzerlikler gösterdiği, 1965 yılı çini örneğinin bünye ve sır yapısının ise Kütahya ve İznik çinilerine benzemediği belirlenmiştir. Söz konusu çininin Ar-Ge çalışmaları ve teknoloji transferi yapmak için o dönem İtalya ve Almanya'dan Kütahya'ya gelen seramikçilerle bağlantılı olabileceği düşünülmektedir.

## 5. Öneriler

Ayrışma indeksi haritasında Konya, donma/çözülme olaylarının sert görüldüğü bölgede yer aldığından uzun servis ömrü için kubbe dış cephesine kaplanacak çinilerin seçiminde donma/çözünme testleri de kullanılmalıdır. Bununla birlikte çinilerin duvara montajında kullanılacak hidrolik harç seçiminin de servis ömrünü belirlediği unutulmamalıdır.

## 6. Kaynaklar

Arlı. H. 1989, Kütahyalı Mehmed Emin ve Eserlerinin Üslubu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 190.

Atagün D., 2010, Türk Çini Sanatında Renkli Sır Teknikleri ve Reçeteleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Geleneksel Türk El Sanatları, Sakarya, 87.

Bakırcı N., 2007, Konya Mevlâna Dergâhı, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu İlahiyat Fakültesi İslam Tarihi ve Sanatları Bölümü Dergisi*, **10**, 191-202.

Bakırcı N., 2019, Mevlâna Müzesi Kubbe-i Hadrâ'nın Kalem İşi Süslemeleri ve Yapılan Restorasyon Çalışmaları, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (Prof. Dr. Fuat Sezgin Özel Sayısı), 322-338.

Bayazit M. ve Işık İ., 2014, Mimaride Kullanılan Çinilerin Bozunma ve Aşınma Davranışları, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, OZ5724, 153-158.

Baysal A. F., 2020, Kubbe-i Hadrâ Kalemîşi Tezyinatı ve Yenilenmesi. Konya: Palet Yayınları, 100-10.

Baysal, A.F. ve Sayın., A.Z, 2019, Restorasyon Sonrası Kubbe-i Hadrâ Kalem İşleri Üzerine Bir Değerlendirme, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu İlahiyat Fakültesi İslam Tarihi ve Sanatları Bölümü Dergisi*, **33**, 39-64.

Coşkun N. D., Işık E., Şahin A. S., Börekçioğlu Ç. ve Uz V., 2015, Yüksek Poroziteli Beyaz Pişen Seramik Çamurunun Karakterizasyonu, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 037103, 14-20.

Çini R., 2002, Ateşin Yarattığı Sanat Kütahya Çiniciliği, Celsus Yayınları, 348-61-58.

Çini, R., 1991, Türk Çiniciliğinde Kütahya, Uycan Yayınları, İstanbul, 114-21.

Gülaçtı N., 2012, Seramik Ve Çini Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin Karşılaştıkları Sorunlar Ve Beklentileri, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, **32**, 143-158.

Işık İ., Uzunoğlu Aydoğan D. ve Karaca M., 2017, Tarihi yapıların korunması ve güçlendirilmesinde ayrışma indeksi haritasının kullanımı, Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 659 – 668. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Işıkhan, S. S., 2012, Tarihi Çinilerde Yapısal Özellikler Ve Karşılaşılan Bozulmalar, *Yedi, Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Dergisi*, **7**, 15 – 22.

Kahraman G., 2018, 1950' den İtibaren Kütahya Çini Tabaklarının Tasarım Tipolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, 256.

Kızıl, M., 2010, Cumhuriyet dönemi Kütahya çinisinde görülen uygulama teknikleri ve yenilikler, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal

Bilimler Enstitüsü, Seramik Anasanat Dalı,  
Afyonkarahisar, 72.

Kubbe-i Hadra Bilim Kurulu Kararları, 2020, I. ve II. Kurul Kararı, Mevlana Müze Müdürlüğü, Konya.

Küçükdağ Y., 1996, 1251 H/1835 M. Tarihli Mevlana Türbesi ve Çelebi Efendi Konağı Tamir ve İnşası Defteri, *Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü, Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, **2**, 182-184.

Oğuzoğlu Y. ve Mülayim S., 1984, Konya Mevlana Türbesi'nin Restorasyonu İle İlgili H. 1109 (1698) Tarihli Üç Belge, *Arkeoloji Sanat Tarihi Dergisi*, **3**, 115-122.

Okyar F., 2005, The Technology of Frit Making in Iznik, 2005, *Key Engineering Materials*, **264-268**, 2391-2394.

Önge Y., 1985, Mevlana Türbesi'nin Çini Tezyinatı, *I. Milli Mevlana Kongresi Tebliğler*, 401-408. Konya: Selçuk Üniversitesi.

Özönder H., 1988, Mevlana Türbe ve Külliyesinin Tamir ve İlaveler Kronolojisi, *Selçuklu Üniversitesi Selçuk Dergisi, Selçuklu Araştırmaları Merkezi*. **2**, 23-29

Sevgili M., 2006, İznik'te Kullanım Amaçlı Üretilen (16.yy) Tabak ve Kase Formlarının Günümüzdeki Benzer Üretimleriyle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Geleneksel, İzmir, 89.

Şahin F., 1988, Cumhuriyet Dönemi Kütahya Çini ve Keramik Sanatı, *İstanbul Sanat Tarihi Yıllığı XIII*. 131 – 151.

Yılmaz M., 2011, İznik Çinilerinde Nanopigment Kullanımı Ve Geleneksel Pigmentlerle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 235.

#### **İnternet kaynakları**

1- <https://www.aksehirpostasi.com/mevlana-muzesi-ndeki-yesil-kubbe-cinileri-restore-edilecek/25613/>  
(04.08.2020)

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 055801 (908-916)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 055801 (908-916)

DOI: 10.35414/akufemubid.653347

Araştırma Makalesi / Research Article

## Bir Bor Sahasının Rezervinin Belirlenmesine Damar Yüzeylerinin Farklı Tekniklerle Modellenmesinin Etkisi

Ali ATAŞ<sup>1</sup>, İrfan Celal ENGİN<sup>2\*</sup><sup>1</sup> Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, Balıkesir.<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.<sup>1</sup> e-posta: ali.atas@etimaden.gov.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7877-1492>Sorumlu yazar <sup>2</sup> e-posta: icengin@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1793-901X>

Geliş Tarihi: 30.11.2019

Kabul Tarihi: 31.10.2020

### Öz

Madencilik faaliyetlerindeki öngörülebilirliğin artırılması amacıyla maden yataklarının rezervlerinin belirlenmesi ve uzun vadeli ocak planlamasında bilgisayarlı modelleme tekniği son yıllarda önemli bir yer edinmiştir. Bu çalışmada, Netcad NETPRO/Mine madencilik yazılımı ile bir bor sahasının katı modeli oluşturulmuş, katı model oluşturulmasında kullanılan "damar yüzeylerinden katı model oluşturulması" yönteminde; farklı kestirim teknikleri ile damar yüzeylerinin modellenmesinin rezerv hesabına etkisi araştırılmıştır. İlk olarak, topoğrafik ölçümlerle elde edilen sayısal verilerle sahanın topoğrafyası bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Daha sonra, sahada önceden yapılmış olan 71 adet sondaja ait veri ilgili yazılımın veri tabanına aktarılmıştır. Son olarak, sahanın rezervini hesaplamak için sondaj verileri kullanılarak sahanın 3 boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Katı modelleme esnasında farklı yöntemlerden saha için uygun görülen "damar yüzeylerinden katı model oluşturulması" yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemde damar yüzeyleri farklı kestirim teknikleri ile modellenerek katı modeller oluşturulmuş ve bu katı modellerin hacmi kullanılarak her kestirim yöntemi için sahanın rezervi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda rezerv miktarını en fazla hesaplayan kestirim yöntemi "Ters uzaklık" olup bunu "en yakın komşu", "kriging" ve "üçgenleme" yöntemleri izlemiştir. Hesaplamalar sonucunda çıkan kestirim yöntemleri kıyaslanmış ve bor sahasının özelliklerine uygun kestirim yöntemi seçilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Bor; Rezerv Hesabı;  
Yüzey Modelleme; Katı  
Modelleme; Yazılım;  
Yöntem

## The Effect of Modelling Vein Surfaces with Different Techniques on the Determination of Reserve of a Boron Field

### Abstract

In order to increase the predictability of mining activities, computerized modeling technique has gained an important place in the determination of mineral reserves and long term mine planning. In this study, a solid model of a boron field was created with Netcad NETPRO / Mine mining software. The effect of modeling of vein surfaces with different estimation techniques in reservoir calculation by creating a solid model from vein surfaces was investigated. First of all, the topography of the field was built in computer by using numerical data obtained from topographic measurements. Then, the data of 71 drillings which were made in the field were transferred to the database of the related software. Finally, a 3-D solid model of the site was created using drilling data to calculate the reserve of the site. During solid modeling, 'solid model formation from vein surfaces' method, which is deemed suitable for the field from different methods, was used. In the method used, the vein surfaces were modeled with different estimation techniques and solid models were formed and the reserve of the site for each estimation method was calculated separately by using the volume of these solid models. In the calculations, 'Inverse distance' is the prediction method that calculates the reserve amount at the maximum, followed by 'nearest neighbor', 'kriging' and 'triangulation' method. As a result of the calculations, the prediction methods were compared and the suitable one was selected according to the mine deposit properties of the boron field.

### Keywords

Boron; Reserve  
Calculation; Surface  
Modeling; Solid  
Modeling; Software;  
Method

## 1. Giriş

Ülkemiz madencilik sektöründe gerek ihracat getirisi gerekse stratejik öneminden dolayı en önemli ürünlerden biri bor cevheridir. Tüm maden kaynakları gibi bor madenleri de tükenbilir kaynaklar arasındadır. Bu nedenle, planlı ve en verimli şekilde üretilmesi gerekmektedir.

Dünya bor rezervinin % 74'ü ülkemizde bulunmakta, üretiminin ise % 80'e yakını Türkiye ile birlikte ABD'de yapılmaktadır. Kolemanit, tinkal, üleksit bor mineralleri üretilen ham cevherler arasında yer alırken, bu cevherlerden elde edilen ticari ürünler ise boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, borik asit, sodyum perborat monohidrat ve susuz boraks olup çoğunlukla yurt dışına satılmaktadır. Ülkemizde bor cevherinin üretimi ve pazarlaması kamu yararı gözetilerek devlet eliyle yapılmakta olup Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. Ülkemizin bor cevheri ve ürünleri ihracatı 2018 yılı itibariyle 900 milyon dolara yaklaşmıştır (Int Kyn. 1).

Teknolojik gelişimin her sektöre etkisi olduğu gibi madencilik sektörüne de olumlu etkileri olmuştur. Maden yataklarının bilgisayar ortamında 3 boyutlu olarak modellenmesi ve böylece cevherin konumu, tenör dağılımı, rezerv miktarı hakkında daha detaylı bilgiye ulaşılması bu gelişmelerden biridir. Cevher modelleme işlemleri madencilik faaliyetleri ile uğraşan kişilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır. İki boyutlu maden alanlarının modellenmesi ile ruhsat sınırları ile mera, orman, ÇED alanlarının ilişkilerinin kontrolü ve takibi kolaylaşmıştır. Cevher katı modelleme ve blok modelleme ile maden yatağının xyz koordinat eksenleri içerisinde yönelimi, hacmi, tenör/kalori/kalınlık dağılımı gibi bilgilerin hızlı ve etkin biçimde incelenmesi mümkün olmaktadır. Bir sonraki aşamada ise maden yatağının üretim planlaması yapılarak uzun vadede açık işletme veya yeraltı işletmesiyle nasıl üretileceği detaylandırılmaktadır. Bilgisayar yazılımları tüm bu işlemlerin hızlı ve verimli bir şekilde yapılmasına imkân vererek teknik elemanların işlerini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır (Özdemir 2013).

Konuma bağlı olarak değer alan değişkenler ilk olarak Matheron (1978) tarafından araştırılmış ve bölgesel değişkenler olarak isimlendirilmiştir. Maden yataklarının detaylı incelenmesinde kullanılan en iyi yöntem sondaj tekniğidir. Bununla birlikte maden sahasının her noktasında sondaj

verisinin bulunması pratik olarak mümkün değildir. Bu nedenle maden sahasında sondaj verilerinin bulunmadığı noktalar için talep edilen bölgesel değişkenlerin değerlerinin tahmin edilmesi gerekir. Bu tahminde, mevcut sondaj noktalarındaki bölgesel değişkenlerin bilinen değerleri kullanılır ve bu işlem de kestirim olarak adlandırılır. Kestirim işleminde kullanılmak üzere bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı konumsal değişimlerini matematiksel fonksiyonlar şeklinde ifade etmek oldukça zordur (Mert 2010). Bölgesel değişkenlerin kestiriminde kullanılan çeşitli teknikler mevcuttur. Jeostatistiksel kestirim bu problemi çözmeye kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Jeostatistik, tanımlanan bir inceleme alanı içerisindeki bölgesel değişkenler arasında konumları ve aldığı değerleri kullanıp bir yapı tanımlayarak, istenen noktalarda değişkenlerin bilinmeyen değerlerinin kestirimini sağlar (Keskiner 2008).

Bu çalışmada, hâlihazırda açık ocak üretim yöntemi ile üretim yapılan bir bor sahasının NETPRO/Mine madencilik yazılımı kullanarak modellenmesi yapılarak farklı tekniklere göre belirlenen rezerv miktarları arasındaki farklar irdelenmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde, sahaya ait 71 adet sondaj verisinden yararlanılmıştır. Öncelikle, sondaj verileri ve sayısal topoğrafya verileri değerlendirilerek yazılım veri tabanına aktarılmıştır. Çalışma sahasındaki cevherin katı modelini oluşturmak için damar yüzeylerden katı model oluşturma yöntemi seçilmiş ve bu yöntemde farklı kestirim teknikleri kullanılarak cevher katı modelleri oluşturulmuş, uygun olan teknik seçilmeye çalışılmıştır.

## 2. Literatür Taraması

Maden yataklarındaki rezervlerin güvenilirlik seviyesine göre çeşitli şekillerde tanımlanması uzun yıllardır yapılagelmektedir (McKelvey 1972, Caner 1976, USGS 1980, Caner 1983, Oygür vd. 1992, Noble 1993, Yüksek 1996, Fidan 2011). Dünya genelinde en son kabul gören tanımlama ülkemizde de UMREK Kodu olarak ifade edilen kaynak/rezerv tanımlaması ve sınıflama yöntemidir (UMREK 2018).

Maden üretiminin ilk aşaması cevher kütesinin miktarının, tenör dağılımının ve diğer özelliklerinin doğru tespitiyle başlamaktadır. Cevher kütesinin miktarı olarak ifade edilebilecek rezerv, teorik olarak maden yatağı işletilip cevher bitmeden tam olarak tespit edilemeyecektir. Bu sebeple herhangi

bir maden yatağındaki rezerv miktarının belirlenmesi genellikle rezerv kestirimi olarak ifade edilmektedir. Rezerv kestirimi işlemi ne kadar başarılı olursa maden üretimi planlaması ve ekonomik analizler de o kadar güvenilir olacaktır.

Rezerv kestirimi için maden yatağına ait çok sayıda sondaj verisi ve bunların içerdiği bilgilerin maden yatağının tümünü temsil edebilmesi için doğru bir kestirim metodu ile her noktaya atanması gerekmektedir. Maden yatağındaki verilerin tüm sahaya yayılmasında uygulanan klasik yöntemlerin başında poligon ve üçgen yöntemleri gelmektedir (Knudsen 1990, Erarslan vd. 1999). Bu yöntemlerle daha çok elle hesaplama yapıldığı dönemlerde ve uygulamalarda karşılaşılmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin kullanılmaya başlanmasından sonra uzaklığı tersi ve jeostatistik gibi daha detaylı hesaplama yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır (David 1977, Matheron 1978, David 1988, Knudsen 1990, Parker 1990, Eevli vd. 1995, Çetin 1996, Tercan 1996, Kırmancılı ve Nasuf 1998, Saraç ve Tercan 1998, Erarslan vd. 1999, Tercan ve Özçelik 2000). Günümüzde, maden yataklarına ait büyük miktardaki veriler, farklı kestirim metodları kullanılarak bilgisayar ortamında kestirilmekte ve rezerv hesaplamaları yüksek güvenilirlikle yapılmaktadır. Bu amaçla kullanılan yazılımlar arasında; Datamine, Minex, NETPRO/Mine, Vulcan, Surfer, Micromine, Surpac sayılabilir (Üredi 2018).

Bilgisayar destekli maden rezerv kestirimi ile ilgili çalışmalar ülkemizde de yoğun ilgi görmüş; killi kalker sahasında (Katırcıoğlu 1998), dolomit sahasında (Aydın 2010), doğaltaş sahasında (Özyurt 2014, Aksoy 2018), kömür madeninde (Erdoğan 1998, Doğruöz 2003, Öngen 2008, Altınbaş 2017, Üredi 2018), bor madeninde (Selimoğlu 2004, Urazel 2018, Ataş 2019), bakır madeninde (İşleker 2009, Aliyazıcıoğlu 2011), kurşun-çinko madeninde (Toka 2015), demir madeninde (Açan 2013) ve asfaltit madeninde (Çakır 2011) çeşitli yazılımlar kullanılarak rezerv kestirimleri yapılmıştır.

### 3. Materyal ve Metod

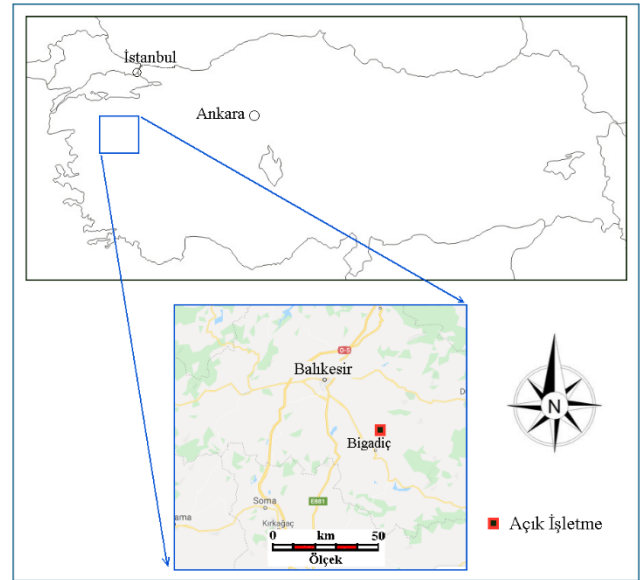
Bu çalışmada, Etibank uhdesinde bulunan Bigadiç Bor İşletmesine ait bor sahasında yapılan sondajlardan elde edilen veriler yardımıyla farklı damar yüzey modelleme teknikleri kullanılarak cevher rezervleri hesaplanmıştır.

İlgili maden sahası bor cevherini içermekte olup, bu cevher tabakalı bir yapı göstermektedir. Maden sahasındaki alt boratlı zonda Yeşil, Sarı, Kristal, 4.

Damar isimlerinde 4 ayrı kolemanit cevher damarı ve 1 adet üleksit cevher damarı bulunmaktadır. Cevher damarları kil, killi kireçtaşı ve kireçtaşı tabakaları ile birbirinden ayrılmaktadır. Maden sahasında, cevher damarları içerisinde tenörün değişiklik göstermediği tespit edilmiştir.

Bilgisayar yazılımlarıyla rezerv kestiriminde izlenen yöntem katı model oluşturma, kompozitleme ve blok model oluşturma safhalarını içermektedir. Bununla birlikte, ilgili maden sahası için rezerv hesabında tenör dağılımı düzgün olduğundan cevherin miktarı diğer bir deyişle tonajı ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada, özellikle rezervi doğrudan etkilediği düşünülen damar yüzeylerinin farklı modellenmesinin rezerv miktarı üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla sadece Kristal ismi verilen kolemanit cevher damarı üzerinde görünür rezerv hesaplaması yapılmıştır. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Cevher rezervinin ve sınırlarının belirlenebilmesi için mevcut cevherin sondaj verileri kullanılarak katı model haline getirilmesi gerekmektedir. Maden yatağının katı modellenmesi yapılırken farklı madencilik programlarında farklı yöntemler mevcuttur, bunlardan maden yatağının özelliklerine uygun olanı seçilmelidir. Katı modelleme işleminde uygulanacak yöntemin seçiminde, cevherin türü ve özellikleri, sondaj yerleşim planları, sahanın jeolojisi, gibi birçok değişken göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışmada kullanılan NETPRO/Mine madencilik yazılımında katı model oluşturma için damar yüzeylerinden katı model oluşturma ve en

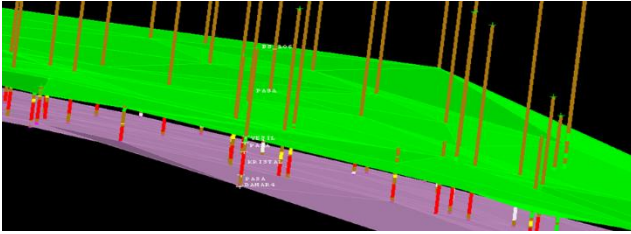


kesitlerden katı model oluşturma seçenekleri mevcuttur. Çalışma sahası için yüzeyler arası katı model yöntemi; cevherin tabakalı yapısı, bölge jeolojisi ve sondaj yerleşim planları göz önünde bulundurulduğunda güvenilir sonuçlar vereceği düşünülmüş ve tercih edilmiştir.

Damar yüzeylerinin oluşturulmasında dört farklı teknik kullanılarak bunların seçimi halinde kestirilecek rezerv miktarları hesaplanarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

### 3.1 Yüzeyler Arası Katı Modelleme Yöntemi

Yüzeyler arası katı modelleme yöntemi, maden yatağındaki cevher kütlesinin alt ve üst sınırlarını belirleyen iki yüzeyin Şekil 2' de görüldüğü gibi 3 boyutlu olarak modellenmesi ve bu iki yüzeyin arasını dolduracak katı modelin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır.



Şekil 2. Yüzey Modelleme İşlemi

Yüzeyler arası katı model oluşturabilmek için öncelikle damar yüzeylerinin oluşturduğu yüzey modellenmelidir. Damar yüzeylerinin modellenmesi işlemi ilgili madencilik programı bünyesinde farklı yöntemler bulunmaktadır. İleriki bölümlerde bu işlemler detaylarıyla verilmektedir.

### 3.2 Damar Yüzeylerinin Modellenmesi

Yüzeylerin modellenmesi işlemi kullanılacak olan yöntemin seçimi katı model oluşturulması işlemi de olduğu gibi cevherin türü ve özellikleri, sondaj yerleşim planları, sahanın jeolojisi, kullanılacak yazılım gibi birçok parametreden etkilenmektedir.

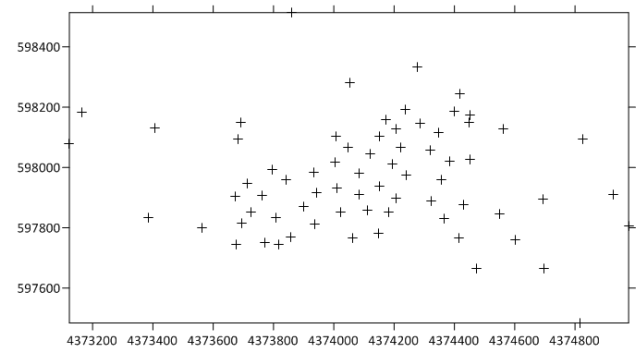
Bu çalışmada kullanılan NETPRO/Mine madencilik yazılımı farklı tekniklerle yüzey modellemesine imkân tanımaktadır. Yüzey modelleme işlemlerinde, "Poligon-Üçgenleme", "En Yakın Komşu", "Ters Uzaklık" ve "Krigleme" kullanılabilir. En yakın komşu enterpolasyonu, en basit enterpolasyon yaklaşımlarından biridir. Bazı ağırlıklandırma kriterleri ile ortalama bir değer hesaplamak veya karmaşık kurallara dayalı bir ara değer üretmek yerine, bu yöntem basitçe "en yakın" komşu

kompozit değerini belirler ve kestirim değeri olarak atar. Ters uzaklık enterpolasyonunda ise kestirimi yapılacak noktanın değeri kestirimde kullanılacak kompozit verilerin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır. Ortalamada kullanılacak ağırlıklar, kestirilecek nokta ve gözlem noktaları arasındaki uzaklıkların tersi ile orantılı olacak şekilde hesaplanır. Krigleme adından anlaşılacağı üzere kriging enterpolasyon yöntemini ifade etmektedir. Kriging, bilinmeyen alanlardaki değerleri tahmin ederken bilinen veri noktaları arasındaki mesafeyi ve değişkenlik derecesini dikkate alan bir jeostatistik enterpolasyon tekniğidir. Öncelikle ilgili sahada değişkene ait variogram analizi yapılmalıdır. Bu yöntemde, değeri bilinmeyen noktanın kestiriminde kullanılacak gözlem değerlerine verilecek ağırlık kestirim hataları ortalamasını sıfır ve varyansı en küçük yapacak şekilde belirlenir. Bu sebeple, diğer enterpolasyon yöntemleriyle kıyaslandığında istatistiksel olarak en az hata üreten yöntem olarak kabul edilmektedir (Int. Kyn. 2)

Bu çalışma kapsamında, NETPRO/Mine madencilik programı bünyesindeki her bir teknikte ayrı ayrı katı modeller yapılarak rezervleri hesaplanmış ve birbiriyle karşılaştırılmıştır.

## 4. Bulgular

Yüzeyler arası katı modelden hacim ve rezerv hesaplanırken, dört farklı yöntem kullanılmış ve her bir yöntem için ayrı ayrı rezerv hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Çalışma alanına ait sondaj noktalarının dağılımı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Sondaj lokasyonlarının dağılım haritası

Karotlu sondajlarla 4 farklı cevher kesilmiş olup kalınlığı ve yayılımı en fazla olan kristal isimli cevher damarı bu çalışmada rezervi hesaplanmak üzere kullanılmıştır.

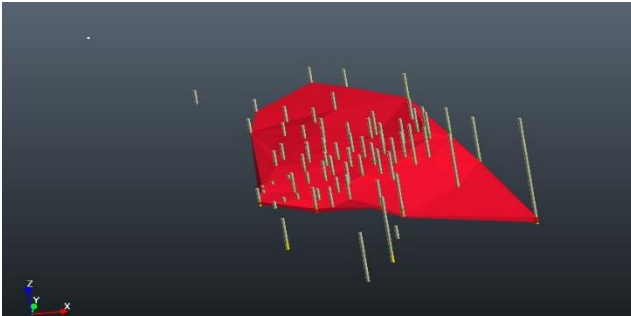


Rezerv hesaplaması damar alt ve üst noktalarının kullanılmasıyla oluşturulan yüzeylerin arasında kalan hacimlerin hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Yüzeylerin oluşturulmasında poligon-üçgenleme, en yakın komşu, ters uzaklık ve kriging yöntemleri kullanılmıştır.

Sahada toplamda 71 adet karotlu sondaj verisi bulunmakla birlikte kristal isimli cevher damarını kesen 62 adet sondaj bulunduğundan yüzey modellerinde bu sondaj verileri kullanılmıştır.

#### 4.1 Üçgenleme (Poligon) Yöntemi ile Kestirimin Sonucu

Üçgenleme işleminde, gözlem noktaları birbiri üzerine binmeyen Delaunay üçgenler ile birleştirilir. Her köşe noktası bir diğer köşe noktasıyla ilişkili olarak kabul edilir. Bu ilişki çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Herhangi bir noktadaki bilinmeyen parametre değeri, içinde bulunduğu üçgenin üzerinde oluşturulan fonksiyon ile kestirilmektedir. Aynı gözlem değerleri kullanılarak sistematığı olan fonksiyon olarak modellenebilen üçgenlemeler yapılabildiği gibi daha basit üçgenlemeler de yapılabilir (Lee ve Preparata 1984). Özetle, noktalarının işlenerek üçgenler ağı oluşturulmasına dayanır. Sahadaki bor cevherinin üçgenleme yöntemi ile yapılan katı modeli Şekil 4'de verilmektedir.

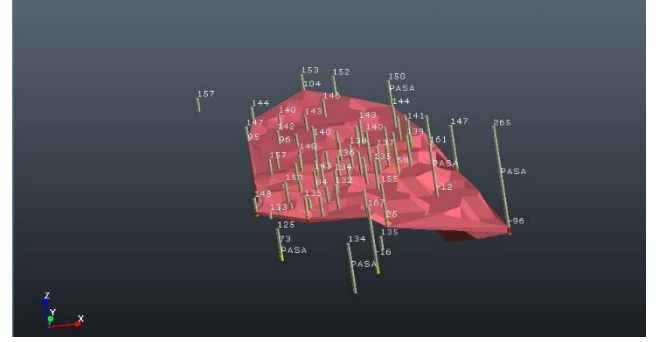


Şekil 4. Üçgenleme yöntemi ile yapılan katı modelleme

Damar yüzeylerini üçgenleme tekniğiyle oluşturulduktan sonra iki yüzey arasında elde edilen katı hacim,  $5.175.846 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2 En Yakın Komşu Yöntemi ile Kestirimin Sonucu

Bu yöntemde, kestirim yapılacak noktaya en yakın gözlem değeri, kestirim değeri olarak atanır. (Int Kyn. 2). Sahadaki bor cevherinin en yakın mesafe yöntemi ile yapılan katı modeli Şekil 5'de görüldüğü gibidir.

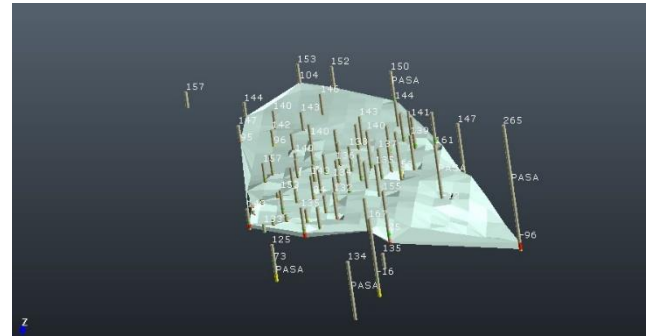


Şekil 5. En yakın mesafe yöntemi ile yapılan katı modelleme

Damar yüzeylerini en yakın mesafe tekniğiyle oluşturulduktan sonra elde edilen hacim,  $5.324.204 \text{ m}^3$ 'tür.

#### 4.3 Ters Uzaklık Yöntemi ile Kestirimin Sonucu

Herhangi bir noktadaki kestirilen değer, gözlem noktalarında mevcut olan değerlerin ağırlıklı bir ortalaması ile hesaplanır. Hesaplamada kullanılan ağırlıklar, kestirim yapılacak nokta ve gözlem noktası arasındaki uzaklığın tersi ile orantılı olacak şekilde belirlenir. Sahadaki bor cevherinin ters uzaklık yöntemi ile yapılan katı modeli Şekil 6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 6. Ters uzaklık yöntemi ile yapılan katı modelleme

Damar yüzeylerini ters uzaklık tekniğiyle oluşturulduktan sonra damar yüzeyleri arasındaki katı model için elde ettiğimiz hacim,  $5.561.346 \text{ m}^3$ 'tür.

#### 4.4 Kriging ile Kestirimin Sonucu

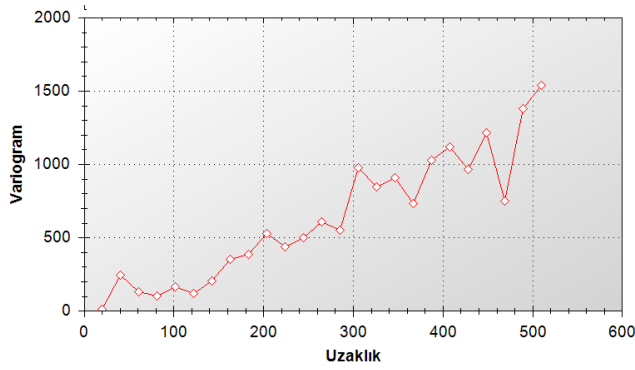
Krigleme ile yüzey kestirimi yapabilmek için öncelikle kullanılacak krigleme parametreleri girilmesi gerekmektedir. Bunun için önce çalışma sahası için variogram modeli oluşturulmuştur.

Variogram analizinde, en uygun model ve parametreler seçilerek deneysel variogram modeli

belirlenmiştir. Mesafe ve yöne bağlı damar kotları değeri değişiminin matematiksel fonksiyonunu belirleyebilmek için elde edilen deneysel variogram yapısına karşılık teorik variogram modellerinden en uygunu olarak lineer model görülmüştür. Netcad'te karşılığı olarak en yakın olan üstel model seçilmiştir. Sahaya ait damar üst kotları için deneysel yönlü variogram Şekil 7'de verilmiştir.

Variogram modeli seçilerek kriging işlemi gerçekleştirilmiş olup, kriging parametreleri ise Şekil 8'de verilmiştir.

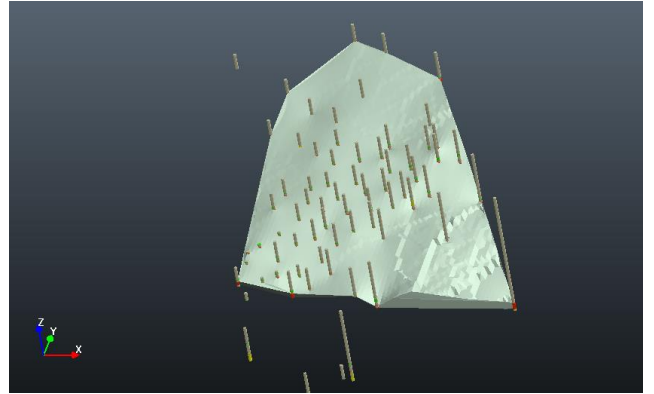
Kriging uygulamasında variogram eşik değeri olarak 1580, yapısal uzaklık (etki mesafesi) ise 510 m olarak alınmıştır.



Şekil 7. Sahaya ait deneysel variogram

Damar yüzeyleri kriging tekniyle oluşturulduktan sonra damar yüzeyleri arasındaki katı model için elde edilen hacim, 5.208.228 m<sup>3</sup>'tür. Elde edilen katı modelin görünümü Şekil 9'da verilmiştir.

Şekil 8. Kestirimde kullanılan kriging verilerinin Netcad kriging veri girişi penceresi şeklinde görünümü



Şekil 9. Kriging yöntemi ile yapılan katı modelleme

#### 4.5 Farklı Yüzey Modelleme Teknikleri ile Yapılan Kestirim Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışmada kullanılan yüzey modelleme tekniklerinin parametre değerleri Çizelge 1'de görülmektedir. Üçgen sayılarına bakıldığında en az üçgen sayısının üçgenleme yöntemi ile yapılan çalışmada olduğu diğer tekniklerde ise değişken oranlarda fazla olduğu görülmektedir. Üçgen sayısındaki azlığın yapılan hesaplamalardaki hassasiyeti azaltmakta olduğu düşünülmektedir. X ve Y genişliğine baktığımızda ise hesaplamaların sondaj sınırlarında son bulduğu için eşit olduğu Z ortalama genişliğinin ise modelleme tekniğine göre değiştiği ve bunun hacim hesabına doğru

orantılı olarak yansıdığı görülmektedir.

Öte yandan daha önceleri anlatıldığı gibi en yakın komşu yönteminin genel prensibi neticesinde, oluşturulan modelde kestirim yapılacak noktaya en yakın sondaj değeri doğrudan atanmıştır.

Ters uzaklık yönteminde ise kestirim yapılacak

noktaya değerler gözlem noktalarına olan mesafenin tersi oranında ağırlıklar verilerek atanmıştır. Kriging yönteminde ise sahaya ait variogram modeli kullanılarak kriging kestirimi yapılmıştır. Yüzey modellemede en yüksek üçgen sayısı krigingle yapılan modellemede elde edilmiştir.

**Çizelge 1.** Yüzey modelleme parametreleri

| Kullanılan Teknik          | Üçgen sayısı | X Genişliği (m) | Y Genişliği (m) | Ortalama Z Genişliği (m) | Hacim (m <sup>3</sup> ) | Rezerv (ton cevher) |
|----------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|
| Üçgenleme (Poligon)Yöntemi | 246          | 850,35          | 1.303,36        | 7,086                    | 5.175.846               | 11.386.861          |
| En Yakın Komşu yöntemi     | 1.390        | 850,35          | 1.303,36        | 7,289                    | 5.324.204               | 11.713.249          |
| Ters Uzaklık yöntemi       | 1.390        | 850,35          | 1.303,36        | 7,614                    | 5.561.346               | 12.234.961          |
| Kriging Yöntemi            | 17.474       | 850,35          | 1.303,36        | 7,134                    | 5.208.228               | 11.458.102          |

## 5. Tartışma

Damar üst ve alt noktalarının kullanılmasıyla damar yüzeylerinin modellenmesi sonucu elde edilen yüzeyler incelendiğinde ilk üç yöntem olan, üçgenleme, en yakın komşu ve ters uzaklık yöntemleriyle yapılan modellemelerde yüzeylerin kırık düzlemlerden birleşik bir yapıya sahip olduğu gözlenmektedir.

Oysaki jeolojik oluşum itibarıyla de bir cevher tabakasının üst sınırını veya alt sınırını belirleyen tabaka sınırı düzleminin daha yumuşak kıvrımlar içermesi ve fay vb. tektonik yapılarla kesilmediği sürece bir süreklilik arz etmesi beklenir.

Yüzey modelleme sonuçları incelendiğinde, üçgenleme (poligon) yönteminde 246, en yakın komşu yönteminde 1.390, ters uzaklık yönteminde ise 1.390 üçgen ile yüzeylerin oluşturulduğu görülmektedir. Kriging yönteminde ise 17.474 üçgen ile cevher kütlesinin üst ve alt düzlemleri (yüzeyleri) oluşturulmuştur.

Modellenen yüzeylerin görünümleri incelendiğinde kriging ile oluşturulan yüzeylerin ve dolayısıyla katı modelin daha yumuşak hatlara sahip jeolojik yapıyı daha iyi yansıtan bir özellikte olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada tespit edilen rezerv, sondaj noktaları ile çevrili alan içerisinde kalan tüm cevher kütlesini yansıtmaktadır. İşletilebilir (üretilebilir) cevher miktarı bu rezervin açık ocak sınırı olarak belirlenen alan içinde kalan kısmı olarak daha sonra yeniden değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada irdelenen rezerv kestirim yöntemleri kullanım kolaylıkları bakımından karşılaştırıldığında üçgenleme yöntemi öne çıkmaktadır. Kriging yöntemi en ideal yöntem olmakla birlikte uygulayabilmek için belli bir bilgi alt yapı gereksinimi söz konusudur. Bu bağlamda, jeostatistik bilgisi yetersiz olan bir maden mühendisinin yöntemi uygulaması ve uygun parametreleri seçmesi zor olacaktır. Ancak diğer yöntemlerin uygulaması için böyle bir bilgiye gereksinim duyulmamaktadır.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada damar üst ve alt noktaları kullanılarak yapılan yüzey modelleme uygulamasında, modelleme tekniklerinin maden yatağındaki hacim/rezerv hesabına etkisi irdelenmiştir. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiği zaman üçgen sayılarında ve rezerv hesaplamalarında farklılıklar olduğu görülmektedir. Tekniklerin farklı rezerv sonuçları vermesi, ufak hataların ve sapmaların ciddi sonuçlar ve maliyetler ortaya çıkardığı bor madenciliği sektörü düşünüldüğünde rezerv hesaplama işleminde seçilecek yöntem ve tekniğin önemini ortaya koymaktadır.

Yapılan çalışmaların sonucunda daha fazla üçgen oluşturularak daha hassas bir hesaplama yapılmasını, sondajlar arasında korelasyon sağlaması özelliği ve sedimanter bir yapıya sahip olan bor cevheri için tabaka yüzeyini daha iyi yansıttığından dolayı kriging yönteminin diğer yöntemlere göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

## Teşekkür

Yazarlar, sondaj verilerinin kullanımı ile ilgili müsaadeleri dolayısıyla Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'ne ve NETPRO/Mine yazılımının kullanılması konusundaki desteklerinden dolayı Netcad Yazılım A.Ş.'ne müteşekkirdir.

## Kaynaklar

Açan, H. 2013. Bir Demir Sahasının Surpac Madencilik Entegre Yazılımı ile Değerlendirilmesi., İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 184.

Aksoy, K. 2018. Jeostatistiksel yöntemler kullanarak bir mermer yatağındaki seleksiyonların değerlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 92.

Aliyazıcıoğlu, Ş. 2011. Örnek bir bakır madeninin SURPAC programı ile modellenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 95.

Altınbaş, H. 2017. Çanakale-Çan kömür yatağının SURPAC programı kullanılarak ekonomik değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ekonomik Jeoloji Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 169.

Ataş, A. 2019. Bigadiç bor açık işletmesinin bilgisayar yardımıyla modellenerek revizyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, 98.

Aydın, S. 2010. Bir dolomit açık işletmesinde üç boyutlu modelleme ile üretim kalitesinin kontrolü, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 98.

Caner, G. 1976. Rezerv, Tenör ve İşletilebilirlik Kavramları, MTA Yayınları No.158, Ankara.

Caner, G. 1983. Mineral (Maden) Kaynak ve Rezervlerinin Sınıflandırılması (Kavram, Terim ve İlkeleri), MTA Yayınları No.188, Ankara.

Çakır, B. 2011. Silopi (Harbul-Üçkardeşler) asfaltit filonunun micromine madencilik tasarım programı kullanılarak incelenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü,

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 129.

Çetin, M. 1996. Jeostatistiksel Yöntem İle Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi, Örnek Havza Uygulamaları, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 130.

David, M. 1977. Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, New York: 364.

David, M. 1988. Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, New York.

Doğruöz, C. 2003. T.K.İ. Seyitömer linyit sahasının SURPAC vision madencilik programı ile değerlendirilmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 102.

Elevli, B., Yuksek, S. ve Demirhan, S. 1995. *Poligon ve Mesafeyle Ters Ağırlıklı Yöntemlerle Jeolojik Blok Model Çıkarılması*, Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, İzmir, 25-30.

Erdoğan, T. 1998. Madencilikte bilgisayar uygulamaları ve SURPAC 2000 yazılımı ile bir saha çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 118.

Fidan F. 2011. Hınıs-Zirnak (Erzurum) Yöresi Linyit Yatağının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 102.

İşleker, H. 2009. Bir maden yatağının coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 76.

Katircioğlu, İ.G. 1998. Çimento hammaddelerinin özellikleri, optimizasyonu ve SURPAC 2000 ile bir saha çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 154.

Keskiner, A.D. 2008. Farklı Olasılıklı Yağış ve Sıcaklıkların CBS Ortamında Haritalanmasında Uygun Yöntem Belirlenmesi ve M. TURC Yüze Akış Haritasının Geliştirilmesi: Seyhan Havzası Örneği, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 100.

- Kirmanlı, C. ve Nasuf, E. 1998. Denizli-Tavas-Ulukent Manganez Açık İşletmesinin Jeostatistiksel Yöntemle Rezerv-Tenör İlişkisinin Belirlenmesi, *Madencilik Dergisi*, **37**, 3, 19-27.
- Knudsen, H.P. 1990. Computerized Conventional Ore Estimation Methods, Surface Mining, 2nd ed., Kennedy, B.A. (ed.), AIME, 293-300.
- Lee, D.T., Preparata, F.P. 1984. Computational Geometry - A Survey, IEEE Transactions On Computers, **c-33**, 12.
- Matheron, G. 1978. L'estimation globale des re'serves re'cupe'rables, course notes C-75, Centre de Ge'ostatistique, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau, 28.
- McKelvey, V.E. 1972. Mineral resource estimates and Public Policy, *American Scientist*, **60**, 32-40.
- Mert, B.A. 2010. Afşin-Elbistan Kömür Havzasındaki Madencilik Faaliyetlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Küresel Konumlama Sistemlerinin Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 323.
- Noble, A.C. 1993. Geologic Resources vs. Ore Reserves, Mining Engineering, Technical Papers, 173-176.
- Oygür, V., Eyyubuğlu, T., Bektimuroğlu, O., Cengiz, E., Emre, E. ve Bumin, M. 1992. Kaynak ve Rezerv Sınıflandırmaları ile Hesaplamalarının Temel ilkeleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 27, Teknik Klavuzlar Serisi:3, Ankara.
- Öngen, Ö. 2008. Madencilikte bilgisayar uygulamaları ve Surpac yazılımı ile bir ocak planlaması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 139.
- Özdemir, A. 2013. Yüzeysel Modelleme Teknikleri ve Kömür Yatağına Uygulanması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 39.
- Özyurt, U. 2014. Bir mermer yatağı için ayrıntılı rezerv hesaplamasının bir madencilik modelleme yazılımı ile gerçekleştirilmesi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır, 105.
- Parker, H.M. 1990. Reserve Estimation of Uranium Deposits, Surface Mining, 2nd ed., Kennedy, B.A. (ed.), AIME, 355-375.
- Saraç, C., ve Tercan, A.E., 1998. Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler, Ankara, TURKEY.
- Selimoğlu, Ö. 2004. Bilgisayar destekli entegre açık işletme tasarımı ve planlaması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 98.
- Tercan, A. E. and Ozcelik, Y. 2000. Geostatistical Evaluation Of Dimensionstone Quarries, *Engineering Geology*, **58**, 25-33.
- Tercan, A. E., 1996. Maden Yatakları Sınır Belirsizliğinin İndikatör Kriging ile Değerlendirilmesi ve Sivas-Kangal-Kalburçayı Kömür Yatağında Bir Uygulama, *Madencilik*, Aralık, **4**, 3-11.
- Toka, E. 2015. Geostatistical evaluation of lead and zinc ore body in Balya-Hastanetepe mine in Turkey, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 129.
- UMREK 2018. Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Kodu, Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu (UMREK), The National Code For Public Reporting of Exploration Results, Mineral Resources And Mineral Reserves Of Turkey (THE UMREK CODE), 92.
- Urazel, F. 2018. Kırka Bor İşletmesi Sarıkaya Açık Ocağı'nda bilgisayar destekli orta vadeli üretim planlaması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 113.
- USGS 1980. The U.S. Department of Enterion Resource/ Reserve Classification Method, United State Geological Survey, Circular 831, Washington, 5.
- Üredi, T. 2018. Bilgisayar destekli cevher modellemesi ve açık işletme tasarımı, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 86.
- Yüksek, S., 1996. Divriği demir yatağının üç boyutlu (3D) jeolojik blok modelinin çıkarılması ve rezerv hesaplamaları, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sivas, 132.

#### **İnternet Kaynakları:**

1. <http://www.etimaden.gov.tr>, 13.10.2018
2. <http://www.netcad.com.tr/netpromine>, 16.11.2018

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 055802 (917-930)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 055802 (917-930)

DOI: 10.35414/akufemubid.706323

Araştırma Makalesi / Research Article

## Granitik Buzul Çakıllarında Zirkon Tipolojisi Çalışması: Toridler'den Örnek Bir Çalışma (Türkiye)

Serhat KÖKSAL<sup>1</sup><sup>1</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Merkezi Laboratuvar, Ar-Ge Eğitim ve Ölçme Merkezi, Ankara.e-posta: skoksal@metu.edu.tr. ID: <https://orcid.org/0000-0002-0094-9481>

Geliş Tarihi: 19.03.2020

Kabul Tarihi: 31.10.2020

### Öz

Gondwana'nın kuzey kenarına ait Geç Ordovisiyen buzul kayaçlarına, Torid'lerde ve Güneydoğu Anadolu Otokton Kuşağı'nda rastlanmaktadır. Bu çalışmada; Doğu Toridler'de Feke-Saimbeyli-Ceralan (Adana) (DPK-30), Feke-Gökmenler (Adana) (DPK-44) ve Orta Toridler'de Silifke-Ovacık (Mersin) (DPK-72) bölgelerinden alınmış olan granitik buzul çakıllarından ayrılmış zirkon mineralleri üzerinde zirkon tipolojisi ve zirkon doygunluk sıcaklığı araştırmaları yapılmıştır. Zirkon tipolojisi metoduna dayanarak; çalışılan örneklerden DPK-30 örneği kalk-alkalen özellik gösteren, mafik anklavlar içeren hibrit granitoidler, DPK-44 örneği tamamıyla veya kısmen kıtasal kabuktan oluşan, eser miktarda mafik mikrogranüler ksenolit içeriği ve düşük manto katkısı sunan granitoidler ve DPK-72 örneği ise alkalin serisi granitoidler olarak tanımlanan, genellikle sub-volkanik ve anorojenik komplekslerde rastlanan sıcak ve susuz magma kaynağına işaret eden manto kaynaklı kayaçlar olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar, bu kayaçlar üzerindeki izotopik verileri de kapsayan öncel jeokimyasal değerlendirmelerle genel olarak uyumludur. Çalışılan granitik kayaçların oluşum sıcaklıkları; sırasıyla zirkon tipolojisi metodu ve zirkon doygunluk sıcaklığı hesabına dayanarak, DPK-30 için 750°C ve 789°C; DPK-44 için 700°C ve 845°C, DPK-72 için 650°C ve 790°C olarak önerilmiştir. Bu sıcaklık aralıkları kaynak alan olarak önerilen Sina Yarımadası ve Mısır Doğu Çölü civarındaki Neoproterozoyik yaşlı granitoidlerin literatürdeki mevcut sıcaklık verileriyle benzerlik göstermektedir. Sonuç olarak; zirkon tipolojisi metodu ve zirkon doygunluk sıcaklığı çalışmalarının; diğer analitik verilerle birlikte değerlendirildiğinde, granitik buzul çakıllarının kaynak alanlarının saptanmasında faydalı olabileceği düşünülmektedir.

### Anahtar kelimeler

Zirkon; Tipoloji;  
Doygunluk Sıcaklığı;  
Buzul; Granit; Toridler

## Zircon Typology Study on the Granitic Glacial Pebbles: A Case Study from the Taurides (Turkey)

### Abstract

The Late Ordovician glacial rocks from the northern part of the Gondwana are encountered in Taurides and Southeast Anatolia Autochthon Zone. In this study, zircon typology and zircon saturation temperature investigations are performed on zircon minerals separated from the granitic glacial pebbles from the Feke-Saimbeyli-Ceralan and Feke-Gökmenler (Adana) areas in the east Taurides and Silifke-Ovacık (Mersin) in the central Taurides. Based on the zircon typology method, among the studied samples, DPK-30 is described as calc-alkaline hybrid granitoids bearing mafic enclaves, DPK-44 is identified as granitoids formed from wholly or partly continental crust with rare mafic microgranular xenoliths and low mantle contribution, and DPK-72 is defined as alkaline series granitoids, which are mantle originated rocks observed in subvolcanic and anorogenic complexes pointing out to hot and dry magma source. These descriptions are generally agreeable with the previous geochemical assessments, including isotopic data, on these rocks. Formation temperatures of studied granitic rocks are suggested as 750°C and 789°C for DPK-30, 700°C and 845°C for DPK-44, and 650°C and 790°C for DPK-72, based on zircon typology method and by zircon saturation temperature calculation, respectively. These temperature ranges show similarities to the present temperature data in literature on the Neoproterozoic granitoids from the Sina Peninsula and the Eastern Egypt Desert. As a result, zircon typology method and zircon saturation temperature calculation studies, combined with the other analytical data, can be beneficial in determining the source regions of the granitic glacial pebbles.

### Keywords

Zirkon; Typology;  
Saturation  
Temperature; Glacial;  
Granite; Taurides

## 1. Giriş

Zirkon, yeryüzünde farklı tip kayalarda rastlanan, jeokimyasal, kristallografik ve izotopik karakteristikleri sayesinde özellikle magmatik kayaların kristallenme yaşı ile petrojenezleri hakkında önemli bilgiler sağlayabilen bir mineraldir (ör., Kemp *et al.* 2006, Caricchi *et al.* 2014). Zirkon mineralinin kristallenme süreci genellikle tüm magmatik aşamaları kapsayacak şekilde devam eder ve bu aşamalarda farklı fiziko-kimyasal etkenler zirkon kristallerinin gelişimini kontrol eder (Pupin 1980). Bu fiziko-kimyasal etkenler; Pupin (1980) tarafından, alüminyum/alkalinite oranı, kayacın kristallenme sıcaklığı ve magmanın su içeriği olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle, zirkon kristallerinin detaylı incelenmesi magmatik kayaların petrolojik köken ve gelişimleri ile sıcaklık kayıtlarının ortaya konulmasına önemli katkı sunar (ör., Watson and Harrison 1983, Schoene *et al.* 2012).

Geç Ordovisiyen buzul dönemi, geniş bir buzul örtünün Gondwana'nın üzerini kaplamasıyla neticelenmiştir (Ghienne *et al.* 2014, Pohl *et al.* 2016). Bu dönemde oluşmuş; Batı Afrika'dan Arabistan'a kadar uzanan buzul tabakalarının akıntı yönelimlerinin kırıntı zirkon yaşları ve petrolojik veriler de kullanılarak incelenmesi, uzak mesafelerden taşınmış olan buzullaşma öncesi havzalarda bulunmayan sediman kaynaklarının tespitini sağlamakta (ör., Doornbos *et al.* 2009, Hofmann *et al.* 2015) ve bu sayede Gondwana ile çevresinin Erken Paleozoyik tektonik yeniden şekillendirmeyi mümkün kılmaktadır (Pastor-Galán *et al.* 2013, Shaw *et al.* 2014, Ghienne *et al.* 2018). Gondwana'nın kuzey kenarındaki (Afrika ve Arabistan) merkeze yakın Geç Ordovisiyen (Hirnantiyen) buzul-denizel tabakaları ve Avrupa'nın güneyinde bulunan merkezden uzak bölümleri, oldukça kısa sayılabilecek bir buzul döneme (1 milyon yıldan kısa) ait olmalarına rağmen dünyadaki en önemli buzul-denizel birimlerinden birini oluşturmaktadır (Ghienne *et al.* 2003). Bu döneme ait buzullara ait parçalar, Afrika, Arabistan, Güney Amerika ve Avrupa'nın farklı bölgelerinde bulunmaktadır (Gürsu *et al.* 2018 ve içinde değinilen belgeler).

Bu dizilerin en iyi mostralarının, Arabistan'ın kuzey ve kuzeydoğusunda kalan merkezden uzak bölümlerine, Orta ve Doğu Toridler'de ve Güneydoğu Anadolu Otokton Kuşağı (GAOK)'nda rastlanmaktadır (Cater and Tunbridge 1992, Bozdoğan *et al.* 1996, Göncüoğlu 1997, Göncüoğlu and Kozlu 2000, Özgül ve Kozlu 2002, Monod *et al.* 2003, Göncüoğlu *et al.* 2004, Paris *et al.* 2007, Ghienne *et al.* 2010, Gürsu *et al.* 2017, 2018).

Öncel çalışmalarda; Anatolid-Torid-Platformu (ATP)'ndaki Geç Ordovisiyen istiflerde, özellikle de Feke-Saimbeyli-Tufanbeyli (Adana) ve Silifke (Ovacık) bölgelerinde nadir olarak granitik çakıllara ve silisiklastik kırıntılı birimlere rastlandığı bildirilmiştir (Monod *et al.* 2003, Ghienne *et al.* 2010). Gürsu (2015), bu bölgelerdeki diamiktit matrislerde ve kırıntılı birimlerdeki kırıntı ve tekil granitik çakıllardaki (lonestone) magmatik zirkonlarda elde ettikleri U-Pb yaş tayini verilerine dayanarak, ATP ve Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı (GAOK)'nın kaynağının Arap-Nübye Kalkan Parçası olduğunu önermiştir. Gürsu vd. (2018) ATP'deki buzul-denizel serilerin Kuzey Nübye Kalkanı'ndaki (Mısır) Neoproterozoyik granitik/meta-granitik/ meta-granodioritik kayaların erozyonuyla oluştuğunu ve sonrasında buzul levhalarıyla Geç Ordovisiyen'de ATP'ye taşındığını önermiştir. Gürsu vd. (2018), kaynak tespitinde önemli bilgiler sağlayabileceğinden hareketle tekil granitik çakıllarının petrolojik ve izotopik özelliklerini incelemiştir.

Zirkon tipolojisi metodu (Pupin 1980), granitik kayalardan zenginleştirilen mümkün olduğunca fazla miktarda (en az 100) zirkon minerali üzerinde uygulanan istatistiksel bir yöntemdir. Öncel çalışmalarda bu metodun kırıntı zirkonlar üzerinde yapılan uygulamaları mevcuttur (ör., Lisa and Uher 2006, Osorio-Granada *et al.* 2017), ancak granitik buzul çakıllarındaki zirkon minerallerine uygulanmasına literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışmada; Gürsu vd. (2018)'de sunulan analitik verilere ek olarak zirkon tipolojisi metodu ve zirkon doygunluk sıcaklığı hesaplaması / jeotermometresi ile granitik buzul çakıllarının petrojenezine yeni bir yaklaşım getirilmesi amaçlanmaktadır.

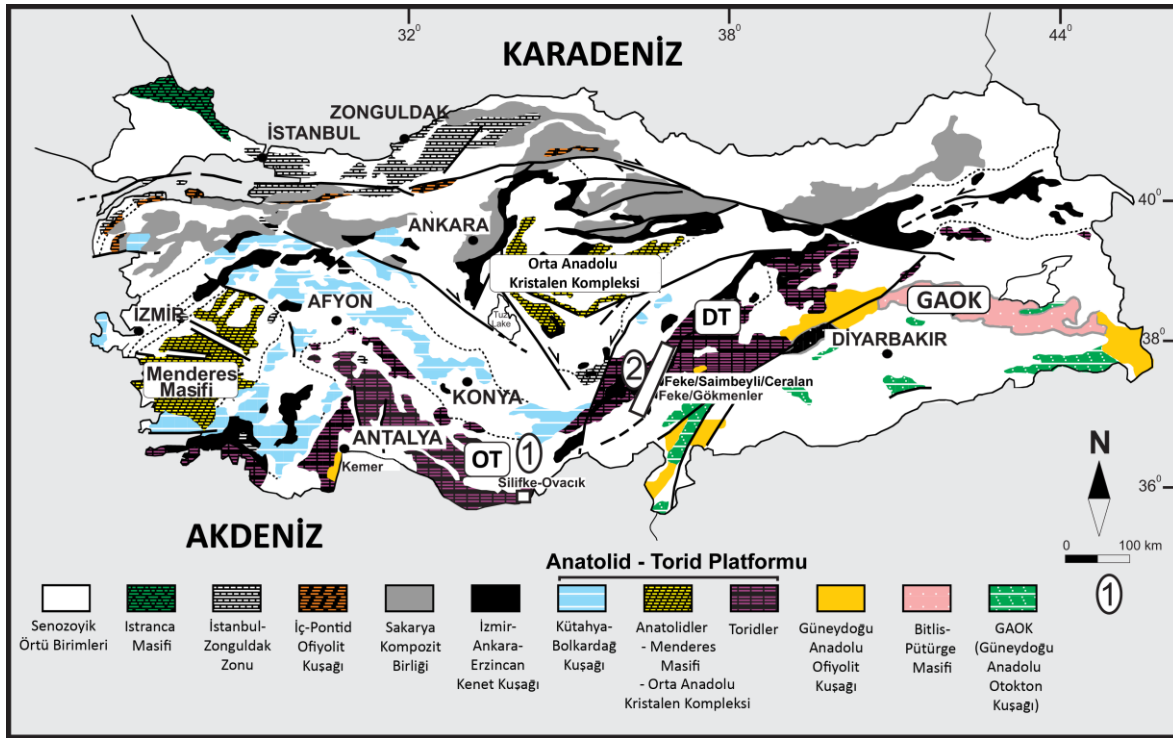


### 1.1. Jeoloji

ATP ve GAOK'taki Alpin tektonik birimlerinde mostralarına rastlanan Geç Ordovisiyen buzul kayaçları farklı araştırmacılar tarafından incelenmiş ve tanımlanmıştır (Özgül vd. 1973, Cater and Tunbridge 1992, Göncüoğlu and Kozlu 2000, Monod *et al.* 2003, Ghienne *et al.* 2010). Özgül vd. (1973) ATP'deki Geç Ordovisiyen buzul birimlerine Halıyaylası-Eğripınar Formasyonu ismini vermiş, daha sonra Monod vd. (2003), Paris vd. (2007) ve Ghienne vd. (2010) bu birimleri Helavıkdere Formasyonu olarak tekrar adlandırmıştır. Benzer birimler; GAOK'ta Bedinan-Yurtyeri-Kızıltepe'de, Doğu Toroslar'da Sarız-Kayseri, Tufanbeyli-Adana, Feke-Adana ile Kozan-Adana alanlarında ve Orta Toroslar'da Ovacık-Silifke-Mersin civarında görülmektedir (Şekil 1). Bu çalışma kapsamında granitik buzul çakıllarına ait üç adet örnek incelenmiştir. Aşağıda lokasyon ve saha özellikleri özetlenen bu örnekler Adana Feke-Saimbeyli-Ceralan, Adana Feke-Gökmenler ve Mersin-Silifke-Ovacık (Hırmanlı) 'tan alınmıştır.

**Adana Feke-Saimbeyli-Ceralan (DPK30):** Örneğin bulunduğu buzul serinin en alt bölümünü inceden kalına değişen tane boyutunda yapraklı konglomeratik kumtaşı yatakları oluşturmaktadır (Gürsu *et al.* 2018). Bu birim gevşek malzeme içinde kuvarsit tek taşları (lonestone), nadir olarak granitik parçaları ile birlikte bulunan kuvars parçacıkları içeren inceden ortaya değişen boyutta kumlu diamiktitlerden oluşmaktadır (Gürsu *et al.* 2018). Birim, kumlu diamiktitler içerisinde ince taneli kumtaşı düzeyleri ile devam etmektedir. Serinin üst seviyesi ise kumlu diamiktitler içeren ince-orta taneli kumtaşları ve yaygın kuvars parçaları içeren ince taneli kumtaşlarından oluşmaktadır (Gürsu *et al.* 2018). Katian Sort Tepe Formasyonu uyumsuzluk düzlemiyle buzul seriyi üzerlemektedir (Gürsu *et al.* 2018).

**Adana Feke-Gökmenler (DPK44):** Gökmenler alanındaki Geç Ordovisiyen Seydişehir Formasyonu uyumsuzluk düzlemi ile buzul istifi üzerlemektedir. inceden kalına değişen kalınlıkta tabakalı, nadir olarak düşen taş (dropstone) özellikli granitik çakıl



Şekil 1. Ana tektonik birimleri içeren yapısal Türkiye Haritası ve Geç Ordovisiyen Buzul seriler (Örneklerin alındığı alanlar: OT (Orta Toridler) [1] ve DT (Doğu Toridler) [2]) (Gürsu *et al.* 2018'den alınmıştır).



taşları kumlu diamiktitlerle başlayan seri ile ince taneli kumtaşı, kalın tabakalı ince taneli kumtaşından kumlu diamiktit ve az miktarda çamur ara katmanlarıyla devam etmektedir. Serinin üst kısmı ise ince-orta taneli kalın tabakalı kumtaşı ve kuvars çakılları içeren kumlu diamiktit ve silt taşı ve siyah şeyl ara katmanlı ince taneli kumtaşı ve kumlu diamiktitlerden oluşmaktadır.

*Mersin Silifke-Ovacık (Hırmanlı) (DPK72):* Bu bölgedeki seriler iri taneli ince tabakalı kumtaşı, fazla miktarda inceden iriye değişen granit ve kuvars çakıllı düşen taş içeren kumlu diamiktit ve granitik düşen taş ve bol miktarda kuvars çakılı içeren ince orta taneli kumtaşı ara katmanlı kumlu diamiktitlerle başlamaktadır. Çamurlu siltaşı/şeyl ardalanmalı kumlu diamiktit ve kalın kumtaşı katmanları içeren kumlu diamiktitlerle devam etmektedir.

İncelenen örneklerin alındığı alanların jeolojik haritaları Gürsu vd. (2018) tarafından verilmiştir (Gürsu et al. 2018'de Ek Şekiller 1, 3 ve 4).

Gürsu vd. (2017), granitik buzul çakıllarından ayırdıkları zirkon kristalleri üzerinde lazer aşındırma-ICP-MS ölçümleri yaparak U-Pb yaşlarını raporlamıştır. Bu ölçümlere göre bu çalışma kapsamında incelenen örneklerde DPK30 için  $717.5 \pm 8$  My, DPK44 için  $576.5 \pm 3.3$  My ve DPK72 için  $598.4 \pm 7.5$  My yaşları tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Gürsu vd. (2017, 2018), buzul serilerinden alınarak ağır mineral zenginleştirilmesi yapılan granitik örneklerden ayrılan zirkon mineralleri üzerinde yaş tayini ve Hf izotop analizleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma kapsamında ise, Gürsu vd. (2017, 2018) tarafından zenginleştirilmiş örneklerin ağır mineral fraksiyonları temin edilmiş ve zirkon tipolojisi metodunda değerlendirilmek üzere, binoküler mikroskop altında yeni zirkon mineralleri ayrılarak seçilmiştir.

Ayrılan zirkonlar üzerinde Pupin (1980) tarafından detayları açıklanmış olan zirkon tipolojisi metodu uygulanmıştır. Bu amaçla her bir granitoid örneğinden kristal yüzeyleri nispeten korunmuş en az 100'er adet zirkon kristali seçilerek Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak

fotoğraflanmış ve detay kristallografik incelemeleri yapılmıştır.

SEM çalışmalarında, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı Ar-Ge Eğitim ve Ölçme Merkezi'ndeki Elektron Mikroskopi Laboratuvarı'nda bulunan QUANTA 400F Field Emission yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. SEM çalışmaları sırasında 30 kV hızlandırma gerilimi, 11,9 mm çalışma mesafesi, 15 nA ışın akımı, 120 s sayım zamanı, 127 eV enerji çözünürlüğü parametreleri kullanılmıştır.

### 2.1. Ana Hatlarıyla Zirkon Tipolojisi Metodu

Zirkon tipolojisi metodu (Pupin 1980) temel olarak {100} ile {110} prizmatik yüzeyler ve {101}, {211} ve {301} piramit yüzeylerinin göreceli olarak gelişimine dayanarak zirkonların morfolojik olarak sınıflandırılmasına dayanır. Pupin (1980); zirkonda prizmatik yüzeylerin gelişiminin kristallenmenin gerçekleştiği ortamın sıcaklığıyla, piramidal yüzeylerinin gelişiminin ise kimyasal bileşimle ilintili olduğunu belirtmiş ve farklı zirkon tiplerini alüminyum/alkalinite oranına bağlı A-indeksi (A.I.) ve sıcaklığa bağlı T-indeksi (T.I.)'ne dayanan zirkon tipolojisi şemasına yerleştirmiştir (Pupin 1980'de Şekil 1).

Bir zirkon topluluğunun tipolojik dağılımı en az 100-150 zirkon kristalinin incelenerek I.A. ve I.T indekslerinin ve A ve T indekslerinin standart sapmalarının hesaplanması ile tespit edilebilir (Pupin 1980).

I.Ä. and I.T. aşağıdaki formüle (1) göre hesaplanır:

$$I.\bar{A}. = \sum_{I.A.=100}^{800} I.A. \times n_{I.A.} \quad I.T. = \sum_{I.T.=100}^{800} I.T. \times n_{I.T.} \quad (1)$$

burada  $n_{I.A.}$  ve  $n_{I.T.}$  her bir I.A. ve I.T. değeri için göreceli sıklığı ifade eder ( $\sum n_{I.A.} = \sum n_{I.T.} = 1$ ). Tipolojik gelişim yönelimi (T.E.T.) ise I. A. ve I. T.'nin ortalama noktasından  $a = S_T / S_A$  eğimi (T.E.T. eksenini ile A-indeksi eksenini arasındaki açının tanjantı) ile geçen çizgidir. Burada A-indeksinin standart sapması  $S_A = \sqrt{(A - A_{ortalama})^2 / n}$  ve T-indeksinin

standart sapması  $S_T = \sqrt{(T-T_{ortalama})^2/n}$  iken,  $n$  incelenen zirkon kristali sayısını göstermektedir.

Pupin (1980) zirkon tipolojisi metoduna dayanarak granitik kayaların petrojenetik olarak sınıflandırılmasının mümkün olduğunu önermiştir. Bu sınıflandırmaya göre granitik kayalar içerdikleri zirkon toplulukları ve T.E.T.'leri gözönüne alınarak (a) kıtasal (veya baskın olarak kıtasal) kaynaklı (Grup 1, 2 ve 3), (2) hibrit (kıtasal ve manto kaynaklı) ve (3) manto (veya baskın olarak manto) kaynaklı olarak üçe ayrılmıştır. Grup 1, 2 ve 3 granitoidleri genellikle lökogradit ve alüminus monzogradit bileşiminde olup mafik mikrogranüler anklav içermez ya da çok az miktarda içerebilir. Bu kayalar düşük A ve T indekslerine sahiptir. Hibrit grup ise (Grup 4 ve 5), genellikle değişen oranlarda mafik mikrogranüler anklav içeren ve geniş bir aralıkta değişen A ve T indeksleriyle karakterize edilebilen kalk-alkalen veya sub-alkalen monzograditler ve granodiyoritleri içermektedir. Üçüncü gruptaki (Grup 6 ve 7) granitoidler ise yüksek A ve T indeks değerlerine sahip olup, genellikle alkalin veya toleyitik kayalardır. Genel itibarıyla, Pupin (1980) gruplamasında yer alan 1, 2 ve 3. gruplar S-tipi granitoid, 4 ve 5. gruplar I-tipi hibrit granitoid ve manto kaynaklı alkalin 6. grup ise A-tipi granitoid tanımına uymaktadır (Schermaier *et al.* 1992, Finger *et al.* 1992). Öncel çalışmalarda; Türkiye'deki kayalara nadir de olsa uygulanmış olan zirkon tipolojisi yöntemi, önemli petrolojik veriler sağlamıştır (Köksal *et al.* 2008, Akın *et al.* 2019).

## 2.2. Zirkon Doymunluk Sıcaklığı Hesaplaması

Watson ve Harrison (1983), zirkon kristalizasyonu ile eriyik bileşimi arasında bir bağıntı olduğunu önermiş ve zirkon doymunluk termometresi hesabı için aşağıdaki formülü oluşturmuştur:

$$\ln D_{Zr} \text{ zirkon/eriyik} = -3.80 - [0.85(M - 1)] + \frac{12900}{T} \quad (2)$$

Bu formülde;  $\ln D_{Zr}$  zirkon/eriyik Zr konsantrasyonunun eriyikteki Zr'ye oranını, M katyon oranını ve T sıcaklığı (kelvin) göstermektedir. M değeri kayadaki elementlerin

katyon oranlarının hesabıyla saptanmaktadır:  $M=(Na + K + 2Ca)/(Al \times Si)$  (Çizelge 1). Çalışma kapsamındaki granitik kayaların oluşum sıcaklıkları yukarıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 1).

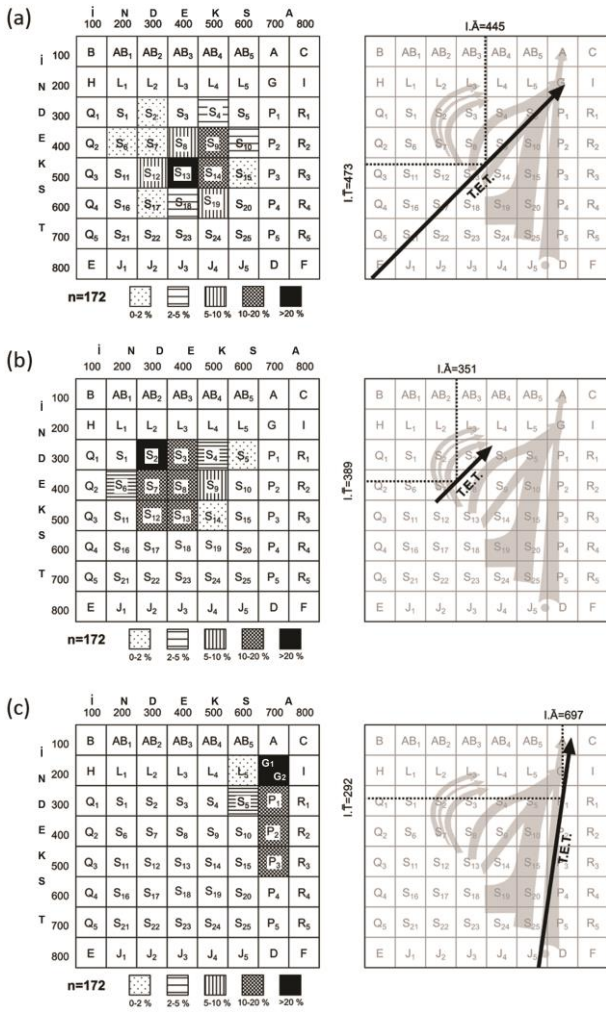
## 3. Bulgular

### 3.1. Zirkon Tipolojisi Metodu

Bu çalışma kapsamında DPK-30, DPK-44 ve DPK-72 örneklerine uygulanan zirkon tipolojisi metoduyla elde edilen istatistiksel veriler Çizelge-1'de ve Şekil-2'de, seçilmiş zirkon kristallerinin elektron mikroskobu görüntüleri ise Şekil 3, 4 ve 5'te sunulmuştur. İncelenen örneklerden DPK-44, düşük A ve T indeksleriyle diğer örneklerden ayrılırken, DPK-72 yüksek alkali indeksi ile farklılık göstermektedir (Şekil 2).

DPK-30 örneği  $S_{13}$ ,  $S_{14}$  ve  $S_9$  ağırlıklı olmak üzere S tipi zirkonlar içermekte olup (Şekil 2a, 3), A ve T indeksleri kesişimi tipoloji şemasının merkez bölgesindedir (Şekil 2a). DPK-44 örneğinde ise  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_7$ ,  $S_8$ ,  $S_{12}$  ve  $S_{13}$  zirkon tipleri baskın olmak üzere (Şekil 4) indekslerin kesişimi tipoloji şemasının sol üst bölümünde yer almaktadır (Şekil 2b). DPK-72 örneğinin zirkon popülasyonu ise hemen hemen tamamıyla G ve P zirkon tipleri ve yüksek A-indeksi ile karakterize edilmektedir (Şekil 2c, 5).

Tipolojik gelişim yönelimleri ve zirkon tipleri dikkate alındığında; DPK-30, Pupin (1980) tarafından tanımlanan 4b grubuna, DPK-44, 3 numaralı gruba ve DPK-72 ise 6 numaralı gruba uyum göstermektedir. Pupin (1980), DPK-30 gibi 4b grubuna dahil olan granitik kayaları kalk-alkalin özellik gösteren, mafik anklavlar içeren hibrit granitoidler olarak nitelendirmektedir.



**Şekil 2.** Granitik buzul çakıllarına ait zirkonlardan zirkon tipolojisi metodu ile elde edilen istatistiksel verilere göre (a) DPK-30, (b) DPK-44 ve (c) DPK-72 örneklerindeki zirkon tiplerinin yüzdesel dağılımları ile tipolojik gelişim yönelimlerinin zirkon tipolojisi şemasında gösterimi (n: incelenen zirkon kristali sayısı).

Bu kayaçlar genel olarak biyotit±amfibol granodiyorit, biyotit+amfibol monzogranit, biyotit±ikincil muskovitli alkalen granit bileşimindedir (Pupin 1980). DPK-44 örneğinin uyum gösterdiği 3 numaralı grup ise tamamıyla veya kısmen kıtasal kabuktan oluşan, eser miktarda mafik mikrogranüler ksenolit içeriği ve düşük manto katkısı sunan granitik kayaçları kapsamakta olup, genellikle alüminalı monzogranit ya da granodiyorit bileşimli sokulum kayaçlarıyla temsil edilmektedir (Pupin 1980).

DPK-72 örneğinin benzer tipolojik yönelim gösterdiği Pupin (1980)'nin 6 numaralı grubu ise alkalen serisi granitoidler olarak tanımlanan, genellikle sub-volkanik ve anorojenik komplekslerde rastlanan sıcak ve susuz magma kaynağına işaret eden manto kaynaklı granitik kayaçları kapsamaktadır.

DPK-30 örneği zirkon tipoloji şemasında 650-800°C arasında dağılım gösterirken, DPK-44, 650-750°C ve DPK-72 ise 600-750°C arasında dağılım vermektedir. Zirkon tipoloji şemasındaki dağılımlar ve tipolojik gelişim yönelimlerinin geçtiği indeks kesişim noktaları, ortalama sıcaklık değerleri olarak DPK-30 için 750°C, DPK-44 için 700°C ve DPK-72 için 650°C önermektedir.

### 3.2. Zirkon Doymuluk Sıcaklığı

Zirkon minerali, kristal formunda olduğunda kabuktan türeyen eriyik ve akışkanlarda düşük çözünürlükte olmaktadır (ör., Watson 1979, Watson and Harrison, 1983). Deneysel çalışmalar zirkonun kristallendiği sıcaklığı ve zirkonun doymu hale gelip kristallenmesi için gerekli olan bulunduğu kayaçtaki zirkonyum miktarını ortaya koymaktadır (Hanchar and Watson 2003). Zirkon doymuluk sıcaklığı formülasyonu (2) kullanılarak; çalışma kapsamındaki üç kayacın zirkon kristallenme sıcaklıkları, DPK-30 için 789°C, DPK-44 için 845°C ve DPK-72 için 790°C olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1). Zirkon tipolojisi ile elde edilen sıcaklık hesaplamalarıyla karşılaştırıldığında, bu rakamların DPK-30 için benzer, DPK-44 ve DPK-72 için ise daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 1). Bu hesaplama sistematğinde, kayaçtaki zirkonyum miktarı ile özellikle SiO<sub>2</sub> konsantrasyonunun dolayısıyla kaynak kayacın kimyasal özelliklerinin önemli olduğu, bu nedenle de jeotermometrik verilerde farklılıklar oluşabileceği dikkate alınmalıdır (Hanchar and Watson 2003).

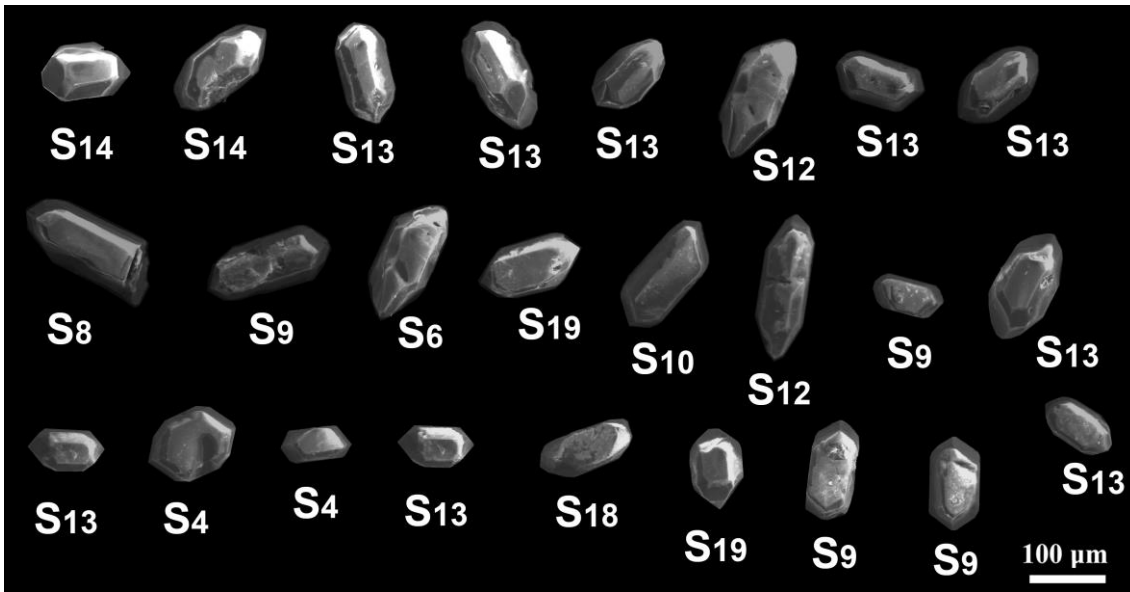
**Çizelge 1.** Granitik buzul çakıllarına ait zirkonlardan zirkon tipolojisi metodu ile elde edilen istatistiksel veriler ile zirkon doygunluk sıcaklığı hesaplamaları.

| Örnek adı | n   | SA   | ST    | I.A. | I.T. | alfa | radyan | Granitoyid grubu | Zr <sup>(a)</sup> (ppm) | M <sup>(b)</sup> | T°C <sup>(c)</sup> |
|-----------|-----|------|-------|------|------|------|--------|------------------|-------------------------|------------------|--------------------|
| DPK-30    | 172 | 70,3 | 71,8  | 445  | 473  | 45,6 | 0,796  | 4b               | 123,2                   | 1,04             | 789                |
| DPK-44    | 198 | 77,2 | 77,9  | 351  | 389  | 45,3 | 0,790  | 3                | 213,6                   | 0,98             | 845                |
| DPK-72    | 110 | 16,4 | 116,6 | 697  | 292  | 82,0 | 1,431  | 6                | 137,4                   | 1,17             | 790                |

<sup>(a)</sup> Gürsu vd. (2017)'den alınmıştır.

<sup>(b)</sup> M" değerinin hesaplanmasında Gürsu vd. (2017)'de verilen SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O ve CaO konsantrasyon değerleri kullanılmıştır.

<sup>(c)</sup> T°C: Watson ve Harrison (1983) metodolojisine göre hesaplanan zirkon doygunluk sıcaklığı

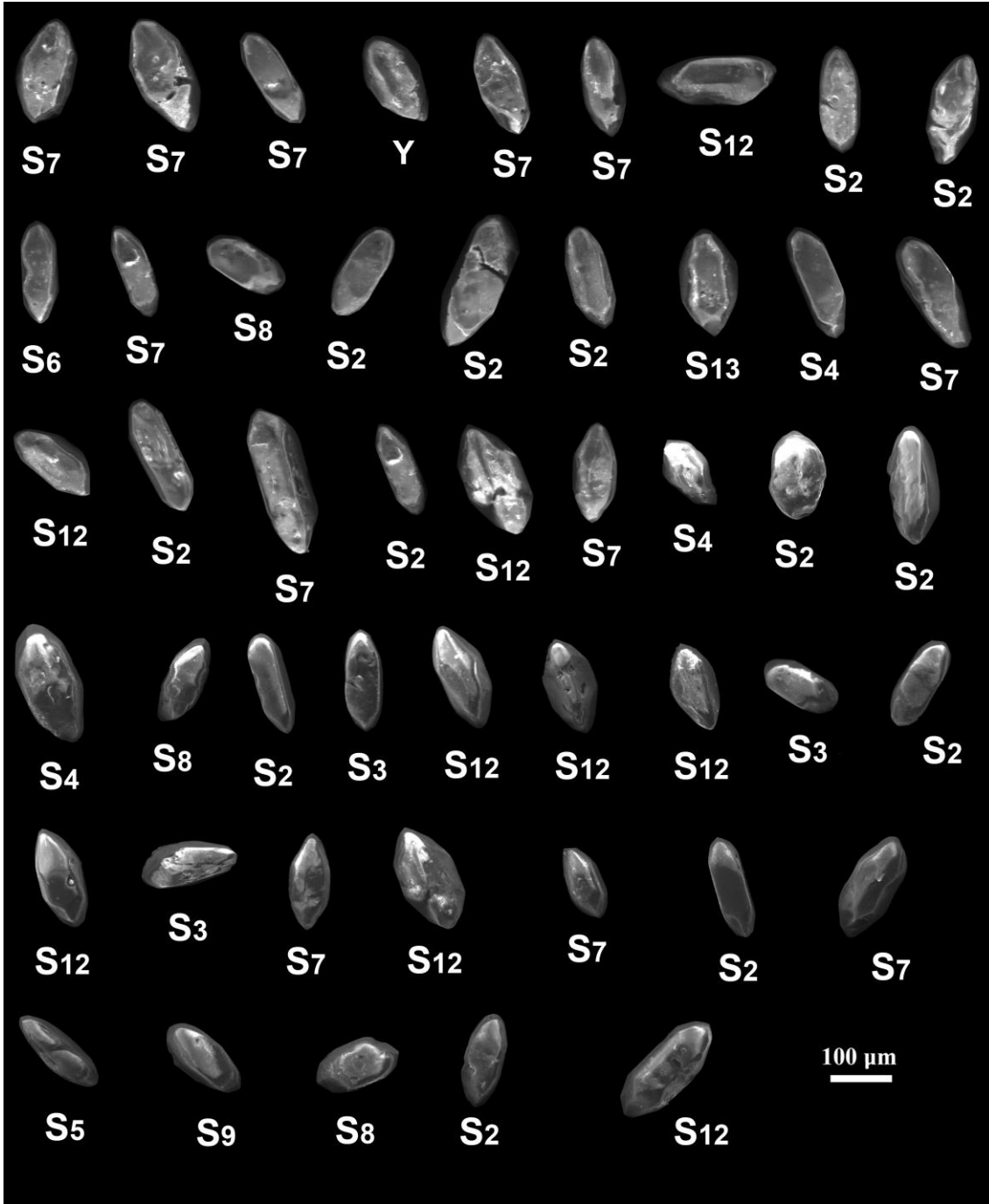


**Şekil 3.** DPK-30 örneğindeki zirkon kristallerinden seçilmiş olanların SEM görüntüleri.

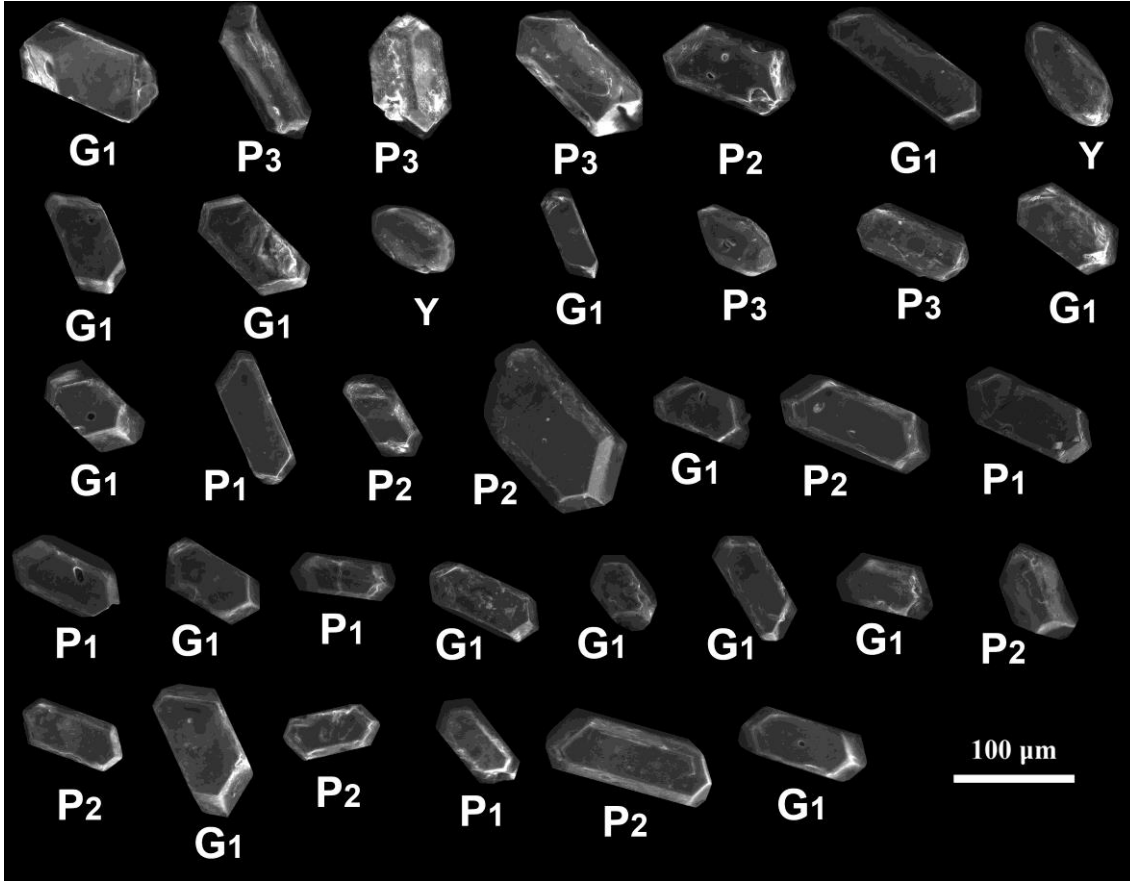
#### 4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma kapsamındaki granitik buzul çakılları hakkında yapılan öncel jeokimyasal ve jeokronolojik değerlendirmelere göre, bu granitoyidlerin volkanik-yay granitlerine uyum gösterdiği ve Sina yarımadası ve Mısır'ın Doğu Çölü'ndeki Neoproterozoyik granitoyid/metagranitik kayalardan kopup taşınmış olabileceği görüşü öne sürülmüştür (Gürsu *et al.* 2017, 2018). Gürsu vd. (2018)'de sunulan izotop verileri de bu görüşü destekler niteliktedir. Granitik çakılların tüm kayaç element jeokimyası verilerine ek olarak Nd ve Pb izotop verileri ile zirkon Lu-Hf izotop oranları da değerlendirildiğinde; DPK-30, DPK-44 ve DPK-72 örneklerinin genel olarak yay-tipi özelliğe sahip olduğu, juvenil manto ve yaşlı kıtasal kabuk

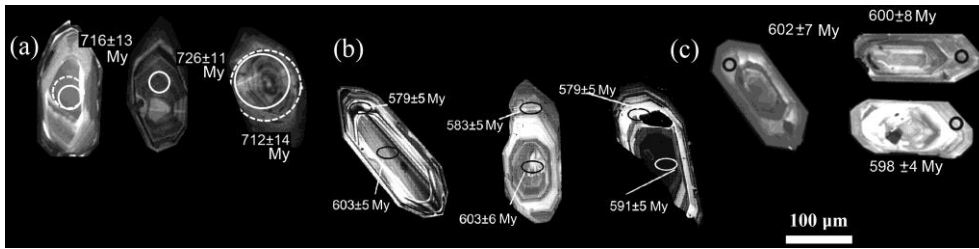
kaynaklarının farklı oranlarda karışımıyla oluşmuş olabileceği önerilmiştir (Gürsu *et al.* 2018). Söz konusu örnekler (özellikle DPK-72) A-tipi granitoyidlere de benzerlik gösterirken, DPK-30 örneği yay-kenarı magma kaynağına sahip görünmekte, DPK-44 örneğinde kıtasal kabuk katkısı en yüksek olarak göze çarparken DPK-72 örneği en düşük kıtasal kabuk katkısı sunmaktadır (Gürsu *et al.* 2018). Bu çalışma kapsamında elde edilen zirkon tipolojisi metodu verileri de aynı şekilde kıtasal kabuk katkısının en çok DPK-44 örneğinde, en az DPK-72 örneğinde olduğu bulgusunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4. DPK-44 örneğindeki zirkon kristallerinden seçilmiş olanların SEM görüntüleri. Y: yuvarlaklaşmış kristal yüzeyleri nedeniyle tipolojisi belirlenememiş zirkon.



Şekil 5. DPK-72 örneğindeki zirkon kristallerinden seçilmiş olanların SEM görüntüleri. Y: yuvarlaklaşmış kristal yüzeyleri nedeniyle tipolojisi belirlenememiş zirkon.



Şekil 6. Kaynak alan olarak önerilen bölgelerdeki çalışmalarda verilmiş olan zirkon kristal fotoğrafları (a) Elat-Taba (Morag *et al.* 2011), (b) Igna (Be'eri-Shlevin *et al.* 2009), (c) Güney Sina (Moreno *et al.* 2012).

Gökmenler ve Ovacık'tan alınmış olan DPK-44 ve DPK-72 örnekleri Gürsu vd. (2017, 2018) tarafından A-tipi granitoidler olarak tanımlanmıştır. Aynı şekilde Mısır Doğu Çölü'ndeki benzer yaşlardaki Neoproterozoyik Nuweibi sokulumu da A-tipi granitoidler sınıflamasına uymaktadır (Azer *et al.* 2019). Gürsu vd. (2018), bu çalışma kapsamındaki örneklerin kaynak alanları olarak; DPK-30 için Elat-Taba (Wadi Bretan ve Gabal Dara) başkalaşım geçirmiş yay magmatizması ürünleri olan meta-

granodiyoritik kayalar, DPK-44 için Katherina Ring Complex ve Igna alanındaki alkalin kayalar ve DPK-72 için Mısır Doğu Çölü (Gabal Gaddar-Homr Akarem-Harid Mukbid-Nuweibi) "Genç Granitler" olarak adlandırılan kayaları önermiştir. Bahsedilen bu kayalarda zirkon tipolojisi metoduna literatürde rastlanmamıştır, ancak bu çalışma kapsamındaki DPK-30, 44 ve 72 numaralı örneklerdeki zirkonlar, önerilen alanlardaki yakın yaşlardaki zirkon kristallerinin literatürde verilmiş

olan fotoğrafları ile karşılaştırıldığında benzer tipolojiler gözlenmektedir. Elat-Taba alanındaki yaklaşık 715 my yaşlarında olan zirkon kristalleri de (Şekil 6a) DPK-30 örneğindeki gibi {211} ve {101} piramit yüzeyleriyle karakterize edilmektedir (Morag *et al.* 2011). Yine Be'eri-Shlevin *et al.* (2009) tarafından raporlanmış 580 my civarındaki Iqna zirkonlarında DPK-44 örneğinde olduğu gibi {101} ve daha baskın olan {211} piramit yüzeyleri görülebilmektedir (Şekil 6b).

DPK-72'deki zirkonların sadece {101} piramit yüzeyi içermesi sebebiyle tipolojik benzerlik gösterdiği 600 my civarındaki zirkonlar ise (Şekil 6c) Güney Sina (Mısır)'da tanımlanmıştır (Moreno *et al.* 2012). Yakın yaş aralıklarındaki kayalarla yapılan karşılaştırmalarla ortaya konulan bu zirkon tipolojisi benzerlikleri, Gürsu vd. (2018)'de önerilen kaynak alanlara ilişkin görüşleri desteklemektedir.

Zirkonların hafniyum ve tüm kayaç neodmiyum izotop verileri baz alındığında (Gürsu *et al.* 2018) DPK-30 örneğinin yüksek Hf-Nd verileri ada yayı özellikli nispeten az kıtasal kabuk katkılı juvenil magma kaynağına işaret ederken, DPK-44 ve DPK-72 örneklerinin izotopik verileri, DPK-44'te çok etkin olmak üzere, eski kıtasal kabuğun juvenil magma kaynağı ile karışmış olduğunu önermektedir. Bu izotopik veriler zirkon tipolojisi ile ortaya konan bulgularla uyumludur. Şöyle ki; zirkon tipolojisi metodunda kıtasal kabuk baskın olarak önerilen DPK-44 örneğinin izotop verileri de yoğun kıtasal kabuk katkısına işaret ederken, bu katkı DPK-30 ve DPK-72'de daha az oranda gözlenmektedir.

Gürsu vd. (2018)'de, bu çalışma kapsamındaki kayalardaki zirkonlardan elde edilmiş olan katodoluminesans (CL) görüntüleri verilmektedir. Bu görüntüler incelenerek, zirkon iç yapılarında görülen özelliklerin morfolojilere ne ölçüde yansıdığı ve zirkon kristallerinin, dolayısıyla kayaların oluşum süreçleri araştırılmıştır. DPK-30 örneğinde; morfolojide olduğu gibi iç yapılar da {211} ve {101} piramit yüzeyleriyle karakterize edilirken, bazı CL fotoğraflarında, aşınmış zirkon kristallerinin düşük CL sinyali gösteren çoklu dış zonlarla çevrelenmiş olduğu görülmektedir. Bu tip yapılar, değişen sıcaklık koşullarına ve ergiyik içinde korozyona uğrayarak muhtemelen taşınan zirkon

kristallerine işaret eder ve bu da kayacın hibrit özelliği ile uyumludur (Köksal *et al.* 2008). DPK-44 örneğinde ise morfolojiyle uyumlu olarak iç yapılarda genelde {211} ve yer yer {101} piramit yüzeyleri görülmektedir. DPK-44 örneği CL görüntülerinde de DPK-30'daki gibi bazı kristallerde olduğu gibi korozyon, taşınma ve yeniden kristallenme gibi süreçlere işaret eden yapılar görülmektedir. Gerek bu tip yapılar ve gerekse kayacın içten dışa görülen tipolojik gelişim, DPK-44 örneğinin kıtasal kabuk kökeni ile uyumludur. DPK-72 örneğinde ise, çekirdekten çeperlere kadar P ve G zirkon tiplerinde rastlanan benzer kristal yüzeylerinin geliştiği ve salınımlı zonlanmanın sürekliliği gözlenmektedir. Bu özellik, zirkon kristallerinin aynı magma odasında oluşarak kristallendiği şeklinde yorumlanabilir.

Sina Yarımadası ve Mısır Doğu Çölü civarındaki Neoproterozoyik yaşlı granitoidlerde jeotermometrik çalışmalar sınırlıdır. Mısır Doğu Çölü'ndeki Abu Dabbab Albit granitinin düşük düzeyde kısmi ergime ile 685°C'de oluştuğu önerilmiştir (Heikal *et al.* 2019). Mısır Doğu Çölü'ndeki Neoproterozoyik Abu Bayt ve Al-Hindusi granitoidlerinde 670 – 685°C, Arais granitoidinde ise 650 – 685°C kristallenme sıcaklıkları belirlenmiştir (Int Kyn. 1).

Öte yandan, Sina Yarımadası'ndaki Sharm El-Sheikh alanındaki Neoproterozoyik granitoidlerinden siyeno-granitlerde 520–730°C, alkali feldispat granitinde ise 450–830°C'lik oluşum sıcaklıkları tespit edilmiştir (Ghoneim *et al.* 2015).

Ayrıca, (Zoheir *et al.* 2008) tarafından Mısır Doğu Çölü'ndeki ada yayı özellik gösteren Neoproterozoyik Um Eleiga kompleksindeki sokulum kayaları üzerinde yapılan hornblend-plajiyoklas termometresi çalışmaları da bu kayalar için 720 ila 880°C arasında oluşum sıcaklığı vermiştir. Bu sıcaklık aralıkları, çalışma kapsamındaki örneklerin sıcaklık tespitleriyle benzerlik göstermektedir (ör., DPK-30 için zirkon tipolojisi metodu ile 750°C, zirkon doygunluk sıcaklığı hesabı ile 789°C; DPK-44 için zirkon tipolojisi metodu ile 700°C; zirkon doygunluk sıcaklığı hesabı ile 845°C ve DPK-72 için zirkon tipolojisi metodu ile 650°C; zirkon doygunluk sıcaklığı hesabı ile 790°C).

Bu çalışmada sunulan bulgular, granitik buzul çakılları üzerinde daha önce yapılmamış olan zirkon tipolojisi ve zirkon doygunluk sıcaklığı çalışmalarının bu tip kayalara uygulanabilirliğini göstermiştir. Zirkon tipolojisi ile elde edilen istatistiksel verilere dayanan petrolojik sonuçlar, Orta ve Doğu Toridler'den alınmış bu örnekler üzerindeki öncel jeokimyasal ve izotopik değerlendirmelerle büyük oranda uyum göstermektedir. Her ne kadar zirkon tipolojisi ve zirkon doygunluk sıcaklığı metodlarıyla elde edilen oluşum sıcaklığı verileri bir yaklaşımda bulunmayı sağlasa da farklı jeokimyasal ve ikincil parametreler de etkin rol oynayabilmektedir. Nitekim, bu çalışmada elde edilen veriler, önerilen kaynak alanlardaki kayaların öncel sıcaklık verilerine benzemekle birlikte detay incelendiğinde farklı sıcaklık aralıkları göze çarpmaktadır. Bu nedenle jeotermometrik verilere ihtiyatla yaklaşmak gerektiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak; zirkon tipolojisi metodu ve zirkon doygunluk sıcaklığı hesaplama çalışmaları, jeolojik, petrografik, farklı izotopları da içeren jeokimyasal verilerle denetirildiğinde oldukça önemli bulgular sağlama potansiyeline sahip olduğu önerilebilir.

### Teşekkür

Bu çalışmada incelenen zirkon kristalleri, Prof. Dr. Semih Gürsu tarafından sağlanmış olan granitik buzul çakıllarının ağır mineral fraksiyonlarından ayrılmıştır. Bu zirkon kristallerinin kullanılmasına izin veren Prof. Dr. Semih Gürsu'ya ve zirkon tipolojisi konusunda sağladığı bilgi altyapısı ve yönlendirmesi için Prof. Dr. M. Cemal Göncüoğlu'na teşekkür etmek isterim. SEM analizleri için Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvar'a ve analizleri yapan Sedat Canlı'ya teşekkürlerimi sunarım. Arazi çalışmalarıyla granitik buzul örneklerinin teminine önemli katkı sağlayan Doğan Usta ve Şerafettin Ateş'e de ayrıca teşekkür ederim. Değerli yorumlarıyla makalenin gelişimine katkı sunan Doç. Dr. O. Ersin Koralay ve anonim hakem ile editör Doç. Dr. Tamer Baybura'ya teşekkürü borç bilirim.

### 5. Kaynaklar

Akın, L., Aydar, E., Schmitt, A.K. and Çubukçu, H.E., 2019. Application of zircon typology method to felsic rocks (Cappadocia, Central Anatolia, Turkey): a zircon crystallization temperature perspective. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **28**, 351-371.

Azer, M.K., Abdelfadil K.M. and Ramadan A.A., 2019. Geochemistry and Petrogenesis of Late Ediacaran Rare-Metal Albite Granite of the Nubian Shield: Case Study of Nuweibi Intrusion, Eastern Desert, Egypt. *The Journal of Geology*, **127**, 665-690.

Be'eri-Shlevin, Y., Katzir, Y. and Whitehouse, M., 2009. Post-collisional tectonomagmatic evolution in the northern Arabian–Nubian Shield: time constraints from ion-probe U–Pb dating of zircon. *Journal of the Geological Society, London*, **166**, 71-85. DOI: 10.1144/0016-76492007-169.

Bozdoğan, N., Göncüoğlu, M.C. and Kozlu, H., 1996. Lower Paleozoic stratigraphy of SE Anatolia. In *El Paleozoico inferior en el noroeste del Gondwana (The lower Paleozoic of NW Gondwana)*, edited by Baldi, B.A. and Acenolaza, F.G. *Serie Correlacion Geologica, Instituto Superior Correlacion Geologica, Universidad Nacional de Tucuman, Tucuman*, **12**, 47-58.

Caricchi, L., Simpson, G. and Schaltegger, 2014. Zircons reveal magma fluxes in the Earth's crust. *Nature*, **511**, 457-461.

Cater, J.M.L. and Tunbridge, I.P., 1992. Palaeozoic tectonic history of SE Turkey. *Journal of Petroleum Geology*, **15** (1), 35–50. DOI: 10.1111/j.1747-5457.1992.tb00864.

Doornbos, C., Heaman, L.M., Doupé, J.P., England, J., Simonetti, A. and Lajeunesse, P., 2009. The first integrated use of in situ U–Pb geochronology and geochemical analyses to determine long-distance transport of glacial erratics from mainland Canada into the western Arctic Archipelago. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **46**, 101-122.

Finger, F., Haunschmid, B., Schermaier, A. and Von Quadt, A., 1992. Is zircon morphology indicative of a mantle or crustal origin of a granite? Comparison of Pupin indices with Sr and Nd isotope data of 26 Austrian granites. *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, **137**, 135-137.

Ghienne, J.-F., Deynoux, M., Manatschal, G. and Rubino, J.L., 2003. Palaeovalleys and fault-controlled depocentres in the Late-Ordovician glacial record of the Murzuq Basin (central Libya). *Comptes Rendus*



- Geosciences*, **335**, 1091-1100. DOI: 10.1016/j.crte.2003.09.010.
- Ghienne, J.-F., Monod, O., Kozlu, H. and Dean, W.T., 2010. Cambrian-Ordovician depositional sequences in the Middle East: a perspective from Turkey. *Earth Science Reviews*, **101**, 101-146. DOI: 10.1016/j.earscirev.2010.04.004.
- Ghienne J.-F., Benvenuti A., El Houicha M., Girard F. and Kali E., 2018. The impact of the end-Ordovician glaciation on sediment routing systems: A case study from the Meseta (northern Morocco). *Gondwana Research*, **63**, 169-178. DOI: 10.1016/j.gr.2018.07.001.
- Ghienne, J.-F., Desrochers, A., Vandenbroucke, T.R.A., Achab, A., Asselin, E., Dabard, M.-P., Farley, C., Loi, A., Paris, F., Wickson, S. and Veizer, J., 2014. A Cenozoic-style scenario for the end-Ordovician glaciation. *Nature Communications*, **5**, 4485. DOI:10.1038/ncomms5485.
- Ghoneim, M.F., Heikal M. T. S., El Dosuky B. T., Abu-Alam T.S. and Sherif M. I., 2015. Neoproterozoic granites of Sharm El-Sheikh area, Egypt: mineralogical and thermobarometric variations. *Arabian Journal of Geosciences*, **8**, 125-141. DOI: 10.1007/s12517-013-1182-0.
- Göncüoğlu, M.C., 1997. Distribution of Lower Paleozoic units in the Alpine terranes of Turkey: paleogeographic constraints. In *Lower Paleozoic evolution in northwest Gondwana*, edited by Göncüoğlu, M.C. and Derman, A.S. *Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publications*, **3**, 13-24.
- Göncüoğlu, M.C. and Kozlu, H., 2000. Early Paleozoic evolution of the NW Gondwanaland: data from southern Turkey and surrounding regions. *Gondwana Research*, **3**, 315-324. DOI: 10.1016/S1342-937X(05)70290-2.
- Göncüoğlu, M.C., Göncüoğlu, Y., Kozlu, H. and Kozur, H., 2004. Paleozoic stratigraphy of the Geyikdağ Unit in the Eastern Taurides (Turkey): new age data and implications for Gondwana evolution. *Geologica Carpathica*, **55**, 433-447.
- Gürsu, S., 2015. Determination of source of Late Ordovician (Hirnantian) glacial deposits in southern Turkey by zircon U-Pb Geochronology. TUBITAK 2219 International Post-Doctoral Research Fellowship Programme Final Report, Ankara, 1-304.
- Gürsu, S., Möller, A., Usta, D., Köksal, S., Ates, S., Sunkari, E.D. and Göncüoğlu, M.C., 2017. LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital and magmatic zircons of glacial diamictites and pebbles in Late Ordovician sediments of the Taurides and Southeast Anatolian Autochthone Belt, Turkey: indications for their Arabian-Nubian provenance. *The Journal of Geology*, **125(2)**, 165-202. DOI: 10.1086/690199.
- Gürsu, S., Mueller, P.A., Sunkari, E.D., Möller, A., Köksal, S., Kamenov, G.D. and Göncüoğlu, M.C., 2018. Nd, Pb, Hf isotope characteristics and provenance of glacial granitic pebbles from Late Ordovician diamictites in the Taurides, S Turkey. *Gondwana Research*, **54**, 205-216.
- Hanchar, J. M. and Watson, E. B., 2003. Zircon saturation thermometry. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, **53(1)**, 89-112.
- Heikal M. T. S., Khedr M.Z., El Monsef M.A. and Gomaa S.R., 2019. Petrogenesis and geodynamic evolution of Neoproterozoic Abu Dabbab Albite Granite, Central Eastern Desert of Egypt: Petrological and geochemical constraints. *Journal of African Earth Sciences*, **158**, 103518.
- Hofmann, M., Linnemann, U., Hoffmann, K.H., Germs, G., Gerdes, A., Marko, L., Eckelmann, K., Gärtner, A. and Krause, R., 2015. The four Neoproterozoic glaciations of southern Namibia and their detrital zircon record: the fingerprints of four crustal growth events during two supercontinent cycles. *Precambrian Research*, **259**, 176-188.
- Kemp, A., Hawkesworth, C., Paterson, B. and Kinny, P.D., 2006. Episodic growth of the Gondwana supercontinent from hafnium and oxygen isotopes in zircon. *Nature*, **439**, 580-583 (2006) DOI:10.1038/nature04505.
- Köksal, S., Göncüoğlu, M.C., Toksoy-Köksal, F., Möller, A. and Kemnitz, H., 2008. Zircon typologies and internal structures as petrogenetic indicators in contrasting granitoid types from central Anatolia, Turkey. *Mineralogy and Petrology*, **93**, 185-211.

- Lisa L. and Uher P., 2006. Provenance of Würmian loess and loess-like sediments of Moravia and Silesia (Czech Republic): a study of zircon typology and cathodoluminescence. *Geologica Carpathica*, **57 (5)**, 397-403.
- Monod, O., Kozlu, H., Ghienne, J.F., Dean, W.T., Günay, Y., Le Hérisse, A., Paris, F. and Robardet, M., 2003. Late Ordovician glaciation in southern Turkey. *Terra Nova*, **15**, 249–257. DOI:10.1046/j.1365-3121.2003.00495.x.
- Morag, N., Avigad D., Gerdes A., Belousova E. and Harlavan Y., 2011. Crustal evolution and recycling in the northern Arabian-Nubian Shield: New perspectives from zircon Lu–Hf and U–Pb systematics *Precambrian Research*, **186**, 101-116.
- Moreno J.A., Montero P., Abu Anbar M., Molina J.F., Scarrow J.H., Talavera C., Cambeses A. and Bea F., 2012. SHRIMP U–Pb zircon dating of the Katerina Ring Complex: Insights into the temporal sequence of Ediacaran calc-alkaline to peralkaline magmatism in southern Sinai, Egypt, *Gondwana Research*, **21**, 887-900.
- Osorio-Granada E., Restrepo-Moreno S.A., Munoz-Valencia J.A., Trejos-Tamayo R.A., Pardo-Trujillo A., 2017. Detrital zircon typology and U/Pb geochronology for the Miocene Ladrilleros-Juanchaco sedimentary sequence, Equatorial Pacific (Colombia): New constraints on provenance and paleogeography in northwestern South America. *Geologica Acta*, **15 (3)**, 201-215.
- Özgül, N. ve Kozlu, H., 2002, Kozan-Feke (Doğu Toroslar) Yöresinin Stratigrafisi ve Yapısal Konumu ile İlgili Bulgular, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, **14 (1)**, 1-36.
- Özgül, N., Metin, S., Göger, İ., Bingöl, İ., Baydar, O. ve Erdoğan, B., 1973. Tufanbeyli dolayının Kambriyen ve Tersiyer kayaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **16 (1)**, 81-101.
- Paris, F.F., Le Hérisse, A., Monod, O., Kozlu, H., Ghienne, J.F., Dean, W.T., Vecoli, M. and Günay, Y., 2007. Ordovician chitinozoans and acritarchs from southern and southeastern Turkey. *Revue de Micropaleontologie*, **50**, 81–107. DOI: 10.1016/j.revmic.2006.11. 004.
- Pastor-Galán, D., Gutiérrez-Alonso, G., Murphy, J.B., Fernández-Suárez, J., Hofmann, M. and Linnemann, U., 2013. Provenance analysis of the Paleozoic sequences of the northern Gondwana margin in NW Iberia: passive margin to Variscan collision and orocline development. *Gondwana Research*, **23**, 1089-1103.
- Pohl, A., Donnadieu, Y., Le Hir, G., Ladant, J.B., Dumas, C., Alvarez-Solas, J. and Vandembroucke, T.R.A., 2016. Glacial onset predated Late Ordovician climate cooling. *Paleoceanography*, **31**, 800-821.
- Pupin, J.P., 1980. Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **73**, 207-220.
- Schermaier, A., Haunschmid, B., Schubert, G., Frasl, G. and Finger, F., 1992. Diskriminierung von S-typ und I-typ graniten auf der basis zirkontypologischer untersuchungen. Frankfurter *Geowiss Arb, Serie A Geologie-Paläontologie*, **11**: 149-153.
- Schoene, B., Schaltegger U., Brack P., Latkoczy C., and Günther D., 2012. Rates of magma differentiation and emplacement in a ballooning pluton recorded by U–Pb TIMS-TEA, Adamello batholith, Italy. *Earth Planetary Science Letters*, **355–356**, 162-173.
- Shaw, J., Gutiérrez-Alonso, G., Johnston, S.T. and Galán, D.P., 2014. Provenance variability along the Early Ordovician north Gondwana margin: Paleogeographic and tectonic implications of U-Pb detrital zircon ages from the Armorican Quartzite of the Iberian Variscan belt. *Geological Society of America Bulletin*, **126**, 702-719.
- Watson, E. B., 1979. Zircon saturation in felsic liquids: experimental results and applications to trace element geochemistry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **70**, 407-419.
- Watson, E. B. and Harrison, T. M., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planetary Science Letters*, **64**, 295-304.
- Zoheir, B.A., Mehanna, A. M. and Qaoud, N. N., 2008. Geochemistry and geothermobarometry of the Um Eleiga Neoproterozoic island arc intrusive complex, SE Egypt: genesis of a potential gold-hosting

intrusion. *Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B)*, **117**, 3, DOI: 10.1179/174327508X375620.

***İnternet kaynakları***

1-[https://www.researchgate.net/publication/336279560\\_Pre-Post\\_collisional\\_plutonites\\_of\\_Arais\\_area\\_Eastern\\_Desert\\_Egypt\\_geochemical\\_concept](https://www.researchgate.net/publication/336279560_Pre-Post_collisional_plutonites_of_Arais_area_Eastern_Desert_Egypt_geochemical_concept)  
(01.09.2004)

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 055901 (931-940)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 055901 (931-940)

DOI: 10.35414/akufemubid.714367

Araştırma Makalesi / Research Article

## Boyuna Uzatılmış Yüzeylerde Dikdörtgensel Oyukların Isı Atımına Etkisi: Bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi

Erdem CÜCE<sup>1</sup><sup>1</sup>Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Rize.e-posta:erdem.cuce@erdogan.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0150-4705>

Geliş Tarihi: 03.04.2020

Kabul Tarihi: 28.10. 2020

### Öz

Bu çalışmada, üç farklı zorlanmış taşınım koşulu için ( $h = 25, 50$  ve  $100 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) konvansiyonel ve oyuklu kanatlardan olan ısı transferi ANSYS FLUENT yazılımı ile incelendi ve analizler çeşitli oyuk seviyeleri için tekrarlandı. Analizlerde kanat malzemesi olarak  $202.4 \text{ W/mK}$  ısı iletkenliğe sahip alüminyum kullanıldı. Operasyonel durum için fotovoltaik sistemlerin zorlanmış taşınım ile soğutulması durumu göz önüne alındı ve bu bağlamda, kanat taban sıcaklığı, standart test koşullarını ( $1000 \text{ W/m}^2$  ışınım akısı,  $298.15 \text{ K}$  çevre sıcaklığı) göz önünde bulundurularak  $353.15 \text{ K}$  seçildi. Sürekli rejim koşullarında kanat boyunca enerji denklemi  $e = 10^{-9}$  yakınsama kriteri ile çözüldü. Çalışmada dikkate alınan referans kanat profili  $50 \text{ mm}$  boy,  $10 \text{ mm}$  yükseklik ve  $1 \text{ mm}$  kalınlık ölçülerine sahiptir. Kanat boyunca boylamasına  $1 \text{ mm}^2$ 'lik oyuk çiftleri ( $\lambda$ ) oluşturuldu ve her bir  $\lambda$  değeri için konvansiyonel ve oyuklu kanatlardan olan ısı atımları sayısal olarak belirlendi. Kanat verimi oyuk seviyesinin bir fonksiyonu olarak ayrıca hesaplandı. Sayısal sonuçlar, artan  $\lambda$  değeri ile kanattan olan ısı atımının azaldığını, ancak bütün taşınım koşulları için, belirli bir  $\lambda$  değerinden sonra birim kanat hacminden olan ısı atımının konvansiyonel kanata kıyasla daha fazla olduğunu gösterdi. Düşük  $h$  değerlerinde oyuk etkilerinin daha belirgin olduğu görüldü.  $h = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$  için konvansiyonel kanattan olan ısı atımı  $2.5032 \text{ W}$  iken,  $\lambda = 24$  için oyuklu kanattan olan ısı atımı  $2.6683 \text{ W}$  olarak belirlendi. Bu durum ısı atımında yaklaşık %6.6'lık bir iyileşmeye karşılık gelmektedir.

### Anahtar kelimeler

Isı transferi; Uzatılmış yüzey; Boyuna oyuk; Kanat verimi; Kanat hacmi başına ısı atımı.

## Impacts of Rectangular Perforations in Longitudinal Extended Surfaces on Heat Dissipation: A Computational Fluid Dynamics Analysis

### Abstract

In this study, for three different forced convection conditions ( $h = 25, 50$  and  $100 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), heat transfer through conventional and perforated fins has been investigated by ANSYS FLUENT software, and the analyses have been repeated for various perforation levels. Aluminium has been utilised as the fin material in the analyses with a thermal conductivity of  $202.4 \text{ W/mK}$ . For the operational case, cooling of photovoltaic systems by forced convection has been considered, and in this respect, fin base temperature has been selected to be  $353.15 \text{ K}$  by taking standard test conditions ( $1000 \text{ W/m}^2$  solar intensity,  $298.15 \text{ K}$  ambient temperature) into consideration. For steady-state conditions, energy equation has been solved along the fin for the convergence criterion of  $e = 10^{-9}$ . Reference fin profile considered in the research has a  $50 \text{ mm}$  length,  $10 \text{ mm}$  height and  $1 \text{ mm}$  width. Perforation pairs ( $\lambda$ ) of  $1 \text{ mm}^2$  have been formed longitudinally along the fin and the heat dissipations from conventional and perforated fins have been numerically determined for each  $\lambda$  value. Fin efficiency has also been calculated as a function of perforation level. Numerical results have revealed that heat transfer from the fin decreases with increasing  $\lambda$  value, however for each convection condition, heat dissipation per fin volume from the perforated fin is greater in comparison to the conventional fin after a certain  $\lambda$  value. Perforation effects have been found more noticeable for the lower  $h$  values. For  $h = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ , heat dissipation from the conventional fin has been determined to be  $2.5032 \text{ W}$  whereas the heat transfer through the perforated fin has been found to be  $2.6683 \text{ W}$ . This case corresponds to an enhancement of about 6.6% in heat dissipation.

### Keywords

Heat transfer; Extended surface; Longitudinal perforation; Fin efficiency; Heat dissipation per fin volume

## 1. Giriş

Uzatılmış yüzeyler literatürde kanat ya da kanatçık olarak da bilinirler. Esas itibarıyla herhangi bir sıcak yüzeyden o yüzeye temas halindeki ortam havasına olan ısı geçişini maliyet-etkin olarak iyileştirmek amacıyla kullanılırlar. Bu anlamda özellikle soğutma sistemlerinde yaygın olarak tercih edildikleri söylenebilir. Elektronik devreler, motorlar, türbinler, rejeneratörler, ısı boruları, güneş kolektörleri ve fotovoltaik (PV) sistemler başlıca uygulama alanlarına örnek verilebilir (Cuce et. al. 2019). Uzatılmış yüzeyler yaygın olarak alüminyum ve bakır gibi ısı iletkenliği yüksek malzemelerden üretilirler. Boyuna ya da radyal olarak tasarlanırlar ve ısı transferi iyileştirme çalışmalarında kullanılan türleri sıklıkla dairesel, üçgenel ve dikdörtgenel kesit alanına sahiptirler (Ali et. al. 2018).

Uzatılmış yüzeylerin soğutma uygulamalarında etkin ve verimli kullanımı, her bir tasarım için geometrik ve operasyonel parametrelerin optimize edilmesini zorunlu kılmaktadır (Guo et. al. 2018). Bu bağlamda bir uzatılmış yüzeyden gerçekleşen ısı transferinde optimizasyon işlemi için iki farklı strateji uygulanmaktadır. Birinci yöntemde, verilen bir kanat hacmi ya da kütlesi için kanattan olan ısı atımı artırılmakta; ikinci yöntemde ise öngörülen bir ısı transfer miktarına yönelik kanat hacmi ya da kütlesi azaltılmaktadır (Yang et. al. 2017). Soğutma sistemlerinde kullanılan uzatılmış yüzeylerden yüksek verim ve düşük maliyet beklentilerine son yıllarda hafiflik ve kompakt sistem detayları eklenmekte, bu anlamda birim kanat hacmi ya da kütlesinden olan ısı atımının boyut optimizasyonu ile iyileştirilmesi uluslararası literatürde yoğun olarak çalışılmaktadır. Örneğin bir çalışmada, kanat kesitindeki parabolik adım değişikliklerinin ısı atımına etkisi teorik olarak analiz edilmekte ve farklı taşınım koşulları için aynı ısı atım performansını veren fakat %3 ile %14 arasında daha az kanat malzemesi kullanan geometrik çözümler sunulmaktadır (Kobus and Cavanaugh 2006). Başka bir çalışmada, boyuna uzatılmış yüzeylerde kanat içerisinde hacimsel ısı üretiminin kanattan olan ısı atımına ve kanat verimine etkisi çalışılmaktadır

(Azarkish et. al. 2010). Farklı taşınım ve ışınım koşulları altında, optimum kanat geometrileri ve bu kanat geometrilerine karşılık gelen ısı transfer miktarları analiz edilmektedir. Elde edilen sonuçlar, kanat içerisinde artan hacimsel ısı üretimi ile kanat veriminin düştüğünü göstermektedir. Diğer bir çalışmada, dikdörtgenel kesitli kanatlarda aynı kanat kütlesini referans olarak kanat kesitindeki basamak değişiminin kanattan olan ısı atımına ve kanat verimine etkisi incelenmektedir (Cuce and Cuce 2014). Elde edilen sonuçlara göre, tek basamak değişikliği ile kanat verimi %2, kanattan olan ısı atımı ise %3.4 oranında iyileşmektedir.

Son yıllarda boyuna kanatlarda oyuk ile birim kanat hacmi ya da kütlesinden olan ısı transferini, kanat verimini ve kanat etkinliğini iyileştirmeye yönelik çalışmalar dikkat çekmektedir. Ancak söz konusu çalışmalarda oyukların sıklıkla kanat boyuna dik ve kanat et kalınlığı boyunca dikkate alındığı anlaşılmaktadır (Maji et. al. 2019). Örneğin bir çalışmada dairesel, üçgenel ve dikdörtgenel oyukların farklı taşınım koşulları altında ısı transferine olan etkileri sayısal ve deneysel olarak incelenmektedir (İbrahim et. al. 2018). Sonuçlar konvansiyonel kanatla karşılaştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre boyuna oyukların ısı kuyularında ısı transfer katsayılarını yaklaşık %35 ile %51 arasında iyileştirildiği vurgulanmaktadır. Çalışılan oyuk tipleri arasında en iyi sonucu dairesel tip verirken, en kötü sonuç üçgenel formdan elde edilmektedir. Dairesel tip oyuk özellikle iğne uçlu kanatlarda ısı kuyularının ısı atım performanslarını iyileştirmek için kullanılmaktadır (Bakhti and Si-Ameur 2019). Dairesel kanatlarda oyukların ısı transfer miktarına etkisi sıklıkla çalışılmakta ve elde edilen bulgular diğer kanatlarla karşılaştırılmaktadır. Rüzgâr tüneline yürütülen deneysel çalışmada oyuklu kanatların, sistem için ağırlık düşüşü sağlamanın yanında ısı atımına pozitif etki ettiği tespit edilmektedir (Nadooshan et. al. 2018). 0.05 ve 0.1 kg/s kütleli debi değerleri için, ısı transfer miktarındaki iyileşmeler %8.78 ve %9.23 olarak belirlenmektedir. Başka bir çalışmada boyuna uzatılmış yüzeylerde parabolik oyukların birim kanat malzemesinden olan ısı atımına etkisi sayısal olarak incelenmektedir (Cuce and Cuce 2013a). Elde edilen

sonuçlar, artan oyuk seviyesi ile birim kanattan olan ısı transferinin önemli ölçüde iyileştiğini göstermektedir. Benzer şekilde, kanat veriminin parabolik oyuk düzeyi ile doğrusal olarak arttığı görülmektedir.

Uzatılmış yüzeylerden ısı transferinde oyuk etkileri alanındaki literatür detaylıca incelendiğinde, farklı geometri ve sayılarda kanat boyunca ısı geçişine dik yönde oluşturulan tasarımlarla çeşitli analizlerin yürütüldüğü görülmektedir. Kanat içerisinde söz konusu oyuk yapılarının birim kanat kütlelerinden olan ısı atımına klasik kanada kıyasla hatırı sayılır ölçüde olumlu etki yaptığı bilinmektedir. Ancak bu tür oyuk tasarımları seri üretime uygun olmayıp, klasik kanat üretimine nazaran ekonomikliği olumsuz etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında, piyasada en yaygın kullanım alanına sahip dikdörtgen kesitli kanatlarda boyuna ancak kanat dış cidarlarında oluşturulacak oyukların ısı atımına, kanat verimine ve kanat etkinliğine olan muhtemel etkileri sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu tarz bir oyuk oluşumu, seri üretime uygun olup, ısı transferi ve hafiflik açısından makul bir tasarımdır ve literatürde ilk kez bu çalışma kapsamında ele alınmıştır.

Bu çalışmanın ana amacı, daha önceki literatürde kanat içerisinde ısı iletimine dik yönde ve kanat et kalınlığı boyunca düşünülen oyukların aksine, kanat boyunca ancak kanat dış kenarlarında ele alınacak dikdörtgenel oyukların, birim kanat hacminden olan ısı atımına, kanat verimine ve kanat etkinliğine olan muhtemel etkilerini, bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz programı olan ANSYS FLUENT ile araştırmak ve sonuçları referans durumu teşkil eden oyuksuz konvansiyonel kanat ile farklı senaryolar üzerinden karşılaştırmaktadır. Önceki çalışmaların aksine kanat dış kenarlarında oyuk oluşturma seri üretime daha uygun ve daha ekonomik bir yaklaşımdır. Oyuklu kanatlar önemli ölçüde kütlelden kazanç temin ettiği için ısı sistemlere ekstra yük getirilmeden arzu edilen ısı regülasyonu sağlama hususunda önemli bir potansiyele sahiptir. Mevcut çalışma bu potansiyeli sayısal olarak analiz etmeyi amaçlamaktadır.

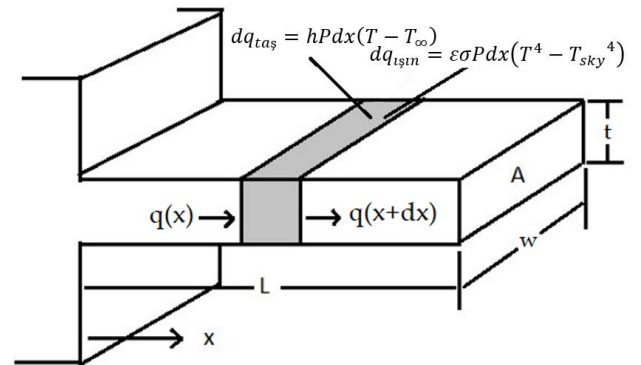
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Teorik Analiz

Uzatılmış yüzeyler, çevrelerine göre daha yüksek sıcaklıkta bulunan ve etkin soğutulması gereken yüzeylerde, ısı transfer yüzey alanının artırılması ile çevre havasına birim zamanda transfer edilen ısı miktarının iyileşmesine katkı yapan ısı kuyularıdır. Şekil 1'de gösterilen dikdörtgen kesitli kanatta, taşınım ve ışınım koşulları altında en genel halde bir boyutta enerji dengesi şu şekilde yazılabilir (Incropera and DeWitt, 2010):

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \left( \frac{1}{A_c} \frac{h dA_s}{k dx} \right) (T - T_\infty) - \left( \frac{1}{A_c} \frac{\epsilon \sigma dA_s}{k dx} \right) (T^4 - T_\infty^4) = 0 \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de  $T(x)$ , kanat boyunca herhangi bir  $x$  değerine karşılık gelen sıcaklığı ifade etmektedir. Öte yandan  $h$ ,  $k$ ,  $\epsilon$  ve  $\sigma$  sırasıyla ortamın ısı taşınım katsayısını, kanat malzemesinin ısı iletim katsayısını, kanatın ışınım yayma oranını ve Stefan-Boltzmann sabitini ifade etmektedir.  $T_\infty$  çevre havası sıcaklığıdır.



Şekil 1. Uzatılmış yüzeylerden ısı transferinde enerji dengesi (Incropera and DeWitt 2010).

Eşitlik (1)'de boyuna dikdörtgenel kanat profili için  $dA_s/dx$  teriminin kanat çevresine ( $P$ ) eşit olduğundan hareketle, ışınım ile ısı geçişi ihmal edildiğinde ve kanat malzemesinin ısı iletim katsayısının sabit olduğu düşünüldüğünde, kanat için bir boyutlu enerji dengesi eşitliği Eşitlik (2)'deki gibi basitleştirilebilir:

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{hP}{kA_c} (T - T_\infty) = 0 \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de  $T - T_\infty$  ifadesi  $\theta$  ile yer değiştirilirse Eşitlik (3)'teki ifade elde edilir.

$$\frac{dT}{dx} = \frac{d\theta}{dx}, \quad \frac{d^2T}{dx^2} = \frac{d^2\theta}{dx^2} \quad (3)$$

Buradan hareketle ilgili sadeleştirmelerde Eşitlik (4)'teki ifade elde edilir.

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - \frac{hP}{kA_c}\theta = 0 \quad (4)$$

Eğer  $hP/kA_c$  terimi  $m^2$  ile yer değiştirilirse

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - m^2\theta = 0 \quad (5)$$

sadeleşmiş ifadesi elde edilir. Eşitlik (5)'teki 2. mertebeden diferansiyel denklemin çözümü

$$\theta = C_1 e^{-mx} + C_2 e^{mx} \quad (6)$$

olarak elde edilir. Eşitlik (6)'daki  $C_1$  ve  $C_2$  integrasyon sabitleri olup, değerleri ilgili sınır koşullarından hesaplanmaktadır. Uzatılmış yüzeyler sıklıkla belirli bir başlangıç sıcaklığına sahip sıcak yüzeyin doğal ya da zorlanmış taşınımına soğutulması uygulamalarında karşımıza çıktığı için,  $C_1$  ve  $C_2$  integrasyon sabitlerinin hesaplanmasında, kanat dibinde sabit yüzey sıcaklığı sınır koşulu, kanat ucunda ise taşınımın ısı geçişi sınır koşulu Eşitlik (7, 8 ve 9)'daki gibi yazılır.

$$\theta = T_b - T_\infty = \theta_b \quad (7)$$

$$-kA_c \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=L} = hA_c(T(L) - T_\infty) \quad (8)$$

$$-k \left. \frac{d\theta}{dx} \right|_{x=L} = h \theta(L) \quad (9)$$

Verilen sınır koşulları altında diferansiyel denklem çözüldüğünde kanat boyunca sıcaklık dağılımı ve kanattan olan ısı geçişi Eşitlik (10 ve 11)'deki gibi elde edilir:

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x) + \frac{h}{mk} \sinh m(L-x)}{\cosh mL + \frac{h}{mk} \sinh mL} \quad (10)$$

$$Q = \sqrt{hPkA_c} \theta_b \frac{\sinh mL + \frac{h}{mk} \cosh mL}{\cosh mL + \frac{h}{mk} \sinh mL} \quad (11)$$

Uzatılmış yüzeylerde kanat verimi, kanattan atılan ısının, o koşullarda kanattan atılabilecek maksimum ısıya oranı olarak tanımlanmaktadır.

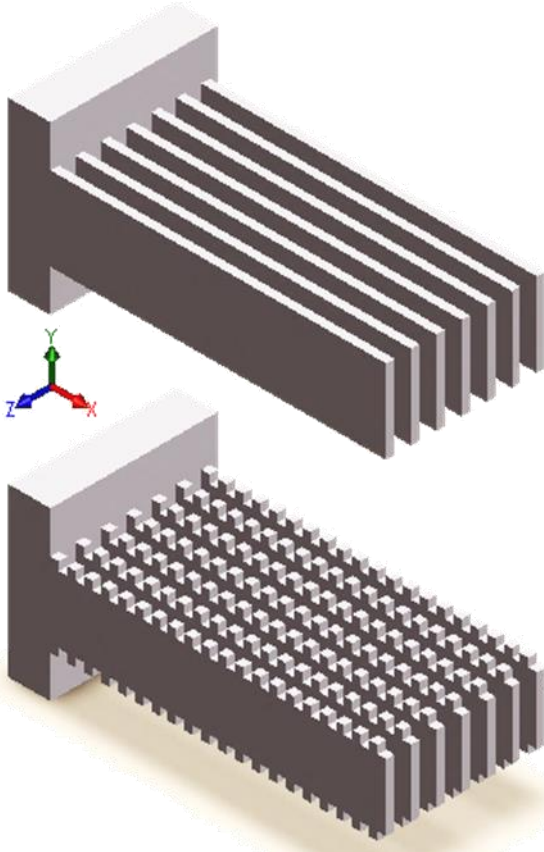
$$\eta = \frac{Q}{Q_m} \quad (12)$$

Eşitlik (12)'de  $Q_m$ , kanat boyunca sıcaklık, kanat taban sıcaklığına eşit olduğu durumda kanattan atılan ısıyı ifade etmektedir. Kanat etkinliği ise, kanattan atılan ısının, kanat olmaması durumunda taşınımın kanat tabanından atılan ısıya oranı olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik (13)'te  $Q_t$ , kanatsız durumda kanat dibinden olan ısı atımını vermektedir.

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_t} \quad (13)$$

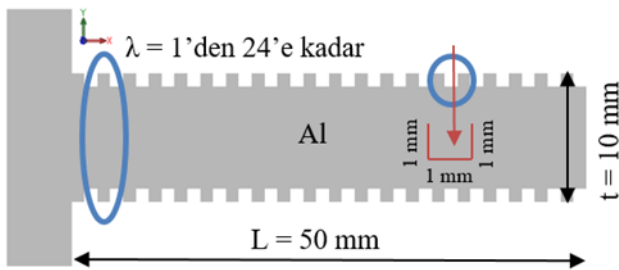
## 2.2 Oyuklu Dikdörtgensel Kanat Geometrisi

Bu çalışma kapsamında kanat boyunca kanat dibinden itibaren göz önünde bulundurulmuş dikdörtgensel oyuk çiftlerinin birim kanat hacminden olan ısı atımına, kanat verimine ve kanat etkinliğine olan etkileri sayısal olarak çalışılmaktadır. Her bir oyuk çifti ( $\lambda$ ) sayısı için elde edilen bulgular Şekil 2'de gösterildiği gibi konvansiyonel durumu temsil eden oyuksuz kanat ile karşılaştırılmaktadır.



**Şekil 2.** Konvansiyonel ve oyuklu uzatılmış yüzeylerin oluşturduğu temsili ısı kuyuları.

Çalışmada ele alınan problem PV modüllerin aktif soğutulması ve bu bağlamda ısı kuyularındaki oyuk etkileri olduğundan, referans kanat geometrisi için PV sistemlerde kullanılan kanat profillerine benzer bir yaklaşım tercih edilmiştir.



**Şekil 3.** Çalışmada kullanılan kanat geometrisi.

Bu bağlamda, kanat boyu (L) 50 mm, kanat yüksekliği (t) 10 mm ve kanat genişliği (w) 1 mm seçilmektedir. Şekil 3'te verilen oyuklu kanat için oyuk çifti sayısı ( $\lambda$ ) kanat dibinden itibaren 1'den 24'e kadar değiştirilmekte ve analizler her bir durum için tekrarlanmaktadır. Çalışma kapsamında kanat boyunca kanat kenarı üzerinde 1 mm<sup>2</sup> yüzey alanına sahip dikdörtgenel oyuk çiftleri ön görülmektedir. Kanat malzemesi olarak 202.4 W/mK ısı iletkenliğe

sahip alüminyum tercih edilmektedir. Bunun sebebi kanatçık üretiminde en yaygın kullanılan malzemenin saf alüminyum ve alüminyum alaşımları olmasıdır. Alüminyum bakıra göre çok daha hafif, ucuz ve kolay işlenebilen bir malzemedir. Bu nedenle bu tarz uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Problemde sınır koşulları olarak kanat tabanında sabit yüzey sıcaklığı ve kanat ucunda taşınım sınır koşulu kabulü yapılmıştır. PV modüllerin standart test koşullarında hücre sıcaklığı 70-90 °C arasında değişmektedir. Bu sebeple kanat taban sıcaklığı ortalama bir değer olarak 353.15 K alınmaktadır. Kanattan ortama ısı atımında ise üç farklı zorlanmış taşınım koşulu için ( $h=25, 50$  ve  $100$  W/m<sup>2</sup>K) analizler tekrarlanmaktadır.

### 2.3. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi

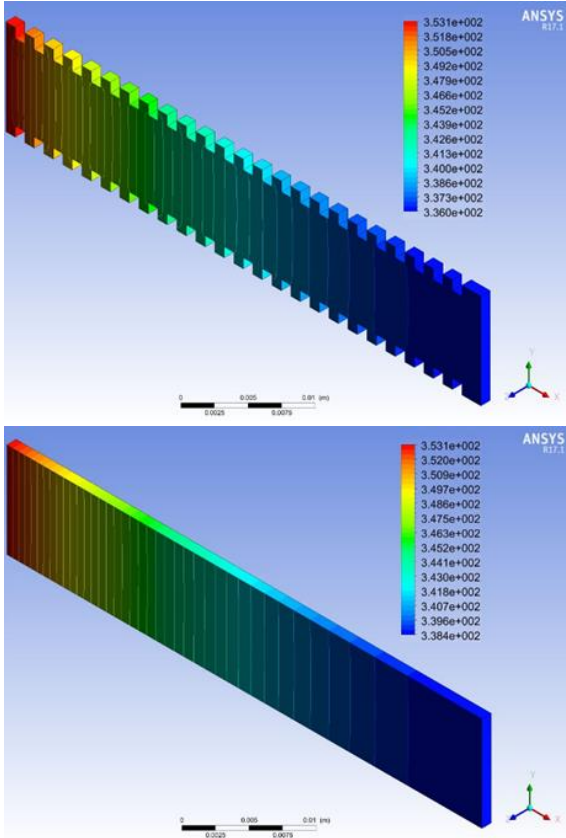
Çalışmada konvansiyonel ve oyuklu kanatlardan olan ısı transferi analizlerinde güvenilir ve gerçekçi bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz programı olan ANSYS FLUENT 17.1 kullanılmaktadır. Sürekli rejim koşullarında kanat boyunca enerji denklemi  $e = 10^{-9}$  yakınsama kriteri ile çözülmektedir. Ağlamada dikdörtgenel ağlar tercih edilmekte ve üç farklı hücre sayısında yürütülen analizlerle ağ bağımsız çözüm elde edilmektedir. İlgili analizlerde hücre sayıları 2,000,000, 3,000,000 ve 3,750,000 olarak belirlenmiştir. Her bir oyuk ayrıtı 1 mm olduğu için 100  $\mu$ m ayrıtıya sahip hücre elemanlarıyla sayısal hesaplamalar yürütülmüştür. Optimum ağda (her mm için 10 ağ noktası) oyuksuz kanattan olan teorik ısı transfer miktarı  $h = 25$  W/m<sup>2</sup>K için 1.2501 W olarak hesaplanırken, sayısal yolla elde edilen ısı atımı 1.2516 W olarak belirlenmektedir. Bu da teorik ve sayısal sonuçlar arasında konvansiyonel durum için %0.12 mertebesinde bir hataya karşılık gelmektedir. Teorik hesaplamalarda Maple yazılımı kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

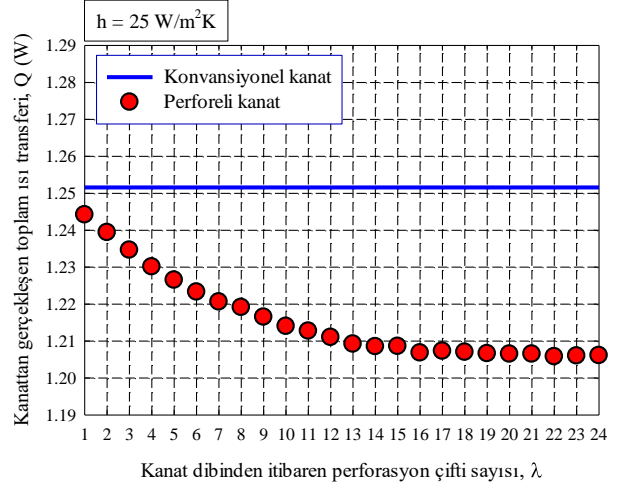
Sonuçların ilk bölümünde sürekli rejimde oyuklu ve klasik kanat içerisinde statik sıcaklık kontörleri Şekil 4'teki gibi sunulmaktadır. Ele alınan kanat profiline ait boyutsal parametreler ve işletme koşullarına ait karakteristikler şu şekildedir: Kanat boyu L=50 mm,



kanat yüksekliği  $t=10$  mm, kanat genişliği  $w=1$  mm, oyuk çifti sayısı  $\lambda=24$ , kanat taban sıcaklığı  $T_b = 353.15$  K, serbest akış ortam sıcaklığı  $T_\infty=298.15$  K, ısı taşınım katsayısı  $h=25$  W/m<sup>2</sup>K, kanat malzemesi alüminyum ve ısı iletim katsayısı  $k=202.4$  W/mK. Oyuk etkisi ile kanat boyunca sıcaklık dağılımının önemli ölçüde etkilendiği anlaşılmaktadır. İlgili sonuçlar  $h = 25$  W/m<sup>2</sup>K zorlanmış taşınım koşulu için elde edilmiş olup,  $\lambda = 24$  için kanat kütlesindeki belirgin düşüşe dikkat çekilmektedir. Oyuk kesiti incelenirse, uzatılmış yüzey boyunca göz önünde bulundurulmuş oluklama işleminin taşınım ile ısı geçişinde toplam ısı transfer yüzey alanını değiştirmedeği anlaşılabilecektir. Ancak malzemedeki boyuna kütle düşüşünün ısı atımını bir miktar kötüleştireceği, bununla birlikte birim hacim ya da kütle başına ısı transferinin artacağı tahmin edilmektedir ki bu problem mevcut araştırmanın yenilikçi yönünü ortaya koymaktadır.

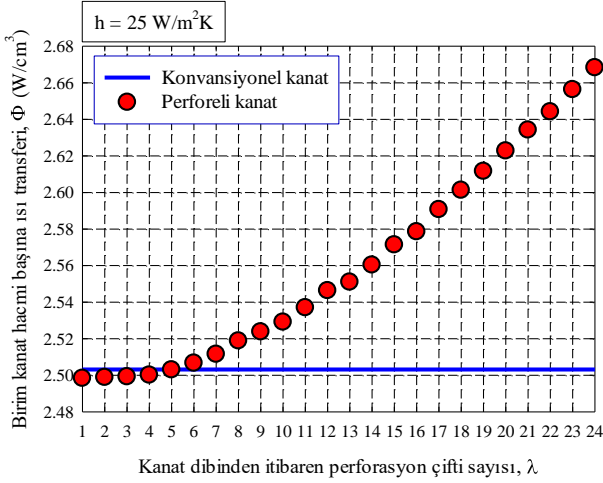


Şekil 4. Konvansiyonel ve oyuklu uzatılmış yüzeyler için kanat boyunca sıcaklık dağılımı.

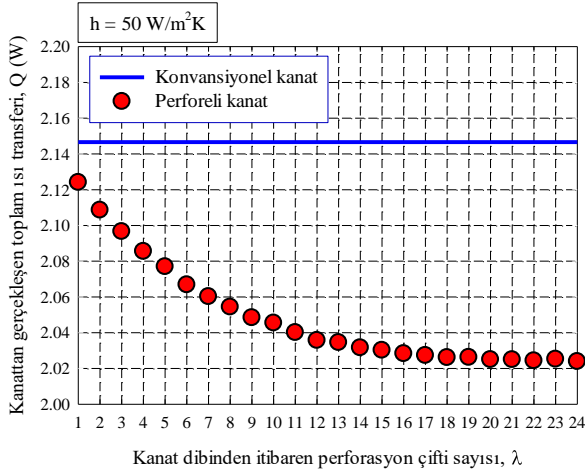


Şekil 5.  $h=25$  W/m<sup>2</sup>K için konvansiyonel ve farklı değerlerine sahip oyuklu kanattan atılan toplam ısı miktarı.

Üç farklı zorlanmış taşınım koşulu için ( $h = 25, 50$  ve  $100$  W/m<sup>2</sup>K) klasik ve oyuklu kanattan olan toplam ısı geçişi ve birim kanat hacmi başına ısı geçiş miktarları sayısal olarak elde edilmiştir. Şekil 5'te  $h=25$  W/m<sup>2</sup>K için ilgili karşılaştırmalar sunulmuştur. Oyuksuz kanattan atılan ısı miktarı  $1.2516$  W olarak belirlenmiştir. Öte yandan, artan  $\lambda$  değeri ile oyuklu kanattan olan ısı geçişi  $1.2442$  W'tan  $1.2061$  W'a üstel olarak azalma göstermekte ve bu değere yakınsamaktadır. İlk bakışta oyuklu kanadın daha düşük performans gösterdiği düşünülebilir. Ancak, Şekil 6'da sunulan birim hacim başına ısı transfer miktarları dikkate alındığında,  $h = 25$  W/m<sup>2</sup>K için  $\lambda = 6$ 'dan itibaren oyuklu kanadın kayda değer şekilde daha üstün performans gösterdiği anlaşılmaktadır. Birim kanat hacmi başına ısı transferi ( $\Phi$ ) klasik kanat için  $2.5032$  W/cm<sup>3</sup> iken,  $\lambda = 24$  için bu değer  $2.6683$  W/cm<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.



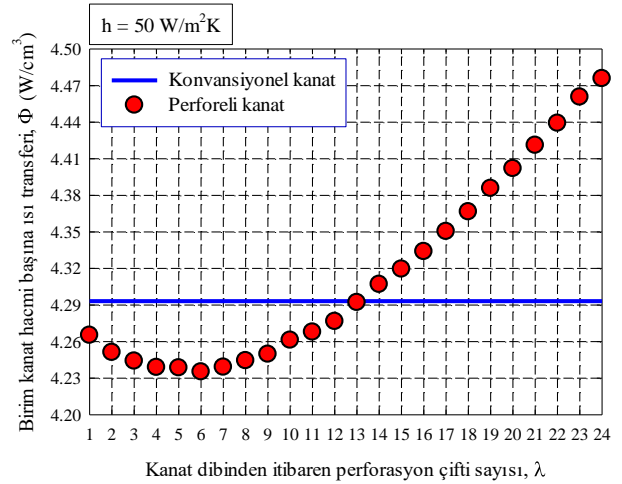
**Şekil 6.**  $h=25 \text{ W/m}^2\text{K}$  için konvansiyonel ve farklı  $\lambda$  değerlerine sahip oyuklu kanattan birim kanat hacmi başına atılan toplam ısı miktarı.



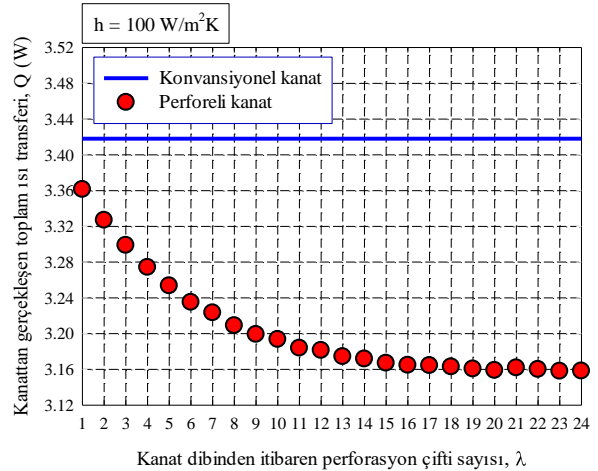
**Şekil 7.**  $h=50 \text{ W/m}^2\text{K}$  için konvansiyonel ve farklı  $\lambda$  değerlerine sahip oyuklu kanattan atılan toplam ısı miktarı.

Şekil 7'de  $h=50 \text{ W/m}^2\text{K}$  için kanatlardan olan toplam ısı transferi birbiriyle kıyaslamalı olarak verilmektedir. Oyuksuz kanattan atılan ısı miktarı 2.1456 W olarak hesaplanmıştır. Öte yandan, artan  $\lambda$  değeri ile oyuklu kanattan olan ısı geçişi 2.1241 W'tan 2.0239 W'a üstel olarak azalma göstermekte ve  $\lambda=20$ 'den sonra bir değişiklik yaşanmamaktadır. Benzer şekilde ilgili verilerden hareketle oyuklu kanadın daha düşük performans gösterdiği zannedilebilir. Ancak, Şekil 8'de sunulan birim hacim başına ısı transfer miktarları dikkate alındığında,  $h=50 \text{ W/m}^2\text{K}$  için  $\lambda=14$ 'ten itibaren oyuklu kanadın kayda değer şekilde daha üstün performans gösterdiği anlaşılmaktadır. Birim kanat hacmi başına ısı transferi ( $\Phi$ ) klasik kanat için  $4.2932 \text{ W/cm}^3$  iken,  $\lambda=24$  için bu değer  $4.4758 \text{ W/cm}^3$  olarak elde

edilmiştir.  $h=25 \text{ W/m}^2\text{K}$  koşuluna kıyasla,  $h=50 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'de kanat hacmi başına ısı atımının oyuklu kanatlarda klasik kanat durumuna göre daha büyük  $\lambda$  değerlerinde (6'dan 14'e) iyileştiği görülmüştür. Elbette ki bu durum taşınım koşullarındaki iyileşmenin bir sonucudur. Artan  $h$  değerleriyle kanat boyunca düşünülen oyukların klasik kanada kıyasla ısı atımındaki etkinliği azalmaktadır. Bu sebeple oyuklu kanatların, aktif yöntemlerin aksine, pasif soğutma uygulamalarında daha etkin çalışacağı rahatlıkla söylenebilir (Grubisic-Cabo et. al. 2018).



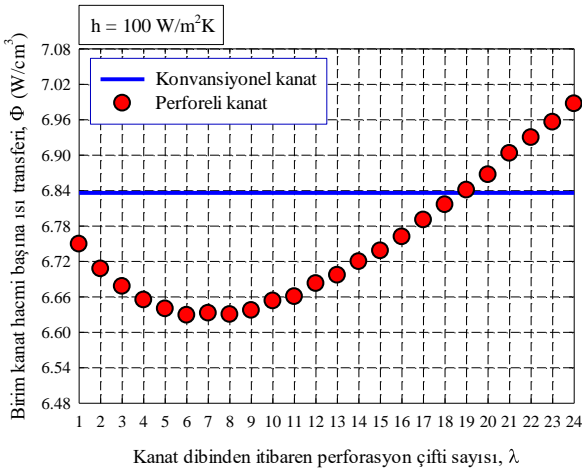
**Şekil 8.**  $h=50 \text{ W/m}^2\text{K}$  için konvansiyonel ve farklı  $\lambda$  değerlerine sahip oyuklu kanattan birim kanat hacmi başına atılan toplam ısı miktarı.



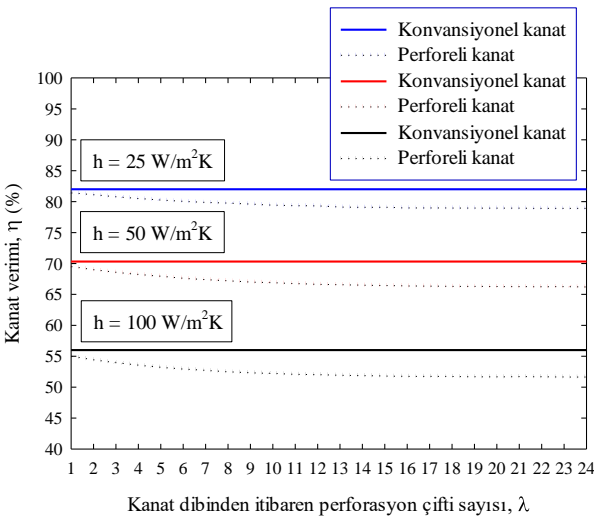
**Şekil 9.**  $h=100 \text{ W/m}^2\text{K}$  için konvansiyonel ve farklı  $\lambda$  değerlerine sahip oyuklu kanattan atılan toplam ısı miktarı.

Şekil 9'da  $h=100 \text{ W/m}^2\text{K}$  için kanat profillerinden olan toplam ısı transferi birbiriyle karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Klasik kanattan atılan ısı miktarı 3.4181 W olarak belirlenmektedir. Öte yandan, artan  $\lambda$  değeri ile oyuklu kanattan olan ısı

geçiş 3.3613 W'tan 3.1582 W'a üstel olarak azalmaktadır. Şekil 10'da birim hacim başına ısı transfer miktarları dikkate alındığında,  $h=100$  W/m<sup>2</sup>K için  $\lambda=19$ 'dan itibaren oyuklu kanadın kayda değer şekilde daha üstün performans gösterdiği anlaşılmaktadır. Birim kanat hacmi başına ısı transferi ( $\Phi$ ) klasik kanat için 6.8362 W/cm<sup>3</sup> iken,  $\lambda=24$  için bu değer 6.9871 W/cm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. Ancak dikkat edilecek olursa, zorlanmış taşınım koşulları belirginleştikçe, oyuklu kanatların klasik kanat durumuna göre birim hacim başına ısı atımındaki üstünlüğü azalmaktadır.



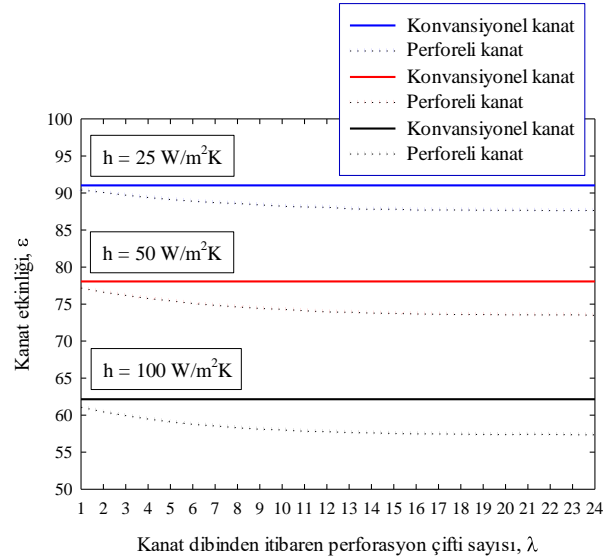
**Şekil 10.**  $h=100$  W/m<sup>2</sup>K için konvansiyonel ve farklı  $\lambda$  değerlerine sahip oyuklu kanattan birim kanat hacmi başına atılan toplam ısı miktarı.



**Şekil 11.** Üç farklı zorlanmış taşınım koşulu için konvansiyonel ve farklı  $\lambda$  değerlerine sahip oyuklu kanat verimlerinin kıyaslanması.

Şekil 11'de sunulan verim değerlerinden anlaşılacağı üzere gerek klasik gerekse oyuklu kanat için artan ısı

taşınım katsayısı ile kanat verimi azalmaktadır.  $h=25$ , 50 ve 100 W/m<sup>2</sup>K için konvansiyonel kanat verimi sırasıyla %82.0, %70.3 ve %55.9 olarak hesaplanmıştır. Öte yandan, oyuklu kanatta artan  $\lambda$  değeri ile kanat veriminin üstel olarak azaldığı görülmüştür. Nihayetinde her üç durumda da kanat verimi belirli bir değere yakınsamaktadır. Bu değerler  $h = 25, 50$  ve  $100$  W/m<sup>2</sup>K için sırasıyla %79.0, %66.3 ve %51.7 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 11.** Üç farklı zorlanmış taşınım koşulu için konvansiyonel ve farklı  $\lambda$  değerlerine sahip oyuklu kanat etkinliklerinin kıyaslanması.

Kanat verimine benzer bir eğilim kanat etkinliği ( $\epsilon$ ) için de elde edilmiştir. Şekil 12'de gösterildiği gibi artan ısı taşınım katsayısı ile  $\epsilon$  azalmaktadır. Artan oyuk seviyesi ile kanat etkinliği üstel olarak azalmaktadır.  $h=25$ , 50 ve 100 W/m<sup>2</sup>K için konvansiyonel kanat etkinliği sırasıyla 91.0, 78.1 ve 62.1 olarak elde edilmiştir. Öte yandan,  $\lambda=24$  için aynı taşınım koşullarında  $\epsilon$  değeri 87.7, 73.6 ve 57.4 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki oyuklu kanatlar birim hacim başına kanattan atılan ısı miktarına kayda değer ölçüde olumlu etki etmektedir. Bu anlamda hafiflik gerektiren aktif ya da pasif soğutma uygulamaları için anahtar bir çözüm olarak düşünülebilirler. Bunun yanında konvansiyonel kanata kıyasla verim ve etkinlik değerleri rekabetçi bir eğilim sergilemektedir. Özetle başta PV sistemlerin maliyet-etkin soğutulması olmak üzere (Cuce and Cuce 2013b, Cuce and Cuce 2013c) farklı

uygulamalarda temel performans parametrelerinin iyileştirilmesinde tercih edilebilirler. Klasik dikdörtgenel kanatçıkların, bina entegreli PV sistemlerde hücre tipine bağlı olarak pasif soğutma ile çıkış gücünde % 5'e varan iyileşme sağladığı önceki sayısal çalışmalardan anlaşılmaktadır. Oyuklu kanat tasarımı ile arzu edilen elektriksel iyileşmenin daha hafif sistem konfigürasyonları ile yapılabileceği bu çalışmadan çıkarılabilecek önemli bir sonuçtur.

Artan ısı taşınım katsayısı değerlerinde, oyuk etkilerinin yüksek  $\lambda$  değerlerinde belirgin olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, doğal taşınımın zorlanmış taşınımına geçildikçe Nusselt sayılarında artış meydana gelmesi, bir diğer ifadeyle ısı geçişinde taşınım etkilerinin iletim etkilerine baskınlığının artmasıdır. Yüksek taşınım koşulları altında, uzatılmış yüzeylerin ısı atımındaki rolünün azalması beklenen bir durumdur.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada kanatlarda boyuna oyukların kanattan olan toplam ısı geçişine ve birim kanat hacminden olan ısı atımına etkileri sayısal olarak incelenmektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular ve tavsiyeler şu şekilde sıralanabilir:

- Uzatılmış yüzeylerde kanat kenarı boyunca ele alınan dikdörtgenel oyuklar kanat yapısında ciddi ağırlık düşüşü sağlamaktadır.
- Oyuklu kanatlarda konvansiyonel kanata kıyasla kanattan olan toplam ısı atımı azalmaktadır. Ancak, birim kanat hacmi başına ısı atımı referans alınırca, oyuklu kanatlar oldukça etkin konfigürasyonlar olarak kendini göstermektedir.
- $h=25 \text{ W/m}^2\text{K}$  için, oyuksuz kanattan atılan ısı miktarı  $1.2516 \text{ W}$  olarak hesaplanmaktadır. Artan  $\lambda$  değeri ile oyuklu kanattan olan ısı geçişi  $1.2442 \text{ W}$ 'tan  $1.2061 \text{ W}$ 'a üstel olarak azalma göstermektedir.
- Ancak, birim kanat hacmi başına ısı transferi ( $\Phi$ ) klasik kanat için  $2.5032 \text{ W/cm}^3$  iken,  $\lambda =24$  için bu değer  $2.6683 \text{ W/cm}^3$  olarak belirlenmektedir.
- Artan ısı taşınım katsayısı ile oyuğun kanat performans parametrelerine olan etkisi düşmektedir.

- Düşük ısı taşınım katsayıları için kanat verimi ve etkinliği değerleri klasik ve oyuklu kanatta yakın sonuçlar vermektedir. Artan  $\lambda$  değeri ile hem  $\eta$  hem de  $\epsilon$  üstel olarak azalmaktadır.

- $h=25, 50$  ve  $100 \text{ W/m}^2\text{K}$  için konvansiyonel kanat verimi sırasıyla %82.0, %70.3 ve %55.9 olarak hesaplanmıştır. Oyuklu kanatta ise  $\lambda=24$  için ilgili değerler %79.0, %66.3 ve %51.7 olarak elde edilmiştir.

- $h=25, 50$  ve  $100 \text{ W/m}^2\text{K}$  için konvansiyonel kanat etkinliği sırasıyla 91.0, 78.1 ve 62.1 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler oyuklu kanatta  $\lambda=24$  için 87.7, 73.6 ve 57.4 olarak elde edilmiştir.

- Hafifliğin ve birim hacim başına ısı atımının önem arz ettiği soğutma uygulamalarında oyuklu kanat tasarımlarının kullanımı tavsiye edilmektedir.

#### 5. Kaynaklar

Ali, H.M., Ashraf, M.J., Giovannelli, A., Irfan, M., Irshad, T.B., Hamid, H.M., Hassan, F. and Arshad, A., 2018. Thermal management of electronics: An experimental analysis of triangular, rectangular and circular pin-fin heat sinks for various PCMs. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **123**, 272-284.

Azarkish, H., Sarvari, S.M.H. and Behzadmehr, A., 2010. Optimum geometry design of a longitudinal fin with volumetric heat generation under the influences of natural convection and radiation. *Energy Conversion and Management*, **51**, 1938-1946.

Bakhti, F.Z. and Si-Ameur, M., 2019. A comparison of mixed convective heat transfer performance of nanofluids cooled heat sink with circular perforated pin fin. *Applied Thermal Engineering*, **159**, 113819.

Cuce, E. and Cuce, P.M., 2013a. Effects of concavity level on heat loss, effectiveness and efficiency of a longitudinal fin exposed to natural convection and radiation. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, **23** (7), 1169-1178.

Cuce, P.M. and Cuce, E., 2013b. Passive cooling of building-integrated photovoltaics (BIPVs) for better electrical performance. *MEGS IV Annual Conference, Public Engagement with Energy. 12–13 September 2013, Loughborough, United Kingdom*.

Cuce, E. and Cuce, P.M., 2013c. Tilt angle optimization of building-integrated photovoltaics (BIPVs) for cooler operating temperatures. *MEGS IV Annual Conference, Public Engagement with Energy. 12–13 September 2013, Loughborough, United Kingdom*.

- Cuce, E., Oztekin, E.K. and Cuce, P.M., 2019. Heat transfer enhancement in cylindrical fins through longitudinal parabolic perforations. *International Journal of Ambient Energy*, **40** (4), 406-412.
- Cuce, P.M. and Cuce, E., 2014. Optimization of configurations to enhance heat transfer from a longitudinal fin exposed to natural convection and radiation. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, **9** (4), 305-310.
- Grubisic-Cabo, F., Nizetic, S., Coko, D. and Kragic, I.M., 2018. Experimental investigation of the passive cooled free-standing photovoltaic panel with fixed aluminum fins on the backside surface. *Journal of Cleaner Production*, **176**, 119-129.
- Guo, K., Zhang, N. and Smith, R., 2018. Design optimisation of multi-stream plate fin heat exchangers with multiple fin types. *Applied Thermal Engineering*, **131**, 30-40.
- Ibrahim, T.K., Mohammed, M.N., Mohammed, M.K., Najafi, G., Sidik, N.A.C., Basrawi, F., Abdalla, A.N. and Hoseini, S.S., 2018. Experimental study on the effect of perforations shapes on vertical heated fins performance under forced convection heat transfer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **118**, 832-846.
- Incropera, F.P. and DeWitt, D.P., 2010. Isı ve kütle geçişinin temelleri (4. Basım). Taner Derbentli (çeviri editörü), Literatür Yayıncılık, 400-500.
- Kobus, C.J. and Cavanaugh, R.B., 2006. A theoretical investigation into the optimal longitudinal profile of a horizontal pin fin of least material under the influence of pure forced and pure natural convection with a diameter-variable convective heat transfer coefficient. *Journal of Heat Transfer*, **128** (8), 843-846.
- Maji, A., Bhanja, D., Patowari, P.K. and Kundu, B., 2019. Thermal analysis for heat transfer enhancement in perforated pin fins of various shapes with staggered arrays. *Heat Transfer Engineering*, **40**, 295-319.
- Nadooshan, A.A., Kalbasi, R. and Afrand, M., 2018. Perforated fins effect on the heat transfer rate from a circular tube by using wind tunnel: An experimental view. *Heat and Mass Transfer*, **54**, 3047-3057.
- Yang, X., Lu, Z., Bai, Q., Zhang, Q., Jin, L. and Yan, J., 2017. Thermal performance of a shell-and-tube latent heat thermal energy storage unit: Role of annular fins. *Applied Energy*, **202**, 558-570.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 055902 (941-950)

AKU J. Sci.Eng.20 (2020) 055902 (941-950)

DOI: 10.35414/akufemubid.746254

Araştırma Makalesi / Research Article

## Kaplama Yapılmış Enjektör Gövde Millerinin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması

Hüseyin BAYRAKÇEKEN<sup>1\*</sup>, Recai KUŞ<sup>2</sup>, Seyit AYTEKİN<sup>3</sup><sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya<sup>3</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

\*Sorumlu yazar e-posta: bceken@aku.edu.tr

recaikus@gmail.com

seyitaytekin91@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1572-4859>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7705-7924>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7739-3709>

Geliş Tarihi: 01.06.2020

Kabul Tarihi: 06.10.2020

### Öz

Günümüz içten yanmalı motorlar içerisinde dizel motorları önemli bir yer tutmaktadır. Her ne kadar egzoz emisyonları nedeniyle kullanımları azalmış olsa da deniz araçları, jeneratörler, raylı sistem araçları, su motorları gibi farklı alanlarda kullanımları devam etmektedir. Dizel motorlarının en önemli donanımlarından birisi de yakıt sistemi olup, Common Rail başta olmak üzere çok çeşitli yakıt sistemleri kullanılmaktadır. Dizel yakıt sistemlerinde yüksek basınç pompası ve enjektör parçaları çok hassas imal edilmektedirler. Common Rail enjektörler çok yüksek basınç (1400-2000 bar) altında çalışmaktadırlar. Bu durum enjektörün nozzle, iğne, mil ve valf gibi parçalarında kolay hasara neden olabilmektedir. Bu çalışmada, Common Rail enjektör gövde mili kaplanmasının etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, yapılan çalışmada ticari taşıt motorlarında kullanılan 3 adet dizel enjektör, farklı kaplamalar yapılarak standart enjektör ile yakıt püskürtme değerleri ve çalışma sonrası mil yüzeyindeki aşınmalar kıyaslanmıştır. Üç adet enjektör gövde mili sırası ile Cr(Krom), TiN(Titanyum Nitrür), ALTiN (Alüminyum Titanyum Nitrür) kaplanarak standart enjektör ile çalışma testleri yapılmıştır. ALTiN ve TiN kaplama yapılmış gövde milleri PVD ark yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Cr kaplı mil ise sıvı daldırma yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama sonrası mil pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Enjektörler 90 saat boyunca sürekli çevrim oluşturularak çalışma testleri yapılmıştır. Testler sonucunda kaplama yapılan millerin standart enjektör katalog değerlerini sağladığı, püskürtme miktarlarının  $\pm$  toleransı aralığında olduğu ve kaplamanın enjektörlerde kullanılmasına uygun olduğu tespit edilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Yüzey Kaplama; Common Rail; Enjektör; Pürüzlülük; PVD Kaplama

## Investigation of Physical Properties of Injector Body Shafts with Plated

### Abstract

Diesel engines have an important place in today's internal combustion engines. Although use of the engines has decreased due to exhaust emissions, the engines continue to be used in different fields such as marine vehicles, generators, rail system and water vehicles. One of the most important equipment of diesel engines is the fuel system, especially such as common rail system with wide usage area. High pressure pump and injectors parts are manufactured very precisely in diesel fuel systems. Common-Rail injectors operate under very high pressure (1400-2000bar). This can cause easy damage injector parts such as nozzle, needle, shaft and valve. In this study, the effects of coating the common rail injector were investigated. For this purpose, different coatings were made on 3 diesel injectors which used in commercial vehicle engines and then fuel injection values and wear on the shaft surface after operation were compared with the standard injector. Body shafts covered with ALTiN and TiN are coated using the PVD arc method. Three injector body shafts were coated with Cr, TiN, ALTiN, respectively and working tests were performed with standard injectors. Cr coated shaft is coated using liquid immersion method. After the coating, the shaft roughness values were measured. The injectors were continuously tested by creating a cycle for 90 hours. As a result, it was determined that the coated shafts provided the original injector catalogue values, the spray quantities were within the  $\pm$  tolerance range and the coating was suitable for use in injectors.

### Keywords

Surface Coating; Common Rail; Injector; Roughness; PVD Coating

## 1. Giriş

Dizel motorların, son zamanlarda öneminin azaldığı düşünülse de güç, performans vb özellikleri nedeniyle farklı kullanım alanlarında yoğun bir şekilde görevlerini sürdürmektedir. Yakıt sistemi teknolojisi ve püskürtme sistemi dizel motorlarının performansını etkileyen en önemli unsurlardır. İyi bir yanma verimi için, atomize bir enjeksiyon ve hızlı tetikleme süresi ile yakıtın, tutuşma sağlanarak optimum motor gücü elde edilmesi sağlanır. Dizel motorlarında yakıt sistemi oldukça hassas ve önemli olmasının yanı sıra maliyeti de oldukça yüksektir. Bazı tip enjektörler arızalandığında müdahale etmek mümkün olmadığından, enjektörü komple değiştirme yoluna gidilmektedir. Enjektörlerin en sık görülen arızası, enjektör valf seti yüzey hasarları ve gövde mili aşınmasına bağlı yakıt kaçakları ve yanma odası ile temas halinde olan enjektör memesi korozyon hasarlarıdır.

Dizel motorlarının yakıt ve enjeksiyon sistemi üzerinde oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar yakıtın atomizasyonu, yanma, homojen dağılım vb farklı alanlarındadır. Yakıt sistemi elemanlarının ömürlerini artırmak içinde bazı çalışmalar yapılmıştır. Malzeme ömür artışı için farklı kaplama-taşlama yapılması otomotiv sektöründe çokça kullanılan yöntemlerdir. Kaplama, taşlama, yakıt sistemi elemanları gibi farklı unsurlarla ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Taşlama işleminde yüzey kalitesini etkileyen en önemli unsurun, taşlanan yüzeyin kalitesi ve taşlama taşının kabiliyeti olduğu belirlenmiştir. Taşlanacak yüzeyin kullanım alanı göz önünde bulundurularak taşlama taşı belirlenmelidir. Yüksek yapışma oranı, tanecik büyüklüğü ve parça tepkisi aşınmayı ve yüzey kalitesini etkileyen etkenlerdir (Nguyen, 2018).

İyi bir taşlama için malzeme yüzeyindeki ısı artışının önemi vurgulanmıştır. Taşlama esnasında yüzeyde sıcaklık 600 °C'yi aştığında yüzeyde yanma olduğu

görülmüştür. Taşlamada yanma meydana gelmesinin nedeni, kesme sıcaklığının yükselmesinin, yüzey oksidasyonunun ve demir dışı oksitlerin birikmesinin alevlenmeye neden olduğunu belirlemişlerdir. Sıcaklık sürekli olarak 802 °C' ye yükseldiğinde, taşlama kılcal çatlakları görünür hale geldiğini ve termal çatlaklar gözlemlendiği tespit edilmiştir(Lin, 2018).

Mukavemetli kaplama türü olan ALTİN kaplama hakkında yapılan araştırmada, ark iyon kaplama (AIP) ile ALTİN kaplamaları (s-ALTİN) ve (c-ALTİN) numunesi kullanılmıştır. İki farklı kaplamanın kimyasal bileşimi, mikro yapısı, sertlik, yıpranma özellikleri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Sonuç olarak, s-ALTİN kaplamanın c-ALTİN kaplamasının tipik kolon yapısı yerine daha pürüzsüz bir kaplama yüzeyi ve daha yoğun bir mikro yapı sergilediğini belirlenmiştir. s-ALTİN kaplama, geleneksel AIP ile üretilen c-ALTİN kaplamasına kıyasla daha yüksek bir sertlik, daha düşük bir sürtünme katsayısı ve daha iyi aşınma direnci sergilediği belirlenmiştir (Xiao, 2017).

Sertlik değerleri 40, 43, 52, 57 ve 62 HRC olan farklı numuneler krom kaplanarak malzeme yorulma ömürleri araştırılmıştır. Tüm numuneler 20 Hz frekansta, 7,5 kN gerilme yükünde (R:0,1) numune testleri yapılmış ve çatlak başlangıcını ve çatlak yayılmasını kaydetmek için belirli sayıda döngüden sonra optik mikroskop altında incelenmiştir. Düşük sertlik değerinde kromun etkisiz olduğunu, ancak komponent sertliğinin 62 HRC olduğu takdirde yorulma ömrünün %62 oranında arttığı belirlenmiştir (Mukhtar, 2018).

Çok delikli bir dizel enjektörün motorlarda düzgün olmayan yakıt dağıtımı ve yanma, emisyon bozukluğu araştırılmıştır. Yakıt enjeksiyon miktarı bakımından delikler arasında yaklaşık % 1 tutarsızlık elde edilmiştir. Alt katmandaki meme deliklerinin (4 delik) yakıt enjeksiyon miktarlarının, üst katmandaki meme deliklerinin (4 delik) yakıt enjeksiyon miktarlarından %5-15 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu durumun, nozul deliklerinin



karşılaştığı farklı akış direnci değerlerine bağlı olduğu belirlenmiştir (Tong, 2018).

Kesici takım olan matkap üzerine yapılan ALTİN ve TİALN kaplamanın yüzey aşınması ve deformasyon incelemesi üzerine yapılan çalışmada ALTİN kaplı matkabın yüksek sıcaklıklarda daha etkili dayanım sergilediği ve TİALN kaplı matkabın ise birim yüzeye düşen yükü daha etkili yaydığı buda daha az ısıya neden olduğu belirlenmiştir (Beake, 2017).

Kaplama işlemi, yoğunlaşma, çekirdeklenme, ara yüz oluşumu ve filmlerin veya kaplamaların kalınlığını etkileyen birçok faktöre bağlı olduğu ortaya konularak yapışma oranı film kalitesini buna bağlı kaplama kalınlığını belirlediği ifade edilmiştir (Mattox, 2018).

## 2. Materyal ve Metot

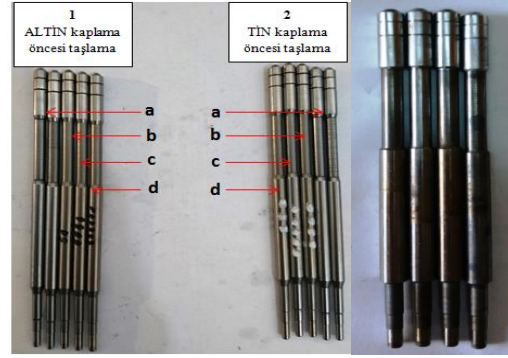
Yapılan deneysel çalışmada, Bosch marka common rail yüksek basınç sistemi ile çalışan enjektörler tercih edilmiştir. Enjektörler; Euro 3-5 norm motor tiplerinde kullanıma uygun, 4-6 silindri 250-450 kW güç üreten, 14-19/1 sıkıştırma oranına sahip, 4-9 lt silindir hacmine sahip motorlarda kullanılabilir. Kademeli püskürtme yapabilme, çok delikli girdap akım püskürtme özelliğine sahiptir. Testler, biri standart enjektör ve farklı kaplamalı üç enjektör milinde olmak üzere toplam 4 adet farklı enjektör üzerinde yapılmıştır.

Enjektör gövde milleri kaplama sonrası ölçü değişmemesi için önce taşlama işlemi yapılarak standart mil çap ölçüsünden düşürülmüştür. 3 adet numunenin her biri ALTİN (Alüminyum titanyum nitrür), TİN (Titanyum nitrür), Cr (Krom) kaplanmıştır. Enjektörün çalışma basınçları, yakıt dağılımı, ani yüklemeler durumunda yakıt atomizasyon değişimleri, damlama, yakıt kaçırma vb. enjektör çalışmasını etkileyen parametreler test edilmiştir.

Taşlama İşleme; Enjektör gövde milleri kaplama işlemi yapılmadan önce 0,003-0,013 mm arasında silindirik taşlama yapılmıştır. Gövde milleri puntalı taşlama yöntemi kullanılarak taşlanmıştır. Taşlama işlemi 120 kum tanecik yapısında, %98 oranında

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kimyasal bileşiğe sahip, ısıl işlem çelikleri, takım çelikleri, özel çelikler ve paslanmaz çeliklerin taşlanmasında kullanıma uygun taşlama taşı kullanılarak 0,001 mm paso miktarı ile hassas taşlama yapılmıştır.

Malzeme üzerinde taşlama sırasında oluşan rezonans, yüzey çizgi yönlerinin üniform özellik taşınması ve kaplama malzemesinin çizgisel boşlukları eşit şartlarda doldurması için punta mili devri saat yönüne ters olacak şekilde 2500 d/d ve taşlama taşı devri saat yönünde 20.000 d/d olarak yapılmıştır.



Şekil 1. Farklı ölçülerde taşlanmış gövde milleri (ALTİN (Alüminyum titanyum nitrür), TİN (Titanyum nitrür), Cr (Krom))

Şekil 1' de görülen gövde milleri gruplandırılarak taşlanmıştır. ALTİN kaplama yapılan 1 numaralı mil grubu ve TİN kaplama yapılan mil grubu ise 2 numaralı mil grubu olarak adlandırılmıştır. Çizelge 1.de taşlama yapılan millerin ölçüleri görülmektedir.

Çizelge 1. Taşlama sonrası gövde millerinin ölçümleri yapılarak taşlama değerleri.

| Kaplama çeşidi | a            | b(μm) | c(μm) | d(μm) |
|----------------|--------------|-------|-------|-------|
| ALTİN          | Orijinal mil | -4    | -8    | -12   |
| TİN            | Orijinal mil | -8    | -10   | -8    |



## 2.1 ALTİN, TİN ve Cr Kaplama İşlemi

Kaplama PVD ark (Fiziksel Buharlaştırma Yöntemi) ile kaplama malzemesinin buharlaştırılıp fırın içerisinde asal gaz ile doldurulması ile yapılmıştır. ALTİN ve TİN kaplama sonrasında malzeme yüzeyinde 8 µm kalınlık elde edilmiştir. Buhar fazdaki kaplama malzemesi potada sabit duran mil yüzeyine yüksek hızda bombardıman edilmiştir. Çizelge 2.de ALTİN ve TİN kaplama özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. TİN ve ALTİN kaplamanın özellikleri.

| Özellikler                     | TİN         | ALTİN         |
|--------------------------------|-------------|---------------|
| Renk                           | Altın rengi | Antrasit/mavi |
| Sertlik (Hv 0,05)              | >2400       | 3300          |
| Maksimum sıcaklık °C           | 500         | 700           |
| Maksimum tabaka kalınlığı (µm) | 3           | 3             |
| Sürtünme katsayısı             | 0.40        | 0.37          |
| Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>    | 5.2         | 5.1           |
| Yüzey pürüzlülüğü (Ra µm)      | 0.20        | 0.20          |

Diğer kaplama çeşitlerine göre PVD teknolojisi ile kaplanmış millerin en büyük avantajı, yüksek sertlikteki çeliklerinin kimyasal yapısını etkilemeden daha düşük sıcaklıklarda kaplama yapılmış olmasıdır. Kaplama sıcaklığı 200–700 °C maksimum sıcaklıklarda yapıldığı için kaplama kalitesi bozulmadan homojen bir kaplama yapılabilmiştir. Şekil 2’de TİN ve ALTİN kaplama yapılmış miller verilmiştir.



Şekil 2. TİN ve ALTİN kaplanmış gövde mili

ALTİN ve TİN kaplama işleminden sonra krom kaplama yapılmıştır. Krom kaplama sıvı daldırma yöntemi ile yapılmıştır. Krom’un sürtünme katsayısı oldukça düşüktür. Aşınmaya karşı olan direnci yüksek olup, istenilen sertlik değerlerinin elde edilmesi sağlanabilmektedir. (James2003). Kaplama kalınlığı akım yoğunluğu, malzeme yüzeyi ve millerin sıvı içerisinde kalma süresi ile değişmektedir. Krom kaplama kalınlığı 2,5-500 µm aralığında yapılmaktadır (Guffie, 1989). Çizelge 3’de krom metalinin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. Krom kaplama metalinin fiziksel özellikleri (IntKyn. 1)

|                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| Özgül ağırlığı: | 4,1 – 4,9 g/cm <sup>3</sup> |
| Rengi:          | Parlak siyah                |
| Sertliği:       | 5,5                         |
| Çizgi rengi:    | Kahverengi                  |
| Genellikle      | manyetik                    |
| özelliği yoktur |                             |



Şekil 3. Kaplanmış kromlu miller

Şekil 3’de krom kaplama yapılmış mil gösterilmiştir.

Çizelge 4. Kaplama sonrası kromlu mil ölçü değişimi

|   | Standart mil çap ölçüsü (mm) | Taşlanmış mil ölçüsü (mm) | Kaplama sonrası çap ölçüsü (mm) | Değişim (mm) (Standart ölçüye göre çap artışı) |
|---|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | 4,029                        | -0,005                    | -0,004                          | +0,004   |
| 2 | 4,029                        | -0,004                    | 0,005                           | +0,005   |
| 3 | 4,029                        | -0,009                    | +0,000                          | 0,000  |
| 4 | 4,029                        | -0,003                    | +0,006                          | +0,006   |

ALTİN ve TİN kaplı millerde herhangi talaş kaldırma işlemi yapılmamıştır. Kaplama sonrası 65 HRC sertlik değeri elde edilmiştir. Çizelge 5’da ALTİN kaplama sonrası mil çapındaki ölçü değişimi verilmiştir.

Çizelge 5. ALTİN kaplı mil ölçü değişimi

|   | Standart mil çap ölçüsü (mm) | Taşlanmış mil ölçüsü (mm) | Kaplama sonrası çap ölçüsü (mm) | Değişim (mm) (Standart ölçüye göre çap artışı) |
|---|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | 4,029                        | -0,017                    | -0,009                          | -0,008   |
| 2 | 4,029                        | -0,008                    | 0,000                           | 0,000  |
| 3 | 4,029                        | -0,003                    | +0,005                          | +0,005   |
| 4 | 4,029                        | 0,000                     | +0,008                          | +0,008   |

Kaplama sonucunda standart ölçü değerine 4,029 mm değeri elde edilmiştir. Çizelge 6’da TİN kaplama sonrası mil çapındaki ölçü değişimleri verilmiştir.

Çizelge 6. TİN kaplı mil ölçü değişimi

|   | Standart mil çap ölçüsü (mm) | Taşlanmış mil ölçüsü (mm) | Kaplama sonrası çap ölçüsü (mm) | Değişim (mm) (Standart ölçüye göre çap artışı) |
|---|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | 4,029                        | -0,003                    | +0,005                          | +0,005   |
| 2 | 4,029                        | 0,000                     | +0,011                          | +0,011   |
| 3 | 4,029                        | -0,015                    | -0,007                          | +0,005   |
| 4 | 4,029                        | -0,008                    | 0,000                           | 0,000  |

## 2.2 Enjektör Çalışma Testleri

Biri standart olmak üzere farklı kaplama yapılmış dört adet enjektör mili montajı test cihazına yapılmıştır. Enjektörlerin başlangıç basıncı 160 Mpa olarak belirlenmiştir. Enjektörler marş anı, yakıt doldurma, hızlanma, sabit hız, gaz kesme, rölanti ve yakıt geri dönüş miktarı ölçümleri yapılmıştır. Her bir enjektörün testi sürekli çevrim oluşturularak test edilmiştir. Kaplama yapılan enjektörlerin ve standart ölçüye sahip enjektörlerin ortalama yakıt değerleri karşılaştırması yapılarak enjektör püskürtme

miktarları elde edilmiştir. Çizelge 7’de enjektörlere yapılan testler ve değer tablosu verilmiştir.

Çizelge 7. Enjektör çalışma testi parametreleri

| Yapılan Test | Basınç (Bar) | Devir (d/d) | Enjektör tetiklenme süresi (ms) |
|--------------|--------------|-------------|---------------------------------|
| Tam gaz      | 1400         | 1000        | 2000<br>170gr ±7                |
| Sabit hız    | 600          | 1000        | 700 31 gr ±7                    |
| Rölanti      | 250          | 2500        | 1000 16,5 gr ±5.3               |
| Sızdırmazlık | 1400         | 900         | 0                               |

Çizelge 8. Enjektör çalışma değer tablosu

| Yapılan Test | Basınç (Bar) | Devir (d/d) | Enjektör tetiklenme süresi (ms) | Katalog Değerleri Yakıt miktarı (gr) |
|--------------|--------------|-------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Tam gaz      | 1400         | 1000        | 2000                            | 170,00 ±7                            |
| Sabit hız    | 600          | 1000        | 700                             | 31,00 ±7                             |
| Rölanti      | 250          | 2500        | 1000                            | 16,50 ±5.3                           |
| Sızdırmazlık | 1400         | 900         | 0                               | 0                                    |

Testler temel kullanım koşullarına aşağıdaki durumlara göre yapılmıştır.

**Hızlanma (tam yük testi);** Taşıtın hızlanma anında gaz pedalına tam basıldığı, ani tepkime durumundaki testi içermektedir. Hızlı basınç artışı durumunda enjektör püskürtme değerleri karşılaştırılmıştır. Tolerans değeri 7,7mm<sup>2</sup>/mg olarak testler yapılmıştır.

**Gaz kesme (yakıt kesme testi);** Basıncı ve devri yüksek olan enjektör çalışmasının aniden sürücünün gaz pedalından ayağını çektiği durum oluşturulmuştur. Devir artırılarak basınç düşürülmüş ve yakıt kesme durumu oluşturulur. Basınç 250 bar indirgenirken, devir 2500 d/d yükseltılarak test yapılmıştır.

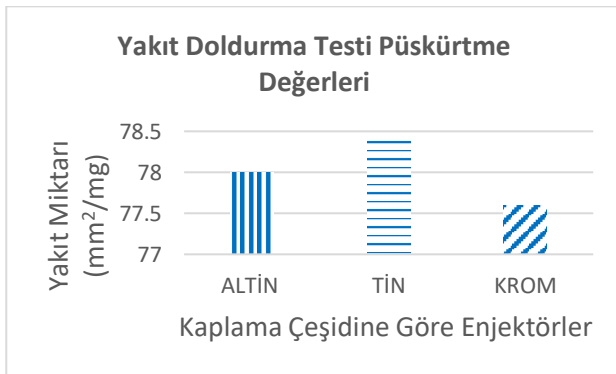
**Ön (pilot) püskürtme testi;** Piston Ü.Ö.N’ ya çıkarken yaklaşık 10-12° KMA değerinde, dizel yakıtının yanma gecikmesini engellemek için bir

miktar yakıt yanma odasına gönderilmektedir. Pilot püskürtme, ana yakıt tutuşmasının ve yanmasının verimli şekilde olmasını sağlamaktadır. Enjektör tetikleme değerleri kısılarak püskürtme miktarları düşürülmüştür. Bu testte basınç 1000 bara kadar yükseltilmiş devir ise 3000 d/d olacak şekilde test yapılmıştır. Püskürtülmesi gereken yakıt miktarı 3 mm<sup>2</sup>/mg olarak belirlenmiştir.

**Sızdırmazlık testi (tam yük basınç);** Yakıt sızıntısı, enjektörlerin zamanla aşınarak piston üzerine küçük miktarlarda yakıt damlatmasına neden olur. Bu testte basınçlı yakıt enjektöre gönderilerek hiçbir tetikleme sinyali verilmemiştir. Basınç altında enjektör içerisindeki sızdırmazlık kiti durumu ölçülmüştür. Damlatan ve yakıt kaçıran valf seti belirlenerek değişimi yapılmıştır. Sistem basıncı 1400 bar ve devir 900 d/d olacak şekilde testler yapılmıştır.

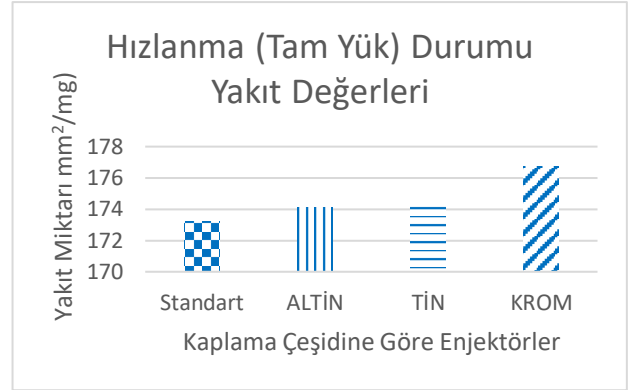
### 2.3. Enjektör Çalışma Testleri

Şekil 4-8'de ALTİN, TİN, Cr ve standart ölçüdeki enjektörlerin çalışma sonucunda ortalama yakıt püskürtme grafiği verilmiştir. Test süresince enjektörlerin en düşük yakıt sıcaklığı 38 °C ve en yüksek yakıt sıcaklığı 55 °C olarak ölçümler yapılmıştır. Standart enjektör püskürtme verileri ile karşılaştırma yapılarak testler uygulanmıştır. Min. 200, max. 2500 bar basınç altında enjektör testleri yapılmıştır.



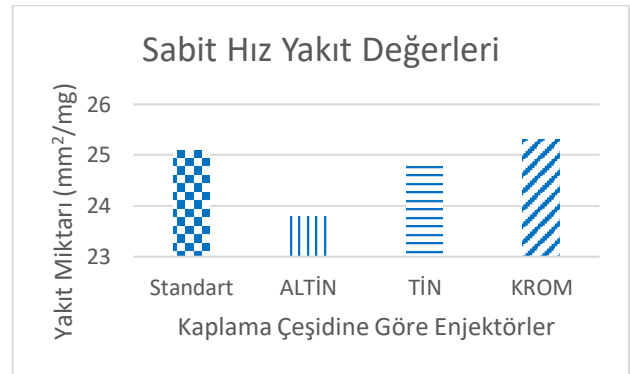
Şekil 4. Yakıt doldurma testi verileri

Şekil 4'de standart enjektöre göre kaplama yapılmış enjektörlerin püskürtme değerleri görülmektedir. Bu test tamir bakım işlemi görmüş enjektörlerin kıyaslanması özellikle de enjektör conta ve bağlantılarında kaçak tespiti amacıyla yapılmaktadır.



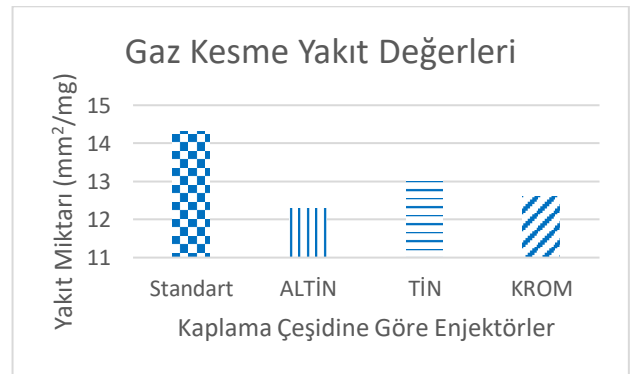
Şekil 5. Tam yük testi verileri

Tam yük testinde ani basınç artışı durumu gerçekleştirilmiştir. Bu test, 1400 bar basınç, 1000 d/d., 2000 ms tetikleme yapılarak uygulanmıştır.



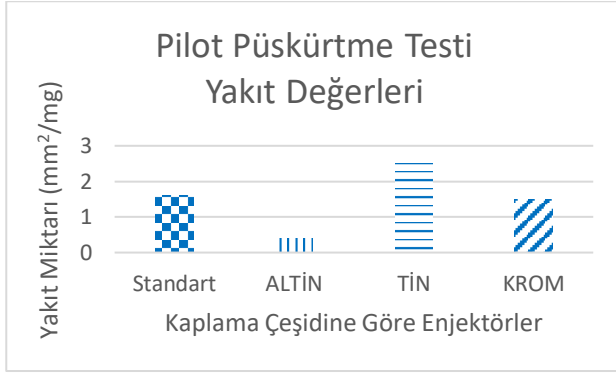
Şekil 6. Sabit hız testi verileri

Sabit hız testi yakıt basınç ve test devrinin dengede olduğu durumdur. Bu test, 600 bar basınç, 1000 d/d., 700 ms tetikleme yapılarak uygulanmıştır.



Şekil 7. Gaz kesme testi verileri

Gaz kesme testinde, enjektöre gelen yakıtın aniden kesilmesi ile oluşan değerler elde edilmiştir. Bu test, 250 bar basınç, 2500 d/d., 1000 ms tetikleme yapılarak uygulanmıştır.



Şekil 8. Pilot püskürtme verileri

Pilot püskürtme testinde enjektörün kademeli püskürtme durumu test edilmiştir. Bu test, 1400 bar basınç, 900 d/d., 300 ms tetikleme yapılarak uygulanmıştır.

#### 2.4. Mil Yüzey Pürüzlülüğü Değişimi

Kaplama yapılan gövde milleri doğrudan kullanıma uygun değildir. Bunun temel nedeni, yüzey pürüzlülük değerlerindeki artış miktarıdır. Standart enjektör gövde milindeki yüzey kalitesi kaplama yapılan mil yüzeylerinden oldukça düşük hassasiyete sahiptir. Bu değer Ra: 0,066  $\mu\text{m}$  Rz: 0,610  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Kaplama yapılan mil yüzey pürüzlülükleri 1,5 kat artış gösterdiği belirlenmiştir. Çizelge 8-11'de standart mil, ALTİN, TİN ve Cr kaplama yapılan millerdeki yüzey pürüzlülük değerleri değişimi verilmiştir.

Çizelge 8. Standart gövde mili yüzey pürüzlülüğü değişimi

|  | Standart gövde mili            |                                   |                                |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|  | Lt= 4,8 mm (0,8x5)             | ISO 16610-21/ 0,8 mm              |                                |
|  | Standart mil ( $\mu\text{m}$ ) | Kaplama sonrası ( $\mu\text{m}$ ) | Test Sonrası ( $\mu\text{m}$ ) |
| Ra   | 0,066                          | -                                 | 0,068                          |
| Rz   | 0,610                          | -                                 | 0,611                          |
| Dik:0,5 $\mu\text{m}$ / böl; Yatay: 0,8 mm/böl |                                |                                   |                                |

Çizelge 8'da aritmetik ortalama sapma değeri 0,066  $\mu\text{m}$ , max. derinlik ortalama değeri ise 0,610  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.

Çizelge 9. ALTİN kaplama yapılmış gövde mili yüzey pürüzlülüğü değişimi

|  | ALTİN kaplanmış gövde mili     |                                   |                                |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|  | Lt= 4,8 mm (0,8x5)             | ISO 16610-21/ 0,8 mm              |                                |
|  | Standart mil ( $\mu\text{m}$ ) | Kaplama sonrası ( $\mu\text{m}$ ) | Test Sonrası ( $\mu\text{m}$ ) |
| Ra   | 0,065                          | 0,108                             | 0,070                          |
| Rz   | 0,608                          | 1,536                             | 0,713                          |
| Dik:0,5 $\mu\text{m}$ / böl; Yatay: 0,8 mm/böl |                                |                                   |                                |

Çizelge 9'de yüksek amper değerinde (yaklaşık 150-200 Amper) elementler üst üste yoğunlaşmış ve pürüzlü bir yüzey elde edilmiştir. Kaplama sonrası Ra: 0,108  $\mu\text{m}$  ve 1,536  $\mu\text{m}$  değeri elde edilmiştir. Bu değer kullanıma uygun değildir. Test sonrası Ra: 0,070  $\mu\text{m}$  ve 0,713  $\mu\text{m}$  değeri elde edilmiştir.

Çizelge 10. TİN kaplama yapılmış gövde mili yüzey pürüzlülüğü değişimi

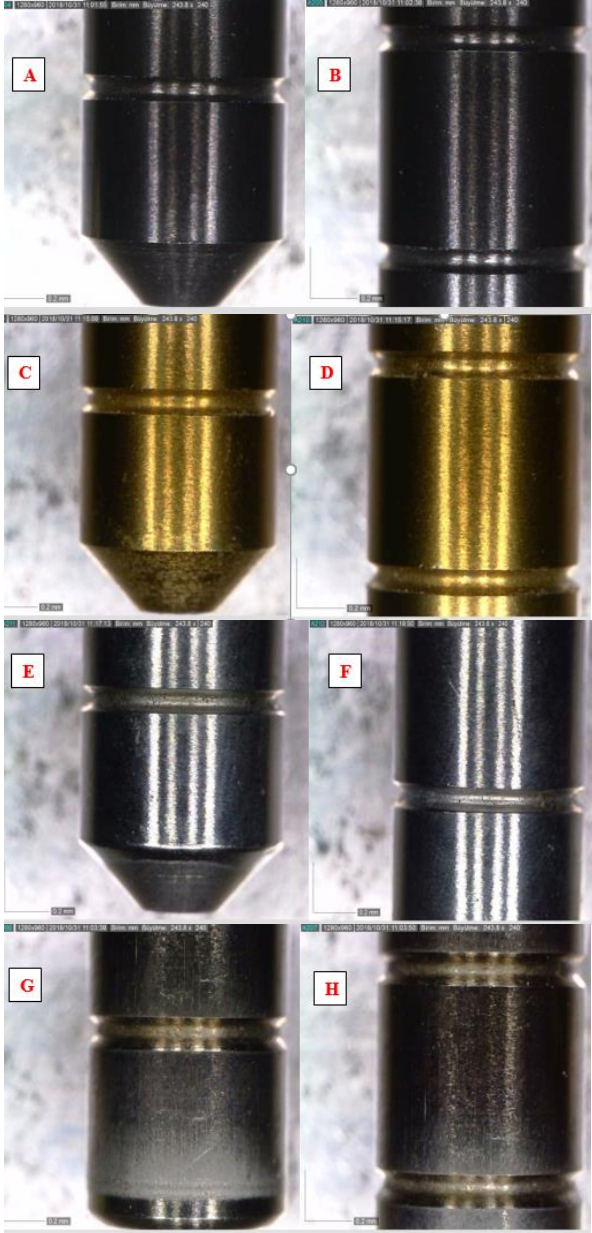
|  | TİN kaplanmış gövde mili       |                                   |                                |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|  | Lt= 4,8 mm (0,8x5)             | ISO 16610-21/ 0,8 mm              |                                |
|  | Standart mil ( $\mu\text{m}$ ) | Kaplama sonrası ( $\mu\text{m}$ ) | Test Sonrası ( $\mu\text{m}$ ) |
| Ra   | 0,059                          | 0,126                             | 0,074                          |
| Rz   | 0,595                          | 1,419                             | 0,765                          |
| Dik:0,5 $\mu\text{m}$ / böl; Yatay: 0,8 mm/böl |                                |                                   |                                |

Çizelge 11. Krom kaplama yapılmış gövde mili yüzey pürüzlülüğü değişimi

|  | Cr kaplanmış gövde mili        |                                   |                                |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|  | Lt= 4,8 mm (0,8x5)             | ISO 16610-21/ 0,8 mm              |                                |
|  | Standart mil ( $\mu\text{m}$ ) | Kaplama sonrası ( $\mu\text{m}$ ) | Test Sonrası ( $\mu\text{m}$ ) |
| Ra   | 0,071                          | 0,117                             | 0,083                          |
| Rz   | 0,633                          | 1,308                             | 0,684                          |
| Dik:0,5 $\mu\text{m}$ / böl; Yatay: 0,8 mm/böl |                                |                                   |                                |

Çizelge 10'de kaplama sonrası Ra: 0,126  $\mu\text{m}$  ve Rz: 1,419  $\mu\text{m}$  değeri elde edilmiştir. Yapılan enjektör testlerinden sonra Ra: 0,074  $\mu\text{m}$  ve Rz: 0,765  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.

Çizelge 11’de krom kaplama kalınlığı 1-5  $\mu\text{m}$  arasında değişim göstermiştir. Yapılan ölçüm sonucu kaplama sonrası Ra: 0,117  $\mu\text{m}$  ve Rz: 1,308  $\mu\text{m}$  olduğu tespit edilmiştir. Krom önce taşlama yapılarak daha sonra elmas tozu yardımı ile hassas yüzey oluşturulmuştur. Test sonrası ölçümler Ra: 0,083  $\mu\text{m}$  ve Rz: 0,684  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.



**Şekil 9.** Enjektör testi sonrası millerin yüzeyinde meydana gelen aşınmalar (A, B) TiN kaplama, (C, D) AlTiN kaplama, (E, F) Cr kaplama ve (G, H) standart mil

## 2.5. Mil Aşınma Değişimi

Valf seti ve gövde mili birbiri içerisinde 0,001 mm boşluk hassasiyeti ile çalışmaktadır. Kaplanmış gövde millerinde tekrarlı çatlaklar oluşmadığı, orijinal mil yüzeyinde ise doğrusal çizikli bir yapının oluştuğu belirlenmiştir. Aşınmanın, iki katı yüzey arasında basıncı ve sıcaklığı artmış olan dizel yakıtının, küçük yakıt buharı tabakaları oluşturduğu ve bu mikro boşlukların patlaması ile sıvı akışının hızla boşluğa akışının malzeme yüzeyinin aşındırdığı tespit edilmiştir. Aşınan gövde millerinde valf yatağı içerisinde mikron düzeyde boşluk artışına neden olduğu bu durumdan dolayı enjektör yakıt püskürtme değerlerini etkilediği görülmüştür. Oluşan aşınmaların ani basınç değişimlerine ve gaz tepkimesine bağlı yakıt akış hızının yüzeylerde mikro düzeyde aşınma başlangıcına neden olduğu tekrarlı bir şekilde devam ettiği için zamanla doğrusal çizilmelere ve malzeme kopasına neden olduğu gözlenmiştir. Orijinal mil yüzeyi yüzde yüz pürüzsüz olmadığı için mil yüzeylerinde aşınmaya bağlı çukurlaşma oluşmuş ve kopan yüzey parçalarının dizel yakıtı ile valf koniğinden geçerken yakıt miktarını değişimine neden olmuştur. Kaplanmış mil yüzeyinde benzer deformasyon oluşumu görülmemiş ve koruyucu etki sağlamıştır.

## 3. Tartışma ve Sonuç

ALTiN kaplamanın kimyasal bileşimlerden, korozif aşındırıcılardan dolayı sıcak ve basınca bağlı yüzey hasarlarına uğramadığı görülmüştür.

TiN, ALTiN, CrN ve CrALN kaplamalar paslanmaz çelik yüzeyine katodik ark yöntemi ile kaplandıktan sonra mikro sertlik ve oksidasyon direnci araştırıldığında ALTiN ve CrALN kaplamalar daha iyi oksidasyon direncine sahip olduğu tespit edilmiştir (Chim, 2009).

TiN kaplama yapılmış milde, yüzeyde çizikli ve aşınmaya uğrayan bir yüzey yapısı ortaya çıkmamıştır. Kaplama malzemesi yüzeyde iyi bir tribolojik koruyucu etki göstermiştir. Valf içerisine temas eden yüzey üzerinde herhangi bir kaviteasyon aşıntısı görülmemiştir.

TiN kaplama yapılan yüzeyler üzerinde çalışma yapılmış, kaplanmış çelik yüzeyler, kaplamasız paslanmaz çelik yüzeylerinden daha iyi kaviteasyon ve erozyon direnci göstermiştir. TiN kaplama ve değişik bağ sayısındaki aynı kaplamanın kaviteasyon erozyonuna karşı en iyi korumayı sağladığı görülmüştür (Krella, 2013).

Krom kaplama yapılmış millerde, krom mil yüzeyinde malzeme tokluğu, yüksek aşınma mukavemeti, verimli bir kaplama ve homojen yapı etkisi göstermiştir. Krom malzemesi çalıştığı yüzey yapısını aşındırmadan çalışmış ve standart mil pürüzlülüğüne en yakın değer elde edilmiştir.

Krom kaplama ile ilgili yapılan bir çalışmada, SM45C hafif karbon çeliği üzerine yapılan krom kaplama ile Fe<sub>2</sub>O (demir oksit) oluşumu gözlenmiştir. Krom kaplama ile malzeme yüzeyinde aşınma ve korozyon direncinin etkili bir şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir (Nam2004).

Standart milde, mil şaft kısmında boyuna hasarlar meydana gelmiştir. Yüksek basınçlı yakıt yüzeyler arasında aşındırma yapmıştır. Valf ve gövde mili birbiri içerisinde hareketinin sonucu olarak da aşınma hızlanmıştır. Mil hareketi doğrusal olduğu için aşınma tek yönde ve mil temas yüzeylerinde yoğun, valf alt noktalarına gelen yüzeyde azalan aşınma göstermiştir. Mil üst yüzeyi basınca en fazla maruz kalan kısım olması sebebi ile aşınma daha fazla olmuştur.

Sonuç itibari ile kaplama yapılan yüzeyler enjektör çalışma eşik değerlerinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Standart enjektör katalog yakıt değerlerine çok yakın püskürtme miktarı elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan enjektörler (±) sapma toleransı değerleri içerisinde olduğu görülmüştür. Kaplama yapılan enjektörler de standart enjektöre göre aynı yük ve devir aralığında tam yük testi dışında bütün testlerde yakıt miktarlarında 0,1–3,0 mm<sup>2</sup>/mg yakıt düşüşü görülmüştür. Yakıt düşüşü maliyette verimlilik ve yedek parçada ömür eğrisinin artması anlamına gelmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi 17.FEN.BİL.77 numaralı BAP projesi tarafından desteklenmiştir.

## 4. Kaynakça

- Beake B.D., Endrino J.L., Kimpton C., Fox-Rabinovich G.S., Veldhuis S.C. (2017), Elevated temperature repetitive micro-scratch testing of AlCrN, TiAlN and AlTiN PVD coatings, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, (69), 215-226
- Chim Y.C., Ding X.Z., Zeng X.T., Zhang S., (2009), Oxidation resistance of TiN, CrN, TiAlN and CrAlN coatings deposited by lateral rotating cathode arc, *Thin Solid Films*, (517), 4845-4849
- Guffie R.K. (1989), Hard Chromium Plating Products Finishing, 70-78
- James H., Lindsay J., (2003), Decorative Hard Chromium Plating, *Plating and Surface Finishing*. (90), 22-24
- Krella A.K., (2013), Cavitation erosion resistance of Ti/TiN multilayer coatings, *Surface and Coatings Technology*, (228), 115-123
- Lin K. B., Zhou, J. Guo Q. Y., Liu W., Wang J. (2018), Influence of grinding parameters on surface temperature and burn behaviors of grinding rail, *Tribology International*, (122), 151-162
- Mattox D.M., (2018), Chapter 8 Condensation, Nucleation, Interface Formation, and Film Growth, *The Foundations of Vacuum Coating Technology*, (2), 221-240.
- Mukhtar F, Qayyum F, Anjum Z, Shah M., (2018), Effect of chrome plating and varying hardness on the fretting fatigue life of AISI D2 components, *Wear*.
- Nam K.S., Lee K.H., Kwon S.C., Lee D.Y., Song Y.S., (2004), Improved wear and corrosion resistance of chromium(III) plating by oxy nitro carburizing and steam oxidation, *Materials Letters*, (58), 3540-3544



Nguyen D.T., Yin S, Tang Q, Son P. X, Duc L. A., (2018), Online monitoring of surface roughness and grinding wheel wear when grinding Ti-6Al-4V titanium alloy using ANFIS-GPR hybrid algorithm and Taguchi analysis. *Precision Engineering*.

Tong L, Jiang S, Moro A, Wang C, Zhou L., Luo F., (2018), Measurement and validation of hole-to-hole fuel injection rate from a diesel injector. *Flow Measurement and Instrumentation*. (61), 66-78

Xiao B. J.,Chen Y, Dai W, Kwork K.Y., Teng-ZhangT.F., (2017), Microstructure, mechanical properties and cutting performance of AlTiN coatings prepared via arc ion plating using the arc splitting technique, *Surface and Coatings Technology*, (311), 98-103

#### **İnternet Kaynakları**

(Int Kyn. 1) <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/krom> Erişim Tarihi:12.05.2020

## Araştırma Makalesi / Research Article

**Karayolu Projelerinin Tasarımındaki Harita Üretim Tekniklerinin Kalite Fonksiyon Yayılımı Sistematiğinde Araştırılması**Aytuğ Görkem KALAK<sup>1</sup>, Hikmet ERBIYIK<sup>2</sup>, Eray CAN<sup>3\*</sup><sup>1</sup>Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı Yalova / Türkiye<sup>2</sup>Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yalova / Türkiye.<sup>3</sup>Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Yalova / Türkiye.<sup>1</sup>e-posta: grkmlk@gmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5833-6218><sup>2</sup>e-posta: hikmeterbiyik53@gmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8010-0199>Sorumlu Yazar <sup>3</sup>e-posta: can.eray@hotmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8192-1703>

Geliş Tarihi: 02.04.2020

Kabul Tarihi: 27.10.2020

**Öz**

Karayolu projeleri, bir ülkenin kalkınmasında ve gelişmesinde çok önemli bir rol üstlenmektedir. Bu tür ulaşım ile ilgili mühendislik projelerine altlık olarak hizmet veren harita ve planların doğru olarak üretilmesi; yolculuk güvenliği, yolculuk emniyeti açısından da ayrıca çok önemli olmaktadır. Bir harita veya plan yapımında genel olarak jeodezik ya da yersel (topografik) üretim teknikleri, hava fotogrametrisinden yararlanma teknikleri ve uzaktan algılama (uydu görüntüleme) uyduları vasıtasıyla sağlanan uydu görüntüsü kullanımıyla ilgili tekniklerden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerin de birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Diğer yandan literatürde KFY olarak bilinen "Kalite Fonksiyon Yayılımı" yöntemi, seçilen bir konu ya da proje ile ilgili olarak, proje teknik kriterlerinin ve projeden beklenen kalite ölçütlerinin bir arada incelenmesini sağlayan bir teknik olmaktadır. Bu çalışmada, bir karayolu projesine, altlık olarak hizmet veren harita ve planların yapım yöntemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajların KFY tekniğinde nasıl incelenmesi gerektiği, işlem adımlarından bahsedilerek anlatılmıştır. Ayrıca karayolu projesi talepçisi olan müşteri kurum ve kuruluşların, istekleri ve bu isteklere bağlı olarak da ve ayrıca uzmanların görüşleri de alınarak KFY tekniğinde nasıl bir korelasyon kurulabileceğinden bahsedilmiştir. Bununla birlikte bu üç harita üretim yönteminden biri olan uzaktan algılama (uydu görüntüleme) metodu hedef yöntem olarak seçilmiş ve bu hedef yöntemin gelecekte diğer yöntemlerin avantajlarına göre nasıl geliştirilmesi gerektiği KFY sistematiği içerisinde araştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler**

Kalite fonksiyon yayılımı; Karayolu projeleri; Harita ve planlar; Uzaktan algılama; Hava fotogrametrisi; Yersel (Jeodezik) yöntemler

**Studying of Mapping Techniques in Design of Highway Projects with Quality Function Deployment Systematic****Abstract**

Highway projects, assume very important roles in development and progress of a nation. To produce the maps and plans accurately that serves as a base for this kind of transport engineering projects; will also be very important in terms of transport safety, and transport security. In the production of a map or plan; topographic production techniques, air photography using techniques or satellite image using technique that benefit from remote sensing satellites are utilized in general. There are advantages and disadvantages of these techniques comparatively among themselves. On the other hand, the method of quality function deployment that is known in literature as 'QFD', is a method that enables the evaluation of project technical criteria and the quality objectives altogether that are expected from a project in the case of a selected certain subject or project. In this study, the necessity of how to review the advantages and disadvantages of map and plan production techniques with QFD technique that serve as a basis for a highway project, are defined with defining the operation stages. In addition, it is

**Keywords**

Quality function Deployment; Highway Projects; Map and plans; Remote sensing; Air photography; Terrestrial (Geodetic) methods



also mentioned about how to establish a correlation in QFD technique by receiving the expert opinions for meeting the demands of the companies and organizations for fulfilling their highway projects requirements. However, among one of those three map production methods "remote sensing" is selected as target method, and it is mentioned in the operation stages of the QFD systematic as how to improve this target method in the future by considering the advantages of the other methods.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

## 1. Giriş

Özellikle günümüzde artan nüfusla orantılı bir şekilde ulaşım ihtiyacı da hızlı bir şekilde artmaktadır. Bununla birlikte, sanayi, çevre, endüstri, turizm, savunma, ticaret vb sektörlerdeki hızlı gelişim ve artışlar, ulaşım ihtiyacı ve önemi daha da arttırmaktadır (Kalak vd. 2019, Kalak 2020). Ulaşım sektörü başlı başına büyük bir sektör olup diğer sektörleri de çok yakından etkilemektedir. Bu sektörlerin ihtiyaçlarına cevap verebilmek amacıyla topografya ve coğrafya ile de uyumlu olan ulaşım modları günümüzde çok gelişmiştir. Bu ulaşım modları genel olarak kara, deniz, hava, raylı sistemler ana başlıkları altında olmak üzere, literatürde birçok alanda incelenmektedir.

Karayolu projeleri gerek zeminin jeolojik durumuna gerekse de arazinin eğim ve yükselti koşullarına bağlı olarak en kolay, güvenli ve emniyetli ulaşım modlarının başında yer almaktadır. Ekonomik yükselişin ve gelişimin en önemli aktörlerinden biri olan karayolu sistemleri, kendi içerisinde büyük bir ekonomik faaliyeti oluşturmaktadır. Hemen hemen her sektörle doğrudan veya dolaylı olarak ilişkisi bulunan ve bu sektörleri pozitif veya negatif yönde etkileyen çok önemli bir hizmet sektörüdür. Karayolu projeleri yolun geçeceği alanın topografyası, jeolojisi, jeofiziksel özellikleri ile ilgili olup, bununla birlikte toplumsal değerleri göz önünde bulundurarak, karayolu kullanıcılarının ihtiyaçlarını karşılayabilen, çevreyi, tarihi ve kültürel dokuyu tahrip etmeden projelendirilmesi gereken kendine özgü bir yapısı olan sistemlerdir. Karayolu tasarımcıları, bu ihtiyaçlarla hazırlanan karayolu projelerini tasarlarken özellikle dikkat etmeleri gereken hususlar; yol güvenliği ve sürüş konforu ve ayrıca bu ulaşım yapısının

standartlarını oluşturan kıstasların içinde önemli bir yere sahip olan yatay ve düşey geometri özelliklerini de göz önüne almaları gerekmektedir (Kılınç ve Baybura 2018). Bu şekilde tasarlanan karayolu projeleri trafik akışını kolaylaştırarak trafik kazaları risklerini de minimum düzeye çekmiş olacaktır.

Karayolu ulaşım sistemlerinin, tasarımında kullanılan harita ve planların da önemi oldukça büyük olmaktadır. Özellikle tasarlanan yolun topografya ve eğim koşulları ile uyumlu bir şekilde ilerlemesi ve inşaatı sırasında da belirlenen bütçeye uygun olması (dengeli kazı dolgu hacimleri) ve güvenli bir yol seyahatinin sağlanması için üretilen harita ve planlar yol tasarımında gerekli olmaktadır. Karayolu projelerinde, özellikle arazinin sayısal yükseklik modelini (SYM), eğim yapısının ve topografik özelliklerinin hassas ve prezisyonlu olarak gösterilmesi için harita yapım sanatının da çok dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Özellikle karayolu projelerine altlık teşkil eden harita ve planların üretilmesinde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin başında yersel ölçme çalışmaları gelmekle birlikte son zamanlarda hava kameralarındaki teknolojik ilerlemelerin ışığında hava fotogrametrisi yöntemiyle harita yapım sanatları gelişmiştir. Bununla birlikte uydu sistem ve sensörlerinin gelişmesiyle de uzaktan algılama (uydu görüntüleme) teknikleri kullanılarak harita yapım sanatları daha da ilerlemiştir.

Bu yöntemlerin başında gelen yersel ölçmeler özellikle de kolay ve hızlı yatay ve düşey konum üreten GNSS sistemlerin gelişmesiyle daha çok kullanılmaktadır (Güllü vd. 2016). Bu üç yöntemin birbirine göre avantajları olmasıyla birlikte dezavantajları da mevcuttur. Örneğin, yersel

ölçme yöntemiyle hazırlanan harita çalışmalarında zaman ve ekonomik yönden büyük maliyetler ortaya çıkmaktadır. Öte yandan hava fotogrametrisi ve uzaktan algılama (uydu görüntüleme) uydu sistemleri kullanılarak yapılan harita çalışmalarında zaman daha kısa olmakla birlikte bazı çalışmalarda daha ekonomik olabilmektedir. Aynı zamanda hava fotogrametrisi ve uzaktan algılama (uydu görüntüleme) çalışmalarında atmosferik koşullar harita yapım çalışmalarına zaman zaman engel teşkil etmektedir. (Örneğin görüntünün üzerinde bulutlanma olayının gerçekleşmesi vb.) Yersel çalışmalarda ise böyle bir sorun bulunmamaktadır.

Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) ise 1960'lı yıllarda Japonya'da geliştirilmiş bir yöntemdir (Akao 1997, Ünal ve Yıldız 2017). 1970'li yıllara gelindiğinde ise Japon firmalar Toyota ve Mitsubishi tarafından uygulanmaya başlanmıştır. 1984 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan incelemeyle bütün dünyada kullanılmaya başlayan bir kalite ölçüm tekniği haline gelmiştir. KFY metodu müşteri ya da proje talepçisi kurumların istemiş olduğu teknik özellikleri ortaya çıkaran bir programlama sistematığı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yolculuk güvenliği ve emniyeti için tasarlanan bir karayolu projesinde yatay ve düşey geometrideki proje tasarım elemanlarının, kazı ve dolgu dengesinin, topografya eğim ve sayısal arazi modeli ile uyum sağlayabilmesi için güncel, doğru, hassas olarak yapılmış harita ve planlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu haritaların da üretilme tekniklerinden (yersel jeodezik ölçme tekniği, hava fotogrametrisi tekniği, uzaktan algılama uydu görüntüleme tekniği) hedef yöntem olarak seçilen uzaktan algılama yönteminin kalite, verimlilik ve nitelik açısından ne durumda olduğu ve hangi konular üzerinde gelişme göstermesi gerektiği bu çalışma kapsamında incelenmeye çalışılmıştır. Bu araştırma yapılırken de Kalite Fonksiyon Yayılımının bu konu üzerinde uygulaması yapılarak literatüre katkı sunulmaya çalışılmıştır.

## 2. Metot: Kalite Fonksiyon Yayılımı

Kalite Fonksiyon Yayılımı (Quality Function Deployment) (KFY), temel anlamda müşteri isteklerini değerlendiren ve bu istekleri ölçülebilir performans özelliklerine dönüştüren, süreçlerin optimize edilmesini sağlayan, müşteri bazlı ve ekip çalışmasını gerektiren bir kalite sistematığı ve metodolojisidir (Akbaba 2006, Şahin ve Demirtaş 2019, Aktepe vd. 2018, Doşar ve Görener 2020, Kuvat ve Abatay 2020,). Yapılan çalışmalar doğrultusunda KFY'nin uygulandığı süreçlerde ve projelerde ortaya çıkan problemlerin yüzde elli oranında düşüş kaydettiği, geliştirme süreçlerinin kısaldığı ve yapılan kar ve verimlilik oranlarında artış sağlandığı saptanmıştır (Akbaba 2006). Halen birçok kurum, idare ve kuruluşlar tarafından da bugün bu metot kullanılmaya devam etmektedir. KFY yöntemini ve uygulama amaçlarından bazılarını şu şekilde sıralamıştır (Akbaba 2006, Şahin ve Demirtaş 2019).

- Projelerin ya da ürünlerin planlama ve tasarım kalitesini düzenlemek
- Rakip proje, ürün veya hizmet anlayışı ile kıyaslamak
- Rekabet üstünlüğü sağlayacak yeni ürün proje veya hizmet geliştirmek
- Pazar ya da müşteri verilerini elde etmek ve analiz etmek
- Tüm kurum içi süreçlere KFY anlayışını benimsetmek
- Müşteri ya da proje talepçi kurumların tatminine beklentilerine yönelik ürün, proje veya hizmet tasarımı geliştirmek
- Maliyeti düşürmek
- Proje Ürün veya hizmet güvenilirliğini arttırmak ve yeni ürün üretme süresini kısaltmak
- Müşteri ya da proje talepçi kurumların değer algısını arttırmak

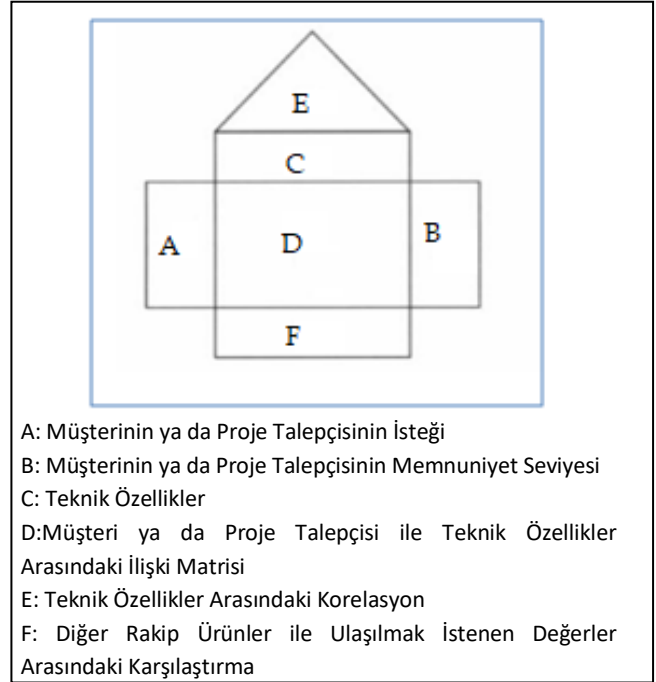
KFY, günümüz mühendisliğinde en önemli tekniklerden biri olmaktadır. Bir süreci kısaltma,

daha rekabetçi ve daha güvenilir tasarımlar ve projeler oluşturmak için iki unsur; ürünün ya da projenin daha iyi projelendirilmesi ve tasarım sürecinin daha iyi incelenmesiyle belirsizlikleri çözmekten geçmektedir. KFY metodunun uygulanması sayesinde, başlangıç aşamasında problemlerin önemli ölçüde azalmaktadır. Böylelikle proje sırasında ya da sonrasında oluşacak büyük maddi kayıpların proje başlama öncesinden küçük maliyetler harcanarak önüne geçilmiş olmaktadır. KFY Bundan dolayı ürün ya da proje tasarım işlemlerinde kullanılmaya başlanmaktadır.

Kalite evi fonksiyonlar ve arasındaki bağlantıyı sağlayan matris formatında bir sistemattir (Akao 1997, Akbaba 2006). Karar verici insanlar bu sistemdeki bilgilerden proje tasarımı sırasında önceliklerini belirleyebilmektedirler (Güllü ve Ulcay 2002, Doğu ve Özgürel 2008). Kalite evi tasarımında, herhangi bir belirsiz unsur bulunmamaktadır. Bu ev tasarımıyla, proje talepçisi kurumun ya da müşteri istekleri kolay bir şekilde anlaşılabilen ve burada karşılaşılabilecek olan problemler oldukça hızlı bir şekilde tanımlanabilmektedir. Tasarlanan bu ev yeni bir ürün veya projenin planlama süreçlerinin farklı adımlarını göstermektedir. Bu süreç içerisinde müşteri veya proje talepçisinin istek ve ihtiyaçları, tasarım karakteristiklerine uzman kişilerin görüşleri ve tecrübeleri, literatür araştırması temellerine dayalı olarak dönüştürülmektedir (Kuo and Chen 2011).

Kalite Fonksiyon Yayılımı bu yolla sistematik bir şekilde müşterinin ya da proje talepçisi kurumun isteklerini ve beklentilerini üretim düzeyine iletmektedir (Govers 2001). Kalite evi, bir ürün veya proje geliştirme için detaylı bir plan oluşturan altı aşamalı modelin ilk adımı olarak kabul edilen "müşteri ya da proje talepçilerinin gereksinimleri" için kalite evi yapılandırılmaktadır. Bu ilk aşamadan sonra; müşteri memnuniyet seviyeleri teknik karakteristikler, müşteri ya da kurum istekleri ile teknik karakteristikler arasındaki ilişkiler, teknik karakteristikler ya da özellikler arasındaki korelasyon ve rakip ürünler

ile hedef değerler arasındaki yapılan kıyaslama süreçleriyle oluşturulmaktadır. Bununla birlikte, kalite geliştirme süreci içerisinde, ürün ya da hizmet tasarımının başında olası sorunların önceden saptanarak önlenmeye çalışılması kalite fonksiyon yayılımını öne çıkartmaktadır (Alpaykut 2014, Kurt ve Yenilmez 2017). Son olarak oluşturulan kalite evi (House of Quality) sayesinde, kalite fonksiyon yayılımı sistematüğünün uygulanması için gerekli olan tüm süreç ve planlarının haritası oluşturulmaktadır. Ayrıca bu süreçlerle ilgili genel araştırmalar, incelemeler ve hesaplamalar yapılmaktadır. Kalite evinin genel görünümünü ve bu ev içerisindeki odacıkların ne anlama geldiğini Şekil 1'de şu şekilde göstermek mümkün olmaktadır.



Şekil 1. Kalite evinin temel kısımları (Güllü ve Ulcay 2002).

Kalite evinin kuruluşunda ilk olarak hedef pazarın belirlenmektedir. Bunun için çeşitli anket çalışmaları yapılarak veya uzman kişilerin görüşleri alınmaktadır. Kalite evinin A bölümü tüketici/müşteri veya proje talepçilerinin isteklerinin neler olduğunun öğrenilmesi aşamasıdır. Proje beklentisi olan kurum ya da müşteri istekleri, ürün veya projenin karakteristiklerine ve özelliklerine yönelik olmaktadır. Bu beklenti ve isteklerin tüketicinin kendisinin belirlemesi önemli olmaktadır.

Müşterilerin veya kullanıcıların ihtiyaçlarının belirlenmesinde şu hususlar dikkate alınmaktadır;

- İlgili kişilerin görüşleri
- Müşteriden gelen geri bildirimler
- Müşteri ile yapılan görüşmeler
- Pazar araştırmaları
- Odak grubu çalışmaları
- Müşteri tatmin araştırmaları
- Sergi ve fuarlar

A bölümündeki daha sonraki aşama, tüketici ihtiyaçlarının ya da proje talepçilerinin gruplanması olmaktadır. Bu aşamada, müşteri anketleri veya uzman kişilerin bildirdikleri görüşler vasıtasıyla proje isteklerinin önem seviyeleri belirlenmektedir. Bu matriste, proje beklentisi olan kurum ya da müşteri istekleri sütununun yan tarafında önem düzeylerinin bulunduğu önem kademeleri sütunu bulunmaktadır (Güllü ve Ulçay 2002). Önem dereceleri belirlenirken 1-10 arasındaki önem seviyesi değerleri kullanılmakta ve proje talepçilerinin istekleri az önemden çok öneme doğru derecelendirilmektedir. Burada 1 değeri en düşük önem derecesini belirtirken, 10 değeri ise en yüksek önem derecesini belirtmektedir.

Kalite evinin B kısmında, tüketici memnuniyet kademelerinin incelenmesi ve müşteri algılaması araştırmaları yapılmaktadır. Proje beklentisi kurum ya da müşteri açısından önem kademelerinin tespit edilmesi sadece tek başına yeterli olmamaktadır. Bununla birlikte hizmet veya projenin vaziyeti ile rakip ürünlerin vaziyeti de incelenmesi ve gözlenmesi gerekli olmaktadır. Bu değerlendirme yapılırken 1-5 (Zayıflıktan üstünlüğe doğru) arasında bir değerlendirme skalasında puanlama uzmanların görüşleri doğrultusunda yapılmaktadır. Burada, ürünler veya kullanılacak yöntemlerin birbirleri arasındaki avantaj ve dezavantajları araştırılmaktadır.

- a) İyileştirme Oranı: Proje beklentisi olan kurum ya da müşteri beklentisinde, yeni oluşturulan modelde ilk modele göre nasıl bir düzeltme yapılması gerektiği kavramını ortaya koymaktadır.

- b) Satış Avantajı: (1.0)-(1.2)-(1.5) değerleri kullanılarak yapılan iyileştirme faaliyetinin satış getirine olan etkisini belirlemek olmaktadır. (1.2) değeri satış durumunu arttırırken (1.5) değeri ise satış durumunu çok arttırır anlamına gelmektedir. 1,0 değeri iste eski modele göre fark yok anlamı taşımaktadır. Bu aşamada yapılacak hesaplamalar için şu formüllerden yararlanılabilmektedir (Güllü ve Ulçay 2002);

$$\text{İyileştirme Oranı} = \frac{\text{Planlanan Kalite Düzeyi}}{\text{KFY Çalışma Memnuniyeti}} \quad (1)$$

$$\text{Mutlak Ağırlık} = (\text{Önemi}) \times (\text{İyileştirme Oranı}) \times (\text{Satış Avantajı}) \quad (2)$$

$$\text{Bağıl Ağırlık (\%)} = \frac{\text{Herhangi bir Satırın Mutlak Ağırlığı}}{\text{Toplam Mutlak Ağırlık}} \times 100 \quad (3)$$

Kalite evinin C bölümünde proje ya da ürüne ait teknik özellikler belirlenmektedir. B bölümü kalite evinin teknik kısmına başlandığı ilk adım özelliğini taşımaktadır. Burada müşterilerin istek ve düşünceleri teknik birer ihtiyaca dönüştürülmektedir. Teknik ihtiyaçlar belirlenirken dikkat edilmesi gereken nokta, müşteri istekleri belirlendikten sonra bu isteklere yönelik direkt çözümlerde bulunulmaması gerekmektedir. Teknik ihtiyaçların ölçülebilir özelliklere sahip olması gerekmektedir. Teknik yönden ihtiyaçların miktarı, aynı zamanda kalite evi içinde bulunan matristeki sütun miktarını belirlemektedir. Sonuç itibariyle teknik verilerin geliştirilmesi amacıyla ihtiyaç duyulan test miktarı ve alınması zorunlu olan kararlar da artmaktadır (Güllü ve Ulçay 2002).

Kalite evinin D Bölümünde ise müşteri ya da proje talepçilerinin istekleri ile belirlenen teknik ihtiyaçlar arasındaki ilişki (korelasyon) belirlenmektedir. Bu noktada müşteri isteğinin, teknik ihtiyacı ne derece etkilediği belirlenir ve aralarındaki korelasyonun gücüne bağlı olarak zayıf, orta veya güçlü olduğu belirlenmektedir. Eğer aralarında hiçbir ilişki yok ise boş bırakılmaktadır. Bu durum ise rakamsal olarak şu şekilde ifade edilmektedir. Müşteri isteği ile teknik ihtiyaç arasında güçlü bir korelasyon mevcut ise 9 ile, orta düzeyde bir korelasyon

mevcut ise 3 ile, zayıf bir korelasyon mevcut ise 1 ile gösterilmektedir (Güllü ve Ulcay 2002).

Kalite evinin F aşamasında teknik ihtiyaçlar için mutlak ve bağıl önem dereceleri hesaplanmaktadır. Bu dereceler aşağıda verilen (4) ve (5) formülleri yardımıyla hesaplanmaktadır (Güllü ve Ulcay 2002).

Mutlak Önem:  $M_j = \sum (\text{Mutlak Önem}) \times (\text{O Satıra Ait İlişkinin Gücü})$  (4)

Bağıl Önem (%):  $G = \frac{\text{Mutlak Önem}}{\text{Toplam Mutlak Önem}} \times 100$  (5)

Kalite evinin E bölümünde ise teknik özelliklerin bir biri arasındaki korelasyon matrisini oluşturmaktır. Çoğu teknik özellik içeren ihtiyaçlar diğer teknik özellik içeren istek ve ihtiyaçlar ile bağlantılı ve ilişkili olmaktadır. Kalite evi içinde bulunan ve ilişki ya da korelasyon durumunu gösteren matriste 4 sembolü tercih edilmekte ve kullanılmaktadır. Olumlu ve kuvvetli bağlantı için çift daire (⊙), zayıf ama olumlu bağlantı da ise tek daire (o) tercih edilmektedir. Bununla birlikte olumsuz ve zayıf bir bağlantı için tek yıldız (x), kuvvetli ve olumsuz bir bağlantı da ise çift yıldız (xx) tercih edilmektedir. Bir teknik özellik içeren ihtiyacı geliştirmek için yapılan çalışmalar, diğer teknik özellikleri içeren ihtiyaçları olumlu ya da olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Teknik ihtiyaçlar arasındaki korelasyon matrisi kalite evinin çatısına yerleştirilmektedir (Güllü ve Ulcay 2002). Çatı matrisinde de kullanılan sembollerle teknik özelliklerin aralarındaki korelasyonların kuvveti ifade edilmektedir. Çatı matrisi veya korelasyon matrisi kullanıcıya teknik özelliklerin hangilerinin uyuşup, hangilerinin uyuşmadığı açısından son derece yararlı bir matris olmaktadır. Bir birini negatif yönde korelasyon gösteren teknik özellikler, farklı yöndeki müşteri veya proje taleplerinin beklentilerinin sonucu olmaktadır. Belirlenmiş olan korelasyon düzeyi olumsuz veya kuvvetli ise KFY ekibinin bu teknik özelliklerin üzerinde durarak geliştirmesi için gerekli önlemleri almalıdır. Bu süreçlerin sonucunda, geliştirme süreçlerinin planlanması ve tüm bu süreçlerin sonucunda nihai kalite evi ortaya çıkmaktadır.

### 3. Uygulama ve Bulgular: Karayolu Projelerinin Tasarımındaki Harita Üretim Tekniklerinin Kalite Fonksiyon Yayılımı Sistematüğinde İncelenmesi

Karayolu projeleri bir ülkenin kalkınmasında ve gelişmesinde son derece önemli katkıları olan projeler arasında yer almaktadır. Bu projelerin doğru ve istenilen ihtiyaca hizmet edebilmesi ve projenin hassas olarak hazırlanabilmesi için, bu projelere altlık teşkil eden plan ve haritaların da hassas ve doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bir karayolu projesine altlık teşkil eden harita ve planların yapılma yöntemleri de çeşitlilik göstermektedir. Bu yöntemler, yersel (Topografik, Jeodezik) çalışmalar, Hava Fotogrametrisi yoluyla yapılan çalışmalar ve Uzaktan Algılama uyduları vasıtası ile yapılan çalışmalar olmaktadır. Her yöntemin kendine göre avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bahsedilen bu yöntemler Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) sistematüğünde analiz edilmiş ve bununla birlikte bazı teknik özellikler ve proje beklentisi olan kurum ya da kuruluşların istekleri de göz önüne alınarak, harita üretim yöntemleri hakkında bazı analizler ve araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca, proje müşterisi kurumların veya kişilerin müşteri memnuniyet seviyeleri de belirlenmiştir. Bununla birlikte, KFY Analizi için, sektörel ve akademik uzmanlara, bir karayolu projesine altlık teşkil eden harita üretim yöntemleri ile ilgili danışılmış ve fikirleri de alınmıştır. Sonrasında, alternatif harita üretim metotları (hava fotogrametrisi ve yersel yöntem) bu çalışmada hedef metot olarak dikkate alınan Uzaktan Algılama (uydu görüntüleme) metodu ile karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece alternatif yöntemlerin de kuvvetli ve zayıf oldukları yönleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Proje için beklentisi olan müşteri adına sektörel uzmanlar tarafından hedef metot olan Uzaktan Algılama (Uydu Görüntüleme) ve diğer alternatif metotlar (Hava fotogrametrisi ve Yersel yöntem) bir sıralamaya sokulmuştur. Daha sonra bu sıralama KFY literatüründe belirtilen puanlama sistemine dönüştürülerek kalite evine aktarılmıştır. Uzaktan algılama (uydu görüntüleme) yöntemi aşağıdaki

sebeplerden dolayı hedef yöntem olarak kabul edilmiştir.

- Harita üretim yöntemleriyle ilgilenen sektörel ve akademik uzmanların bildirdiği görüşler
- Literatürde yapılan araştırmalar,
- Teknik olarak uzaktan algılama (Uydu Görüntüleme) yönteminin teknolojik gelişmelere açık olması
- Gelecekte daha da geliştirilebilir popüler bir yöntem olması
- Uydu görüntüleriyle üretilen haritaların diğer yöntemlere göre daha ekonomik ve zaman yönünden kısa olması
- Uydu görüntülerinin daha geniş tarama alanlarına sahip olması
- Görüntülerin sayısal ve bilgisayar ortamına aktarılabilir olması
- Coğrafi Bilgi Sistemlerine kolay entegre edilebilir olması
- Veri yapılarının basit ve anlaşılabilir olması vb.

Bu çalışmada kalite evinin A bölümünde ilk olarak konu ile ilgili, projeyi talep eden müşteri beklentileri ve ihtiyaçları belirlenip, daha sonra uzman ve akademisyenlerin görüşleri de alınarak müşteri ya da projeyi talep eden kişi ya da kurumların ihtiyaçları gruplandırılmış ve önem seviyeleri belirlenmiştir (Şekil 2).

| QFD - HOQ                               |   | Önem Derecesi |
|---|---|---------------|
| Proje Talepçilerinin İstekleri          |   |               |
| Harita Tasarım Süresi                   | 9 |               |
| Harita Tasarım Maliyeti                 | 8 |               |
| Harita Güncellemeleri                   | 7 |               |
| Harita Üzerindeki Yol Tasarım Doğruluğu | 9 |               |
| Haritadaki Yatay Konum Doğruluğu        | 8 |               |
| Haritadaki Düşey Konum Doğruluğu        | 8 |               |
| Haritadaki 3D Model Doğruluğu           | 7 |               |
| Harita Çizim Doğruluğu ve Hassasiyeti   | 8 |               |
| Teknoloji Kullanımı                     | 9 |               |

**Şekil 2.** Bir karayolu projesinin oluşturulmasında kullanılan harita ve planlar için kurum ya da müşteri talepleri ve önem dereceleri (Kalite evinin A bölümü).

Daha sonraki aşamada, Kalite evinin de B kısmını oluşturan harita yapım yöntemlerinin, birbirleri ile ilgili olarak avantajları ve dezavantajları

belirlenmiştir. Kalite evinin bu kısmı oluşturulurken, 1 ile 5 arasında (zayıflıktan üstünlüğe doğru) puanlama sistemi kullanılmıştır. Örneğin, proje beklentilerinden biri olan harita tasarım süresi 3 yöntemle göre uzmanlar yönünden değerlendirildiğinde Uzaktan Algılama (uydu görüntüleme) yönteminin diğer 2 yöntemle göre daha üstün olduğu için 5 puan verilmiş, arkasından gelen hava fotogrametrisine 4, yersel çalışmaların süresi en uzun olacağından diğer yöntemlere göre 3 puan almıştır. Bu değerlendirilmelerin ardından, planlanan kalite, iyileştirme oranı, satış avantajı, mutlak ve bağıl ağırlıklar hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ise şu şekilde gerçekleştirilmiştir.

**Planlanan Kalitenin Belirlenmesi:** Her üç yöntem için, bütün proje kriterleri temel alınarak proje talepçilerinin istekleri ve ihtiyaçları için belirlediğimiz önem seviyeleri dikkate alınarak beklenen kalite seviyeleri oluşturulmuştur.

**İyileştirme Oranı:** Projeyi talep eden kişi ve kurumların ilk tasarlanan modele oranla ikinci modelde ne kadar bir düzelme olacağını, iyileştirme oranı hesaplanılarak tespit edilmiştir. İyileştirme oranı yalnızca harita üretim yöntemlerinden hedef yöntem olarak belirlediğimiz uzaktan algılama (uydu görüntüleme) yöntemi özelinde hesaplanmıştır. Bu oran her bir proje kriteri için planlanan kalite seviyesinin, yapılan üstünlük ve zayıflık karşılaştırması (1-5 arası verilen puanlamalar) için sadece uzaktan algılama (uydu görüntüleme) yönteminin aldığı puanlara bölünmesi ile elde edilmiştir. Harita tasarım süresi için iyileştirme oranı örnek hesaplaması aşağıda verilmiştir.

$$\text{İyileştirme Oranı} = \frac{\text{Planlanan Kalite Düzeyi}}{\text{KFY Çalışma Memnuniyeti}} \quad (6)$$

$$\text{İyileştirme Oranı (Harita Tasarım Süresi İçin)} = \frac{9}{5} = 1.8 \quad (7)$$

**Satış Avantajı:** Bu bölümde proje talepçilerin istekleri baz alınarak, bu üç harita yönteminin tercih edilebilme potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre literatürde puan skalası 1.0-1.2-1.5 şeklinde olmaktadır. Bu puanlamada 1.0 anlamı mevcut sisteme göre tercih

edilebilirliğinde bir değişikliğin olmadığı anlamına gelmekle birlikte 1.5 puanın anlamı ise tercih edilebilirliğinin çok yüksek olacağı anlamına gelmektedir.

**Mutlak Ağırlık:** Mutlak ağırlık işleminde, her bir proje kriteri için önem derecesi, iyileştirme oranı ve satış avantajının çarpımında elde edilmiş bir parametredir. Mutlak ağırlık, Kalite Fonksiyon Yayılımı analizinin en önemli kısmını oluşturan harita üretim yöntemlerinin, hedef değerler ile karşılaştırılıp analiz ettiğimiz bölümde kullanılacak olan parametreyi de (2) no'lu formüle göre oluşturmaktadır. Harita tasarım süresi için örnek hesaplama aşağıda verilmektedir.

$$\text{Harita Tasarım Süresi Mutlak ağırlık } 9 \times 1.8 \times 1.5 = 24 \quad (8)$$

Proje taleplerinin oluşturmuş olduğu dokuz ayrı kriter için, mutlak ağırlık seviyeleri bu şekilde hesaplanmış ardından yüzdelik ifade edilebilmesi bağıl ağırlık (3) no'lu formüle göre oranlara çevrilmiştir (Şekil 3). Harita tasarım süresi için bağıl hesaplama örneği aşağıda verilmektedir.

$$\text{Bağıl Ağırlık} = \frac{24}{\sum \text{mutlak ağırlık sütunu (190.64)}} \times 100 = \%13 \quad (9)$$

|   | Müşteri Rekabet Değerlendirmesi |                |                          |                  |                   |                |                |                   |                         |  |  |  |  |
|---|---------------------------------|----------------|--------------------------|------------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------------|--|--|--|--|
|   | Uydu Görüntüleme                | Hava Fotoğrafi | Jeodezik (Yersel) Yöntem | Planlanan Kalite | İyileştirme Oranı | Satış Avantajı | Mutlak Ağırlık | Bağıl Ağırlık (%) | Ağırlıklandırma Grafiği |  |  |  |  |
| Harita Tasarım Süresi                   | 5                               | 4              | 3                        | 9                | 1.8               | 1.5            | 24             | 13                |                         |  |  |  |  |
| Harita Tasarım Maliyeti                 | 5                               | 4              | 3                        | 8                | 1.6               | 1.2            | 15             | 8                 |                         |  |  |  |  |
| Harita Güncellemeleri                   | 3                               | 4              | 5                        | 7                | 2.3               | 1.0            | 16             | 9                 |                         |  |  |  |  |
| Harita Üzerindeki Yol Tasarım Doğruluğu | 3                               | 4              | 5                        | 9                | 3.0               | 1.5            | 41             | 21                |                         |  |  |  |  |
| Haritadaki Yatay Konum Doğruluğu        | 4                               | 4              | 5                        | 8                | 2.0               | 1.2            | 19             | 10                |                         |  |  |  |  |
| Haritadaki Düşey Konum Doğruluğu        | 4                               | 4              | 5                        | 8                | 2.0               | 1.2            | 19             | 10                |                         |  |  |  |  |
| Haritadaki 3D Model Doğruluğu           | 4                               | 4              | 5                        | 7                | 1.8               | 1.0            | 12             | 6                 |                         |  |  |  |  |
| Harita Çizim Doğruluğu ve Hassasiyeti   | 4                               | 4              | 5                        | 8                | 2.0               | 1.2            | 19             | 10                |                         |  |  |  |  |
| Teknoloji Kullanımı                     | 5                               | 4              | 3                        | 9                | 1.8               | 1.5            | 24             | 13                |                         |  |  |  |  |

**Şekil 3.** Kalite Evinde Üç yöntemin değerlendirildiği ve planlanan kalite seviyelerinin, iyileştirme oranlarının, satış avantajlarının, mutlak ve bağıl ağırlıklarının hesaplandığı bölüm (B bölümü).

Uygulamada üzerinde çalıştığımız 3 yöntemden (yersel (jeodezik) çalışmalar, hava fotogrametrisi ve uzaktan algılama (uydu görüntüleme) yöntemlerinden) uzaktan algılama yöntemi hedef yöntem olarak belirlenmiştir. Bu yöntemin diğer iki yöntemle kıyas edilerek avantajları ve dezavantajları belirlenmiştir.

Kalite evinin C ve D bölümlerinde ise proje taleplerinin kendi düşünceleri ve ifadeleriyle oluşturulmuş olan taleplerini ve isteklerini, projeye uygun olarak belirlenen teknik ihtiyaçlara dönüştürülmüştür. Daha sonra bu teknik ihtiyaçlar ile müşterilerin beklentileri arasındaki korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Proje beklenti kriterleri ile teknik özellikler arasındaki korelasyonların oluşturulmasında uzman kişilerin görüşlerine başvurulmuştur. Burada ilişki derecelerini belirlemek için 1-3-9 skalası kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla, zayıf ilişki, orta ilişki ve kuvvetli ilişkiyi temsil etmektedir. Örneğin; Harita tasarım kriterlerinden, harita tasarım süresi, teknik özellikler olan mekansal çözünürlük, arazi görüntüsü detayı, koordinat doğruluğu, kamera sensör teknolojileri ve görüntünün kapsadığı alan özellikleri ile yüksek korelasyon gösterirken, harita istikşaf ve etüt süresi özelliği ile orta düzeyde korelasyon göstermiştir (Şekil 4).

| QFD - HQQ                               | Teknik Özellikler |               |                     |                                |                |                        |                     |                        |  |                              |                                   |                 |                                    |
|---|-------------------|---------------|---------------------|--------------------------------|----------------|------------------------|---------------------|------------------------|--|------------------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------------|
|   | Müşteri Talepleri | Önem Derecesi | Mekansal Çözünürlük | Harita İstikşaf ve Etüt Süresi | Objekt Faktörü | Arazi Görüntüsü Detayı | Koordinat Doğruluğu | Yol Geometri Uygunluğu | Karayolu Projesi Kazan Doğru Hesap Dengesi | Eğitim Tespit Edilebilirliği | Kamera ve Sensör Teknolojisi Alan | Görüntü Kapsamı | Sayısal Yükseklik Modeli Uygunluğu |
| Harita Tasarım Süresi                   | 9                 | 9             | 3                   |                                | 9              | 9                      |                     |                        |  |                              |                                   | 9               | 9                                  |
| Harita Tasarım Maliyeti                 | 8                 | 9             | 3                   | 3                              | 9              | 9                      | 3                   | 9                      | 3  | 9                            | 9                                 | 9               | 9                                  |
| Harita Güncellemeleri                   | 7                 | 3             |                     | 3                              |                |                        |                     |                        |  | 3                            | 3                                 | 3               |                                    |
| Harita Üzerindeki Yol Tasarım Doğruluğu | 9                 | 9             | 3                   | 9                              | 3              | 9                      | 9                   | 9                      | 1  | 3                            |                                   |                 | 9                                  |
| Haritadaki Yatay Konum Doğruluğu        | 8                 | 9             | 3                   | 9                              | 9              | 9                      | 9                   | 9                      |  |                              |                                   |                 |                                    |
| Haritadaki Düşey Konum Doğruluğu        | 8                 | 9             | 3                   | 9                              | 9              | 9                      | 9                   | 9                      |  |                              |                                   |                 | 9                                  |
| Haritadaki 3D Model Doğruluğu           | 7                 | 9             | 3                   | 9                              | 9              | 9                      | 9                   | 9                      |  |                              |                                   |                 | 9                                  |
| Harita Çizim Doğruluğu ve Hassasiyeti   | 8                 | 9             |                     | 9                              | 3              | 9                      | 3                   | 9                      | 3  |                              |                                   |                 | 3                                  |
| Teknoloji Kullanımı                     | 9                 | 9             |                     |                                | 1              | 3                      |                     |                        |  |                              |                                   | 9               | 9                                  |

**Şekil 4.** Proje taleplerinin ihtiyaçları ve teknik ihtiyaçlar arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon matrisi kalite evinin (C ve D bölümleri)

Kalite evinin F aşamasında teknik özelliklerin mutlak önemleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte, yüzdelik olarak ifade ettiğimiz bağıl önemleri de bulunmuştur. Her 3 harita üretim yöntemi için de her bir teknik özelliğe ait literatürden araştırılan ve rekabete yönelik teknik veriler bulunmuştur. Buradaki amaç hedef yöntem olarak seçilen (uydu görüntüleme) algılama yöntemi için en yüksek yüzdelik dilime ya da bağıl öneme sahip olan teknik özelliklerin, bir başka ifade ile de en çok üzerinde durulması gereken teknik



özelliklerin belirlenmesi iyileştirmesi ve geliştirilmesi olmaktadır. Daha sonra harita ve planlarını oluşturmak için kullanılan ve hedef olarak belirlediğimiz uzaktan algılama (uydu görüntüleme) yönteminin, olması gereken hedef değerleri ve bunlara karşılık gelen birimleri literatürden araştırılarak belirlenmiştir. Sonrasında bu ihtiyaçların hangi yönde gelişim göstermesi gerektiği saptanmaya çalışılmıştır. Mutlak önem seviyelerinin hesaplanmasıyla ilgili olarak Mekânsal Çözünürlük için 4 no'lu formül kullanılarak aşağıdaki hesaplama örnek olarak verilmiştir.

$$\text{Mutlak Önem} = 9 \times 24 + 9 \times 15 + 3 \times 16 + 9 \times 41 + 9 \times 19 + 9 \times 19 + 9 \times 12 + 9 \times 19 + 9 \times 24 = 1618 \quad (10)$$

Hesaplanmış olan bu mutlak önemlerin yüzdelik şekilde ifade edildiği bağıl önem seviyeleri ise 5 no'lu formüle göre örnek olması açısından mekansal çözünürlük için aşağıda verilmiştir.

$$\text{Bağıl Önem } x = \frac{1618}{10234,45} \times 100 = \%16 \quad (11)$$

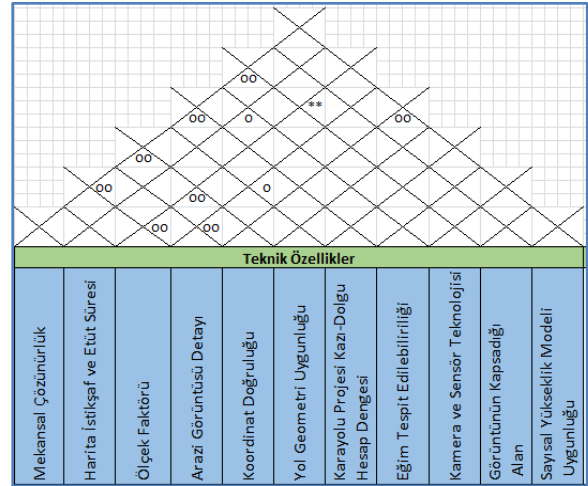
Şekil 5 de tüm mutlak ve bağıl önemler hesaplanmış ve uzaktan algılama (uydu görüntüleme) yöntemine göre hedef değerler ve gelişim yönleri belirtilmiştir. Bununla birlikte seçilen hedef yöntem olan uzaktan algılama (Uydu görüntüleme) yöntemi için belirlenen kriterlere göre geliştirilmesi ve iyileştirilmesi yapılacak olan teknik özellikler belirlenmiştir.

|                         |                          | Teknik Özellikler  |                                |               |                        |                     |                        |   |                            |                              |                           |                                    |
|-------------------------|--------------------------|--|--------------------------------|---------------|------------------------|---------------------|------------------------|---|----------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
|                         |                          | Mekansal Çözünürlük  | Harita İstikşaf ve Etüt Süresi | Ölçek Faktörü | Arazi Görüntüsü Detayı | Koordinat Doğruluğu | Yol Geometri Uygunluğu | Karayolu Projesi Kazı-Dolgu Hesap Dengesi | Eğim Tespit Edilebilirliği | Kamera ve Sensör Teknolojisi | Görüntünün Kapsadığı Alan | Sayısal Yükseklik Modeli Uygunluğu |
| Mutlak Önem             |                          | 1618   | 392,43                         | 1039,2        | 1065,2                 | 1423                | 924,03                 | 1131,4                                    | 427,23                     | 746,14                       | 624,64                    | 843,39                             |
| Bağıl Önem (%)          |                          | 16%  | 4%                             | 10%           | 10%                    | 14%                 | 9%                     | 11%                                       | 4%                         | 7%                           | 6%                        | 8%                                 |
| Ağırlıklandırma Grafiği |                          | [Bar chart showing relative importance for each technical feature] |                                |               |                        |                     |                        |   |                            |                              |                           |                                    |
| Gelişimin Yönü          |                          | [Arrows indicating development direction for each feature]         |                                |               |                        |                     |                        |   |                            |                              |                           |                                    |
| Görüntüleme Yöntemi     | Uydu Görüntüleme         | 0,31-1   | 40                             | 1/7500        | 1                      | dm                  | 80                     | 70-80                                     | 75-85                      | MTS                          | 12000                     | 70-80                              |
|                         | Hava Fotoğrafı           | 0,03-0,1   | 35                             | 1/5000        | 0,45                   | cm                  | 85                     | 80-90                                     | 85-95                      | CCD                          | 3,20                      | 80-90                              |
|                         | Jeodezik (Yersel) Yöntem | -  | 30                             | 1/10000       | -                      | mm                  | 95                     | 90-100                                    | 95-100                     | -                            | -                         | 90-100                             |
|                         | Hedef Değer              | <0,50 m  | 30                             | 1/10000       | 1,5                    | cm                  | 80-100                 | 80-100                                    | 100,00                     | TIRSS2                       | >10000                    | 80-100                             |
|                         | Birim                    | M  | Gun                            | Kesir         | M                      | mm                  | Yüzde                  | %   | Yüzde                      | Pixel                        | KM2                       | %                                  |
| Sütun                   | 1                        | 2  | 3                              | 4             | 5                      | 6                   | 7                      | 8   | 9                          | 10                           | 11                        |                                    |

Şekil 5. Kalite fonksiyon yayılımı analizi doğrultusunda hesaplanmış olan Mutlak ve

bağıl önem seviyeleri, hedef değerler ve gelişim yönleri (Kalite evinin F bölümü)

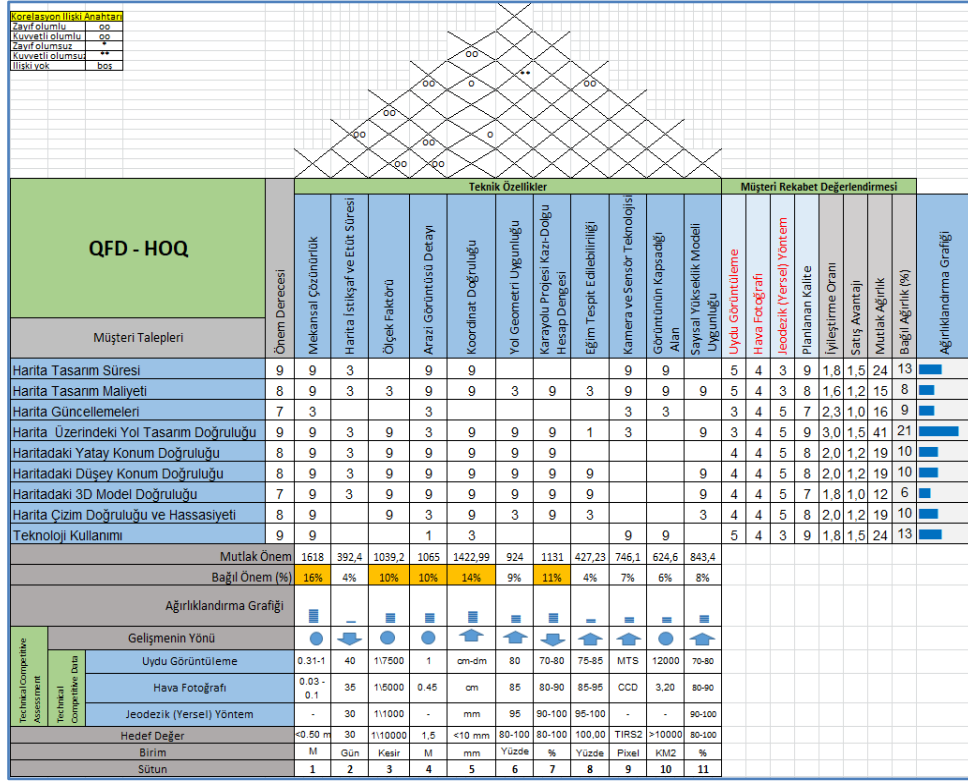
Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) analizinin, son olarak oluşturulan bu aşamasında, bu 3 harita üretim yöntemi için belirlenen teknik özelliklerin birbirleri ile ilgili olan ilişki matrisi oluşturulmuştur. Burada her bir teknik özellik diğer teknik özellikler ile karşılaştırılarak aralarında nasıl bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Eğer iki özellik arasında pozitif yönde zayıf bir ilişki var ise (o) şeklinde, aralarında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki var ise (oo) şeklinde gösterilmiştir. Eğer bu iki teknik özellik arasında negatif ama zayıf bir ilişki var ise (\*) şeklinde, negatif kuvvetli bir ilişki var ise (\*\*) şeklinde gösterilmiştir. İki teknik arasında herhangi bir ilişki (korelasyon) yok ise kalite evinin bu bölümü boş bırakılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Kalite evinin çatısını oluşturan ve teknik özellikler arasındaki korelasyonu gösteren çatı matrisi (Kalite evinin E bölümü).

Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) analizi ile yapmış olduğumuz kalite evinin aşağıdaki Şekil 7 de verildiği gibi son ve tam şekli görülmektedir. Kalite evi oluşturulurken tüm süreçler için farklı uygulama, araştırma ve hesaplamalar yapılmıştır. Kalite evini oluşturulurken konunun uzmanı kişilere danışılarak ve literatürden elde ettiğimiz bilgilerle yapılmıştır. Bununla birlikte yapılan matematiksel hesaplamaların sonrasında kalite evinin son ve tam şekli oluşturulmuştur.





Şekil 7. Kalite Evinin Genel Görünümü

#### 4. Sonuçlar

Karayolu taşımacılığı güvenilir ve emniyetli olması, hem yaygın bir şekilde kullanılması hem de bir defa da çok fazla yükün ve eşyanın taşınmasına olanak sağlaması sebebiyle en çok tercih edilen taşımacılık yöntemlerinden biri olmaktadır. Bir karayolu projesini oluşturmak için gerekli olan en önemli unsur, karayolu projesine altlık görevi üstelenecek olan harita ve planların yapımı olmaktadır. Günümüzde bu harita ve planların yapılmasına yönelik genellikle kullanılan üç farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemleri şu sıralayacak olursak;

- Jeodezik (yersel) yöntem
- Hava fotogrametrisi yöntemi
- Uzaktan algılama (Uydu Görüntüleme) yöntemi

şeklindedir. Bu yöntemlerden her biri kendi içerisinde önemli özelliklere sahip olmaktadır. Jeodezik (yersel) yöntem ile yapılan harita ve planlarda, arazinin topografik ve coğrafik özellikleri çok daha iyi bir şekilde tatbik edilebilmektedir. Hava fotogrametrisi yöntemi

aracılığı ile yapılan harita ve planlarda tek bir seferde geniş görüntüler elde etmesi sebebiyle daha kısa sürelerde harita yapımına olanak sağlamaktadır. Son olarak uzaktan algılama yöntemi ile yapılan haritalarda, bütün yeryüzü taranarak, yüksek çözünürlükte elde edilen görüntüler sayesinde, çok kısa sürelerde ve maliyetlerde çok büyük alanların haritalarının oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca, bilgisayar ve uydu teknolojilerinin hızla ilerlemesiyle beraber bu yöntemin kullanılabilirliği her geçen gün günümüzde artmaktadır. Çalışmada karayolu projelerindeki harita üretim yöntemleri (jeodezik, hava fotogrametrisi ve uzaktan algılama) için proje taleplerinin istekleri ve bu yöntemlerin teknik özellikleri birlikte değerlendirilerek KFY metodolojisinde incelemiştir. Bu harita üretim yöntemlerinden uzaktan algılama yöntemi, harita üretim yöntemleriyle ilgilenen sektörel ve akademik uzmanların bildirdiği görüşler, literatürde yapılan araştırmalar, teknik olarak uzaktan algılama yönteminin teknolojik gelişmelere açık olması, gelecekte daha da geliştirilebilir popüler bir yöntem olacak olması, uydu görüntüleriyle üretilen haritaların diğer

yöntemlere göre daha ekonomik ve zaman yönünden kısa olması, uydu görüntülerinin daha geniş tarama alanlarına sahip olması, görüntülerin sayısal ve bilgisayar ortamına aktarılabilir olması, Coğrafi Bilgi Sistemlerine kolay entegre edilebilir olması ve veri yapılarının basit ve anlaşılabilir gibi sebeplerden dolayı ve konu ile ilgili uzman kişilerin bildirdiği görüşler de dikkate alınarak KFY analizinde kullanılmak üzere hedef yöntem olarak seçilmiştir. Proje taleplerinin memnuniyet seviyeleri analizinde de görüleceği üzere “Harita Üzerindeki Yol Tasarım Doğruluğu” yönündeki proje beklenti kriteri %21 ile en büyük bağıl değerde olduğu görülmüştür. Buna göre, hedef yöntem olan uzaktan algılama yönteminde öncelikli olarak,

- Mekânsal Çözünürlük (%16 bağıl önem ile)
- Koordinat Doğruluğu (%14 bağıl önem ile)
- Karayolu Projesi Kazı-Dolgu Hesap Dengesi (%11 bağıl önem ile)
- Ölçek Faktörü (%10 bağıl önem ile)
- Arazi Görüntüsü Detayı (%10 bağıl önem ile)

özelliklerinin üzerinde durulması gerektiği belirlenmiştir. İkincil özellikler veya öncelikli olmayan özellikler ise şu şekilde oluşmuştur;

- Yol Geometrisi Uygunluğu (%9 bağıl önem ile)
- Sayısal Yükseklik Modeli (%8 bağıl önem ile)
- Kamera ve Sensör Teknolojisi (%7 bağıl önem ile)
- Görüntünün Kapsadığı Alan (%6 bağıl önem ile)
- Harita İstikşaf ve Etüt Süresi (%4 bağıl önem ile)
- Eğitim Tespit Edilebilirliği (%4 bağıl önem ile)

Ortaya çıkan bu durum sonucunda, uzaktan algılama yöntemi için, öncelikli olarak üzerinde durulması gereken mekânsal çözünürlük, ölçek

faktörü ve arazi görüntüsü detayı özelliklerinin mevcut koşullar altında belirlenen hedef değerleri ortalama olarak karşılayacağından durumunu koruduğu görülmektedir. Ancak, karayolu projesi için kazı-dolgu hesap dengesinin %80-%100 hedef aralığı olarak saptandığından, %70-%80 aralığında görülen bu kriterin iyileştirilmesi gerektiği ve sonuçların proje maliyetini ve zamanını da etkileyeceğinden önemle üzerinde durulması gerektiği anlaşılmaktadır. Aynı zamanda dm-cm hassasiyetinde belirlenen koordinat doğruluğunun hedef yöntem uzaktan algılama yöntemi için yapılacak olan düzeltmelerle mm düzeylerine indirgenmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Bu şekilde oluşturulan ve karayolu projelerine altlık oluşturan harita ve planların elde edilmesiyle, ekonomik ve zamansal kayıplarında önüne geçileceği çok açık olmaktadır. Ayrıca yine bu şekilde üretilen çok hassas harita ve planlar ile de yapılacak olan kazı-dolgu hesabı içerikli kübaj raporlamaları, arazi detayları ve sayısal yükseklik modelleri daha da iyi belirlenebileceğinden dolayı daha da doğru ve hassas olacaktır. Bununla birlikte bu şekilde üretilen harita ve planlar üzerinden bir karayolu projesine ait aplikasyon koordinatları da daha hassas olarak belirlenebilecektir.

## 5. Kaynaklar

- Akao, Y., 1997. *QFD: Past, Present, and Future*, International Symposium on QFD, Linköping, Sweden s 1-12
- Akbaba, A., 2006. Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) Sürecinde Yaralanılabilecek Araçlar ve Yöntemler, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, **1(12)**, s1-32
- Aktepe A., Ersöz S., Hayyaoğlu A.N. Şakar B.B., 2018. ,Kalite Fonksiyon Yayılımı Yaklaşımı İle Özel Bir Hastanede Hizmet Kalitesi İyileştirme Üzerine Bir Uygulama, *International Journal of Engineering Research and Development, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, **10 (2)**, 245-251
- Alpaykut, S., 2014. Kalite Fonksiyon Göçerimi'nde Müşteri Sesinin Belirlenmesinde Yapısal Eşitlik

- Modelinin Kullanılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* , **16 (1)** , 11-22
- Kılınç, A., Baybura, T., 2018. Karayolu ve Demiryolu Yatay Eğri Tasarımlarında Sademe Konfor Ölçütünün İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **18 (3)**, 991-999
- Doğu,E., Özgürel, B., 2008. Kalite Fonksiyon Göçerimi İle Bireysel Emeklilik Sistemleri Pazarlayan Sigorta Şirketlerinin Teknik Özelliklerinin İncelenmesi Üzerine Bir Çalışma. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi* , **9 (1)** ,33-45
- Doşar, G., Görener, A., 2020. Ürün Geliştirme Süreçlerinde Kalite Fonksiyon Göçeriminin Uygulanması . İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi , **19 (37)**, 269-292
- Govers, C. P. M., 2001. QFD Not Just a Tool But A Way of Quality Management, *International Journal of Production Economics*, **69(2)**, 151-159.
- Güllü, E., ve Ulcay, Y., 2002. Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Bir Uygulama, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **7(1)**, 71-91.
- Güllü, M., Turgut, B., Baybura, T., 2016. Jeoid Yüksekliklerinin Belirlenmesinde Yapay Sinir Ağları ve Kriging Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16 (3)**, 674-678
- Kalak, A. G., 2020. Karayolu Projelerinin Tasarımındaki Harita Üretim Tekniklerinin Kalite Fonksiyon Yayılımı Sistematğinde Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova, 93.
- Kalak, A. G., Erbiyık, H., Can, E., 2019. Operation Steps Toward Studying Map Production Methods To Be Used In Highway Projects Design By QFD (Quality Function Deployment) Systematic, *International Symposium on Applied Geoinformatics (ISAG-2019)*, Yıldız Technical University, 1(1) ISBN: 978-975-461-564-7 p.46–52
- Kuo, H-M., and Chen, C.-W., 2011. Application of Quality Function Deployment to Improve the Quality of Internet Shopping Website Interface Design, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control* **7(1)**, 253-268
- Kurt S., H., ve Yenilmez, G., 2017. Kalite Fonksiyon Yayılımı: Alışveriş Merkezleri Üzerine Bir Uygulama, *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi* **9(1)**, 14-29
- Kuvat, Ö., Abatay, G., (2020). Karma yem üretiminde müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik kalite fonksiyonu göçerimi uygulaması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **22 (2)** , 717-740
- Şahin, B. Y., Demirtaş, A. E., 2019. Karar Destek Sistemi Tabanlı Bir Kalite Evi için Oransal Bir Ölçek Önerisi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **30(3)**, 173-186,
- Ünal, A., Yıldız, M.,S., 2017. Kütüphane Hizmetlerinin İyileştirilmesinde Kalite Fonksiyon Göçerimi Uygulaması: Düzce Üniversitesi Merkez Kütüphanesi Örneği, *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, **15, Ek Sayı 1**, 101-125